

Teknologiska innovationssystem inom energiområdet

En praktisk vägledning till identifiering av
systemsvagheter som motiverar särskilda
politiska åtaganden

ER 2014:23

Böcker och rapporter utgivna av Statens
energimyndighet kan beställas via
www.energimyndigheten.se
Orderfax: 08-505 933 99
e-post: energimyndigheten@cm.se

© Statens energimyndighet

ER 2014:23

ISSN 1403-1892

Förord

Energimyndigheten har i regleringsbrevet för budgetåret 2013 fått i uppdrag att genomföra analyser på energiområdet enligt metoder för så kallade teknologiska innovationssystem (inklusive tjänster).

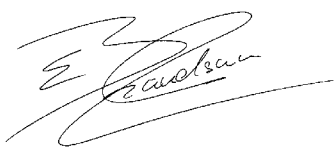
Syftet med uppdraget är att kartlägga, analysera och diagnostisera innovationssystem för att identifiera systemets styrkor och svagheter, exempelvis olika drivkrafter eller hinder för utveckling och kommersialisering. Uppdraget ska också ge underlag för inriktning på fortsatt analysverksamhet. En viktig fråga i analyserna är att klargöra vilka svagheter som kan åtgärdas av systemets aktörer och vilka som motiverar ett särskilt politiskt åtagande med avrapportering senast den 31 december 2014. Uppdraget redovisas i separat sammanfattning (ER 2014:31) till denna rapport.

Arbetet har skett genom samarbete med SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Chalmers tekniska högskola, Linköpings universitet och Lunds universitet. Från Energimyndigheten har följande personer deltagit: Anders Holmgren, Alice Kempe, Jonas Lindmark, Andreas Gustavsson, Tobias Walla, Magnus Henke, Mats Bladh, Susanne Karlsson och Ulf Malmquist.

I arbetet med uppdraget har även en referensgrupp deltagit bestående av Elisabeth Lidbaum, Näringsdepartementet, Karla Anaya-Carlsson, VINNOVA samt Bengt Boström och Mikael Fjällström från Energimyndigheten.

Åsikter och slutsatser i denna rapport är författarnas egna och behöver inte nödvändigtvis delas av Energimyndigheten.

För arbete med information och redigering har Louise Quistgaard, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, och Gunilla Strömberg, Energimyndigheten, deltagit.



Erik Brandsma
Generaldirektör



Ulf Malmquist

Sammanfattning

Syftet med denna rapport är att illustrera hur ett praktiskt inriktat ramverk, teknologiska innovationssystem (TIS), kan användas av analytiker och beslutsfattare vid departement och myndigheter för att analysera strategiskt viktiga teknikområden samt identifiera systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden.

I rapporten analyseras fem TIS centrerade kring havsbaserad vindkraft, marin energi, solceller, elektrifierade tunga fordon och bioraffinaderier. För varje TIS identifieras systemsvagheter som bromsar områdets vidare utveckling, vilka som kan åtgärdas av systemets aktörer och vilka som motiverar särskilda politiska åtaganden. Rapporten utgör därmed ett underlag för att formulera åtgärder för att åstadkomma ökad innovation, teknikspridning och industrialisering inom ovan nämnda teknikområden.

Studien har även möjliggjort en jämförande analys av likheter och skillnader mellan flera teknikområden, och därmed stärkt möjligheten att dra slutsatser för både analytiker och beslutsfattare. Det framgår tydligt att det finns stora skillnader mellan områdena – de är starka respektive svaga av olika orsaker. Detta visar att teknikspecifika analyser, liksom teknikspecifika åtgärder, är motiverade.

Samtidigt har områdena gemensamma drag. Systemets aktörer, där även politiska beslutsfattare ingår, har t.ex. varit bra på att ta fram ny kunskap genom forskning och experimentell utveckling, vilket resulterat i nya tekniklösningar och kunskapsnätverk. Men de har varit sämre på att skapa tidiga nischmarknader som ger utrymme för fortsatt lärande och kostnadsreduktion. Sådana nischer kan ibland skapas av marknadens aktörer, men ofta krävs politiska styrmedel. De behövs för att investeringar i kunskapsutveckling ska kunna nyttiggöras och för att en bred industriell utveckling inom nya områden skall göras möjlig i Sverige.

Vidare presenteras lärdomar kring vad en aktiv teknikpolitik innebär. Två huvudargument som förs fram är att framväxten av ny teknik är en central del av samhällsbygget och därför bör vara ett politikområde bland många samt att den skarpa uppdelningen som ibland görs mellan ”teknikspecifika” och ”teknikneutrala” styrmedel bör avdramatiseras. I stället befinner sig alla styrmedel på en skala mellan dessa två extremer och olika typer av mer specifika och mer neutrala stöd behövs i olika faser av innovationssystemets utveckling.

För att lyckas med en aktiv teknikpolitik behövs en hög grad av koordinering mellan myndigheter och departement samt specifik kunskap om framväxande teknikområden så att ”rätt” typ av åtgärder kan sättas in vid ”rätt” tidpunkt av ”rätt” aktör. TIS-ramverket lyfts här fram som en metod för att skapa ett sådant underlag. Slutligen presenteras en metod för projektbedömningar som syftar till att stötta handläggare i utvärderingar av projekt inom nya teknikområden.

Rapporten i sin helhet riktar sig särskilt till beslutsfattare och handläggare vid myndigheter, departement och politiker, men även andra organisationer och individer med intresse av att högt ställda klimatmål ska kunna nås samtidigt som en positiv näringslivsutveckling möjliggörs.

Innehåll

1	Introduktion	7
1.1	Föreliggande rapport.....	7
1.2	Kort om bakgrunden till teknologiska innovationssystem.....	9
1.3	Syfte och struktur	11
1.4	Referenser	11
2	Vägledning för analys av teknologiska innovationssystem	13
2.1	Analysgång.....	13
2.2	Metod – generella frågor och metodval i projektet.....	27
2.3	Referenser	39
3	Havsbaserad vindkraft	41
3.1	Teknikområdet i ett globalt perspektiv.....	41
3.2	Strukturell analys	44
3.3	Fasbestämning och målsättning	47
3.4	Funktionell analys	53
3.5	Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden	67
3.6	Referenser	76
3.7	Appendix.....	81
4	Marin energi	83
4.1	Teknikområdet i ett globalt perspektiv.....	83
4.2	Strukturell analys	86
4.3	Fasbestämning och målsättning	92
4.4	Funktionell analys	93
4.5	Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden	109
4.6	Referenser	114
4.7	Appendix.....	120
5	Solceller	121
5.1	Teknikområdet i ett globalt perspektiv	121
5.2	Strukturell analys	125
5.3	Fasbestämning och målsättning	140
5.4	Funktionell analys	144
5.5	Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden	156
5.6	Referenser	161
5.7	Appendix.....	163

6	Elektrifierade tunga fordon i stadstrafik	165
6.1	Teknikområdet i ett globalt perspektiv	165
6.2	Strukturell analys	168
6.3	Fasbestämning och målsättning	179
6.4	Funktionell analys	181
6.5	Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden	191
6.6	Referenser	198
6.7	Appendix	201
7	Bioraffinaderier	203
7.1	Teknikområdet i ett globalt perspektiv	203
7.2	Strukturell analys	207
7.3	Fasbestämning och målsättning	217
7.4	Funktionell analys	219
7.5	Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden	231
7.6	Referenser	240
7.7	Appendix	243
8	Empiriska mönster och slutsatser för analytiker	245
8.1	Introduktion	245
8.2	Funktionella mönster i de fem fallen	246
8.3	Observationer rörande systemsvagheterna	250
8.4	Lärdomar för analytiker som bedriver TIS-studier	253
8.5	Referenser	260
9	Teknikpolitiska lärdomar	261
9.1	Från identifiering av systemsvaghet till politisk intervention	261
9.2	Systemsvagheter och samhällets roll	262
9.3	En skala från mer teknikspecifika till mer generella styrmedel	266
9.4	Utvecklingsfasens betydelse	270
9.5	Styrmedelsportföljen	273
9.6	Politiska begränsningar och möjligheter	282
9.7	Referenser	285
10	Ett systemperspektiv på projektbedömning	287
10.1	Inledning	287
10.2	Systemperspektiv på projektbedömning	288
10.3	Bedömning av energiprojekt	290
10.4	Projektbedömning genom funktionsanalys	296
10.5	Slutsatser	303
10.6	Referenser	305
10.7	Appendix: Intervjufrågor och intervjupersoner	306

1 Introduktion

*Hans Hellsmark, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut,
Anna Bergek, Linköpings universitet,
Tomas Hellström, Lunds universitet i samarbete med
Ulf Malmquist, Energimyndigheten.*

För att möta klimatutmaningen krävs att utsläppen av växthusgaser minskar med 80–90 % i den industrialiserade världen. På mindre än 40 år ska den ”svarta” fossilbaserade ekonomin ersättas av en ”grön” och hållbar ekonomi. Utmaningen är gigantisk. Förändringarna som måste till är genomgripande och omfattar alla delar av samhället. Omfattande energieffektiviseringar måste genomföras och ny teknik och nya tekniska system måste utvecklas samt implementeras i mycket stor skala.

Enbart i Sverige kommer ca 60 TWh kärnkraftsenergi att behöva ersättas under de närmaste 20 åren, då nuvarande kraftverk börjar nå slutet av sin livslängd. Avreglering och integration har dessutom lett till att det svenska energisystemet är en del av Europas, vilket innebär att ytterligare ca 2 500 TWh fossil elproduktion och kärnkraft på europeisk nivå kan behöva ersättas (Eurostat, 2014).

I Sverige står transportsektorn för 32 % av de totala och det finns en nationell vision om en *fossilfri fordonsflotta* till år 2030. År 2012 tillsattes en utredning kring hur visionen skulle kunna bli verklighet. Utredningen kom bland annat fram till att det krävs en ökad användning av förnybara drivmedel från 4 till minst 20 TWh i kombination med en övergång till eldrift, där minst 20 % av alla personbilar och 80 % av alla stadsbussar behöver bli eldrivna för att visionen på sikt ska kunna uppnås (SOU, 2013:84). Kraven på förändring i Sverige, Europa och världen är naturligtvis en utmaning men också en enorm möjlighet för att utveckla näringslivet i Sverige.

1.1 Föreliggande rapport

I Sverige har Energimyndigheten ett särskilt ansvar för att bygga upp kunskap och kompetens som möjliggör ett långsiktigt hållbart energisystem men även att:

” ... utveckla teknik och tjänster som kan kommersialiseras genom svenskt näringsliv och därmed bidra till hållbar tillväxt och energisystemets omställning och utveckling såväl i Sverige som på andra marknader ... ” (Regleringsbrev för Energimyndigheten, 2014).

En specifik utmaning rör därmed frågan om hur myndigheten kan stimulera nyttiggörande, affärsutveckling och innovation inom energiområdet.

Enligt regleringsbrevet för budgetåret 2013 ska Energimyndigheten genomföra så kallade ”teknologiska innovationssystemsanalyser”.

”Statens energimyndighet ska genomföra analyser på energiområdet enligt metoder för s.k. teknologiska innovationssystem (inklusive tjänster). Syftet med uppdraget är att kartlägga, analysera och diagnostisera innovationssystem för att identifiera systemets styrkor och svagheter, t.ex. olika drivkrafter eller hinder för utveckling och kommersialisering. Uppdraget ska också ge underlag för inriktning på fortsatt analysverksamhet. En viktig fråga i analyserna är att klargöra vilka svagheter som kan åtgärdas av systemets aktörer och vilka som motiverar ett särskilt politiskt åtagande.”

Mot denna bakgrund är syftet med föreliggande rapport att illustrera hur ett praktiskt inriktat analytiskt ramverk; teknologiska innovationssystem (TIS), kan användas av analytiker och beslutsfattare vid departement och myndigheter för att analysera strategiskt viktiga teknikområden och identifiera systemsvagheter, vilka som kan åtgärdas av systemets aktörer och vilka som motiverar särskilda politiska åtaganden.

I rapporten analyseras utvecklingen av havsbaserad vindkraft, marin energi, solceller, elektrifierade tunga fordon samt avancerade bioraffinaderier. De är strategiskt viktiga områden vars framväxt delvis har prioriterats av Energimyndigheten och inom vilka Sverige bedöms ha goda möjligheter att utveckla en konkurrenskraftig och exportorienterad industri. Områdena har också valts ut baserat på att de enligt en förstudie anses lämpliga för politiska interventioner och pedagogiskt relevanta för att illustrera hur TIS-ramverket kan tillämpas samt med avseende på att det finns tidigare studier på området (Hellsmark m. fl., 2013). För vart och ett av områdena kommer specifika slutsatser att presenteras med avseende på vilka systemsvagheter som hindrar områdets vidare utveckling och vilken typ av politiska åtaganden som kan krävas för att motverka dessa svagheter. Åtgärdernas utformning ligger dock utanför detta uppdrag.

Rapporten illustrerar att investeringar i forskning och utveckling inte räcker för att nya teknikområden ska kunna växa fram och bli konkurrenskraftiga. Framväxten av de teknikområden som analyseras är i hög grad beroende av koordinerade förändringar i omgivande system. Det krävs därför en aktiv *teknikpolitik* som även innefattar koordinering av beslut vid olika myndigheter och departement för att dessa områden ska utvecklas. En sådan politik kräver att beslutsfattare har en tillräcklig förståelse av systemets dynamik för att kunna skapa *rätt förutsättningar* vid *rätt tidpunkt*. Därmed underlättas för olika aktörer att experimentera, omsätta ny kunskap i praktiken, misslyckas, lära sig från misslyckanden och för att, slutligen, nya värdekedjor och internationellt konkurrenskraftiga lösningar ska kunna skapas.

I praktiken innebär en aktiv *teknikpolitik* en utmaning för beslutsfattare. Vad är egentligen *rätt förutsättningar* vid *rätt tidpunkt*? Hur ska beslutsfattare på olika nivåer kunna veta hur de ska stimulera en viss utveckling? Vem ska göra vad? Hur tar beslutsfattare reda på vad som faktiskt hindrar olika teknikområdens framväxt? Vilka systemsvagheter finns och vilka åtgärder bör prioriteras för att stärka dynamiken? Vad kan aktörerna göra själva och vad kräver myndigheternas insatser? Hur kan effekten av dessa åtgärder analyseras?

Rapporten illustrerar hur TIS kan tillämpas som en praktisk metod att adressera dessa frågor och som en metod som skulle kunna användas av en rad myndigheter och departement. Metoden kan användas för att kartlägga framväxten av strategiskt viktiga teknikområden, identifiera systemsvagheter och prioriterade politiska åtaganden samt för att bidra till att rätt typ av insatser sätts in av rätt typ av aktör vid rätt tidpunkt.

För att kunna formulera empiriska lärdomar och metodlärdomar för analytiker har stor vikt lagts på att genomföra en jämförande analys mellan teknikområdena (se kapitel 8). Med utgångspunkt i observationer från de olika fallen och tidigare studier förs även en diskussion kring hur man går från systemsvagheter till styrmedel och ett antal lärdomar för teknikpolitik identifieras (se kapitel 9). Baserat på genomförda fallstudier i kombination med tidigare forskning och ytterligare intervjuer presenteras också en metod för projektbedömning som tar sin utgångspunkt i TIS (kapitel 10).

1.2 Kort om bakgrunden till teknologiska innovationssystem

Teorin och metoderna för analys av teknologiska innovationssystem (TIS) tar sitt teoretiska avstamp i den evolutionära och institutionella ekonomin (Nelson och Winter, 1982; North, 1990, 1994; Schumpeter, 1934, 1942/1994) och sätter därmed institutioner och interaktivt lärande (Lundvall, 1992) i centrum. Samtidigt som ramverket har utvecklats av akademiker baserat på forskning inom ekonomi, sociologi, teknikhistoria, ekonomisk geografi och ingenjörsvetenskap har utvecklingen, i en delvis parallell process, drivits fram av praktiker vid myndigheter och inom politiken samt deras behov av redskap för att identifiera och ta fram effektiva styrmedel (Sharif, 2006; Carlson m.fl., 2010).

I likhet med andra systemperspektiv på innovationsprocesser syftar TIS-ansatsen dels till att öka den generella förståelsen för innovationsprocesser, dels till att erbjuda politiska beslutsfattare på olika nivåer ett alternativ till det perspektiv som utgår från begreppet ”marknadsmisslyckande” och som traditionellt sett förespråkats inom de ekonomiska vetenskaperna (Bergek m.fl., 2008a; Carlsson och Jacobsson, 1997; Jacobsson och Johnson, 2000; Klein Woolthuis m.fl., 2005; Kuhlmann m.fl., 2010; Weber och Rohracher, 2012). TIS-ansatsen är bredare och syftar till att ge underlag för mer välgrundade innovationspolitiska beslut genom att identifiera olika slags ”systemsvagheter”, d.v.s. svagheter i innovationssystem som hindrar framväxt och spridning av nya innovationer, med särskilt fokus på sådana svagheter som marknadsaktörerna inte själva kan hantera och som därför kan motivera särskilda politiska åtaganden (Carlsson m.fl., 2002).

Ett teknologiskt innovationssystem (TIS) kan definieras som ”... en uppsättning nätverk av aktörer och institutioner som tillsammans samverkar inom ett specifikt teknikområde och bidrar till utveckling, spridning och utnyttjande av varianter av en ny teknik och/eller ny produkt” (Markard och Truffer, 2008, s. 611

(vår översättning)).¹ Sådana system kan avgränsas på olika sätt; utifrån ett specifikt kunskapsområde eller en viss produkt och dess applikationer. TIS kan mycket väl vara globala, men i en tidig, formativ fas är utvecklingen ofta begränsad till ett fåtal länder eller regioner och är kopplad till ett eller flera etablerade sektoriella innovationssystem.

I en tidig fas är alla innovationssystem svaga och en vidare utveckling och spridning av tekniken hindras av ett antal systemsvagheter. Vissa av dem kan hanteras av tekniknära aktörer i innovationssystemet, t.ex. nya eller etablerade företag och forskare. I andra fall krävs insatser av myndigheter och politiker, som även de blir en sorts aktörer i systemet men med en unik uppsättning styrmedel till sitt förfogande. Sådana interventioner kan vara avgörande för att utveckla teknikområden av strategisk vikt av sociala, miljömässiga eller andra samhällsekonomiska skäl, och där hindren för utveckling ligger utanför andra aktörers räckvidd. För att kunna utforma en effektiv interventionspolitik behövs en analysram som kan användas för att identifiera systemsvagheter, föra ett resonemang kring vilka systemsvagheter som aktörerna själva bör kunna åtgärda inom ramen för befintliga system och vilka som kräver särskilda politiska åtaganden. Den teknologiska innovationssystemsansatsen är ett sådant ramverk.

Arbetet med att utveckla TIS-ansatsen började i slutet av 1980-talet på uppdrag av dåvarande Styrelsen för teknisk utveckling (STU). Den empiriska täckningen var bred och omfattade bland annat verkstadsteknisk automation, elektronik, materialteknik, läkemedel och bioindustrier (Carlsson 1995, 1997, 2002). Sedan introduktionen av den så kallade funktionsansatsen (Johnsson och Jacobsson, 2001) har ett stort antal empiriska studier genomförts med liknande analysramar som den som används i denna rapport. En mängd olika tekniker och länder har studerats, t.ex. förnybara drivmedel (inkl. biodrivmedel) i Nederländerna, Sverige och Brasilien; förgasning och anaerob jäsning av biomassa i Österrike, Tyskland och Nederländerna; CCS i Norge, Nederländerna, Australien, Kanada och USA; kraftvärme i Nederländerna och i Storbritannien; spisar i Ghana; el- och hybridbilar i Kina och i Japan; blommor i Etiopien; skogsbruk i Frankrike, Österrike, Tjeckien, Tyskland, Slovenien, Slovakien och Schweiz; bränsleceller i Tyskland; nanoteknik i Sverige; förnybara energitekniker i Sverige och Maldiverna; solceller i Tyskland, Taiwan och Förenade Arabemiraten; avfallsvattenhantering i Kina samt vindkraft i EU, Japan, Taiwan, Sverige, Tyskland och Nederländerna (Bergek, 2012). Ansatsen är alltså väl beprövad.

¹ I en analytisk synvinkel har ett TIS det övergripande syftet att generera och sprida innovationer, d.v.s. nya varor, tjänster och processer. Det ska dock inte tolkas som att aktörerna i systemet existerar för att uppnå detta syfte eller är överens om i vilken riktning utvecklingen ska drivas. Tvärtom är aktörerna inom ett TIS ofta – särskilt i en formativ fas – i stark konflikt med varandra över vilka tekniska lösningar som bör tillämpas, vilken design som bör väljas, och inte minst över den gemensamma resursbasen. Samtidigt är de beroende av att samarbeta för att utveckla gemensamma strukturer och resurser (Bergek m.fl., 2008b; Van de Ven, 1993; Van de Ven, 2005).

1.3 Syfte och struktur

Syftet med denna rapport är att:

- 1 Illustrera hur ramverket för teknologiska innovationssystem kan användas för att analysera strategiskt viktiga teknikområden samt identifiera systemsvagheter som hindrar områdets vidare utveckling, vilka svagheter aktörerna själva kan åtgärda och vilka av dem som motiverar särskilda politiska åtaganden.
- 2 Identifiera systemsvagheter och vilka som motiverar särskilda politiska åtaganden för: havsbaserad vindkraft, marin energi, solceller, elektrifierade tunga fordon och avancerade bioraffinaderier.
- 3 Analysera empiriska mönster och dra slutsatser för analytiker baserat på genomförda fallstudier.
- 4 Ta fram en vägledning till hur man kan tänka kring teknikpolitik och styrmedel samt lyfta fram ett antal lärdomar från fallstudierna.
- 5 Presentera en metod för projektbedömning med utgångspunkt i TIS.
- 6 Ge rekommendationer med avseende på fortsatt analysverksamhet.

Rapporten riktar sig främst till beslutsfattare och handläggare på Energimyndigheten, Miljödepartementet och Näringsdepartementet, men även till andra myndigheter, politiker, organisationer och individer som har ett intresse av att högt ställda klimatmål ska kunna nås samtidigt som en positiv näringslivsutveckling möjliggörs.

Rapporten är uppbyggd på följande sätt: Kapitel 2 ger en relativt detaljerad vägledning för hur den teoretiska analysramen ”teknologiska innovationssystem” kan användas i praktiken. I kapitel 3–7 tillämpas metoden på de fem teknikområdena: havsbaserad vindkraft, marin energi, solceller, elektrifierade tunga fordon och avancerade bioraffinaderier. Slutsatser kring särskilt prioriterade åtaganden lyfts fram för varje område. Därefter följer ett synteskapitel, kapitel 8, där empiriska mönster analyseras samt implikationer för analytiker och beslutsfattare utvecklas baserat på de empiriska fallstudierna. Med syfte att ge en vägledning kring hur man kan tänka kring teknikpolitik och styrmedel identifieras ett antal lärdomar från fallstudierna i kapitel 9. Rapporten avslutas med kapitel 10 som presenterar en metod för projektbedömning som tar sin utgångspunkt i TIS samt Energimyndighetens behov och utmaningar inom området.

1.4 Referenser

Bergek, A., 2012. Ambiguities and challenges in the functions approach to TIS analysis: a critical literature review, International Conference on Sustainability Transitions, Copenhagen.

Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., Rickne, A., 2008a. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy* 37, 407–429.

- Carlsson, B., and, Jacobsson, S., 1997. In search of useful public policies – key lessons and issues for policy makers, in: Carlsson, B. (Ed.), *Technological Systems and Industrial Dynamics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 299–315.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., Rickne, A., 2002. Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy* 31, 233–245.
- Hellsmark, H., Hellström, T., Bergek, A., Jacobsson, S., Mossberg, J., Vico, E.P., Sandén, B., Sarasini, S., 2013. Teknologiska innovationssystem i energisektorn: Identifiering av prioriterade områden och frågeställningar för vidare analys. Rapport till Energimyndigheten. SP Rapport 2013:ETx6026, Borås.
- Jacobsson, S., Johnson, A., 2000. The Diffusion of Renewable Energy Technology: An Analytical Framework and Key Issues for Research. *Energy Policy* 28, 625–640.
- Johnson, A., Jacobsson, S., 2001. Inducement and Blocking Mechanisms in the Development of a New Industry: the Case of Renewable Energy Technology in Sweden, in: Coombs, R., Green, K., Walsh, V. and Richard, A (Ed.), *Technology and the Market: Demand, Users and Innovation*. Edward Elgar, Cheltenham and Northampton, Massachusetts.
- Klein Woolthuis, R., Lankhuizen, M., Gilsing, V., 2005. A system failure framework for innovation policy design. *Technovation* 25, 609–619.
- Kuhlmann, S., Shapira, P., Smits, R., 2010. Introduction. A Systemic Perspective: The Innovation Policy Dance, in: Smits, R.E.H.M., Kuhlmann, S., Shapira, P. (Eds.), *The Theory and Practice of Innovation Policy*. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 1–23.
- Lundvall, B.-Å., 1992. *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter, London.
- Markard, J., Truffer, B., 2008. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy* 37, 596–615.
- Nelson, R.R., Winter, S.G., 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- North, D.C., 1990. *Institutions, Institutional Change and Economics*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- North, D.C., 1994. Economic performance through time. *The American Economic Review* 84, 359–368.
- Schumpeter, J.A., 1934. *The Theory of Economic Development. An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest and the Business Cycle*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Schumpeter, J.A., 1942/1994. *Capitalism, Socialism & Democracy*, 5th ed. Routledge, New York.
- Sharif, N., 2006. Emergence and development of the National Innovation Systems concept. *Research Policy* 35, 745–766.
- SOU, 2013:84. Fossilfrihet på väg, in: *Statens offentliga utredningar* (Ed.), Stockholm.
- Weber, K.M., Rohracher, H., 2012. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive ‘failures’ framework. *Research Policy* 41, 1037–1047.

2 Vägledning för analys av teknologiska innovationssystem

Anna Bergek, Linköpings universitet

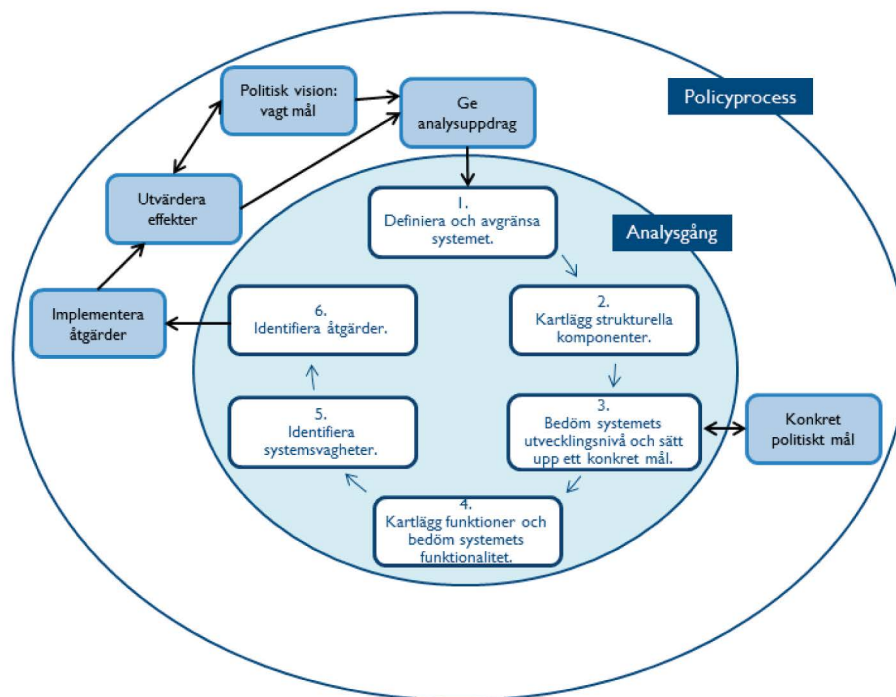
I detta kapitel beskrivs hur en analys av ett teknologiskt innovationssystem går till, med utgångspunkt i såväl teoretiska som praktiska överväganden. Syftet är dels att ge en utförlig beskrivning av den analysram och metod som har använts i de empiriska kapitlen som följer, dels att tillhandahålla en vetenskapligt grundad ”manual” som kan stötta andra analytiker i deras framtida arbete. I avsnitt 2.1 beskrivs analysgången steg för steg, med fokus på olika valmöjligheter och överväganden som analytikern måste förhålla sig till. I avsnitt 2.2 diskuteras olika metodfrågor och i anslutning till respektive fråga beskrivs även vilka metodval som har gjorts i de empiriska kapitlen.

2.1 Analysgång

Analysen av ett teknologiskt innovationssystem ska ses som en del av en större policyprocess (se figur 2:1). Innan analysen utförs har vanligen en politisk vision eller ett vagt mål för tekniken och/eller innovationssystemets utveckling resulterat i att någon har fått i uppdrag att analysera TIS:et. Efter analysen implementeras (eventuellt) de åtgärder som analysen resulterar i. Åtgärdernas effekter utvärderas i förhållande till visionen, vilket kan resultera i nya visioner och analysuppdrag. I detta avsnitt diskuteras dock inte dessa för- och efterled närmare, utan fokus ligger på de steg som ingår i själva analysarbetet, d.v.s. de som finns i den inre cirkeln i figur 2:1. Policyprocessen diskuteras i viss mån vidare i kapitel 9, som dock fokuserar på hur olika politiska styrmedel kan användas som komplement till varandra för att stödja innovationsprocesser.

Det första steget i analysen är att definiera och avgränsa det teknologiska innovationssystem som ska analyseras. I steg två kartlägger man systemets strukturella komponenter, d.v.s. de tekniker, aktörer, nätverk och institutioner som systemet består av. Baserat på den strukturella analysen kan man i steg tre bedöma vilken utvecklingsnivå systemet befinner sig på och sätta upp ett mål för systemets fortsatta utveckling. I steg fyra kartläggs ett antal nyckelprocesser (”funktioner”) och man gör en bedömning av systemets funktionalitet, d.v.s. hur väl systemet fungerar. I det femte steget undersöker man de bakomliggande strukturella eller system-externa orsakerna till eventuella funktionella svagheter, vilket ligger till grund för att identifiera och implementera lämpliga åtgärder för att undanröja svagheter.

I de följande avsnitten (2.2.1–2.2.6) kommer de sex stegen att beskrivas mer i detalj. Beskrivningen är tänkt att både förklara den teoretiska bakgrunden till respektive steg och ge vägledning till personer som vill lära sig att genomföra analyser av teknologiska innovationssystem. Frågor om vilka indikatorer och datakällor som är lämpliga att använda diskuteras i avsnitt 2.3 där det också finns en beskrivning av vilka av dem som har använts i de empiriska studierna som ingår i rapporten.



Figur 2:1. Översikt över analysgången och dess policykontext.

2.1.1 Systemdefinition och systemavgränsning

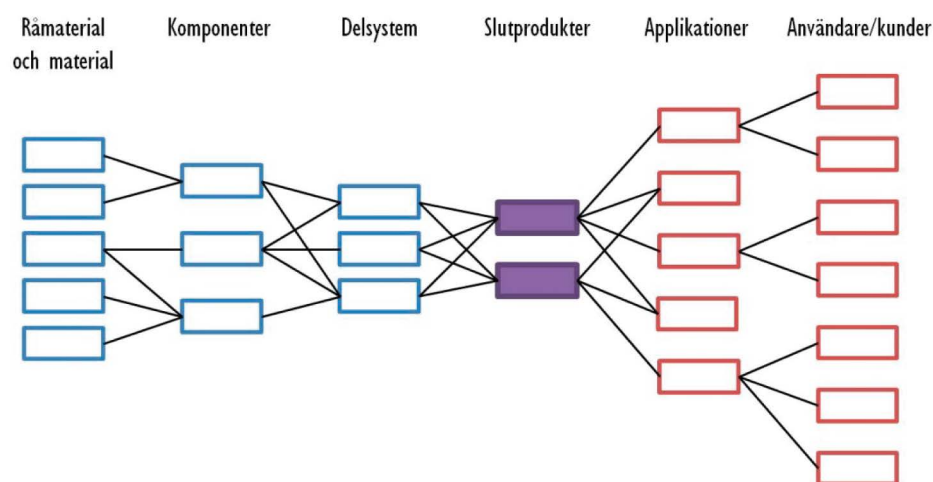
Ett nödvändigt första steg i en TIS-analys är att definiera systemets gränser, d.v.s. avgöra vilken teknik och vilka aktörer, nätverk och institutioner som utgör komponenter i det system man vill studera och vilka som istället ska ses som del av systemets omgivning. En systemavgränsning kan göras på många olika sätt och kan behöva revideras under analysens gång (Bergek m.fl., 2008a; Carlsson m.fl., 2002).

I princip handlar systemavgränsningen om att definiera vilket teknikområde som står i fokus, men även om att bestämma om det ska definieras med utgångspunkt i ett generiskt kunskapsområde (där varken produkter eller applikationer är specificerade, en viss produkt eller ett eller flera tillämpningsområden (Carlsson m.fl., 2002).² Vilken analysnivå man väljer handlar i första hand om syftet med analysen.

² Huruvida teknologiska innovationssystem existerar i verkligheten, d.v.s. som reella system vars gränser går att identifiera empiriskt, är en fråga som det råder oenighet – eller åtminstone otydlighet – om i den vetenskapliga litteraturen. Vår utgångspunkt här är att innovationssystembegreppet först och främst är en analytisk konstruktion som kan användas för att förenkla och beskriva dynamiken i en komplex verklighet. Detta innebär bland annat att valet av systemgräns kan göras mer fritt, beroende på syftet med analysen. Vår erfarenhet är dock att det är enklare att genomföra den empiriska analysen med en systemdefinition som grundas i ett verkligt teknik- eller produktområde än med en definition som utgår från mer politiska motiv eller intresseområden (som t.ex. ”gröna material”) – inte minst för att aktörerna i sådana ”artificiella” system sällan har någon verklig koppling till varandra.

För att inte snäva in analysen för mycket och för tidigt bör den inledningsvis omfatta så stora delar som möjligt av värdekedjan för det teknikområde eller den produkt som står i fokus – från råmaterial till slutkund (se figur 2:2). Värdekedjan beskriver hur produkter består av material, komponenter och delsystem.

”Uppströms” kombineras material med varandra för att skapa komponenter som i sin tur kombineras till delsystem som kombineras till komplexa slutprodukter. ”Nedströms” används produkterna inom olika tillämpningsområden (applikationer) och av olika grupper av användare (jfr Sandén och Hillman, 2011). I den slutliga analysen görs ofta en avgränsning till en viss del av värdekedjan, till exempel slutprodukten, och den inledande analysen ger då viktig information om beroenden av andra TIS, uppströms och nedströms.



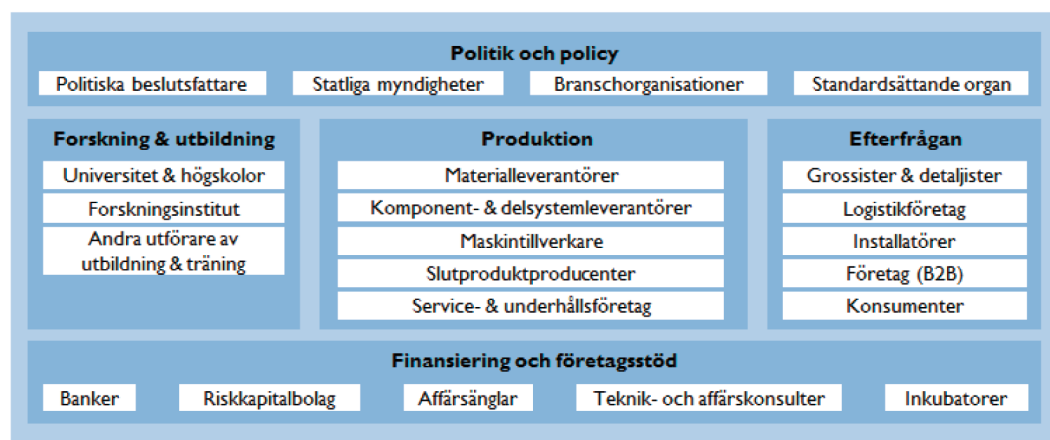
Figur 2:2. En principskiss av en värdekedja.

Det är också vanligt med olika slags geografiska avgränsningar av TIS, t.ex. avgränsningar till en region eller ett land. Exempel på det är utvecklingen av vindkraft i Sverige, Danmark, Holland och Tyskland, anaerobisk produktion av metan från hushållsavfall i Västra Götalandsregionen samt utvecklingen av förgasad biomassa för produktion av syntetiska drivmedel i Europa (Bergek m.fl., 2008b; Markard och Truffer, 2008). Sådana geografiska avgränsningar kan vara såväl praktiska som relevanta i vissa sammanhang, men det är viktigt att inse att TIS normalt sett inte är geografiskt avgränsade (Bergek m.fl., 2008b; Carlsson m.fl., 2002). Värdekedjor kan visserligen vara helt inhemska, men är oftast internationella eller globala (Sturgeon, 2001) och institutionella ramverk kan mycket väl korsa regionala och nationella gränser. Det innebär att man riskerar att missa viktiga delar av dynamiken i systemet om man avgränsar analysen till ett visst geografiskt område. Om en sådan avgränsning görs är det därför mycket viktigt att åtminstone göra en översiktlig analys av vad som sker i andra länder eller regioner för att kunna bedöma om – och i så fall hur – det påverkar det TIS som är i fokus.

2.1.2 Strukturell analys

Ett teknologiskt innovationssystem består av fyra slags strukturella komponenter som måste kartläggas:

- Teknik är både en strukturell komponent och en effekt ("output") av systemet. Teknik förs in i systemet genom aktörerna och utvecklas inom systemet. Kärnan i teknik är kunskap som är inbäddad dels i erfarenheten hos de människor som har utformat tekniken och som hanterar den, dels i föremålen själva samt i ritningar och patent m.m. (Layton, 1974). När man kartlägger teknikkomponenten bör man dels identifiera olika teknikspår, dels dokumentera prestanda- och kostnadsutvecklingen inom respektive spår (Hekkert m.fl., 2011).
- Med aktörer avses individer och olika typer av organisationer som avsätter resurser för att utveckla teknikområdet, t.ex. teknikleverantörer, köpare och användare av tekniken, universitet och högskolor, forskningsinstitut, finansiärer samt olika slags politiskt orienterade aktörer som t.ex. bransch- och intresseorganisationer, myndigheter och politiska beslutsfattare (se figur 2:3). Som nämndes i föregående avsnitt bör man inledningsvis kartlägga aktörer i hela värdekedjan för den teknik eller produkt som står i fokus, även om man senare väljer att fokusera analysen på något eller några led.



Figur 2:3. Exempel på TIS-aktörer (Källa: Bearbetning av Hekkert m.fl. (2011), figur 2)

- När fler aktörer väljer att bidra till utvecklingen av ett TIS kan nätverk bildas. Nätverk består av olika typer av formella och informella kontakter mellan olika aktörer som avser att utveckla den gemensamma kunskapsbasen (kunskapsnätverk, t.ex. informella FoU-samarbeten) och/eller förändra rådande institutioner till sin fördel (politiska nätverk). Formella nätverk är lättare att identifiera och dokumentera än informella nätverk, men kartläggningen bör idealt sett omfatta båda sorterna. Det kan också vara viktigt att identifiera särskilt starka noder i nätverken, d.v.s. aktörer som har många och starka kopplingar till andra aktörer.

- Institutionerna anger spelreglerna för aktörerna, definierar vad som anses önskvärt och legitimt och påverkar förväntningarna på en viss teknik (Geels och Raven, 2006; North, 1990; Tripsas och Gavetti, 2000; Van Lente, 1993). Det rör sig om såväl ”hårda” aspekter (t.ex. lagar och regleringar) som ”mjuka” aspekter (t.ex. normer, värderingar och föreställningar). Även här är det viktigt att försöka att kartlägga både hårda och mjuka aspekter, även om de senare kan vara svåra att dokumentera.

I en tidig utvecklingsfas är systemets struktur oftast fragmenterad och den kan därför vara svåranalyserad. Analysen bör då inriktas mot att förstå *uppbyggnaden* av de strukturella komponenterna i form av ackumulering av kunskap och artefakter, inträde av företag och andra organisationer, uppbyggnad av nätverk och en institutionell anpassning.

2.1.3 Bedömning av systemets utvecklingsnivå (fasbedömning) och målsättning

Den strukturella analysen utgör en bas för att bedöma systemets nuvarande utvecklingsnivå, vilket är viktigt eftersom utvecklingsnivån avgör vad som är rimligt att förvänta sig av systemet i termer av såväl funktionalitet som output (t.ex. nya produkter eller ekonomisk tillväxt).

En sådan bedömning bör i princip omfatta alla strukturella komponenter: teknikens utvecklingsnivå, antalet aktörer och graden av ”strukturering” dem emellan (t.ex. graden av interaktion i form av bl.a. kommunikation, utbyten och samarbeten (Malerba, 2002), graden av arbetsfördelning inom värdekedjan och graden av medvetenhet bland aktörerna själva om att de är del av ett gemensamt görande av något slag (DiMaggio och Powell, 1983)), samt graden av institutionell anpassning. I TIS-litteraturen finns det emellertid få utförliga analyser av detta slag. Det kan bero på att det saknas etablerade metoder och ramverk för att bedöma vissa komponenter. Istället används ofta teknikens utvecklingsnivå inom systemet som ett substitut för systemets utvecklingsnivå. Det är också den metod som används i denna rapport. Det bör dock noteras att den ger en begränsad bild av systemets utveckling.³ När analysens alla steg har gått igenom har analytikerna vanligen fått en tydligare bild av systemets utvecklingsfas genom att systeminterna styrkor och svagheter har identifierats (se steg 5 och avsnitt 2.1.5). Ett iterativt arbets sätt, där preliminära resultat från ett analyssteg förs tillbaka till tidigare steg och används där för att ytterligare utveckla och precisera analysen är därför generellt sett att rekommendera (detta gäller även andra delar av analysgången).

När det gäller teknikens utvecklingsnivå inom systemet kan man i princip skilja på fem olika faser (se tabell 2:1). I *konceptutvecklingsfasen* utvecklas kunskap om den nya tekniken. Nya koncept, prototyper och modeller utvecklas och testas i begränsad skala av företag, forskare vid universitet och högskolor samt andra

³ Den kan också ge en felaktig bild av systemets utvecklingsnivå i de fall där nya tekniker utvecklas inom ramen för etablerade branscher. Då kan systemet vara mycket välutvecklat och välstrukturerat även om tekniken är omogen.

aktörer. I *demonstrationsfasen* vidareutvecklas och skalas prototyper och koncept upp till funktionella enheter och system. De testas i verkliga tillämpningsmiljöer, vilket synliggör tekniken, illustrerar dess potential och möjliggör återkoppling från potentiella kunder och samhället i stort. I *nischmarknadsfasen* börjar tekniken att introduceras på olika nischmarknader (samtidigt som utvecklings- och demonstrationsinsatserna fortsätter). Nischerna kännetecknas av att konkurrensen med etablerade tekniker är begränsad. En del av dem är ”naturliga”, d.v.s. består av kunder som har specifika behov som etablerade tekniker inte kan lösa. Andra är politiskt konstruerade genom ekonomiska styrmedel som gör den nya tekniken konkurrenskraftig gentemot etablerade alternativ (t.ex. investeringsbidrag eller produktionsstöd). Nischmarknaderna fyller en viktig funktion genom att de skapar ett skyddat utrymme där teknikutvecklarna kan få återkoppling på hur tekniken fungerar i ett kommersiellt sammanhang. I *den kommersiella tillväxtfasen* blir tekniken konkurrenskraftig med etablerade tekniker och börjar spridas i stor skala på massmarknader. Slutligen når tekniken en *mognadsfas* då den börjar ersätta befintliga tekniker till en väsentlig grad. Det leder till en omstrukturering av samhällets produktions- och konsumtionssystem.

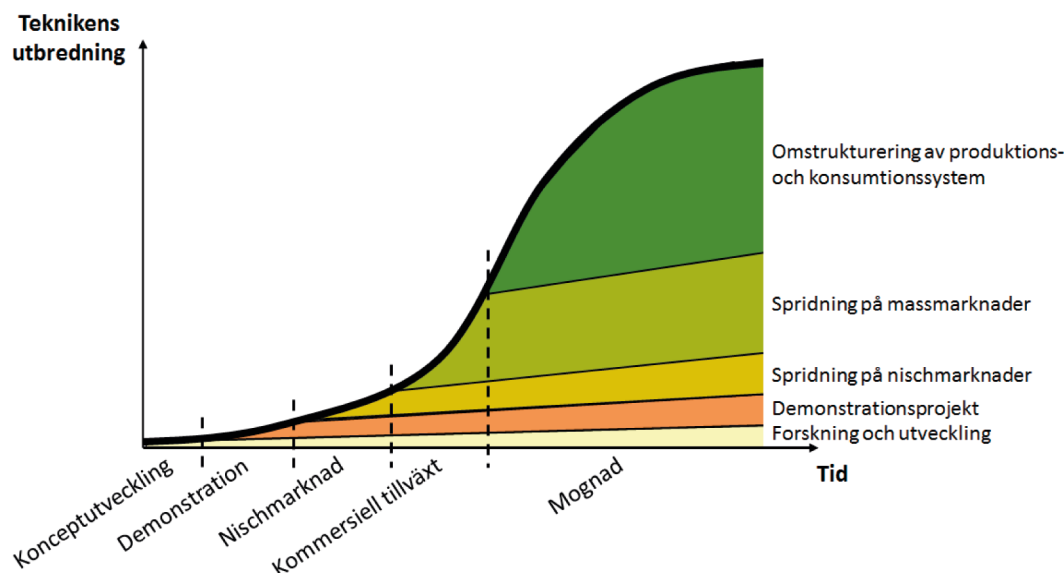
Tabell 2:1. Teknikens utvecklingsfaser.

Fas	Beskrivning av tillkommande aspekter i respektive fas
Konceptutvecklingsfas	Nya koncept, prototyper och modeller utvecklas och testas i begränsad eller liten skala.
Demonstrationsfas	Prototyper och koncept vidareutvecklas till funktionella enheter och system som illustrerar teknikens funktionalitet i miljöer som möjliggör återkoppling från potentiella kunder och samhället i stort.
Nischmarknadsfas	Tekniken lanseras på naturligt förekommande eller politiskt konstruerade nischmarknader och får återkoppling från betalande kunder och användare.
Kommersiell tillväxtfas	Tekniken blir konkurrenskraftig med etablerade alternativ och börjar spridas på massmarknader.
Mognadsfas	Tekniken ersätter befintliga tekniker till en väsentlig grad och orsakar därmed en omstrukturering av samhällets produktions- och konsumtionssystem.

En fasindelning kan emellertid lätt ge intryck av att innovationsprocessen är linjär, d.v.s. att en teknik börjar i den första fasen och sedan rör sig stegvis till följande faser utan någon återkoppling bakåt. Så är dock inte fallet. När tekniken rör sig in i nästa fas fortsätter aktiviteterna från föregående fas och det handlar alltså snarare om att man lägger till ytterligare aspekter av utveckling än att man tar bort något. Detta illustreras i figur 2:4, där aktiviteterna som introduceras i tidigare faser ligger kvar som baslager i senare faser. Det innebär t.ex. att forskning och utveckling pågår – och behövs – även i den kommersiella tillväxtfasen och i mognadsfasen.

Denna lager-på-lagerstruktur blir särskilt tydlig i de fall där marknaden inte är homogen, utan består av tydliga segment med specifika behov och preferenser. För varje nytt segment som ska erövrats börjar då processen i viss mån om igen från konceptutvecklingsfasen eftersom det krävs nya designkoncept, prototyper och

demonstratorer för att anpassa tekniken till segmentets behov och för att lösa de socio-tekniska utmaningar som då kan uppstå. Det innebär att tekniker kan vara kommersiellt konkurrenskraftiga i vissa segment samtidigt som de är långt ifrån att kunna konkurrera i andra.⁴



Figur 2:4. Teknikens utvecklingsfaser.

Baserat på bedömningen av systemets (eller teknikens) utvecklingsnivå kan man avgöra vad som är rimligt att förvänta sig som nästa steg i utvecklingen eller under en viss tidsperiod framöver. I de analyser som presenteras i denna rapport har år 2030 valts som en gemensam tidshorisont (se vidare i respektive fallstudiekapitel). Om möjligt bör förväntningarna formuleras som en konkret målsättning för TIS:et. Målet kan vara ett mål för industriell teknikutveckling och produktion eller ett spridningsmål, beroende på vad som är rimligt att förvänta sig i den givna situationen. Ibland kan det gå att sätta upp ett konkret mål i form av t.ex. antal producerade enheter eller marknadsandelar (industriellt mål) eller mängd installerade eller producerade enheter i nästa led (antal eller värde) (spridningsmål). I andra fall kan målet behöva formuleras i termer av att röra sig till nästa utvecklingsfas, t.ex. från konceptutveckling till demonstration eller från nischmarknader till kommersiell tillväxt.

⁴ Det gäller t.ex. solceller som har varit kommersiellt konkurrenskraftiga sedan 1960-talet i specifika segment och undan för undan ökat antalet typer av marknader som de är konkurrenskraftiga på (se kapitel 5).

2.1.4 Funktionell analys⁵

En strukturell analys är en viktig utgångspunkt för att förstå ett TIS:s utveckling. För att förstå orsakssambanden i dynamiken inom ett specifikt TIS och för att kunna identifiera specifika systemsvagheter som hindrar utvecklingen, spridningen och användandet av nya tekniker behöver den emellertid kompletteras med en systematisk analys av en uppsättning centrala innovations- och spridningsrelaterade processer – ”funktioner” – som har identifierats genom litteraturstudier och genom att tillämpa ramverket i en stor mängd fall (se t.ex. Bergek m.fl., 2008b). Att bedöma funktionernas styrka är en väsentlig del av innovationssystemanalysen eftersom funktionerna fokuserar vad som händer i systemet snarare än hur systemet är uppbyggt.

I denna rapport används sju funktioner för att analysera TIS (se tabell 2:2). Det bör noteras att dessa funktioner är sociala konstruktioner och att det därmed går att definiera dem på andra sätt, t.ex. genom att dela upp dem i underfunktioner eller aggregera dem ytterligare (se t.ex. Bergek m.fl., 2008c; Hekkert m.fl., 2007; Johnson och Jacobsson, 2001; Markard och Truffer, 2008). Den lista som används i denna rapport har (med undantag av den relativt nytillkomna funktionen *utveckling av socialt kapital* som diskuteras mer nedan) använts med framgång i en stor mängd tidigare analyser.

- 1 *Kunskapsutveckling och spridning* är den process genom vilken TIS:ets globala och lokala kunskapsbas breddas och fördjupas samt kunskap sprids och kombineras i systemet. Kunskapsbasen består förutom av vetenskaplig och teknisk kunskap även av kunskap relaterad till produktion, logistik och marknad och kan utvecklas på många olika sätt, t.ex. genom forskning och utveckling (FoU), imitation eller tillverkningsrelaterat lärande (lärande-/erfarenhetsfördelar). Analysen bör omfatta en kartläggning av utvecklingen inom kritiska kunskapsområden inom systemet i termer av såväl mängd som inriktning (t.ex. om utvecklingen konvergerar eller divergerar).
- 2 *Entreprenöriellt experimenterande* är den sociala och iterativa lärandeprocess som reducerar teknisk, marknadsrelaterad och politisk osäkerhet i systemet genom att aktörerna testar olika tekniska lösningar, applikationer, marknader, strategier och policys, t.ex. i pilot- eller demonstrationsskala, för att se vilka som fungerar och inte fungerar. Därigenom skapas även nya möjligheter. I analysen bör mängden sådana experiment över tid kartläggas, men även förändringar i inriktningen på experimenten är viktig att fånga in.
- 3 *Resursmobilisering* är den process genom vilken systemets aktörer bygger upp en resursbas i form av finansiellt kapital, humankapital och fysiska resurser (t.ex. infrastruktur och kompletterande produkter) från olika källor, t.ex. genom att tillhandahålla sådd- och riskkapital, erbjuda utbildning och

⁵ Detta avsnitt bygger framförallt på Bergek m.fl. (2008b). Funktionen ”utveckling av socialt kapital” har adderats baserat på andra källor (se referenser i texten). I originalkällan finns även funktionen *utveckling av positiva externa effekter*. Den framträder framförallt i senare utvecklingsfaser och överlappar till viss del med övriga funktioner och har därför utelämnats här.

träning och bygga upp produktionsanläggningar. Här bör man kartlägga hur det tillgängliga finansiella kapitalet för investeringar i olika led av värdekedjan utvecklas över tid, t.ex. FoU-medel, kapital till uppskalning av produktionsanläggningar samt finansieringslösningar för slutkundernas investeringar. Man bör även kartlägga utvecklingen av det tillgängliga humankapitalet, d.v.s. antalet personer med relevant utbildningsbakgrund i olika led av värdekedjan i relation till det upplevda behovet inom området, och de utbildningar etc. som finns som på sikt kan öka detta kapital. Slutligen bör man kartlägga vilket behov som finns av produktionsanläggningar, infrastruktur och kompletterande produkter, i vilken utsträckning behoven är uppfyllda i systemet och vilka aktiviteter som pågår eller planeras för att utveckla de fysiska resurserna ytterligare.

- 4 *Utveckling av socialt kapital* är den process genom vilken sociala relationer, t.ex. tillit, beroende, ömsesidigt erkännande, auktoritet, delade normer och en känsla av samhörighet inom systemet skapas och upprätthålls (Perez Vico, 2014). Funktionen har lagts till som ett första försök att fånga in en av de processer som leder till ökad grad av strukturering av systemet (se ovan). Socialt kapital underlättar nätverksbyggande, kunskapsspridning och kollektivt agerande och är samtidigt ett resultat av dessa (Perez Vico, 2014). Analysen omfattar en kartläggning av utvecklingen av aktörers ömsesidiga förtroende för varandra, av deras förståelse för varandras kulturer och målsättningar samt av gemensamma normer och föreställningar.
- 5 *Legitimering* är den process genom vilken social acceptans skapas för systemets tekniker, aktörer och institutioner bland relevanta intressenter. Det kan ske genom att systemet fogar sig efter externa institutionella påtryckningar (t.ex. genom att följa en befintlig standard), genom att existerande institutioner anpassas efter systemet eller genom att nya institutioner (t.ex. tekniskspecifika regleringar) utvecklas. Analysen bör omfatta dels en bedömning av den generella inställningen till teknikområdet och systemets aktörer i olika intressenters ögon och anpassningen mellan TIS:et och befintliga lagar och regelverk, dels en kartläggning av de aktiviteter och processer som påverkar inställningen och anpassningen över tid.
- 6 *Vägledning av aktörernas sökprocesser* är den process som formar aktörernas beslut om hur de ska använda sina resurser, d.v.s. vilka TIS de ska delta i och vilka riktningar de ska följa inom respektive TIS. Den byggs upp genom interna och externa drivkrafter och påtryckningar, t.ex. förändringar i förväntningar på tillväxtpotential, aktörernas syn på vilken slags kunskap, vilka teknikspår och vilka strategier som är relevanta, artikulering av efterfrågan, uppkomst av tekniska flaskhalsar, förändringar i lagar och regler samt utvecklingen i andra TIS (t.ex. kriser). För denna funktion handlar analysen först om att kartlägga hur drivkrafter och incitament för olika aktörer att etablera sig i teknikområdet utvecklas över tid. Analysen bör också identifiera faktorer som påverkar de val aktörerna gör med avseende på t.ex. olika tekniska lösningar, applikationer, marknadssegment och konkurrensstrategier.

- 7 *Marknadsformering* är den process genom vilken marknader växer fram och formas för systemets varor och tjänster, d.v.s. som driver teknikspridningen. Analysen av denna funktion bör omfatta dels en kartläggning av marknadsutveckling i termer av sålda enheter eller dylikt, dels ev. förändringar i fördelningen mellan olika marknadssegment, dels drivkrafterna bakom marknadsutvecklingen (t.ex. artikulering av efterfrågan från olika slags potentiella köpare, förändringar i teknikens relativa pris/prestanda eller institutionella förändringar som stimulerar efterfrågan).

För var och en av funktionerna samlas alltså information in om vad och hur mycket som pågår i systemet. Detta ”funktionella mönster” skapar förståelse för systemets dynamik och ger en första bild av vilka funktioner som är svaga och därmed viss vägledning till politiska beslutsfattare om vad som kan behövas för att stötta systemets vidare utveckling (Bergek m.fl., 2010). I samband med att funktionernas styrka bedöms bör man även identifiera orsakerna till att de är svaga respektive starka, d.v.s. de faktorer som driver på respektive hindrar respektive funktion. Detta arbete kan sedan ligga till grund för en identifiering av systemsvagheter, som dock kräver ytterligare analyser (se nästa avsnitt). I princip kan man börja analysen med vilken funktion som helst – det är inte så att det finns en viss, generell ordning eller logik som måste följas. När man har skapat sig en förståelse för det funktionella mönstret och fått en bild av hur funktionerna påverkar varandra kan det dock ibland vara bra att strukturera funktionerna på ett sätt som illustrerar logiken i det specifika fallet.

Tabell 2:2. Funktioner (nyckelprocesser) i ett teknologiskt innovationssystem

Funktion	Definition
 Kunskapsutveckling och spridning	är den process genom vilken kunskapsbasen breddas och fördjupas samt kunskap sprids och kombineras i systemet.
 Entreprenöriellt experimenterande	är den iterativa och sociala lärandeprocess genom vilken osäkerhet reduceras i systemet.
 Resursmobilisering	är den process genom vilken aktörer i systemet bygger upp en resursbas genom att samla ihop och bygga upp finansiellt kapital, humankapital och fysiska resurser (t.ex. infrastruktur).
 Utveckling av socialt kapital	är den process genom vilken sociala relationer skapas och upprätthålls.
 Legitimering	är den process genom vilken social acceptans skapas för systemets tekniker, aktörer och institutioner bland relevanta intressenter.
 Vägledning av aktörernas sökprocesser	är den process som formar aktörernas beslut om hur de ska använda sina resurser, d.v.s. vilka TIS de ska delta i och vilka riktningar de ska följa inom respektive TIS.
 Marknadsformering	är den process genom vilken marknader växer fram och formas för systemets produkter (varor och tjänster).

Källa: Bergek m.fl. (2008a; 2008b) med komplement från Perez Vico (2014).

Det funktionella ”mönstret” säger inte i sig om innovationssystemet fungerar bra eller dåligt. Att en viss funktion är svag behöver inte vara ett problem och att en annan är stark behöver inte i sig vara en avgörande tillgång för systemet. För att kunna bedöma hur väl systemet fungerar behövs därför ett mått på systemets funktionalitet.

Hittills har två huvudsakliga sätt att bedöma funktionalitet identifierats. Det första sättet är att jämföra det fokala TIS:et med andra TIS, företrädesvis sådana som är definierade med utgångspunkt i samma teknik- eller produktbas, t.ex. i andra länder. Fördelen med detta sätt är att det tar hänsyn till att innovationsprocesser till stor del är teknik- och produktspecifika, men samtidigt är analysen beroende av att de TIS man jämför med verkligen är lämpliga som jämförelseobjekt. Bland annat måste man ha god kännedom om det andra systemets utvecklingsnivå och hur det har kommit att uppnå denna nivå. Det andra sättet är att utgå från en mer generell bild av vilken funktionalitet som krävs för att en teknik ska utvecklas och spridas, beroende på vilken utvecklingsfas den är i (jfr Bergek och Jacobsson, 2003). Tidigare forskning har visat att det i konceptutvecklings-, demonstrations- och nischmarknadsfaserna är viktigt inte bara med kunskapsutveckling och spridning utan också med entreprenöriellt experimenterande, bred vägledning av aktörernas sökprocesser, legitimering samt formering av nischmarknader. I den kommersiella tillväxtfasen måste fokus skifta till storskalig spridning, expansion och kostnadsreduktion, vilket bl.a. kräver formering av massmarknader och resursmobilisering i stor skala. Frågan för analysen är om det befintliga funktionella mönstret motsvarar den fas som innovationssystemet befinner sig i eller, i förekommande fall, den fas man har som mål att systemet ska röra sig mot. Fördelen med denna metod är att den ger en mer generell kravspecifikation som TIS:ets funktionella mönster kan jämföras med, men det kan vara svårt att avgöra vilken fas systemet befinner sig i och metoden tar heller inte hänsyn till eventuella skillnader i utvecklingsförlopp mellan olika tekniker. I denna rapport tas ytterligare ett steg genom att systemens funktionalitet bedöms i relation till en målsättning för systemets utveckling fram till en specifik tidpunkt (se avsnitt 2.1.3).

Med utgångspunkt i en eller flera av dessa analyser kan man dra slutsatser om hur väl det TIS som står i fokus för analysen fungerar. Det handlar inte om en kvantitativ och absolut bedömning utan om en kvalitativ bedömning av funktionaliteten i förhållande till vad som är rimligt att förvänta sig med tanke på systemets utvecklingsfas och i jämförelse med andra system samt till vad analytikerns målsättning för systemet är. I denna rapport används en tregradig skala:

- Svag – funktionen är långt ifrån så stark som krävs för att nå målet
- Medel – funktionen på god väg att bli tillräckligt stark för att målet ska kunna nås
- Stark – funktionen är tillräckligt stark för att målet ska kunna nås (men därmed inte nödvändigtvis stark i absolut bemärkelse)

Funktioner som är omotiverat svaga i förhållande till vad som kan förväntas eller vad som krävs för att uppnå uppsatta mål kan användas som en fokuseringsmekanism för dem som vill påverka TIS:et i en positiv riktning. Den största nyttan med TIS-ramverket från ett policyperspektiv är just att identifiera och förklara dessa brister i funktionalitet.

2.1.5 Identifiering av systemsvagheter

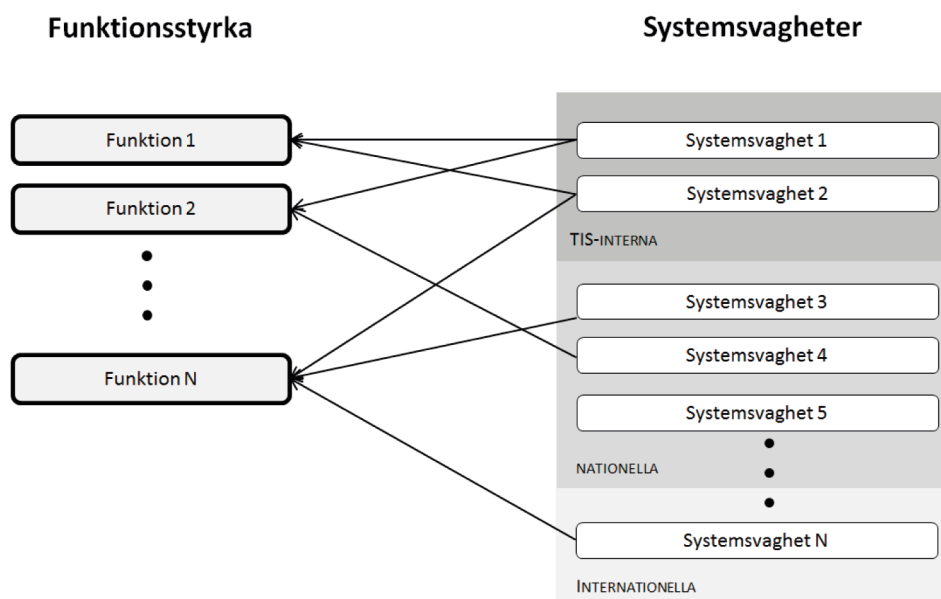
Att förklara brister i funktionalitet kräver dock att man identifierar orsakerna till att funktionerna är starka respektive svaga. I tidigare litteratur har de positiva orsakerna oftast kallats ”drivkrafter” medan de negativa orsakerna omväxlande har kallats ”blockeringsmekanismer” och ”systemsvagheter”. I denna rapport används begreppet systemsvagheter. Det ska dock inte tolkas som att svagheter måste vara systeminterna, utan de innefattar alla slags faktorer och processer som påverkar funktionerna negativt – oavsett om de härrör från det fokala TIS:et eller har sitt ursprung i systemets omgivning.

I denna rapport görs en åtskillnad mellan tre olika slags systemsvagheter:

- *TIS-interna systemsvagheter* härrör från systemets struktur. Det kan t.ex. handla om att det finns för få företag eller att de som finns inte gör tillräckligt med investeringar för att stärka *resursmobiliseringen*. Lärandenätverken kan vara för svaga för att *kunskapsutveckling och spridning* ska kunna ske eller så starka att de *vägleder aktörernas sökprocesser* i en och samma riktning, vilket hämmar det *entreprenöriella experimenterandet*. De politiska nätverken kan vara för svaga för att kunna bidra till *legitimering*. Institutionella svagheter i form av t.ex. brist på ekonomiska incitament kan bland annat påverka *vägledningen av aktörernas sökprocesser* och *marknadsformering*.
- *Nationella (TIS-externa) systemsvagheter* har sitt ursprung utanför det fokala TIS:et, men inom Sveriges gränser. Det kan handla om inverkan från andra TIS i samma sektor, från andra sektorer eller från övergripande, institutionella strukturer på nationell nivå (t.ex. det finansiella systemet eller utbildningssystemet).
- *Internationella (TIS-externa) systemsvagheter* har sitt ursprung utanför Sveriges gränser. Det kan röra sig om många olika slags påverkan från många olika källor, t.ex. saker som händer i samma teknikområde i andra länder eller andra internationella händelser och skeenden (t.ex. Tjernobylolyckan och oljekriserna under 1970-talet som båda påverkade den svenska energipolitiska debatten).

När alla funktioner är analyserade med avseende på interna och externa drivkrafter och systemsvagheter sammanställer man dem och ser om det är möjligt och lämpligt att aggregera dem till ett fåtal, mer övergripande, påverkande faktorer. Ofta illustreras kopplingen mellan funktioner och systemsvagheter med någon form av figur (se figur 2:5, som är den illustration som används genomgående i denna rapport).

Genom att kombinera kunskapen om det funktionella mönstret, systemets funktionalitet samt drivkrafter och systemsvagheter kan man sedan föreslå möjliga åtgärder för att förbättra systemets funktionalitet.



Figur 2.5. Exempel på illustration av kopplingen mellan funktioner och systemsvagheter

2.1.6 Identifiering av åtgärder

Med utgångspunkt i identifieringen av systemsvagheter kan olika aktörer i TIS:et identifiera och utveckla åtgärder som syftar till att försvaga eller ta bort faktorer som påverkar systemets funktionalitet på ett negativt sätt alternativt åtgärder som syftar till att stärka svaga funktioner. Eftersom funktionerna är komplexa processer krävs ofta komplexa och systemorienterade åtgärder.

Åtgärderna behöver inte vara kopplade till politiska styrmedel. I många fall kan andra aktörer än statliga myndigheter göra saker för att hantera systemsvagheter. Till exempel kan företag tillsammans stärka *legitimering* eller *kunskapsutveckling och spridning*. Det innebär att det inte alltid är nödvändigt med statliga insatser bara för att det finns systemsvagheter i ett TIS. I andra fall ligger emellertid systemsvagheter utanför de privata aktörernas räckvidd och det kan då behövas offentliga åtgärder. Frågan om under vilka förutsättningar det kan vara motiverat med en statlig intervention i systemets funktionalitet och vilka typer av åtgärder som då kan krävas diskuteras vidare i kapitel 9.

2.2 Metod – generella frågor och metodval i projektet

2.2.1 Systemdefinition och systemavgränsning

Grunderna för att definiera ett TIS och göra lämpliga systemavgränsningar diskuterades i avsnitt 2.1.1. Analytikern måste i första hand definiera vilken teknik som ska analyseras och därefter göra en socioteknisk avgränsning av systemet, d.v.s. avgöra hur mycket av värdekedjan och andra relevanta aktörsstrukturer som ska inkluderas. I första hand ska detta avgöras med utgångspunkt i syftet med analysen. I avsnitt 8.3.1 förs en vidare diskussion om utmaningar för analytikern med avseende på systemavgränsningar.

I de analyser som presenteras i denna rapport används olika systemdefinitioner och sociotekniska systemavgränsningar (se tabell 2:3). Med avseende på TIS-definitionen finns exempel på definitioner som utgår från en eller flera tekniker inom ett visst applikationsområde (t.ex. marin energi), en viss produkt eller tekniskt system (solceller och elektrifierade tunga fordon), olika plattformstekniker för att konvertera en viss råvara till olika slutprodukter (avancerade bioraffinaderier) samt en viss produktionsteknik (havsbaserad vindkraft). Man har även använt sig av något olika principer för att avgränsa respektive system, vilket till viss del, men inte helt, hänger ihop med den systemdefinition man har valt. Till exempel inkluderar både solceller och havsbaserad vindkraft i princip hela värdekedjan i analysen, trots att de har olika slags systemdefinitioner.

För att illustrera hur en systemavgränsning kan se ut mer i detalj används här fallet solceller. Systemet definieras med utgångspunkt i ett visst tekniskt system: solcellssystem (d.v.s. ett system som konverterar solljus till elektrisk energi i en halvledare). Den sociotekniska avgränsningen utgår från i vilken utsträckning komponenter både starkt påverkar och påverkas av förekomsten av produktion och användning av sådana system. Uppströms i värdekedjan (eller snarare värdekedjorna) avgränsas systemet när maskinerna som tillverkar maskiner inte längre är speciellt designade för solceller. Nedströms avgränsas systemet vid marknaden för solceller.

Utöver den sociotekniska avgränsningen kan det, som nämndes ovan, vara motiverat att göra en geografisk avgränsning. Alla de TIS som analyseras i denna rapport är geografiskt avgränsade till Sverige.

Tabell 2:3. Systemdefinitioner och sociotekniska systemavgränsningar i de fem fallen.

Område	Systemdefinition	Socioteknisk avgränsning
Havsbaserad vindkraft	El från havsbaserade vindkraftverk, d.v.s. genererad i vindkraftverk som placeras i havet eller i större sjöar på fasta eller flytande fundament.	Hela värdekedjan för att leverera havsvind, från komponent-tillverkare till kraftbolag.
Marin energi	Tekniker inom våg-, tidvatten- och strömkraft.	Ett steg bakåt och framåt i värdekedjan från utvecklarerna av våg-, tidvatten- och strömkraft, d.v.s. från underleverantörer till energibolag, samt kunskapsutvecklare och offentliga aktörer och intresseorganisationer med relevanta aktiviteter som lämnat avtryck inom området eller i betydande grad påverkas (eller kan tänkas komma att påverkas) av områdets utveckling.
Solceller	Solcellssystem (d.v.s. system som konverterar solljus till elektrisk energi i en halvledare).	Systemkomponenter som både starkt påverkar och påverkas starkt av existensen av produktion och användning av solcellssystem, d.v.s. från tillverkare av maskiner som är specialdesignade för solceller till marknaden för solceller.
Elektrifierade tunga fordon	Tunga bussar och lastbilar vars framdrivning helt eller delvis sker med el (hybrider, laddhybrider och fullelektriska fordon) och samt kompletterande tekniker (laddstationer). Ytterligare avgränsning till viss applikation (stadsmiljö)	Framför allt tonvikt på slutprodukter (fordon och laddstationer). Aktörer och nätverk som är inblandade i utveckling, tillverkning, test/utvärdering, inköp och användning av dessa.
Avancerade bioraffinaderier	Plattformsteknologier för termisk, bioteknisk och kemisk konvertering av skogsråvara till drivmedel och kemikalier.	Systembyggande allianser som agerar för att förverkliga värdekedjor kring teknikspår inom de olika plattformsteknologierna

2.2.2 Data, indikatorer och källor för strukturell analys

För att kartlägga systemets struktur kan ett antal olika typer av data och indikatorer användas. I många fall är intervjuer en viktig källa, men de bör i möjligaste mån kompletteras med sekundära datakällor som kan ge en mer komplett överblick över systemets struktur.

- *Teknikens* utveckling och status kan t.ex. kartläggas genom bibliometrisk analys och patentanalys (som kan identifiera olika kunskaps- och produktspår samt ge en indikation på aktiviteten inom området) samt med hjälp av prestanda- och kostnadsdata. Även data över spridningen av produkter och produktionsanläggningar ger en indikation på hur väl utvecklad tekniken är.
- *Aktörer* kan t.ex. identifieras via branschpress, kataloger och teknikmässor, bibliometrisk analys (författare) och patentanalys (uppfinnare och ägare av patent), marknadsdata (marknadsandelar och försäljningssiffror för olika aktörer). Branschorganisationer har ofta en god överblick såväl över vilka

som deltar i teknikutvecklingen som vilka aktörer som finns på efterfrågesidan (t.ex. konsult- och projekteringsbolag och installatörer). Även statliga myndigheter kan i vissa fall ha information om vilka aktörer som finns i ett TIS, t.ex. vilka som har erhållit FoU- eller marknadsstöd.

- *Nätverk* kan vara svåra att identifiera. Mer formaliserade lärandenätverk kan hittas i databaser över FoU-samarbeten och i företags årsredovisningar. Myndigheter som finansierar forskning kan ha uppgifter om FoU-konsortier etc. Det går även att studera sampublicering och sampatentering för att få en indikation på vilka aktörer som har nära relationer till varandra. Inom nätverksforskningen finns specifika metoder för att mäta interaktion i nätverk som också kan vara av intresse. Politiska nätverk kan identifieras via branschorganisationers medlemsregister samt möjligen via debattartiklar.
- Formella *institutioner*, t.ex. lagar och regler, är ofta relativt lätta att hitta i den mån analytikern har tillgång till nationella lagstiftningsdatabaser etc. Teknik- och produktstandards är även de oftast väldokumenterade och kan identifieras via branschorganisationer. Informella institutioner som normer och värderingar är svårare att kartlägga via sekundära källor. I vissa fall finns det forskning om människors attityder till vissa tekniker (t.ex. används i denna rapport en studie av SOM-institutet av svenska folkets inställning till olika energikällor (se Hedberg och Holmberg, 2014). Det går även att göra medianalyser av olika slag, t.ex. analyser av artiklar och inlägg i dagspressen om en teknik från allmänheten eller specifika grupper i samhället. Inom vissa teknikområden finns tillståndsprocesser, där dokumentation av samrådsprocesser och överklaganden kan innehålla relevant information.

I tabell 2:4 sammanfattas de huvudsakliga datakällor som har använts i de analyser som presenteras i denna rapport. Intervjuer har varit en viktig datakälla i alla de fem fallen. Mängden använd sekundär information varierar dock mellan de olika teknikområdena, framförallt beroende på tillgång. I solcellsfallet var t.ex. vissa aktörskartläggningar redan gjorda (bland annat av författarna själva) och det fanns tillgänglig information om installationstakten på de svenska och globala marknaderna, medan det i fallet marin energi saknades såväl information om svenska aktörer som tillförliga marknadsdata. I flera av fallen har patentdata använts för att kartlägga tekniken eller aktörerna. En utmaning med patentdata är att det kan vara svårt att identifiera de patent som är relevanta för ett visst teknikområde. Här har flera författare dragit nytta av det arbete som nyligen har utförts inom initiativet Cooperative Patent Classification med att ”tagga” patent som syftar till att motverka klimatförändringar, vilket innebär att det går att identifiera patent som anses vara relevanta för t.ex. vindkraft, solceller och olika slags marin energi oavsett vilka patentklasser de tillhör. I solcellsfallet prövades även en annan metod för patentanalys. Där gjordes två vidgade sökningar för att fånga in bredare kunskapsområden med relevans för tekniken och Sveriges möjlighet att bygga industri inom området. Utifrån en grupp kärnpatent inom solcellsområdet identifierades ett antal patentklasser. Därefter bedömdes Sveriges relativa styrka inom

dessa klasser. Samma kärnpatent användes i en andra undersökning för att göra en datorbaserad textanalys och sedan identifiera en större grupp patent med likartat språkbruk och begreppsanvändning. Även i detta fall gjordes en bedömning av Sveriges relativa styrka. Idén är att sådana metoder ska kunna användas för att bedöma latent industriell förmåga inom ett nytt område.

Tabell 2:4. Datakällor.

Område	Teknik	Aktörer och nätverk	Institutioner
Havsbaserad vindkraft	Intervjuer Patentanalys Egna potentialberäkningar Sekundärdata (rapporter, artiklar)	Intervjuer Sekundärdata (befintliga databaser)	Intervjuer Analys av debattartiklar Attitydundersökningar (andras) Sekundärdata (rapporter, artiklar)
Marin energi	Intervjuer Patentanalys Sekundärdata (potential-uppskattningar)	Intervjuer Patentanalys Mediaanalys Forskningsfinansiärers projektdatabaser	Mediaanalys Analyser av motioner och propositioner
Solceller	Patentanalys och bibliometrisk analys Mentometerundersökning med systemaktörer Sekundärdata (marknadsdata)	Intervjuer Sekundärdata (tidigare kartläggningar)	Intervjuer Attitydundersökningar (andras) Utredningar, lagförslag m.m. Mentometerundersökning med systemaktörer
Elektrofierade tunga fordon	Intervjuer Sekundärdata (rapporter m.m.)	Intervjuer Sekundärdata (rapporter m.m.)	Intervjuer Sekundärdata (rapporter m.m.)
Avancerade bioraffinaderier	Intervjuer Sekundärdata (rapporter, utredningar, offentlig marknads- och forskningsstatistik)	Intervjuer Sekundärdata (rapporter, utredningar och forskningsstatistik)	Intervjuer Attitydundersökningar (andras)

2.2.3 Målsättning

Som nämndes i avsnitt 2.1.4 utgör målsättningen för systemet ett viktigt steg i analysen, eftersom det är i relation till den som systemets funktionalitet ska bedömas. Att sätta upp teknikpolitiska utvecklingsmål för specifika teknikområden är i princip en uppgift för den demokratiska processen. Om det finns offentligt satta och förankrade mål är det därför en stor fördel att använda sig av dem. Om sådana mål saknas måste dock analytikern formulera mål som är tillräckligt ambitiösa för att det ska vara intressant och meningsfullt att genomföra analysen och samtidigt realistiska – för mål som är mycket enkla att nå behövs ingen djupare analys och för mål som är helt orealistiska blir det realpolitiska värdet av en analys mycket lågt.⁶

⁶ Det bör påpekas att ordet ”realistiskt” är försätligt och innehåller många dimensioner, från rent fysiska begränsningar som människan inte kan påverka, till hinder som endast har att göra med vår nuvarande föreställningsvärld eller rådande tekno-ekonomiska förutsättningar.

De mål som har satts upp i de olika fall som analyseras i denna rapport finns sammanfattade i tabell 2:5. Där framgår att målsättningarna omfattar olika kombinationer av industrialiserings- och spridningsmål. I den mån det har varit möjligt har målen formulerats utifrån existerande spridning och industrimål. För flertalet av de teknikområden som analyseras i denna rapport finns emellertid inga offentliga målsättningar tillgängliga. Analytikerna har därför fått diskutera sig fram till målsättningar med utgångspunkt i övergripande visioner (t.ex. visionen om en fossilfri fordonsflotta) eller den utvecklingsfas som området bedömts befinna sig i nuläget (konceptutvecklingsfas, demonstrationsfas, nischmarknadsfas, kommersiell tillväxtfas eller mognadsfas) och vad som kan anses vara realistiskt att uppnå till år 2030. Målen är därmed inte politiskt förankrade, utan har satts i ett analytiskt syfte, vilket är viktigt att betona eftersom bedömningen av TIS:ens funktionalitet görs med utgångspunkt i de uppsatta målen.

Tabell 2:5. Målsättningar för de fem TIS:en till år 2030.

Område	Spridningsmål	Industrialiseringsmål	Målsättning i fastermer
Havsbaserad vindkraft	30 TWh el från havsbaserad vindkraft produceras varje år.	Väsentligt ökad närvaro av svenska företag i industrin	Från sen demonstrationsfas till kommersiell tillväxtfas.
Marin energi		Svenska produkter finns installerade utomlands i en betydande grad	Från tidig demonstrationsfas till kommersiell tillväxtfas.
Solceller	Den installerade effekten uppgår till 1 GW per år 2030.	6–10 miljarder SEK/år genereras i värdekedjans övre delar	Från nischmarknadsfas till kommersiell tillväxtfas
Elektrifierade tunga fordon	83 % av de svenska stadsbussarnas och distributionslastbilarnas trafikarbete sker med eldrift	Svensk industri ska vara världsledande	Från demonstrationsfas till kommersiell tillväxtfas
Avancerade bioraffinaderier	Investeringar på 30–60 miljarder har genomförts i Sverige för att bygga 8–12 anläggningar i kommersiell skala. 20 TWh drivmedel och kemikalier produceras årligen i anläggningarna	Samma som spridningsmål	Från sen demonstrationsfas till kommersiell tillväxtfas

2.2.4 Data, indikatorer och källor för funktionell analys

För att kartlägga och bedöma funktionerna är intervjuer med nyckelaktörer i systemet och dess kontext ofta den mest centrala informationskällan.

Som komplement till intervjuerna kan olika slags sekundära data och indikatorer användas. Till viss del används samma typer av indikatorer och datakällor som i den strukturella analysen, men för varje funktion finns specifika aspekter att täcka in, vilket innebär att man behöver använda olika slags data och indikatorer för olika funktioner (se tabell 2:6 för en sammanställning). De aspekter som tas upp nedan kan även användas som vägledning för vilka ämnen som kan vara relevanta att ta upp under en intervju, även om fokus här ligger på andra datakällor.

- *Kunskapsutveckling och spridning.* Här vill man kartlägga utvecklingen inom kritiska kunskapsområden inom systemet. Mängden och inriktningen på statligt finansierade forskningsprojekt kan visa på den övergripande utvecklingen av kunskap inom området. Teknisk och naturvetenskaplig kunskap är ofta relativt lätt att kartlägga med hjälp av t.ex. analys av patent eller publicerade artiklar i relevanta tidskrifter. Även en analys av tekniskens/produktens prestandautveckling ger en indikation på kunskapsutvecklingen inom området. Utveckling av andra kunskapstyper är svårare att kartlägga, t.ex. kunskap om tillämpningar, marknader och affärsutveckling, produktions- och logistikkunskap m.m. Här finns sällan kvantitativa indikatorer att tillgå, utan kartläggningen får framförallt baseras på kvalitativa data från t.ex. intervjuer och branschpress. I vissa fall kan dock indirekta indikatorer användas. Till exempel kan ackumulerad produktionsvolym ge en indikation på om produktionskunskap har byggts upp i systemet.
- *Entreprenöriellt experimenterande.* Direkta indikatorer på denna funktion är t.ex. data om pilot- och demonstrationsanläggningar inom området samt bredd i patentering, produktlansering och affärsmodeller inom området. Det senare kan mätas genom olika kvantitativa diversifieringsmått (t.ex. entropimått). Det går också att använda indirekta indikatorer. Ett exempel är aktörernas bakgrund. Varifrån har företag och andra aktörer diversifierat in i området och varifrån kommer grundarna av nystartade företag och organisationer? Även här är bredden på kompetenser en väsentlig aspekt.
- *Resursmobilisering.* En indikator på mängden tillgängligt finansiellt kapital är statistik över investeringar i olika led av värdekedjan. Det går även att genom intervjuer undersöka hur lätt det är för aktörerna att få tillgång till det kapital som krävs, via det generella finansiella systemet eller mer tekniskspecifika finansieringskällor (t.ex. FoU-stöd). Mängden tillgängligt humankapital kan mätas genom utbildnings- och arbetsmarknadsstatistik, som dock behöver sättas i relation till vilken kompetens som behövs i TIS:et (typ och mängd). Mobiliseringen av fysiska resurser är ofta relativt synlig, särskilt när det rör sig om infrastruktursatsningar där det tenderar att finnas officiell statistik över såväl nuvarande investeringstakt och framtidsplaner. Investeringar i produktionsanläggningar och kompletterande tekniker, produkter och system är dock mindre synliga och att kartlägga mobiliseringen av dem kräver ofta intervjuer med de företag som tillhandahåller och använder dem.

- *Utveckling av socialt kapital.* Funktionen inkluderar mjuka aspekter som är svåra att fånga i kvantitativ data och därför krävs i normalfallet kvalitativa studier. I första hand handlar det om intervjuer som berör vilka aktörer som har förtroende och ömsesidig förståelse för varandra och varför, samt hur detta påverkar utvecklingen av värdekedjor, lärandet och möjligheten för TIS:et att få momentum och politiskt gehör. Underlag kan även fångas genom observationer under branschkonferenser, möten och andra typer av sammanhang där TIS:ets olika aktörer interagerar. Även uttalanden i media och i strategiska dokument kan ge underlag.
- *Legitimering.* Analysen ska framförallt fokusera på att identifiera de skeenden, aktiviteter etc. som leder till ökad/minskad legitimitet över tiden. Det går att kartlägga positiv och negativ opinion via mediaanalyser (t.ex. via analyser av artiklar i dagspressen) eller genom att använda ev. longitudinella studier av förändringar i attityder till en viss teknik. I fall där det krävs tillstånd kan utvecklingen i antalet överklaganden och tid mellan ansökan och tillstånd ge en indikation på legitimering. Analyser av remissvar på offentliga utredningar och propositioner samt motioner till riksdagen kan ge information om olika ståndpunkter och argument i debatten kring en ny teknik. Även olika förändringar av tekniken som görs för anpassa den till befintliga institutioner (t.ex. standarder och kundpreferenser) kan användas som en indikator på legitimering.
- *Vägledning av aktörernas sökprocesser* Det krävs vanligen intervjuer för att förstå varför de aktörer som finns inom området har valt att gå in där och varför andra aktörer – särskilt sådana som borde kunna vara intresserade – inte har gjort det. Uppskattningar av framtida tillväxtmöjligheter och offentliga målsättningar kan dock ge en mer kvantitativ indikation på olika aktörers bild av områdets potential. För att förstå aktörernas val inom teknikområdet är det också framförallt kvalitativa data som behövs. Om det finns flera alternativa lösningar: vem förespråkar vilket alternativ och varför? Om det bara finns en dominant lösning: hur kommer det sig? Finns det tekniska (eller andra) flaskhalsar som leder utvecklingen i en viss riktning?
- *Marknadsformering.* Ofta finns det marknadsdata att tillgå för nya teknikområde, t.ex. via branschorganisationer eller konsultbolag. De visar dock bara på mängden sålda eller installerade enheter och säger inte mycket om drivkrafterna bakom marknadsformeringen. För att förstå den behövs djupare analyser av t.ex. köparnas preferenser i olika segment av marknaden, teknikens pris- och prestandautveckling i förhållande till dem samt systemaktörernas marknadsskapande aktiviteter.

Tabell 2:6. Exempel på indikatorer, data och datakällor för att bedöma funktionernas styrka.

	Funktion	Exempel på indikatorer/data/datakällor
	Kunskapsutveckling och spridning	• Bibliometri (utveckling över tiden, områden, citeringsmönster) • Patentanalys (utveckling över tiden, områden, citeringsmönster) • Utbildningsdata för involverade företag
	Entreprenöriellt experimenterande	• Data om pilot- och demonstrationsanläggningar • Bredd i patentering, produktansättning och affärsmodeller (entropimått) • Bredd i aktörernas bakgrund
	Resursmobilisering	• Statistik över investeringar i olika led av värdekedjan • Mängden tillgänglig offentlig finansiering • Utbildnings- och arbetsmarknadsstatistik • Officiell statistik över infrastrukturinvesteringar • Statistik över investeringar i produktionsanläggningar och kompletterande tekniker
	Utveckling av socialt kapital	• Intervjuer • Observationer av interaktion mellan aktörer • Uttalanden i media och i strategiska dokument
	Legitimering	• Mediaanalys • Analyser av remissvar och motioner • Studier av attitydförändringar • Studier av tillståndprocesser • Förändringar i tekniken (t.ex. anpassningar till befintliga standarder)
	Vägledning av aktörernas sökprocesser	• Intervjuer • Uppskattningar av framtida tillväxtmöjligheter • Offentliga målsättningar • Identifiering av tekniska flaskhalsar
	Marknadsformering	• Marknadsstatistik • Studier av köparnas preferenser • Data över teknikens pris- och prestandautveckling • Karläggning av aktörernas marknadsskapande aktiviteter

I analyserna som presenteras i denna rapport är intervjuer den huvudsakliga informationskällan. Detta gäller i synnerhet funktionen *utveckling av socialt kapital*, som i likhet med vad som sades ovan är svår att bedöma på andra sätt. För övriga funktioner kompletteras intervjuerna i de flesta fall av olika indikatorer och data, beroende på tillgänglighet och relevans (se tabell 2:7). Några indikatorer är gemensamma för flera fall:⁷

- *Kunskapsutveckling och spridning*: existensen av starka forskningsmiljöer (havsbaserad vindkraft och marin energi), patentering (havsbaserad vindkraft och solceller) och existensen av fungerande teknikkoncept och produkter (marin energi och elektrifierade tunga fordon).
- *Entreprenöriellt experimenterande*: information om genomförda tester och experiment (marin energi och avancerade bioraffinaderier), indikatorer på bredden i experimenten (t.ex. patentering (havsbaserad vindkraft) och variation med avseende på tekniska konfigurationer (elektrifierade tunga fordon)) samt tillgång till infrastruktur för experiment (marin energi och avancerade bioraffinaderier).
- *Resursmobilisering*: data om tillgängligt kapital, bl.a. offentlig FoU-finansiering (marin energi, elektrifierade tunga fordon och avancerade bioraffinaderier).
- *Legitimering*: analyser av olika slags debattinlägg i tidningar, propositioner och motioner (havsbaserad vindkraft, marin energi och elektrifierade tunga fordon) samt attitydundersökningar utförda av andra (havsbaserad vindkraft, solceller och avancerade bioraffinaderier).
- *Marknadsformering*: data som beskriver befintlig eller förväntad marknadsutveckling, t.ex. installerad effekt (havsbaserad vindkraft och solceller), försäljning (elektrifierade tunga fordon) eller potentialberäkningar och order (marin energi och elektrifierade tunga fordon) samt uppgifter om teknikernas konkurrenskraft på marknaden med avseende på kostnader, prestanda och ersättningsnivåer (havsbaserad vindkraft, marin energi, solceller och elektrifierade tunga fordon).

Att väga samman och tolka en stor mängd kvalitativ och kvantitativ information från olika källor kan vara något av en utmaning. Data ger inte i sig tillräckligt med information för att bedöma en funktions styrka, utan det krävs att analytiken gör en tolkning. Här blir analytikens analytiska erfarenhet och områdeskunskap ofta avgörande – den ”tysta” kunskapen som byggs upp genom tidigare erfarenheter av teknikområdet och liknande analyser är ofta det som avgör den slutliga bedömningen av funktionerna. Det är dock lätt att bli hemmablind om man har arbetat med ett område länge och det kan därför vara bra att kombinera olika personer i en analysgrupp – både sådana som har lång erfarenhet och sådana som kan se på området med fräscha ögon.

⁷ Vid bedömningen av funktionerna *vägledning av aktörernas sökprocesser* och delar av funktionen *resursmobilisering* (mobilisering av humankapital och fysiska resurser) används inga gemensamma indikatorer.

Ett sätt att förankra analysen hos de aktörer som identifieras som systemaktörer är att genomföra workshops med olika nyckelaktörer som ombeds att bedöma styrkan i de olika funktionerna. Denna metod har använts i Nederländerna under några år och den prövades även inom ramen för analysen av fallet avancerade bioraffinaderier. Där samlade analytikerna 43 representanter från industrin, universitet och högskolor samt myndigheter som i grupper om 8–12 personer fick diskutera och betygsätta de olika funktionerna utifrån det mål som analytikerna hade satt upp för TIS-analysen. Deltagarna kunde därigenom resonera sig fram till styrkor och svagheter och fick samtidigt komma med förslag på vad de själva kunde göra för att förbättra systemets funktionalitet samt vad som ytterligare krävdes i form av politiska åtgärder. En utmaning var dock att de olika deltagarna tolkade funktionerna på något olika sätt, vilket gjorde att betygsättningen i sig inte blev särskilt robust. Diskussionen i grupperna gav dock värdefull information till analytikerna. Även i solcells-fallet gjordes ett försök att inhämta information kring funktionsstyrkor och väsentliga systemsvagheter från systemets aktörer. Under en session på Solforum som arrangerades av Energimyndigheten och som samlade aktörer med koppling till solceller och annan solenergiteknik från akademi, industri och myndigheter ställdes ett antal frågor kring solcellernas innovationssystem och vad som hindrar dess utveckling. Via mentometerknappar svarade mellan 82 och 88 personer av ett hundratal närvarande på ett tjugotal frågor. Undersökningen gjordes mot slutet av studien av solcellsområdet, vilket gjorde att frågorna kunde baseras på tidigare inhämtad kunskap och svaren kunde användas för att komplettera övrigt material samt kontrollera rimligheten i de bedömningar av funktionsstyrkor som redan hade gjorts.

Det är dock viktigt såväl vid denna typ av evenemang som vid intervjuer och studier av dokument etc. att analytikerna förhåller sig kritiska till den information som kommer fram. Olika aktörer kan ha olika agendor som de vill föra fram – både vid muntliga och skriftliga presentationer. Analytikerna bör därför i möjligaste mån använda sig av flera olika typer av data från olika datakällor för att kunna ifrågasätta information från specifika intressenter.

Tabell 2:7. Exempel på indikatorer och data som utöver intervjuer har använts som underlag till att bedöma funktionernas styrka i de empiriska analyserna.

	Havsbaserad vindkraft	Marin energi	Solceller	Elektrifierade tunga fordon	Avancerade bioraffinaderier
Kunskapsutveckling och spridning	Sekundärdata om svensk forskning. Patentdata Grad av anpassning av kunskapsbasen till svenska förhållanden	Sekundärdata om svensk forskning. Sekundärdata om generella kunskapsluckor. Existens av fungerande teknikkoncept	Vetenskapliga artiklar (web of science) Offentlig FoU-finansiering Patentdata Mentometerundersökning (syn på kunskapsläget)	Existens av fungerande produkter och etablerad produktion Antal aktörer som har erforderlig kunskap om tekniken	Workshop Offentlig FoU-finansiering Översikt av forskningsaktörer genom sekundärdata
Entreprenöriellt experimenterande	Planer för utveckling av nya parker Patentdata Insikter i enskilda företags strategier	Pågående utvecklings- och demonstrationsaktiviteter Existens av infrastruktur för forskning och demonstration.	Offentlig Utv.& Demo-finansiering Aktörsstatistik och hemsidor (företag) Statisk över global teknikbredd och fördelning Patentdata Mentometerundersökning	Variation när det gäller tekniska konfigurationer och produktapplikationer	Genomförda experiment Existens av infrastruktur för forskning och demonstration Workshop
Resursmobilisering	Sekundärdata om finansieringsbehov Utbildningsutbud Avsaknad av regelverk för koordinering av investeringar i parker och elnät	Offentlig FoU-finansiering Sekundärdata om privata aktörers inställning Sekundärdata om tillgång till relevant infrastruktur	Data över anläggningstyper – dvs typ av investerare och storlek på investering Offentlig FUD-investering Branschtidningar indikerar materiella resurser Mentometerundersökning	Offentlig FoU-finansiering Ackumulerad produktionsvolym	Offentlig FoU-finansiering Workshop
Utveckling av socialt kapital	<i>Enbart intervjuer.</i>	<i>Enbart intervjuer.</i>	Aktörsdata från diverse källor och medlemsregister	<i>Ej bedömd.</i>	Workshop
Legitimering	Befintliga attitydundersökningar. Analys av debattinlägg.	Omnämndanden i propositioner och motioner till Sveriges riksdag Sekundärdata avseende intressenters attityder	Attitydundersökningar från SOM-institutet och andra Analys av SOU:er och rapporter Mentometerundersökning	Uppskattning av den allmänna debatten om tekniken och dess framtid.	Workshop Tidigare (egna) studier Attitydundersökningar från SOM-institutet och andra

	Havsbaserad vindkraft	Marin energi	Solceller	Elektrifierade tunga fordon	Avancerade bioraffinaderier
Vägledning av aktörernas sökprocesser	Antal ansökningar och tillstånd Ekonomiska styrmedel i Sverige och EU	<i>Enbart intervjuer.</i>	Förändring av antalet aktörer i olika led Websidor som indikerar söktryck	Målsättningar. Kravställningar.	Workshop Tidigare studier av incitament Visionsdokument från kemiindustri Propositioner från Sveriges riksdag
Marknadsformering	Installerade effekt över tid Lönsamhetsberäkningar	Uppskattningar av produktionskostnader.	Statistik över installerad effekt över tid (i Sverige och världen) Prisutveckling i Sverige och världen och lärlkurvor Lönsamhetsberäkningar Potentialberäkningar SOU:er – osäkerhet kring institutioner Subventioner och certifikatstilldelning	Försäljningssiffror och prognoser. Relativ pris-/prestanda	Workshop Tidigare studier och utredningar Statistik över produktion i Sverige och i världen

2.3 Referenser

- Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., 2008a. Functions in innovation systems: A framework for analysing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers, in: Foxon, T.J., Köhler, J., Oughton, C. (Eds.), *Innovation for a Low Carbon Economy: Economic, Institutional and Management Approaches*. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 79–111.
- Bergek, A., Jacobsson, S., 2003. The Emergence of a Growth Industry: A Comparative Analysis of the German, Dutch and Swedish Wind Turbine Industries, in: Metcalfe, S., Cantner, U. (Eds.), *Change, Transformation and Development*. Physica-Verlag, Heidelberg, pp. 197–227.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., Rickne, A., 2008b. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy* 37, 407–429.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Hekkert, M., Smith, K., 2010. Functionality of innovation systems as a rationale and guide in innovation policy, in: Smits, R., Kuhlmann, S., Shapira, P. (Eds.), *The Theory and Practice of Innovation Policy*. Edward Elgar, Cheltenham, pp. 117–146.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Sandén, B.A., 2008c. ‘Legitimation’ and ‘development of positive externalities’: Two key processes in the formation phase of technological innovation systems. *Technology Analysis and Strategic Management* 20, 575–592.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., Rickne, A., 2002. Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Policy* 31, 233–245.
- DiMaggio, P.J., Powell, W.W., 1983. The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review* 48, 147–160.
- Geels, F., Raven, R., 2006. Non-linearity and Expectations in Niche-Development Trajectories: Ups and Downs in Dutch Biogas Development (1973–2003). *Technology Analysis & Strategic Management* 18, 375–392.
- Hedberg, P., Holmberg, S., 2014. Svenska folkets åsikter om olika energikällor 1999–2013. SOM-institutet, Göteborgs universitet, Göteborg.
- Hekkert, M., Negro, S., Heimeriks, G., Harmsen, R., 2011. *Technological Innovation System Analysis: A manual for analysts*. Faculty of Geosciences, Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Hekkert, M.P., Suurs, R.A.A., Negro, S.O., Kuhlmann, S., Smits, R.E.H.M., 2007. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change* 74, 413–432.
- Johnson, A., Jacobsson, S., 2001. Inducement and Blocking Mechanisms in the Development of a New Industry: The Case of Renewable Energy Technology in Sweden, in: Coombs, R., Green, K., Walsh, V., Richards, A. (Eds.), *Technology and the Market: Demand, Users and Innovation*. Edward Elgar, Cheltenham/Northampton.

- Layton, E.T., 1974. Technology as Knowledge. *Technology and Culture* 15, 31–41.
- Malerba, F., 2002. Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy* 31, 247–264.
- Markard, J., Truffer, B., 2008. Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy* 37, 596–615.
- North, D.C., 1990. *Institutions, Institutional Change and Economics*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- Perez Vico, E., 2014. An in-depth study of direct and indirect impacts from the research of a physics professor. *Science and Public Policy* 41, 701–719.
- Sandén, B.A., Hillman, K.M., 2011. A framework for analysis of multi-mode interaction among technologies with examples from the history of alternative transport fuels in Sweden. *Research Policy* 40, 403–414.
- Sturgeon, T.J., 2001. How Do We Define Value Chains and Production Networks?. *IDS Bulletin* 32, 9–18.
- Tripsas, M., Gavetti, G., 2000. Capabilities, cognition, and inertia: evidence from digital imaging. *Strategic Management Journal* 21, 1147–1161.
- Van Lente, H., 1993. Promising technology, in: Rip, A. (Ed.), *The dynamics of expectations in technological development*. Universiteit Twente, Twente.

3 Havsbaserad vindkraft

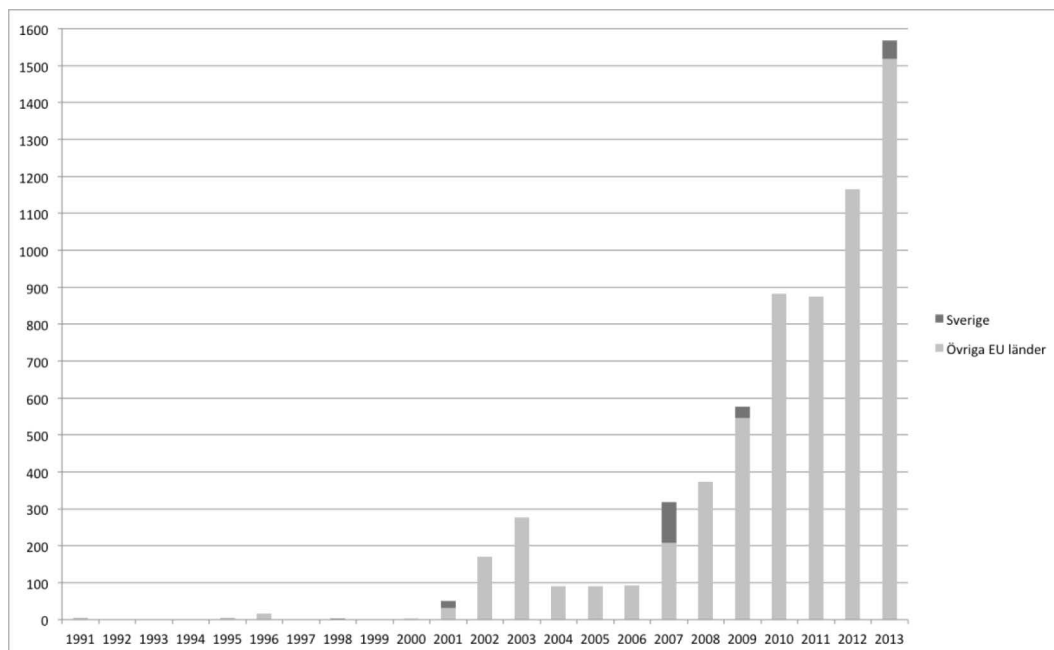
*Staffan Jacobsson, Chalmers tekniska högskola,
Fredrik Dolff, Miljöbyrån Ecoplan och Västra Götalandsregionen i samarbete med
Andreas Gustavsson, Energimyndigheten*

3.1 Teknikområdet i ett globalt perspektiv

Havsbaserad vindkraft innebär att vindkraftverk placeras i havet eller i större sjöar, på fasta eller flytande fundament. Fördelarna med placering i havet är att vinden är jämnare och starkare än på land och motståndet från boende mindre. Kostnaderna är dock högre än för landbaserad vindkraft.⁸ Turbiner med fasta fundament samlas i parker med varierande storlek, från 10 MW (Utgrunden 1, byggd), 48 MW (Kåresund, byggd) till 2,5 GW (Blekinge Offshore, planerad). I några länder (t.ex. England) sammankopplas grupper med vindkraftsparker i gemensamma elnät. Vattenfall deltar i bygget av en grupp parker utanför East Anglia med en kapacitet på uppemot 7,2 GW (Intervju A).

Den första havsbaserade installationen gjordes 1991 i Danmark. Spridningen i EU tog fart efter 2006 (se figur 3:1) och 2013 var 6,6 GW installerade vilket motsvarar en produktion av cirka 24 TWh/år (EWEA, 2014). Inom EU dominerar Storbritannien med en installerad effekt på 3,7 GW, följt av Danmark med 1,3 GW och Tyskland och Belgien med 0,5 GW vardera (EWEA, 2014). Globalt var den installerade effekten enbart något större – 6,8 GW 2013. Ytterligare 28 parker håller på att byggas varav 14 i Europa, 13 i Asien och den första i USA. Sammanlagt har dessa en kapacitet på 6,7 GW d.v.s. nästan en fördubbling av den installerade effekten (Navigant Research, 2014). Tillväxten har börjat ta fart och är inte längre enbart lokaliserad i EU.

⁸ Fördelen med flytande plattformar är bland annat att svåra bottenförhållanden kan undvikas och att djupare vatten kan utnyttjas. Denna teknik är dock i en mycket tidig fas.



Figur 3:1. Årlig installerad effekt (MW) för havsbaserade vindkraftverk i EU och Sverige 1991–2013. Källa: EWEA (2014).

EU:s medlemsländer förväntar sig en produktionsökning till 50 TWh/år 2015 och 140 TWh/år 2020 från havsbaserad vindkraft. Bland dessa går två länder före i ambitionsgrad för år 2020; Storbritannien (44 TWh/år) Tyskland (32 TWh/år) (Beurskens med flera, 2011, tabell 111).⁹ Den långsiktiga potentialen är större. Storbritannien och Tyskland bedömer denna till 400 respektive 300 TWh/år för respektive land (Offshore Valuation Group, 2010; German Advisory Council on the Environment, 2011) och BASREC (2012) pekar på Östersjöns omfattande potential. Det är därför inte förvånande att den havsbaserade vindkraften i EU:s ”Energy Roadmap 2050” (European Commission, 2011) förväntas leverera cirka 820 TWh (234 GW) år 2050, vilket är 17 % av den förväntade elproduktionen.¹⁰ Trots att beräkningarna naturligtvis är osäkra är det otvetydigt att potentialen är stor liksom förväntningarna på den havsbaserade vindkraftens bidrag till att göra EU:s elproduktion fri från koldioxid.

Dessa förväntningar om en omfattande spridning delas av kraftbolag och andra företag i värdekedjan (Jacobsson och Karltorp, 2013). I Storbritannien, till exempel, är de stora kraftbolagen, såsom Dong, E.ON och Vattenfall, engagerade i omfattande investeringsprojekt. Turbintillverkarna Siemens, Vestas, Senvion, Alstom och Gamesa lägger stora resurser på att utveckla turbiner som inte bara

⁹ Den nya tyska regeringen har minskat ambitionen för 2030 från 30 GW till 15 GW installerad effekt.

¹⁰ Detta är genomsnittet i fem ”decarbonization scenarios” med antagande att kapacitetsfaktorn är 40 % för havsbaserad vindkraft. Redan 2008 uttryckte EU (EC 2008, s. 10) höga förväntningar på havsbaserad vindkraft: “offshore wind can and must make a substantial contribution to meeting the EU’s energy policy objectives through a very significant increase – in order of 30–40 times by 2020 and 100 times by 2030 – in installed capacity....”

är större än landbaserade utan även specialkonstruerade för den svårare miljön till havs. 6 MW turbiner är installerade (2014) och större är under utveckling. I övriga delar av värdekedjan finns ett stort antal företag: projektörer (t.ex. WPD), komponenttillverkare (t.ex. SKF, Bladt), tillverkare av kraftöverföringssystem (t.ex. ABB, Nexans), varv (t.ex. Öresundsvarvet), specialanpassade hamnar (t.ex. Esbjerg, Bremerhaven), logistikföretag (t.ex. A2SEA) och underhållsföretag (t.ex. Baltic Offshore). Det teknologiska innovationssystem (TIS) som studeras i detta kapitel omfattar *hela denna värdekedja*, inklusive kraftbolagen, och inkluderar både stationära och flytande vindkraftverk.

Värdekedjan byggs upp i främst norra Europa, med dominans av tyska och danska företag, och lokala kluster har vuxit fram på platser såsom Bremerhaven i Tyskland. Värdekedjan bedöms dock ännu inte vara stor nog att leverera den kapacitet som behövs för att uppnå olika mål (Jacobsson och Karltorp, 2013). Den nyinstallerade effekten var 1,5 GW 2013 (EWEA, 2014) och för att uppfylla högt ställda mål inom EU och enskilda medlemsländer behöver denna mångfaldigas under det närmaste decenniet. Samtidigt krävs omfattande insatser för att utveckla tekniken i värdekedjans olika steg (Jacobsson och Karltorp, 2012). Förutom turbinteknikens och fundamentens många utvecklingsbehov krävs standardiserade lösningar för, bland annat, kombination av fundament och turbin (Intervju B). Även ny kranteknik i hamnarna och specialiserade fartyg för transport och installation av kraftverken behöver utvecklas. För installationer längre ut i havet är det mest ekonomiskt med HVDC (högspänd likström) transmissionsnät och dessa har börjat byggas men utmaningarna är stora med avseende på både installeringsteknik i havsmiljön och själva transmissionstekniken (Intervju A, C). Utvecklingsbehoven är ännu mer omfattande för flytande kraftverk vilka är mer omogna än kraftverk på fasta fundament (Intervju D). Bland annat krävs utveckling av design- och beräkningsprogramvaror som är anpassade för kombinationen av vindkraft och flytande kroppar. Samtidigt är denna teknik av stor betydelse för länder som Japan och USA med djupa vatten.¹¹

I främst Storbritannien, Tyskland och Danmark görs mångfasetterade statliga insatser för att stödja innovationssystemets tillväxt. Dessa skiljer sig åt mellan länderna men berör gemensamma områden. Dessa är regelverk som (i) styr förläggningen av investeringarna till specifika områden (havsplanering), (ii) finansierar utbyggnaden av elnätet och (iii) säkrar kraftbolagens intäktströmmar.¹² Vidare görs insatser som (iv) främjar kunskapsutveckling på universitet och institut och stödjer innovationsprocesser – exempelvis vid DTU/Risö i Köpenhamn och Fraunhoferinstitutet i Bremerhaven, (v) stärker utbildningen av ingenjörer på olika nivåer, (vi) ökar tillgången till kapital för investeringar i havsbaserade vindkraftsparker samt (vii) attraherar nya företag, inklusive företag som äger och

¹¹ Flytande vindkraftverk delar vissa utmaningar med vågkraft, t.ex. installation och förankring.

¹² I England ges en ersättning (strike price) på 180 (2014/15) – 160 (2017/18) öre/kWh under 15 år (DECC, 2013) medan i Tyskland ges inmatningstariffer på mellan 145 och 184 öre/kWh i 15 eller 8 år (Bundesministerium, 2011). Danmark har ett upphandlingssystem där vinnaren får en fastställd inmatningstariff.

driver hamnar, till systemet genom bland annat riktade subventioner. Stora satsningar sker även i Kina (Karlton m.fl., 2014) och Japan, där Mitsubishi Heavy Industries nyligen gick ihop med den danska turbintillverkaren Vestas, sannolikt för att utveckla den asiatiska marknaden. Sammantaget bedöms TIS:et efter mer än 20 års utveckling ha kommit in en tidig del av den kommersiella tillväxtfasen med spridning på massmarknader.

Tillväxtpotentialen är omfattande och förväntningarna är stora bland enskilda regeringar, EU och företag i olika delar av värdekedjan. Storbritannien dominerar marknaden för havsvindel medan tyska och danska företag dominerar den industriella värdekedjan. En industriell verksamhet återfinns även i andra länder, som Nederländerna (Wieczorek m.fl. 2013), Sverige, Frankrike och Spanien. En stödjande politik för uppskalning och vidare industrialisering bedrivs främst i Tyskland, Storbritannien och Danmark vilken bland annat omfattar insatser för att minska de fortfarande stora tekniska osäkerheterna.

3.2 Strukturell analys

Detta avsnitt innehåller en analys av de viktigaste dragen i det teknologiska innovationssystemets fyra strukturella komponenter i Sverige; Teknik, Aktörer, Nätverk och Institutioner.

3.2.1 Teknik

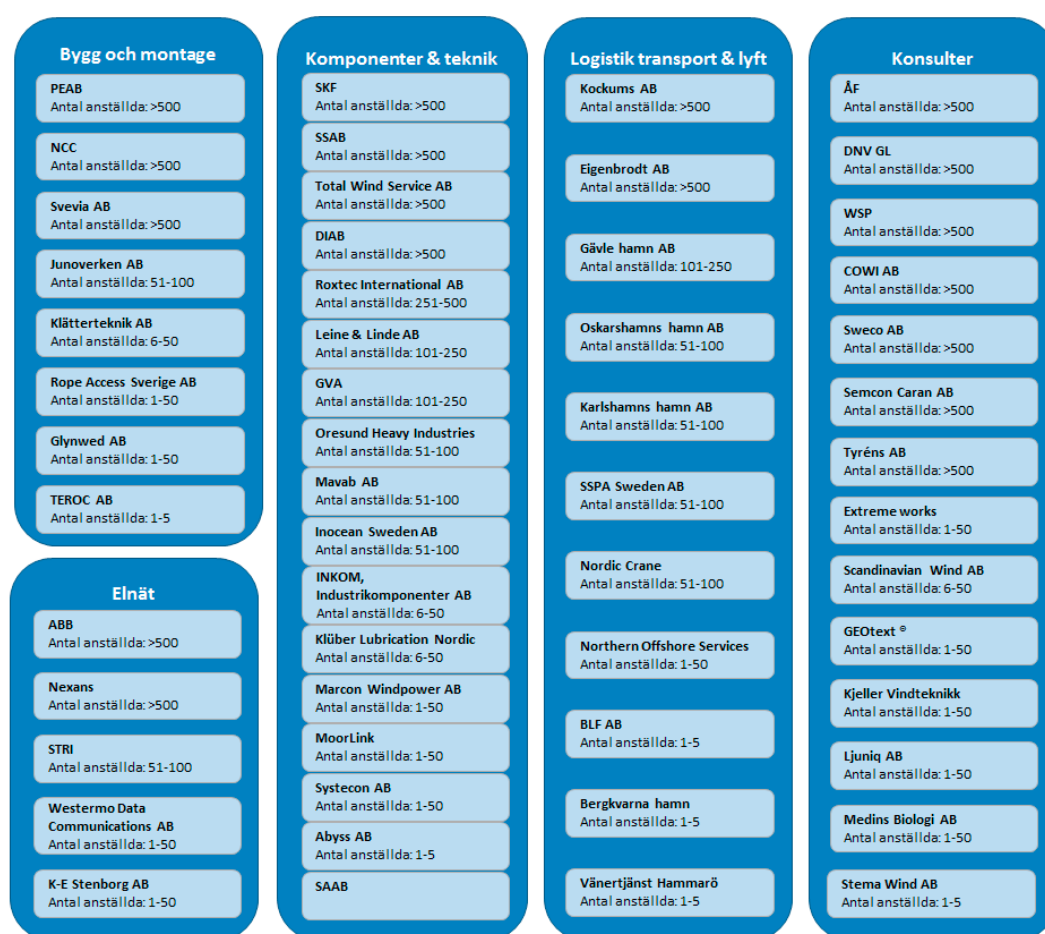
Med avseende på teknik, byggdes tre små parker kring millenniumskiftet med en sammanlagd årlig produktion på 75 GWh. Vattenfalls park Lillgrund färdigställdes 2007 och är större (330 GWh/år), Vindpark Vänern (90 GWh/år) blev klar 2009, medan E.ON:s Kårehamnspark (180 GWh/år) började producera el 2013. 2013 var den sammanlagda installerade effekten 211 MW vilket gav en produktion på cirka 0,7 TWh.¹³ Sett i ett internationellt perspektiv var Sverige tidigt ute (även om flera andra länder nu lägger mer vikt på den havsbaserade vindkraften) vilket skapade ett tidigt lärande bland olika aktörer. Sverige har dessutom en utvecklad infrastruktur i form av transmissionsnät och ett antal hamnar som efter ombyggnad kan fungera som bas för både produktion och underhåll. Ett exempel är Karlshamn som kan ta emot djupgående båtar och byggas om för att tillgängliggöra uppställningsytor för torn, blad och fundament.

Den havsbaserade vindkraftstekniken formas främst i ett nordeuropeiskt sammanhang. Emellertid avviker Östersjön från de fysiska förhållandena i Nordsjön som är utgångspunkten för de ledande teknikutvecklarna (företag, akademi och institut) i Tyskland och Danmark. Östersjöns mindre vattendjup, lägre våghöjder, lägre extremvindar, avsaknad av tidvatten, mindre korrosiv miljö etc. innebär att konstruktionerna behöver anpassas. Således behöver ett tekniskt utvecklings-spår mot ”innanhavsteknik” skapas som optimerar tekniken för dessa annorlunda förhållande.

¹³ Totalt producerades vindkraften knappt 10 TWh 2013, motsvarande 7 % av Sveriges elproduktion (Energimyndigheten, 2014).

3.2.2 Aktörer

Industriella aktörer i Sverige som är verksamma i systemet är de kraftbolag som producerar havsvindel (t.ex. Vattenfall, E.ON) och projektörer av nya parker (t.ex. Favonius, Göteborg Energi och WPD) (se figur 3:2). Vidare finns ett antal företag som i huvudsak är underleverantörer i den nordeuropiska värdekedjan med marknader i främst Danmark, Tyskland och Storbritannien, se figur 3:3.¹⁴ I Sverige finns ingen turbintillverkare men väl komponentleverantörer. Till exempel utvecklar SKF lager och mätutrustning och ABB utvecklar generatorer, transformatorer, brytare etc. Av särskilt vikt är att ABB:s verksamhet inom transmissionsteknik nu fått en ny tillämpning i form av sjökablar för havsbaserade vindparker. ABB hade, bland annat, 21 % av marknaden för exportkablar från havsbaserade vindkraftsparker som byggdes under 2013 (EWEA, 2014).



Figur 3:2. Aktörer och nätverk inom havsbaserad vindkraft i Sverige. Egen sammanställning från olika källor bl.a. Swedish Wind Industry Database (2014) och 4C Offshore (2014) samt genom kontakter med branschen.

¹⁴ Figur 3:3 innehåller även företag som anmält intresse av att etablera sig i systemet.

Med sin kompetens inom byggteknik, konstruerade och tillverkade PEAB fundamenten till Vindpark Vänern, SAAB är verksamma inom avisningsteknik, DIAB inom materialteknik (för rotorblad) och Öresundsvärket (Öresund Heavy Industries) byggde en plattform för vindmätning i Östersjön åt E.ON. Även mindre företag har etablerat sig, exempelvis Northern Offshore Services som arbetar med driftlogistik i projekt utanför Sverige och konsultföretaget Scandinavian Wind. Dessutom finns nystartade företag som utvecklar flytande vindkraftverk (HM Power, Hexicon, och SeaTwirl AB) och bland dessa finns även företag från det västsvenska marina klustret vars huvudmarknad är den norska olje- och gasindustrin, t.ex. GVA.

Ett antal offentliga organisationer är engagerade i tillståndsgivningen (Jacobsson med flera, 2013). Havs- och vattenmyndigheten påverkar placering av parkerna och Svenska Kraftnät har ansvar för eltransmissionen och dess utbyggnad. En central aktör är Energimyndigheten som finansierar och kravställer för Vindval, SWPTC, Vindforsk och projekt inom Nätverket för vindbruk. Energimyndigheten är även en viktig remissinstans vid tillståndsgivning och är den myndighet som kan bidra med stöd för demonstration av ny teknik.

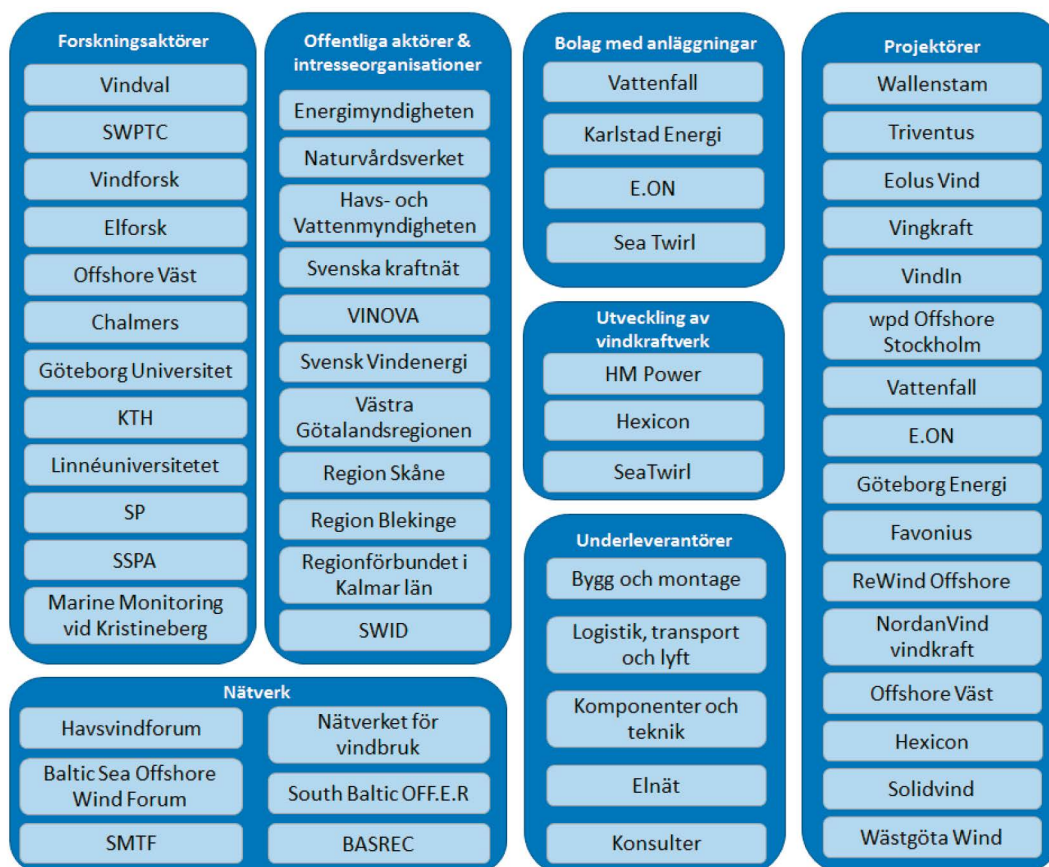
3.2.3 Nätverk

Bland offentliga aktörer återfinns även olika regioner som är initiativtagare till och, tillsammans med olika företag, drivande i politiska nätverk. Västra Götalandsregionen har tillsammans med Region Skåne och Blekinge samt regionförbundet i Kalmar län arbetade tillsammans för att bilda ett politiskt nätverk via skapandet av organisationen Havsvindforum 2013, där även angränsande branschorganisationer är engagerade. Lärandenätverk finns mellan akademi och företag bland annat inom ramen för Svenskt Vindkraftstekniskt Centrum (SWPTC – på Chalmers och i Luleå) men då marknadstillväxten främst sker utanför Sverige uppstår viktiga lärandenätverk främst mellan företagen och dess utländska kunder.

3.2.4 Institutioner

Slutligen, med avseende på institutioner är elcertifikatsystemet det regelverk som sedan 2002 ger ett ”teknikneutralt” stöd till producenter som använder förnybara energikällor. Elcertifikatsystemet kompletterades tidigare med en miljöbonus som för havsbaserad vindkraft var 180 kronor/MWh år 2002 (avdragsgillt). Vidare startade Vindpilotprojektet 2003 vilket gav investeringssubventioner till några havsbaserade parker (Söderholm, 2009). Utbyggnaden av Lillgrund delfinansierades med 213 MKr och Vindpark Vänern med 40 MKr i demonstrationsmedel. Energimyndighetens forskningsfinansiering av vindkraft (både land- och havsbaserad) inom ramen för Vindforsk, Svenskt vindkraftstekniskt centrum, Vindval och enskilda projekt uppgick till cirka 320 MKr för perioden 2009-maj 2014 enligt preliminära uppgifter från Energimyndigheten, d.v.s. 52 MKr per år.¹⁵

¹⁵ Siffran kommer från egen bearbetning av internt arbetsmaterial och utesluter medel inom ramen för Vindpilotprojektet.



Figur 3:3: Företag som levererar produkter eller tjänster inom havsbaserad vindkraft, inklusive aktörer som har anmält intresse för att leverera sina tjänster och produkter inom detta segment. Egen sammanställning från olika källor, bl.a. Swedish Wind Industry Database (2014) och 4C Offshore (2014), samt genom kontakter med branschen.

3.3 Fasbestämning och målsättning

I detta avsnitt fastslås först den fas i vilket det svenska TIS:et befinner sig. Därefter analyseras potentialen för havsbaserad vindkraft i Sverige, inklusive dess privata kostnadsnivå vilket är en viktig faktor när målet för systemets utveckling till 2030 specificeras.

3.3.1 Fasbestämning

Som nämndes i den strukturella analysen var Sverige tidigt ute med att bygga havsbaserade vindkraftsparker där investeringarna befrämjades genom stöd till ett antal demonstrationsanläggningar. Den sista som byggdes i havet var Lillgrund (2007) medan Vindkraft Vänern blev klar 2009. TIS:et gick således igenom en demonstrationsfas men har ännu inte tagit sig in i en nischmarknadsfas då endast en park har färdigställts utan demonstrationsmedel (Kårehamn, 2013) vilken dock drog nytta av koordineringsfördelar inom ramen för EoNs verksamhet vilket minskade kostnaderna.

3.3.2 Potential för havsbaserad vindel

De fysiska resurserna, och därmed den tekniska potentialen, är stor. Om, säg, 3 000 kvadratkilometer används, vilket är en mindre del av ytan som BASREC (2012) bedömer som attraktiv för havsbaserade vindkraft i svenskt vatten,¹⁶ kan drygt 50 TWh/år levereras.¹⁷ Den totala potentialen beräknas till cirka 450 TWh om lägen med låg attraktionskraft exkluderas (BASREC, 2012, Appendix 1, table A.1). Denna potential är särskilt attraktiv då Östersjöns fysiska förhållande möjliggör produktion av havsbaserad vindel på ett kostnadseffektivt sätt jämfört med många Nordsjöprojekt (Malmberg, 2012; THEMA, 2013). Mindre vattendjup, kortare avstånd till kusten, lägre våghöjder, lägre extremvindar, inget tidvatten, mindre korrosiv miljö etc. innebär att konstruktionerna kan bli mer kostnadseffektiva, att installationen kan ske utan specialfartyg och att driftkostnaderna kan bli lägre.

Med syfte att göra en bedömning av storleksordningen på kostnadsfördelen i Östersjön har produktionskostnaden för el beräknats med hjälp av Elforsks (2011) beräkningsmodell med data hämtad främst¹⁸ från 4C Offshore (2014) samt LORC, (2014) (se figur 3:4). Data är tagna från anläggningar som är tillståndsgivna, är under byggnation och som är byggda, vilket framgår i figur 3:4. Data redovisas för Nordsjöanläggningar i Storbritannien och Tyskland samt för Östersjöanläggningar i Sverige, Danmark och Finland. För två av Östersjöprojekten redovisas även produktionskostnaden om kraftbolaget undantas från kravet att betala för elanslutningen (markeras med svart).¹⁹

I projekt markerade med * ingår inte kostnaden för elanslutning och för anläggningar markerade med ** har investeringskostnaden reducerats med elanslutningskostnaden.

Beräkningarna visar att anläggningarna i ”Innanhav”, d.v.s. Östersjön, har en lägre produktionskostnad år 2014 än anläggningarna i Nordsjön: 70–80 öre/kWh²⁰ respektive 95–115 öre/kWh. Nordsjöanläggningarna och de danska anläggningarna betalar dessutom inte elanslutningskostnader. I Sverige kan produktionskostnaden minska med 4,5–7,2 öre/kWh om kostnaden för elanslutningen exkluderas.

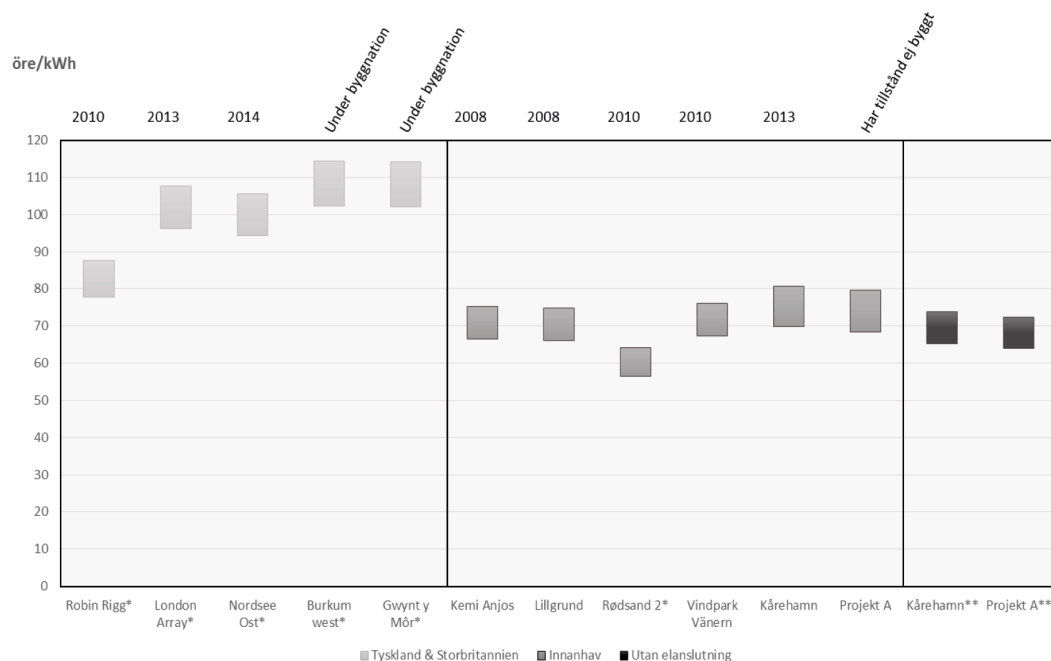
¹⁶ Enligt BASREC (2012, appendix 1, tabell A1) är den totala potentialen cirka 30 000 km² men då har 46 000 km² uteslutits då de visserligen är möjliga för etablering men bedöms vara mindre attraktiva.

¹⁷ Antar att 5 MW installeras per km² och denna har 40 % kapacitetsfaktor.

¹⁸ Undantaget är Projekt A där underlag är sekretesskyddat material från intervju med projektör.

¹⁹ Beräkningen har gjorts utan skatter, avgifter och bidrag enligt annuitetsmetoden med följande förutsättningar: Real kalkylränta: 6–7%, Ekonomisk livslängd: 20 år, Växelkurs: 10,85 SEK/£ samt 8,8 SEK/€, Drift och underhåll: 15–20 öre/kWh.

²⁰ Energimyndigheten (2014) redovisar en genomsnittligt uppskattad kostnad på 100 öre/KWh för svenska projekt. Skillnaden i produktionskostnaden kan till stor del förklaras av att de använder 10% kalkylränta medan beräkningen i detta kapitel bygger på en ränta på 6–7%.



Figur 3:4. Produktionskostnaden för olika havsbaserad vindkraftsanläggningar i Europa.

Innanhavsanläggningar får då en ännu större kostnadsfördel.²¹ Ytterligare utveckling av kostnadsfördelen kräver, som nämndes ovan, att den strukturella komponenten teknik optimeras för dessa annorlunda förhållande (se avsnitt 3.5.4).

3.3.3 Specifiering av målsättning för 2030 som den funktionella analysen förhåller sig till

En bedömning av funktionella styrkor och svagheter görs lämpligen i förhållande till explicita mål för innovationssystemet. Då sådana inte existerar från statens sida i Sverige²² kommer en argumentation att föras som leder till ett mål för spridning av havsbaserad vindkraft år 2030. Till detta läggs mål rörande industrialisering och sysselsättning. Medan kvantitativa mål av detta slag inte specificeras förs diskussionen utifrån ett mål om en markant starkare närvaro i den europeiska industriella värdekedjan vilken, som nämndes i avsnitt 3.1, behöver växa för att möjliggöra att EU:s mål uppnås. Fram till 2020 förväntas det krävas investeringar på ca 1 000 miljarder kronor för att uppnå målet på 44 GW installerad effekt (KPMG, 2010; Rabobank, 2011) vilket antyder att frågan är av strategisk karaktär för Sverige med en stark verkstadsindustri och marinteknisk kompetens.

²¹ Energimyndigheten (2014) uppmärksammar kostnadsfördelarna och potentialen i Östersjön, något som IT- och energiminister Hatt med flera (2014), tar fasta på. Denna lärdom innebär att tidiga investerare kan ha skapat positiva externa effekter för framtida investerare i det att denna insikt kan stärka både *legitimeringsprocessen* (kostnadseffektivitet) och *sökprocessen* (affärsmöjligheter).

²² 10 TWh havsbaserad vindkraft finns utpekad i planeringsramen som Energimyndigheten nyligen (februari 2014) beslutat om men en planeringsram kan inte likställas med mål. Energimyndigheten (2014) nämner en potential på cirka 30 TWh med projekt som är planerade.

Den svenska energipolitiska debatten domineras av ett kortsiktigt (2020) och snävt (Sverige) perspektiv på behovet av investeringar i ny kapacitet. Detta avsnitts diskussion om mål för utbyggnad av den havsbaserade vindkraften vidgar perspektivet, både tidsmässigt och rumsligt, genom att analysera storleksordningen på den nya elproduktionskapacitet som behöver byggas upp under de närmaste årtiondena i Sverige och i EU som helhet.

Produktionen av el i Sverige varierade kraftfullt mellan 2001 och 2013 – som lägst 133 TWh och som högst 162 TWh (SCB, 2014). Förbrukningen har stagnerat sedan 2001 men förväntas vara 150 TWh 2030 (Energimyndigheten, 2013, tabell 32).²³ Den stora utmaningen under de närmaste 20 åren är att ersätta de åldrande kärnkraftverken vilka stod för en genomsnittlig elproduktion på 61,7 TWh 2003–2012 (Jacobsson med flera, 2013, bilaga 2). Kärnkraftens kapacitet byggdes upp mellan 1972 och 1985 och de flesta studier antar en 40-årig livslängd (Energimyndigheten, 2010). Vattenfall (2012) förväntar sig dock inleda avvecklingen av kärnkraftverken kring 2025 vilket innebär en livslängd på 50 år.²⁴

Om livslängden på kärnkraften antas vara 50 år, d.v.s. avvecklingen börjar år 2022 och avslutas år 2035, behövs investeringar i ny kapacitet för att kompensera för produktionsbortfallet. Detta bortfall antas vara cirka 67 TWh då en del effekthöjningar genomförs (antar 5 TWh här) och i Figur 3:5 visas hur bortfallet fördelas över tiden.²⁵ För att ett importberoende inte ska uppstå måste ny kapacitet (exklusive reinvesteringar) byggas som producerar cirka 25 TWh 2030 och cirka 60 TWh 2035. Behovet av nyinvesteringar är således sannolikt stort under de närmaste två decennierna. Vilka förväntningar finns då i olika utredningar på produktionen av el från (landbaserad) vind, kraftvärme och solel?

2013 var produktionen av el från vindkraftverk och i kraftvärmeverk 10 respektive 14 TWh (Energimyndigheten 2014b).²⁶ Solkraften producerade mindre än 0.1 TWh (se kapitel 5). Även om landbaserad vindkraftel har en mycket låg produktionskostnad förväntar sig Energimyndigheten (2013) en ökning till enbart 12 TWh år 2030, en siffra som dock ökar till 17 TWh i Energimyndigheten (2014b). Emellertid har tidigare prognoser konsekvent underskattat spridningen, se figur 3:5a där det även framgår att i prognosen från Svensk Vindenergi (2014) uppnås en produktion på 17 TWh betydligt tidigare än 2030. För kraftvärme förväntar sig Energimyndigheten (2013) en produktion på 21 TWh 2030, upp från 14 TWh 2013, en siffra som minskar till 20 TWh i Energimyndigheten (2014b).²⁷

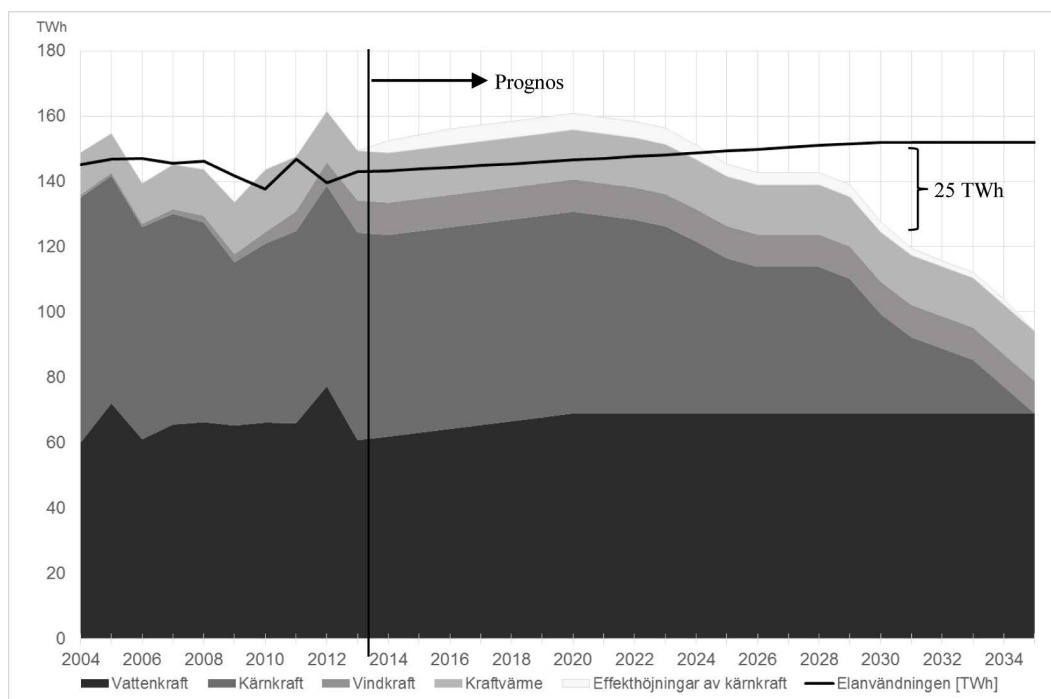
²³ Denna siffra gäller referenssceneriet. Den ökar till 156 TWh i ett scenarier med högre tillväxt.

²⁴ Även Strålsäkerhetsmyndigheten (2013) argumenterar för att kärnkraftverken kan hålla längre än 40 år efter stora investeringar och förbättringar av säkerheten.

²⁵ Vi har utgått ifrån genomsnittproduktionen från varje reaktor under de senaste 10 åren och lagt till en produktionsökning på ca 5 TWh p.g.a. effekthöjningar (Jacobsson med flera, 2013, bilaga 2). I figuren har vi valt att använda Energimyndighetens (2013) långsiktsprognois för 2012 för elanvändningen, vilket överensstämmer med Svenskt Näringsliv (2014) prognos om framtida elanvändning. För vattenkraften har vi utgått från ett linjärt samband för åren 2020 och 2030 enligt Energimyndighetens långsiktsprognois (2014b). Elproduktion från vind- och kraftvärme ligger kvar på samma nivå som 2013 (Svensk Energi, 2014).

²⁶ Svensk Energi (2014) anger en något högre siffra för kraftvärme.

²⁷ Biokraften har en stor potential men produktionen har stagnerat pga. låga elpriser. Det finns emellertid befintliga biokraftanläggningar som kan öka sin produktion vid gynnsammare förhållande (Svebio, 2013; Intervju E) och nyinvesteringar kan göras.



Figur 3:5. Elanvändningen och elproduktionen i Sverige, med antagande om livslängd på 50 år för kärnkraftverken.

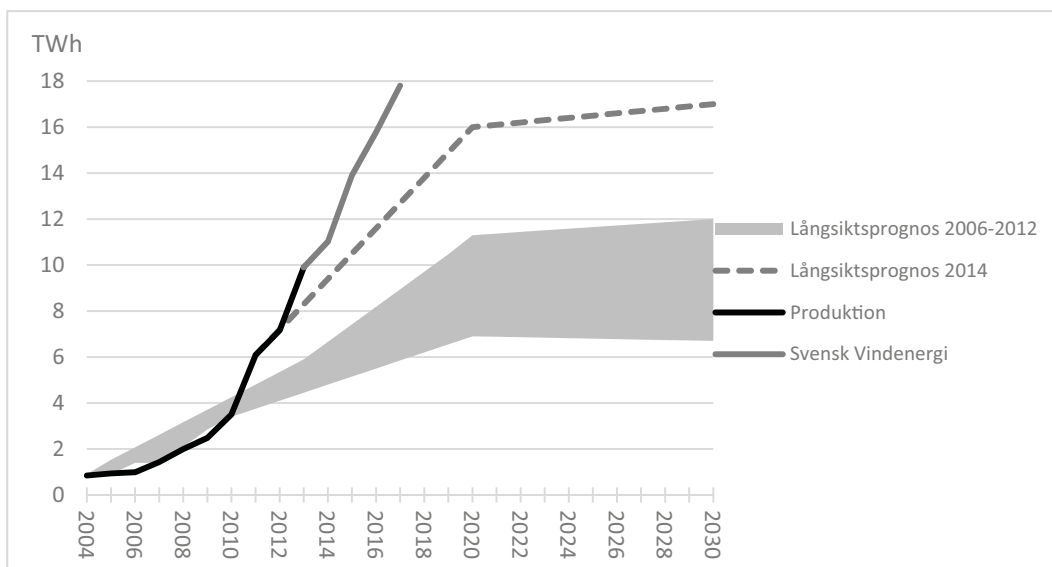
För att ökningen ska motsvara behovet (25 TWh) år 2030, krävs antingen att de högsta siffrorna från Energimyndigheten (2013, 2014b) för kraftvärme och vindel överskrids rejält eller att produktionen av solel ökar till uppemot 10 TWh (kapitel 5). Om 10 TWh solel produceras liksom 17 TWh vindel och 21 TWh kraftvärme blir den totala ökningen från dessa tre källor 24 TWh till 2030.²⁸ Emellertid behövs ytterligare nyinvesteringar med kapacitet att producera 36 TWh mellan åren 2030 och 2035 vilket måste påverka målbilden för havsbaserad vindkraft.

Medan en minskning av efterfrågan på el²⁹ kan krympa behovet av nyinvesteringar något föreligger en stor risk att det uppstår ett större underskott i Sverige.³⁰ Detta är dock ringa jämfört med det som kan växa fram i EU vilket gör det problematiskt att utveckla ett importberoende.

²⁸ Energimyndigheten (2014b, tabell 5) pekar på ett exportöverskott på 21 TWh 2030. Denna skillnad beror på att studien antar en förbrukning på 141 TWh istället för 150 TWh och en mycket högre produktion av kärnkraftsel (23,5 TWh).

²⁹ Energimyndigheten (2014b) antar en konsumtion på 141 TWh 2030 medan Svenskt Näringsliv (2014) menar att de kan ligga på cirka 150 TWh. En 60-årig teknisk livslängd för vissa kärnkraftverk (Vattenfall, 2013) skulle även minska gapet.

³⁰ Beräkningar för Nordpoolområdet pekar på ett underskott på 46 TWh år 2030 och 102 TWh år 2035 (Jacobsson med flera, 2013).



Figur 3:5a Långsiktsprognoiser och utfall för vindelproduktion.³¹ Ytan visar de olika prognoserna från Energimyndigheten åren 2006, 2008, 2010 och 2012. Den streckade linjen visar prognosen från Energimyndigheten år 2014. Den svarta linjen visar den faktiska elproduktionen från vindkraft fram t.o.m. 2013 och den gråa linjen visar branschens prognos t.o.m. år 2017.

I EU (inklusive Norge och Schweiz) var elförbrukningen 3 310 TWh år 2001 och ökade med 0,85 % per år till 3 560 TWh år 2010 (Eurostat, 2012). I EU Vision 2050 antas ökningen fortsätta på denna nivå (European Commission, 2011, tabell 26) vilket skulle ge en förbrukning på nästan 5 000 TWh år 2050.

År 2009 stod fossilkraft och kärnkraft tillsammans för drygt 2 500 TWh (IEA, 2012). År 2050 antas att kraftverk med fossilt bränsle inte förekommer³² och att nästan alla nuvarande kärnkraftverk är ”pensionerade”.³³ Med en förväntad ökning i förbrukning om drygt 1 400 TWh uppstår ett behov av ny kapacitet som kan generera drygt 4 000 TWh år 2050. Ny förnybar elproduktion som är planerad fram till år 2020 kan bidra med knappt 600 TWh (Beurskens med flera, 2011, 263).³⁴ Ny kärnkraft kan möjligen komma att bidra med i storleksordningen 500 TWh (European Commission, 2011).³⁵ För att möta efterfrågan behövs därmed ytterligare kapacitet som kan producera cirka 2 900 TWh (se figur 3:6).

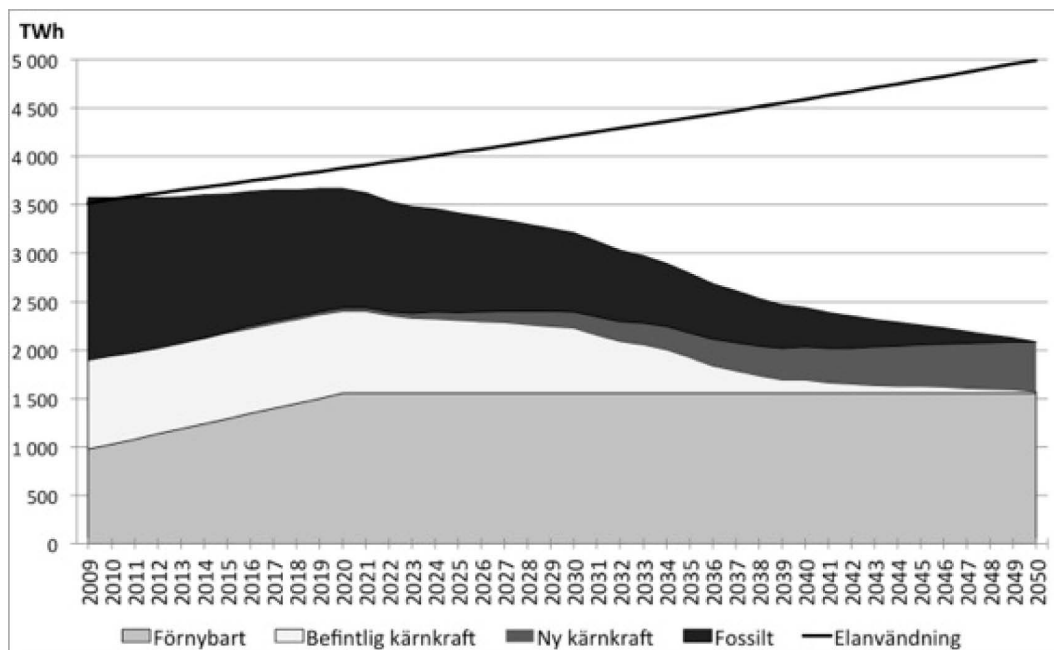
³¹ Källor: Produktion, Energimyndigheten (2014c) och Svensk Energi (2014). Svensk Vindenergisprognos: Svensk Vindenergi (2014). Långsiktsprognoiser Energimyndigheten (2007, 2009, 2011, 2013, 2014b).

³² Om tekniken för koldioxidavskiljning och lagring blir kommersiell blir detta antagande felaktigt.

³³ Vid 50 års livslängd blir produktionen från existerande kraftverk 15,4 TWh.

³⁴ Detta är skillnaden mellan produktionen år 2010 och den förväntade produktionen år 2020.

³⁵ EU lägger i sin Vision 2050 fram 6 scenarier för detta (European Commission, 2011). Genomsnittet för kärnkraftsproduktionen i fem ”decarbonization scenarios” är 527 TWh.



Figur 3:6. Elanvändningen och elproduktionen i EU, inklusive Norge och Schweiz, vid 50 års livslängd för kärnkraftverken (Jacobsson m.fl. 2013).

Sammanfattningsvis har inte bara Sverige utan hela EU ett omfattande behov av investeringar i ny elproduktionskapacitet. Bedömningen av funktionernas styrka görs därför i förhållande till ett mål som möjliggör ett signifikant bidrag till a) säkerställande av tillgången på el i Sverige samt b) övriga EU:s avveckling av fossila bränslen. För 2030 konkretiseras detta till 30 TWh, vilket utgör en liten del av potentialen. Detta innebär att TIS:et är väl inne i en kommersiell tillväxtfas 2030.

En målsättning på 30 TWh innebär *inte* en bortträngning av all annan förnybar el eftersom 30 TWh utgör enbart hälften av den kärnkraftsel som måste ersättas innan 2035. Dessutom är en viktig utgångspunkt för formulering av målbilden även det produktionsgap som riskerar att uppstå i en framväxande europeisk elmarknad och en kostnadseffektiv produktion av havsvindel bör därför kunna ha möjlighet att exporteras i stor utsträckning (se avsnitt 3.4.2).

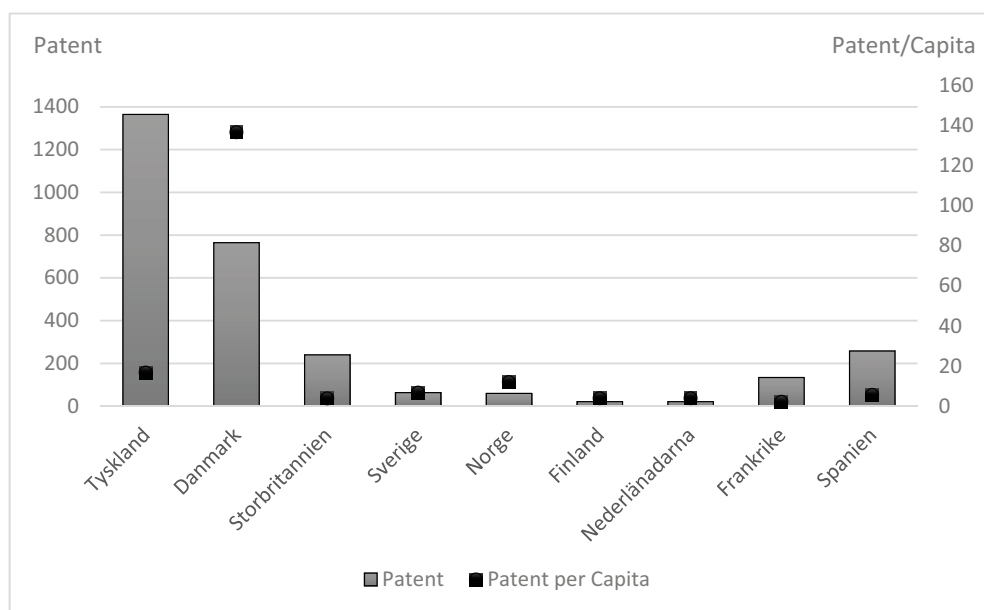
3.4 Funktionell analys

I den funktionella analysen specificeras först funktionens styrka i förhållande till möjligheten att uppnå de uppsatta målen och därefter redovisas skälen till bedömningen.

3.4.1 Kunskapsutveckling och spridning – medel

Funktionens styrka bedöms vara *medel*. En indikator på *kunskapsutvecklingen* är antal sökta patent. Då systemets omfattar hela värdekedjan finns ingen enskild patentklass som speglar *kunskapsutvecklingen*. Styrkan med den databas som

används (figur 3:7) är dock att den klass som omfattar vindkraft (72) inte enbart täcker in vindkraftsteknik i en snäv mening utan även, till exempel, teknik för att bygga kraftverk, materialteknik för rotorblad och plattformar för flytande vindkraftverk. Databasen gör dock ingen distinktion mellan land- och havsbaserad vindkraft, vilket är en svaghet. 2012–2013 publicerades 78 patentansökningar³⁶ inom vindkraft av 20 företag och ett antal enskilda uppfinnare. Av dessa stod SKF för 24 och SAAB för 8. SAABs patentansökningar var främst inom avisningsteknik där även JKA Kemi och Windvector var verksamma. ABB sökte två patent men gjorde dessutom 40 ansökningar i patentklassen ”Technologies for efficient electrical power generation and distribution (Y02E40/low)”. Detta speglar ABB:s styrka i transmissionsteknik och kraftelektronik vilket är ett centralt teknikområde i TIS:et. Vidare ansökte HM Power, Hexicon, Hedegård och Ehrnberg Solutions om patent för flytande kraftverk. Med avseende på publicerade patentansökningar per capita år 2012 var Sverige efter Danmark, Tyskland och Norge men ungefär på samma nivå som Holland och Spanien samt före Storbritannien, Finland och Frankrike. Kunskapsbasen i den strukturella komponenten teknik är således av viss styrka.³⁷



Figur 3:7. Antal publicerade patentansökningar för 2012 inom vindkraft per land och per miljoner invånare.³⁸ Källa: Egen bearbetning av Espacenet Patent Search: http://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP#!/CPC=Y02E10/70

³⁶ Dessutom bedömdes 8 som felklassade och togs bort.

³⁷ Denna styrka bidrar till förmågan att nå industrialiseringsmålet men det kan även bidra till att spridningsmålet på 30 TWh kan uppnås då detta sannolikt förutsätter att ett teknikspår för ”Innanhavsteknik” utvecklas, se avsnitt 3.2.1, 3.3.3 och 3.5.4.

³⁸ Sökningar gjordes för alla underklasser inom patentklass 72 som sedan adderades. Denna procedur nödvändiggjordes av att databasen enbart redovisar de första 500 patenten vilket gjorde att summorna för Danmark och Tyskland inte var tillgängliga om sökningen gjordes för hela 72. Siffrorna är preliminära eftersom summan av underklasserna är något större än den för 72 som helhet. Vidare är vissa patent felklassade.

Med avseende på *kunskapsutveckling och kunskapsspridning* inom akademien bedriver Svenskt Vindkraftstekniskt Centrum (Chalmers och Luleå Tekniska Högskola) en bred vindkraftsrelaterad forskning tillsammans med 13 företag, exempelvis SKF och Marström Composite (Technopolis, 2014). Samverkansprogrammet Vindforsk genomförs i samarbete med Energimyndigheten och Elforsk, samt företag verksamma inom vindkraftsområdet. Syftet med Vindforsk är att öka kunskapen om vindkraftsrelaterade frågor och att stärka basen för svenskt vindkraftskunnande. 2014 bildades ett nytt vindkraftscentrum vid KTH och Uppsala universitet (Standup for Wind) med fokus på *kunskapsutveckling* av relevans för integration av vindkraft i elnätet (KTH, 2014). SP utvecklar en verksamhet för att, bland annat, testa flytande vindkraftverk³⁹ och Swerea IVF skapar ett testcentrum för vindkraft i kallt klimat (Swerea, 2013).⁴⁰

Vid en omfattande spridning av havsbaserad vindkraft kan kostnaden förväntas minska vilket dock kräver *kunskapsutveckling och spridning* i hela värdekedjan. En önskan att minska kostnaderna har lett till att flera länder stöder tillämpad forskning och tillhörande innovationsprocesser med öronmärkta medel och nya organisationer. Till exempel startades Fraunhoferinstitutet IWES år 2005 i Bremerhaven vilket samarbetar med näringslivet i en rad olika projekt (Intervju F). Som nämndes i avsnitt 3.2.1 är den teknik, inklusive standarder, som utvecklas emellertid främst anpassad för Nordsjöns svårare förhållanden. ”Nordsjötekniken” behöver därför kompletteras med teknik som är mer anpassad till Östersjöns förutsättningar. En systemsvaghet i den strukturella komponenten *Teknik*, som inte differentieras tillräckligt på Europeisk nivå, föreligger således och *kunskapsutvecklingen* i Sverige kompenserar inte för denna svaghet då fokus ligger på den europeiska marknaden för företag längre bak i värdekedjan och den akademiska forskningen inte synes vara inriktad mot ”Innanhavsteknik”.

3.4.2 Formera marknader – svag

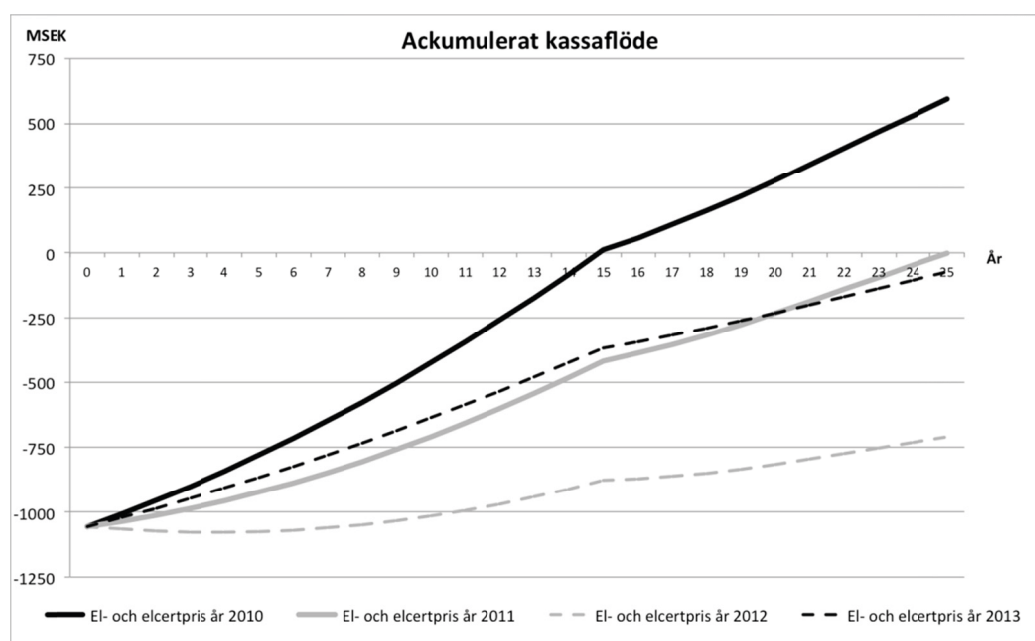
Även om några parker har byggts är funktionen *svag*. Den installerade effekten är 211 MW och inget bygge pågår nu (2014). Huvudskälet till den svaga marknadsutvecklingen är att det regelverk som Sverige har för att stödja investeringar i förnybar energiteknik – elcertifikatsystemet – är konstruerat för att ge incitament till investeringar i de tekniker som på kort sikt är mest kostnadseffektiva (landbaserad vindkraft). Incitamenten är således otillräckliga för havsbaserad vindkraft då kostnaden ligger över den för landbaserad vindkraft (Malmberg, 2012). Det är särskilt problematiskt när elcertifikat- och elpriserna är låga samtidigt. Den sammanlagda

³⁹ I Vinnovas utlysning VINNVÄXT tilldelade vad som benämns Offshore Väst ett planerings- och mobiliseringsbidrag som också stöds av Västra Götalandsregionen. Offshore Väst ska ta fram en långsiktig plan för hur svensk industri kan utvecklas och växa inom offshoresegmentet. Utifrån det arbetet och synpunkter från konsortiemedlemmar bedriver nu Offshore Väst ett fördjupat arbete inom några områden som så småningom skall resultera i bl.a. en plattform för havsbaserad förnybar energi.

⁴⁰ Swerea SWECAST bedriver forsknings- och konsultverksamhet på gjuteriområdet, bl.a. inom materialteknik, gjutsimulering, processteknik samt energi- och miljöfrågor. Verksamheten bedrivs i ett nära samarbete med branschorganisationen Svenska Gjuteriföreningen och är sannolikt ett exempel på relaterad kompetens med potentiellt värde för havsbaserad vindkraft.

intäkten för elproducenterna från dessa två marknader sjönk från 80 öre/kWh år 2010 till 46 öre/kWh år 2012 för att stiga marginellt till 54 öre/kWh 2013.⁴¹

En fluktuerande ersättningsnivå utgör dessutom en källa till osäkerhet och därmed ett hinder för investeringar, särskilt med de långa ledtider som finns från investeringsbeslut till att anläggningen genererar intäkter (Intervju G). Figur 3:8 illustrerar denna osäkerhet genom att visa det ackumulerade kassaflödet som funktion av priserna på el och elcertifikat under 15 respektive 25 år för E.ONs park Kårehamn. Med de genomsnittspriser som var år 2010 har projektet återbetalats år 15 och genererat ett överskott på 590 MKr år 25. Används samma priser som år 2012 genereras istället ett underskott med 700 MKr år 25.



Figur 3:8. Ackumulerat kassaflöde för E.ON:s park Kårehamn som funktion av genomsnittspriser på el och elcertifikat. Källor: Produktionskostnaden som används är tagen från Figur 3:7, elpris från Nordpool spot och elcertifikatpris från CESAR.

⁴¹ Låga intäkter påverkar även tillståndsgivningen. När Kattegatt Offshore fick nej på sin ansökan om att bygga en park ingick de förväntade (låga) intäktströmmarna i argumentationen (Vänersborgs Tingsrätt, Mark och Miljödomstolen, 2014, sid 59–60).

Elcertifikatsystemet är ett kvotbaserat system och om kvoten är fylld sjunker priset på certifikaten och därmed företagens intäkter. Då vissa parker är mycket stora riskerar en enskild investering i en havsbaserad vindkraftspark att fylla kvoten och därmed sänka priserna för alla investerare inom ramen för elcertifikatsystemet, inklusive för det företag som genomför investeringen.⁴² Ur en investerares perspektiv kräver därför en utbyggnad av havsbaserad vindkraft en garanti för att kvoten höjs i takt med att produktionskapaciteten ökar. Då sådana garantier inte finns förknippas elcertifikatsystemet med en politisk risk och det är därför svårt att arbeta med stora projekt inom ramen för det (Intervju G och H). Denna risk är särskilt uttalad i Sverige som har relativt lätt att uppfylla framtida EU-direktiv, inte minst med förslaget från EU-kommissionen om ett mål på 27 % förnybar el år 2030.

Ytterligare skäl till att funktionen är svag är svårigheten att erhålla kostnadstäckande ersättning vid export av el samt flaskhalsar i transmissionskapaciteten. Vid en export till, t.ex. Tyskland, erhålls spotpriset som ersättning och detta är inte kostnadstäckande utan speglar marginalkostnaden. Detta utgör inget problem för tyska producenter av havsvindel då de erhåller ett fast och kostnadstäckande pris. En utbyggnad skulle därför behöva kombineras med en möjlighet att exportera el mot kostnadstäckande ersättning vilket förutsätter ett prisbildande regelverk för exportmarknaden. Om handeln blir omfattande behövs även en utbyggnad av transmissionskapaciteten.

Utmaningarna för att nå målet för 2030 är, sammanfattningsvis, att hantera institutionella systemsvagheter i form av elcertifikatsystemet (nationellt) och brist på regelverk som gör det möjligt att förverkliga de komparativa fördelar Sverige synes ha i produktion av havsbaserad vindel (nationellt och exogent). En tekniksvaghet finns även i begränsad internationell transmissionskapacitet (nationellt och exogent).

3.4.3 Vägledning av aktörernas sökprocesser – medel

Denna funktion bedöms vara *medel*. Det finns ett omfattande intresse från projektörer och kraftbolag att bygga havsbaserade vindkraftsparker, ett intresse som började växa fram kring millenniumskiftet (Intervju B och I). Som Rönnborg (2003, sid 14) förklarar:

”Som en följd av den växande opinionen mot vindkraftsetablering på land samt att det började bli ont om bra vindlägen på land riktade projektörerna sitt intresse mot att bygga vindkraftverk i havet, så kallade offshore etableringar. Det växande intresset för offshore var inget svenskt fenomen. Över hela

⁴² Blekinge Offshore räknar med en årlig produktion på 7,5 TWh och WPDs projekt Finngrundet (som fick avslag på sin ansökan om tillstånd) hade kapacitet att producera 5.5 TWh/år. Sedan den 1 januari 2012 har Sverige och Norge en gemensam marknad för elcertifikat. Syftet är att öka produktionen av förnybar el med 26,4 TWh till år 2020 jämfört med år 2012. Med en linjär utbyggnad motsvarar det 3,3 TWh/år i ökning. Ett stort havsbaserat projekt kan då uppta hela utrymmet och riskerar att kraftigt sänka priset på elcertifikat för alla projekt inom systemet, inklusive det egna projektet.

Nordeuropa ökade fokus mot offshore både från projekteringsbolagens sida såväl som från tillverkarna som började designa maskiner avsedda för offshore etablering. Tanken med en etablering till havs var att bättre kunna utnyttja vindresurserna och på så vis få en ökad produktion.”

Hittills har endast ett fåtal anläggningar byggts i Sverige, men tillstånd finns för anläggningar som förväntas kunna producera drygt 8 TWh och ansökningar finns för parker som kan producera ytterligare 12 TWh.⁴³ Därutöver finns projekt i ännu tidigare faser.

En bidragande orsak till att många tillstånd sökts är att elcertifikatsystemet tidigare kompletterades med en miljöbonus för vindkraft som var 180 kronor/MWh år 2002 (Söderholm, 2009).⁴⁴ Dessutom subventionerades vindpilotprojektet Lillgrund med 213 MKr (Söderholm, 2009) och Vindpark Vänern med 40 miljoner. Samtidigt steg den samlade intäkten från el och certifikatförsäljning fram till 2011. Det finns även en insikt om möjliga kostnadsfördelar vid produktion i Östersjön (Intervju J).

För andra delar av värdekedjan, utrustnings- och tjänsteleverantörer, kommer *vägledning av aktörernas sökprocesser* främst från ambitiösa mål och stödjande regelverk i andra EU-länder och den förväntan som finns på industrialisering av koldioxidsnåla tekniker. För flytande vindkraftverk tillkommer en mycket stor marknadspotential på djupare vatten och, kanske, ett behov för företag inom marin teknik av att strategiskt diversifiera från olje- och gasindustrin.

Utmaningen för att stärka denna funktion så att målet för 2030 kan nås är desamma som för att formera marknader – företag torde inte genomföra investeringar i vindkraftsparker med nuvarande regelverk och priser på el och elcertifikat. En exportbaserad investeringsvåg faller på bristen på regelverk som ger kostnadstäckande intäkter samt brister i transmissionskapaciteten. En svag hemmamarknad innebär sannolikt även att företag med relaterad kompetens tvekar att diversifiera mot havsbaserad vindkraft då det kan vara både dyrare och svårare att få det första kontraktet bortom hemmamarknaden, vilket motverkar måluppfyllelsen för industriell tillväxt.

⁴³ De som utvecklade projekt initialt har ofta sålt dem vidare till investerare. Vattenfall köpte Lillgrund och Kriegers Flak medan E.ON köpte utvecklaren Aircole med dess tillstånd för Kårehamn och Midsjöbanken (Intervju J). WPD är en projektutvecklare som har byggt ett antal parker i EU och är seriöst med avseende på att bygga parker liksom ägarna till Blekinge Offshore. Den potential produktionen förknippade med erhållna och sökta tillstånd är därför en god indikator på *sökprocessen*.

⁴⁴ Ett problem med miljöbonusen var att den lockade aktörer till havsbaserad vindkraft men de långa tillståndprocesserna gjorde att nya projekt inte kunde ta del av de initialt högre ersättningsnivåerna. Lillgrund som påbörjade tillståndprocessen 1997 med ambitioner att få ta del av investeringsstödet kunde efter en lång tillståndprocess invigas sommaren 2008 av Kung Carl XVI Gustaf. Vid det laget var bonusen 7 öre/kWh medan det var 18 öre/kWh 2003.

3.4.4 Entreprenöriellt experimenterande – medel

Även denna funktion bedöms vara *medel*. Engagemanget i utvecklingen av nya havsbaserade vindkraftsparker bidrar till denna bedömning även om investeringarna främst är begränsade till projektutveckling.⁴⁵ Som beskrevs i avsnitt 3.2 och 3.3.1 finns det ett industriellt engagemang även längre bak i värdekedjan. I olika delar av värdekedjan finns det fortfarande stora tekniska utmaningar som kräver att företagen utvecklar och prövar nya lösningar. SKF utvecklar lager och mätutrustning för nya turbinkonstruktioner som är anpassade för havets svårare förhållanden. ABB har en omfattande utveckling och produktion inom HVDC kabelteknik med tillhörande kraftelektronik, vilket som nämndes i avsnitt 3.1, är förknippad med stora tekniska osäkerheter. De experimenterar även strategiskt och investerar 400 miljoner dollar i Karlskrona för att dubbla kapaciteten (Intervju K).⁴⁶ Nya teknikbaserade företag experimenterar med utveckling av flytande vindkraftverk. En strukturell styrka ligger således i näringslivets engagemang. Funktionens styrka speglas även i antalet patentansökningar (avsnitt 3.3.1).

Det finns många utmaningar för att stärka denna funktion och nå målet 2030, inklusive det industriella tillväxtmålet: *entreprenöriellt experimenterande* hämmas av svag hemmamarknad, brist på regelverk för kostnadstäckande export av el och bristande transmissionskapacitet.

3.4.5 Resursmobilisering – svag

Funktionen bedöms som *svag*. Den täcker in fyra slags resurser: humankapital, finansiellt kapital och fysisk infrastruktur i form av elnät och hamnar.

En industrialisering av den havsbaserade vindkraften innebär ett behov av *humankapital*. Eftersom svenskt näringsliv är diversifierat och kompetent kan humankapital till del hämtas från relaterade näringar som bilindustrin och olje- och gasindustrin. Specialiserat humankapital, som drifts- och underhållspersonal, projektledare, ingenjörer som konstruerar och bygger havsbaserade transmissionsnät samt personal som gör miljökonsekvensutredningar behöver dock utvecklas (Jacobsson och Karltorp, 2012). Till exempel räknar företrädare för Blekinge Offshore att 150 drifts- och underhållstekniker kommer att behövas vid en fullskalig investering (Intervju G).

⁴⁵ Det är avsevärda kostnader förknippade med ansökningsprocessen vilken kan ta många år.

⁴⁶ Detta innebär naturligtvis ett risktagande. Enligt ABBs andra kvartalsrapport för 2014 (ABB, 2014, sid 1) ska verksamheten minskas inom förnybar energi pga. dålig ekonomi: "... koncernen påverkades av en förlust i divisionen Power Systems relaterad till kostnader i stora pågående EPC-projekt (engineering, procurement and construction) inom generering av solkraft och havsbaserad vindkraft. Den nya ledningen har vidtagit strikta åtgärder för att minska risken i portföljen och anpassa resurserna för divisionen. Förutom att upphöra med EPC-projekt inom solkraft inför företaget en ny affärsmodell för EPC-projekt inom havsbaserad vindkraft."

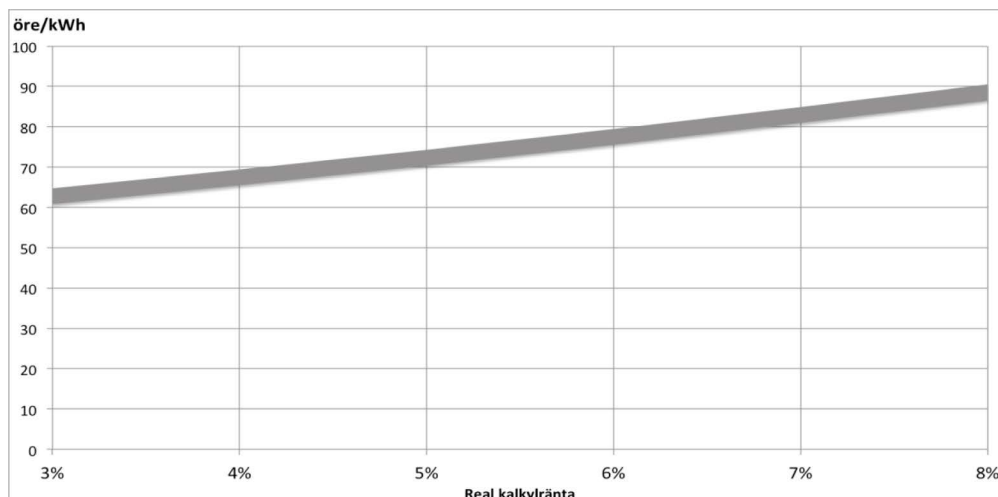
Landets enda ettåriga magisterprogram inom vindkraft ges på Campus Gotland och är inriktad på projektledning (Intervju H). I ingenjörsutbildningar på sju universitet ingår dock block med vindkraft där studenter kan göra egna arbeten inom området eller läsa enstaka kurser (Nätverket för Vindbruk, 2014). Till exempel finns det på Chalmers Tekniska Högskola inslag om vindkraft inom inte bara elteknik utan även inom maskinteknik och matematik (Intervju M; Technopolis, 2014). Kungliga Tekniska Högskolan har, liksom Chalmers, utbildning i elteknik. Utbildningssystemet behöver dock ses över för att undvika att flaskhalsar uppstår på olika nivåer. Ett tydligt exempel är bristen på ingenjörer inom elteknik och högspänningsteknik som påverkar flera delar av värdekedjan, inklusive utveckling och produktion av HVDC-nät (Intervju K).

Centralt placerade bedömare menar att tillgång till *finansiellt kapital* kommer att utgöra ett av de största hindren för utbyggnad av den havsbaserade vindkraften (Intervju B, H, I, J). Det skulle kosta 180–230 miljarder kronor att bygga en kapacitet att leverera 30 TWh.⁴⁷ En förutsättning för att detta kapital ska mobiliseras är att det finns långsiktiga och stabila regelverk som håller nere den politiska, och därmed den marknadsmässiga, risken (Deutsche Bank, 2011, Rubel m. fl., 2013). Medan dylika regelverk är en nödvändig förutsättning är de sannolikt inte tillräckliga för att kapital ska tillföras till rimliga kostnader (Jacobsson och Karltorp, 2013), vilket bland annat beror på följande faktorer:

- 1 Kraftbolagen har inte tillräcklig finansiell kapacitet via balansräkningen, särskilt inte om de är engagerade i flera parker samtidigt.
- 2 Den finansiella krisen påverkar tillgången på kapital från kommersiella banker. Syndikatmarknaden har minskat och införandet av striktare regelverk för kapitaltäckningsgraden gör att bankernas utlåningsförmåga minskar. Samtidigt förväntas lån ges med kortare tidsram vilket ökar risker och kostnader.
- 3 Det finns tekniska risker vid upphandling, installation och produktion och finansiella aktörer förknippar havsbaserad vindkraft med hög risk. De är därför tveksamma till att investera, särskilt innan parken är byggd, och kräver höga riskpremier (Intervju N).

Då havsbaserad vindkraft är kapitalintensiv är en hög riskpremie starkt kostnadsdrivande. Produktionskostnadens känslighet för den reala kalkylräntan illustreras i figur 3:9 där det framgår att en procentenhets lägre ränta leder till cirka 5 % lägre produktionskostnad. En tysk studie menar till och med att räntekostnaden är den enskilda kostnadspost som har störst potential till kostnadsreduktion fram till 2020 – av en total potential på 40 % kan denna utgöra en femtedel (Hobohm m.fl., 2013). Utmaningen är därför att forma regelverk som minskar de politiska (marknadsmässiga) riskerna och finna ett sätt att lyfta över tekniska risker från investerare till samhället i stort.

⁴⁷ Den lägre siffran baseras på kostnadsangivelser för existerande projekt i Sverige medan den högre kommer från Elforsk (2011).



Figur 3:9. Produktionskostnadens känslighet för den reala kalkylräntan enligt Elforsks (2011) beräkningsmodell, exempel från Kårehamn.

Det nuvarande regelverket innebär att den som investerar i havsbaserad vindkraft även måste bygga *elnätet* fram till det landbaserade elnätet samt betala för eventuella förstärkningar av detta.⁴⁸ Vid en storskalig utbyggnad riskerar det nuvarande regelverket att skapa problem genom brist på koordinering av investeringar i parker och i elnätets utbyggnad, på land och till havs.

Svenska Kraftnät (2012, sid 15) understryker behovet av långsiktig planering för att hantera en utbyggnad av stamnätet:

”... en storskalig utbyggnad av vindkraften ... förutsätter ett flexibelt och starkt stamnät... Svenska Kraftnät kan inte besluta om förstärkningsåtgärder så länge det är osäkert om produktionen verkligen blir av, var den förläggs och hur stor den blir. De höga ambitionerna för utbyggnad av vindkraften är utan en närmare geografisk fördelning en stor utmaning ur ett stamnätsplaneringsperspektiv.”

En koordinering mellan lokalisering av vindkraftsparker och det landbaserade stamnätets utbyggnad skulle underlätta för Svenska Kraftnät att garantera anslutning till stamnätet, vilket är nödvändigt för att eliminera investerarens osäkerhet.⁴⁹ I denna process kan Svenska Kraftnät tydliggöra var lokaliseringar är bäst ur ett stamnätsperspektiv. En sådan koordinering görs i Frankrike och Danmark (Intervju R).

⁴⁸ E.ON:s investering i Kårehamns havsbaserade vindkraftspark medförde en kostnad på 200 miljoner för förstärkning av nätet på Öland (Ljungman, 2013).

⁴⁹ Ett exempel på hur en investering i havsbaserad vindkraft kan leda till investeringsbehov i stamnätet är den planerade förstärkningen av stamnätet som föranleds av Blekinge Offshores planer på att bygga en park med en kapacitet på 2,5 GW (Svenska Kraftnät, 2012).

Vid en storskalig utbyggnad riskeras även att regelverket skapar kostnadsineffektiva lösningar genom brist på koordinering av utbyggnad av det havsbaserade elnätet och havsbaserade vindkraftsparker, lösningar som även kan innebära lägre leveranssäkerhet (Intervju A). Stone (Intervju O) – ansvarig för utveckling av regelverket i Storbritannien – menar att denna koordinering är en nyckelfråga men att sättet att sköta den inte är given. Både Tyskland och England har gjort omfattande förändringar i initiala regelverk.

Det finns två syften med dessa regelverk. Det första är att säkerställa att investerare i elnät och vindkraftsparker inte hamnar med så kallade ”stranded assets”, vilket sker om elnätet byggs ut utan att planerade parker etableras eller om parker etableras utan möjlighet till nätanslutning. Detta problem uppstår inte när kraftbolaget har ansvar för både parken och elnätet.⁵⁰ Det andra är att åstadkomma en koordinering av *olika* kraftbolags investeringar i parker med utbyggnaden av elnätet – istället för att varje bolag bygger egna kablar kan synergier skapas genom gemensam infrastruktur (CCC, 2011). E.ON (2011, sid. 48) betonar betydelsen av en planerad utbyggnad av elnätet och ”efficient bundling of grid connections of wind farms” för att minska kostnaden för havsbaserad vindkraft. Kostnadseffektivitet kan därför förutsätta att parker byggs i kluster (Intervju J), vilket sannolikt kräver havsplanering med avsättning av specifika områden för havsbaserad vindkraft. Det förutsätter även att dessa kluster faktiskt planeras ihop med elnätets utbyggnad. Den tyska lagstiftningen ändrades för att säkerställa en koordinering (von La Chevallerie, 2013).

En del av dessa kluster kan komma att överskrida landgränser vilket innebär att koordineringen kan behöva göras över landsgränser. Ett exempel är E.ON:s planerade park Södra Midsjöbanken och motsvarande polska parker (Intervju J). Vidare finns det fördelar att samordna utbyggnaden av elnätet för utökade handelsmöjligheter mellan länder med elnätet till olika kluster: kostnaderna kan minska och kapacitetsutnyttjandet öka (European Commission, 2010). Detta leder tanken till en utvidgning av stamnätet med ett havsbaserat nät som kopplar ihop flera länder kring Östersjön.⁵¹

Utmaningen för elnätets utbyggnad är således att forma regelverk för havsplanering (avsätta områden för havsbaserad vindkraft) och koordinering av investeringar till havs med nätutbyggnaden på land och till havs.

⁵⁰ I Storbritannien tvingade kraftbolagen fram möjligheten att själva bygga elnätet vilket blev en övergångslösning i väntan på ett nytt regelverk (Intervju A och O).

⁵¹ Svenska Kraftnät (2012) pekar på behovet av bättre samordning, bland annat av den fysiska planeringen av elnätet.

Hamnar utgör en nödvändig infrastruktur och olika europeiska hamnar anpassar sig för att stödja utbyggnaden av havsbaserad vindkraft (EWEA, 2011). En utvecklad hamn behöver klara av att ta emot djupgående båtar och tillgängliggöra uppställningsytor för torn, blad och fundament. Hamnen behöver även erbjuda ytor och infrastruktur för att underleverantörer ska kunna etablera sig i anslutning till hamnen. I exempelvis Bremerhaven är flera turbintillverkare lokaliserade tillsammans med tillverkare av fundament, ett forskningsinstitut (IWES) och en högskola. Belfast bygger en 100 000 m² stor anläggning (Huss, 2013). Då kostnaderna för ombyggnad är höga är det av vikt att regelverken för marknadsutveckling är attraktiva, långsiktiga och stabila samt att olika projektörer/kraftbolag samarbetar för att skapa en långsiktig marknad för en specifik hamn (Huss, 2013).⁵² Det finns en risk att svenska hamnar inte kommer att utvecklas för att stödja en framtida utbyggnad av havsbaserad vindkraft eftersom det saknas långsiktiga mål och stabila förutsättningar för marknadsutveckling.

Sammanfattningsvis är flaskhalsar på olika nivåer i utbildningssystemet (TIS och nationellt), stora risker och dyrt kapital (TIS och nationellt), avsaknad av regelverk för koordinering av investeringar i parker och nätverk (TIS, nationellt och exogent) samt brist på incitament för hamnombyggnader (TIS), utmaningar som behöver mötas för att stärka denna funktion så att 2030-målet kan nås.

3.4.6 Utveckling av socialt kapital – svag

Funktionen utveckling av *socialt kapital* bedöms vara *svag*. En gemensam organisation, Vindkraftsforum (politiskt nätverk) bildades emellertid 2013 och ett *socialt kapital* formas vilket ger styrka till nätverket som håller på att utökas. Detta nätverk omfattar emellertid inte förespråkare för andra förnybara energitekniker då elcertifikatsystemet gör dessa antagonistiska (Bergek m.fl., 2008).

Lärandenätverk (vilka kräver *utveckling av socialt kapital*) finns mellan svenska företag och utländska kunder, till exempel mellan SKF och olika turbintillverkare (Intervju P). För *utveckling av socialt kapital* i lärandenätverk mellan svenska aktörer i värdekedjan krävs dock starkt *marknadsformering* genom att byta ut eller komplettera elcertifikatsystemet. Slutligen finns det sedan länge en från politisk debatt om vindkraftens legitimitet mellan främst basindustrin, med allierade aktörer, och förespråkare för vindkraft vilken försvårar *utveckling av socialt kapital* mellan den havsbaserade vindkraftsindustrin och elintensiva kunder (3.3.7).⁵³

⁵² I Storbritannien har regeringen fördelat 130 miljoner pund till stöd för ombyggnad av hamnar.

⁵³ Samtidigt är Vindin, som ägs av elintensiva företag som Stora Enso, LKAB och Cementa, delägare i Blekinge Offshore och förväntas bidra med en del finansiering om tillstånd erhålls för att bygga denna stora park (Nilsson och Svensson, 2013).

3.4.7 Legitimering – svag

Enligt SOM- institutet (Hedberg och Holmberg, 2014) anser 84 % av svenska folket att det bör satsas mer (61 %) eller lika mycket som idag (23 %) på vindkraft. Det anses även finnas en högre betalningsvilja bland allmänheten för havsbaserad vindkraft (3,4 öre/kWh) jämfört med vindkraftverk i skogslandskap (Vindval, 2013). Trots detta stöd bedöms funktionen som *svag*. Detta utgör ett stort problem eftersom möjligheten att stärka *marknadsformering, vägleda sökprocessen* och främja *entreprenöriella experiment* förutsätter att legitimiteten stärks – *legitimeringsprocessen* är därför nyckeln till dynamiken i detta TIS. Det finns organisationer som arbetar för att stärka processen. Bland dem finns fyra regioner (Västra Götaland, Skåne, Blekinge och Kalmar) men även riksdagspolitiker (t.ex. Hatt m.fl., 2014) och en del företag, exempelvis SKF och WPD. Det finns emellertid även en motverkande normbildning samt konkurrerande intressen.

Med avseende på normbildning understryker Schenner (2011) betydelsen av låga elpriser i det svenska politiska samtalet, vilket är förknippat med basindustrins elintensitet och dess stora ekonomiska betydelse. Betoningen på kortsiktig kostnadseffektivitet och den förknippade teknikneutraliteten bidrog till elcertifikatsystemets tillkomst 2002 – ett regelverk som infördes för att uppfylla EU:s förnybarhetsdirektiv (Bergek och Jacobsson, 2010) och inte för att möjliggöra en långsiktig omställning. Legitimiteten motverkas även av lättheten att uppfylla 2020-målet samt de senaste årens nettoexport av el, vilket gör att det kan ses som onödigt att bygga ny kapacitet. Det kan således vara svårt att motivera investeringar i ny kapacitet för både politiker och företagsledare.

Med avseende på konkurrerande intressen är basindustrin och dess organisation SKGS tveksam till storskalig utbyggnad av vindkraften med hänvisning till kostnadseffektivitet och leveranssäkerhet (Palm, 2014). Medan en del vindkraft ses som ett positivt inslag i energisystemet (Palm, 2014a) menar Johansson och Palm (2014) att alternativen till dagens kärnkraftverk är nya kärnkraftverk och gaskraftverk. Ifrågasättande av värdet av en storskalig utbyggnad av vindkraften har förstärkts genom den intensiva debatten av den tyska ”Energiewende” (omställningen av det tyska energisystemet), där diskursen betonar den förnybara elens brist på ”affordability” – ett i EU allmänt förekommande begrepp.⁵⁴ Ett exempel på hur den tyska debatten har gett eko i Sverige är när näringsutskottets ordförande, Mats Odell (2014), länkar den tyska vindkraftspolitiken till privata konsumenters höga elpris (28 eurocents).⁵⁵ Debattens synes även ha påverkat EU-kommissionens

⁵⁴ Se bland annat SKGSs (2014) tolkning av den tyska debatten.

⁵⁵ Det är enkelt att visa att merkostnaden är låg – mindre än 0,3 eurocent/kWh. År 2012 producerade vindkraften 51 TWh (AGEB, 2013) och erhöll 8,8 eurocent/kWh i ersättning (Kuechler and Meyer, 2012, tabell 8). Spotpriset var 5,4 eurocent/kWh (Kuechler and Meyer, 2012). Extrakostnaden för vindkraften blir då 3,4 eurocent gånger 51 TWh vilket blir 1,7 miljarder euro. Den totala elförbrukningen var 607 TWh (AGEB, 2013). Om merkostnaden slås ut på denna förbrukning blir den 0,29 eurocent/kWh.

förslag på a) ett lågt mål för 2030 (27 % förnybart) samt b) begränsning av godtagbara styrmedel till sådana som förväntas leda till kortsiktig kostnadseffektivitet (European Commission, 2013, stycke 116–127). I denna europeiska debatt ses vindkraften som en högkostnadsteknik som dessutom, vid en omfattande spridning, orsakar ökade systemkostnader (och osäkerhet) genom sin variabilitet. Denna bild utgör en stark blockeringsmekanism för *legitimeringsfunktionen*.

Som nämndes ovan motverkas *legitimeringsprocessen* även av risken att en investering i en havsbaserad vindkraftspark fyller hela elcertifikatkvoten och därmed sänker priserna för alla investerare inom ramen för elcertifikatsystemet. Denna risk motverkar skapandet av politiska nätverk som spänner över flera teknikområden och ett gemensamt *legitimeringsarbete*. En ytterligare faktor är konkurrerande verksamheter som fiskenäringen och skeppsfarten, kustnära befolkning och Försvarsmakten. Försvarsmakten har, t.ex. opponerat sig mot Blekinge Offshores planer att bygga världens största vindkraftspark (2,5 GW) och ärendet ligger hos den svenska regeringen för avgörande (2014).

Således, för att uppnå 2030-målet är det av avgörande betydelse att *legitimeringsprocessen* stärks så att det finns en acceptans hos politiker och andra som är inriktade på kortsiktig (privat) kostnadseffektivitet (nationellt), hos basindustrin (nationellt), hos andra investerare vars ekonomi påverkas av elcertifikatsystemet (nationellt) och hos andra konkurrerande verksamheter (nationellt).

3.4.8 Sammanfattning av funktionella styrkor och svagheter

Tabell 3:1 sammanfattar funktionella styrkor och svagheter. *Vägledning av aktörernas sökprocesser* samt *entreprenöriellt experimenterande* uppvisar en viss styrka, då dessa påverkas av utvecklingen i andra länder, och *kunskapsutveckling och spridning* är även den av medelstyrka. *Legitimering, marknadsformering och resursmobilisering* är svaga eftersom de är mer beroende av systemsvagheter inom Sverige. *Utveckling av socialt kapital* är även den svag.

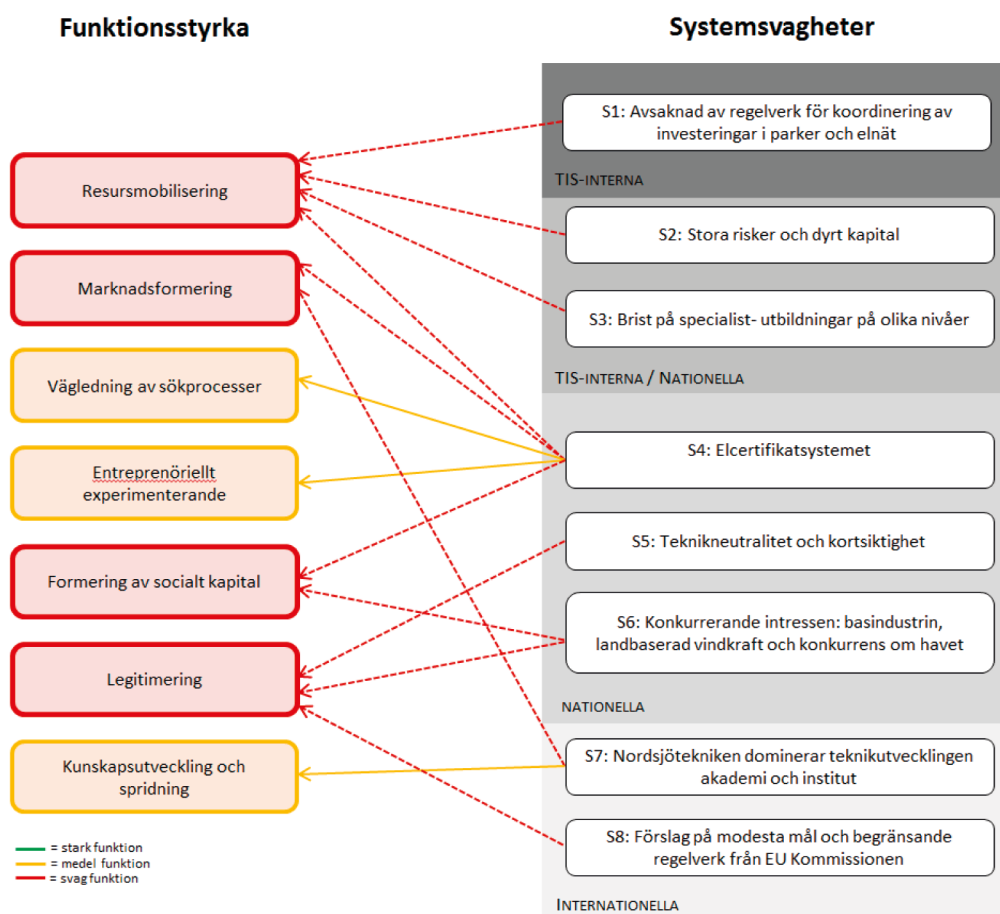
Tabell 3:1. Sammanfattning av funktionella styrkor och svagheter.

Kunskapsutveckling och spridning	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Mellanhög patenteringsgrad, vissa lärande nätverk, två akademiska centrubildningar, utveckling av testcentra	<i>Svagheter</i> • EU fokus på Nordsjöteknik vilket inte kompenseras av inhemsk kunskapsutveckling
Entreprenöriellt experimenterande	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Stora företag som ABB och SKF är drivande; en del mindre företag har etablerat sig; 20 företag publicerade patentansökningar 2012–2013, inkl. inom flytande vindkraftverk.	<i>Svagheter</i> • Med den svenska industristrukturen torde många fler företag kunna diversifiera in i systemet och utveckla tekniken/marknaden, särskilt "innanahavs-teknik"
Resursmobilisering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Väl utbyggt transmissionsnät inom landet och många hamnar • Relaterad kompetens att dra på i näringslivet	<i>Svagheter</i> • Svaghet i formering av specialiserat humankapital • Finansiellt kapital är svårt att mobilisera till rimlig ränta • Omfattande koordineringsbehov vid utbyggnad av elnätet • Hamnar måste byggas om
Utveckling av socialt kapital	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Växande socialt kapital i politiskt nätverk; socialt kapital i vissa lärande nätverk	<i>Svagheter</i> • Svagt socialt kapital mellan aktörer inom land- respektive havsbaserad vindkraft samt mellan vindkraftsförespråkare och basindustrin med allierade aktörer
Legitimering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Stark legitimitet bland en del regionföreträdare, politiker och företag samt positiv inställning till vindkraft i allmänhet hos befolkningen	<i>Svagheter</i> • Låg legitimitet hos basindustrin, förespråkare av teknikneutralitet och kortsiktig kostnadseffektivitet samt hos konkurrerande verksamheter
Vägledning av aktörernas sökprocesser	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Ledande länders ambitioner och politik attraherar företag	<i>Svagheter</i> • Avsaknad av stimulans från en inhemsk marknad
Marknadsformering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Tidig marknadsutveckling som gav erfarenheter	<i>Svagheter</i> • Avstannande investeringar och otillräckliga drivkrafter för investerare

3.5 Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden

Det svenska systemet har strukturella styrkor i näringslivets engagemang (*Aktörer*) och i *Teknikbasen* (kunskapsnivån). En närvaro finns i flera delar av värdekedjan även om turbintillverkning utgör ett tomrum. Även ett växande *politiskt nätverk* är en strukturell styrka. *Institutionerna* är dock inte anpassade till havsbaserad vindkraft. I figur 3:10 listas åtta systemsvagheter varav sex berör *institutioner*, två *tekniken* och två *aktörer*. I detta avsnitt diskuteras utmaningar för privata och statliga aktörer i samband med dessa systemsvagheter.

Figur 3:10 sammanfattar kopplingarna mellan systemsvagheter och funktioner. Vissa funktioner påverkas av flera svagheter och att samma svaghet kan blockera mer än en funktion. Det kan således krävas flera åtgärder för att stärka en funktion och en enskild åtgärd kan stärka mer än en funktion. Analysen har lett till en specificering av sju utmaningar för att systemet ska nå målet. Dessa diskuteras under fyra rubriker som speglar olika åtgärdsområden.



Figur 3:10: Samband mellan systemsvagheter och funktioner.

3.5.1 Stärk den havsbaserade vindkraftens legitimitet

Systemsvagheterna 5, 6 och 8 blockerar *legitimeringsfunktionen* vars svaghet bedöms utgöra det största hindret för dynamiken – utan en förstärkt legitimitet kommer regelverken inte att justeras för att möjliggöra a) stärkt *marknadsformering*, b) ökad *vägledning av aktörernas sökprocesser*, c) främjande av *entreprenöriella experiment*. Ej heller kan *socialt kapital* förväntas skapas i en större omfattning mellan den havsbaserade vindkraftsindustrin och den elintensiva delen av näringslivet. En stärkt legitimitet innebär att acceptansen växer hos politiker och andra som nu är inriktade mot kortsiktig kostnadseffektivitet och begränsar analysen till Sverige; hos basindustrin; hos investerare i annan teknik vars ekonomi påverkas av elcertifikatsystemet samt hos andra konkurrerande verksamheter. Utmaningarna är inte bara att utveckla en politik präglad av långsiktighet i ett bredare EU-perspektiv samt att genomföra en havsplanering för att minska konflikterna om havsytan, utan även att granska bilden av vindkraften som en högkostnadsteknik som dessutom, vid en omfattande spridning orsakar ökade systemkostnader (och osäkerhet) genom sin variabilitet. I vad som följer fokuseras denna senare fråga.

Det finns tre källor till osäkerhet huruvida denna bild speglar verkligheten. För det första, debattens fokus är konsumentkostnad och inte samhällsekonomisk kostnad, där den senare även omfattar negativa externa effekter och subventioner genom statsbudgeten. Negativa externa effekter är kostnader som elproducent/konsument skapar för tredje part utan att dessa återspeglas i priset, till exempel lungsjukdomar som uppstår vid luftföroreningar och kostnader förknippade med förändrat klimat.⁵⁶ Från ett policyperspektiv är den samhällsekonomiska kostnaden den mest relevanta.

För det andra, den svenska debatten präglas av en förvirring om kärnkraftens kostnader och hur den förhåller sig till vindkraftens; både privat- och samhällsekonomiskt. Längre hävdades det att kärnkraftens privata kostnader var väsentligt lägre än vindkraftens (Elforsk, 2011; SKGS, 2010). Det hävdas ibland fortfarande (Ramböll, 2013) men det är svårt att finna belägg för detta eftersom få verk har byggts i OECD-länderna under 2000-talet.

En överenskommelse gjordes 2013 mellan den engelska regeringen och det franska bolaget EDF om en inmatningstariff (strike-price) på 92,5 pund/MWh (drygt 1 krona/ kWh) i 35 år för el från en ny kärnkraftsanläggning i Hinkley Point.⁵⁷ Inmatningstarifferna är generellt mycket höga i Storbritannien och kanske har EDF lyckades göra en bra förhandling (McKerron, 2013; Palm, 2014). Det kan dock vara så att kostnaden ligger på denna nivå, eller strax under. Det finns därför en stor osäkerhet i vad ny kärnkraft skulle kosta i förhållande till ”innanhavsteknik” (jämför kostnaderna med de i figur 4:3).

⁵⁶ En uppskattning för Tyskland ger vid hand att denna ligger omkring 17 eurocents/kWh för kolkraft och 9.5 eurocents/kWh för landbaserad vindkraft (Lauber och Jacobsson, 2014).

⁵⁷ Denna tariff ökar dessutom med inflationen (vilket inte gäller för ersättningar till förnybara energitekniker).

Till dessa privata kostnader för kärnkraften ska subventioner läggas i form av lånegarantier (vilka minskar räntekostnaden) och begränsat ansvar vid olycka (McKerron, 2013). I Sverige är kraftbolagets ansvar maximerat till 1,2 miljarder euro och Palm (2014) menar att ett tak på skadeansvaret bör finnas för "... att el är en samhällsnytta och... det är rimligt att även staten tar ett ansvar". Staten absorberar således risker förknippade med kärnkraften, vilket utgör en subvention.⁵⁸ Även kostnader för subventioner i samband med stängning och nedmontering av kraftverk och andra anläggningar behöver inkluderas.⁵⁹ De samhällsekonomiska kostnadernas storlek är således högre än de privata men det är okänt på vilken nivå de ligger, vilket även gäller för den havsbaserade vindkraften.

För det tredje, en fullständig kostnadsanalys omfattar systemkostnader för teknologier med särskilt variabel produktion, som vindkraft. Det finns omfattande forskning (Holttinen m.fl., 2013; Svenska Kraftnät, 2013) och en politisk debatt (Söder, 2013, Palm, 2014a) som kretsar kring de systemkostnader och risker som en stor utbyggnad av variabla kraftkällor medför. När dessa ökar sin andel av den årliga produktionen ställs krav på hög flexibilitet i övriga delar av energisystemet. En distinktion görs mellan reglerresurser och reserver och hur mycket av dessa som behövs beror på vindkraftens variabilitet, d.v.s. hur mycket den aggregerade vindkraftsproduktionen varierar på systemnivå (Svenska Kraftnät, 2013). Med en svensk systemavgränsning menar Söder (2013) att det inte finns oöverstigliga hinder för kraftsystemets balansering vid 55–60 TWh /år från vind- och solkraft i Sverige, mycket beroende på vattenkraftens reglerförmåga. Han understryker dock att detta inte är detsamma som att frågan är trivial eller att det inte finns några utmaningar. Söder (Intervju Q) förklarar att 55–60 TWh inte är omöjligt men understryker att det inte bevisats på grund av att han antog perfekta prognoser och tog inte hänsyn till de flaskhalsar som finns i överföringskapaciteten inom Sverige.

Vidare beror storleksordningen på variabilitetsutmaningen (och därmed utmaningen för vindkraftens legitimitet) inte bara på omfattningen av den variabla produktionen utan även på systemavgränsningen. Holttinen m.fl. (2013) argumenterar för att det finns en utjämnningseffekt när gränsen vidgas.⁶⁰ En svensk systemavgränsning är därför för snäv. Genom att Sverige är med i Nordpool måste dessutom frågan ses ur ett nordiskt perspektiv. Svenska Kraftnät (2013, s. 99) poängterar "... att balanshållningen är en nordisk fråga och det krävs

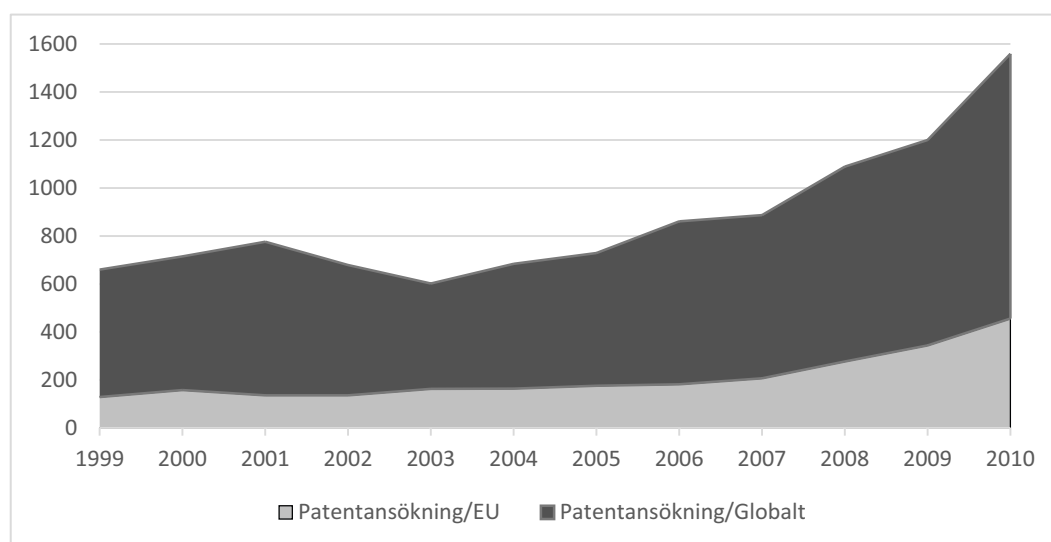
⁵⁸ Det finns en stor spännvidd i beräkningarna av de negativa externa effekterna för kärnkraft (UBA, 2008) och därför storleken på denna subvention, vilket dock inte rättfärdigar att utesluta denna kostnadspost i olika analyser.

⁵⁹ Sellafeld i England beräknas, till exempel, kosta skattebetalarna 70 miljarder pund (Economist, 2014).

⁶⁰ Holttinen med flera (2013, sid 20) skriver att "Wind power production in Denmark and Sweden is correlated. This is explained by noting that a large share of the Swedish capacity is located along Sweden's southern coast, close to Denmark. Sweden and Norway show a weaker correlation... and correlation between Finland and Denmark, and Norway and Denmark is almost non-existent". Det följer att (ibid s. 96): "Any changes in the installed wind power siting more generation outside Denmark and Southern Sweden would increase the smoothing effect in Nordic countries".

en gemensam insats av de nordiska TSO:erna för att få hela bilden klar av hur vindkraften kommer att påverka driften av det nordiska kraftsystemet.” Svenska Kraftnät rekommenderar därför att frågan om nya reserver bör diskuteras på nordisk nivå.

Det finns ett antal olika tekniska lösningar (förutom vattenkraft) för att hantera variabilitetsproblemet, givet en viss systemavgränsning (Göransson, 2014). Dessa utvecklas primärt i TIS:ets kontext. Gaskraftverk nämns ofta och dessa kan drivas med biogas istället för naturgas – genom elektrifiering av bussar kan biogas frigöras för elproduktion (se kapitel 6). Förgasad biomassa (kapitel 7), som kan användas till både drivmedelsproduktion och kraft/värme-produktion, är ett framväxande alternativ liksom vätgas och bränsleceller. Reglermarknaden kan stärkas genom att inkorporera förbrukningsbud och smarta elnät kan på sikt komma att påverka hushållens elförbrukning. Vidare är patenteringen inom energilagring snabbt växande och antalet sökta patent i EPO ökade kraftfullt under förra decenniet (figur 3:11), både från EU-länder och totalt.



Figur 3:11. Antal patentansökningar inom energilagring till EPO från EU länder och totalt, 1999–2010.⁶¹ Källa: Bearbetning av OECD.Stat Extracts.

Det finns således ett antal åtgärder som kan vidtas för att hantera variabilitetsfrågan men arbetet med att utveckla specifika lösningar på olika nivåer är i sin linda och det är oklart vad systemkostnaderna hamnar på. Det finns även frågetecken om vattenkraftens användning som reglerkraft i Norden eftersom den kommer att efterfrågas i högre utsträckning i övriga delar av Europa i takt med att den variabla elproduktionen ökar.

⁶¹ Energy storage, patent applications to EPO (EU 28), inventor country of residence and application date.

Sammanfattningsvis finns det stora osäkerheter i bilden av vindkraften som en högkostnadsteknik, som vid en omfattande spridning orsakar ökade systemkostnader (och leveransosäkerhet) genom sin variabilitet. Samtidigt finns det en legitim oro från den elintensiva industrin om elpriset och hur variabilitetsproblematiken ska hanteras samt till vilken kostnad. En stärkning av *legitimeringsfunktionen* torde därför kräva en fördjupad diskussion kring om en satsning på havsbaserad vindkraft måste stå i motsatsställning till basindustrins önskan om trygg elförsörjning till lågt pris.

Det synes därför angeläget att genomföra en grundlig analys av elsystemet 2030 och framöver med syfte att påvisa hur ett stabilt elsystem med konkurrenskraftiga priser kan se ut. Analysen får inte vara en partsinlaga utan bör genomföras av en grupp med representanter från olika delar av samhället. Analysen bör omfatta enskilda produktionsteknikers kostnadsnivå (privat och samhällsekonomisk), förväntade lärlkurvor, behov av regler- och reservkraft samt lösningar för att öka elsystemets flexibilitet och kostnader för detta. Även de industriella tillväxtmöjligheter som dessa lösningar skapar bör analyseras. Analysgruppen inkluderar lämpligtvis nordiska medlemmar då det är av vikt att utveckla en strategi för att hantera vindkraftens variabilitet på Nordpoolbasis. En del av denna strategi kunde vara att absorbera risken för effektbrist⁶² genom att utöka reserven med t.ex. biogaskraftverk – som Svenska Kraftnät (2013, 38) argumenterar: ”eftersom medverkan i reglerkraftmarknaden idag är frivillig, kan det vara motiverat att utreda om driftsäkerheten äventyras när behovet av manuella reglerresurser... ökar”.

Eftersom regelverk beslutas av staten är privata aktörers möjligheter begränsade till att identifiera systemsvagheter som blockerar denna funktion och försöka påverka dessa. Ett politiskt nätverk är aktivt och tilltar i styrka men behöver växa ytterligare för att kunna stärka *legitimeringsfunktionen*.⁶³

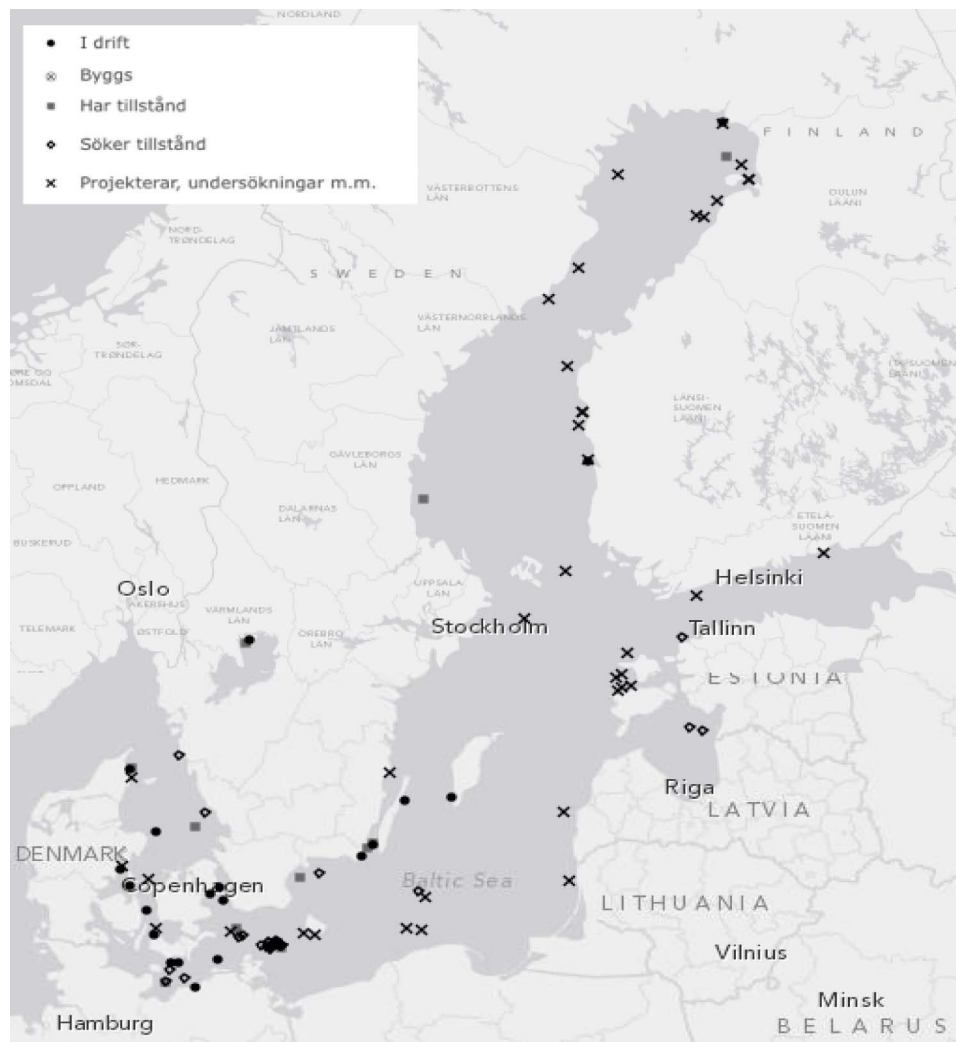
3.5.2 Byt ut eller komplettera elcertifikatsystemet

Elcertifikatsystemet utgör systemsvaghet 4 och blockerar dynamiken i *marknadsformering, vägledning av aktörernas sökprocesser, entreprenöriella experiment och resursmobilisering*. Dessutom försvåras *utveckling av socialt kapital* mellan företrädare för den havsbaserade vindkraften och andra tekniker som ingår i elcertifikatsystemet då dessa får en antagonistisk relation. Det är därför en nyckelfråga att forma ett regelverk som skapar marknader, ger incitament för företag att etablera sig och experimentera, förenklar för dessa att mobilisera resurser samt underlättar för samarbete mellan företrädare för olika TIS. En annorlunda eller kompletterande regelverk skulle inte enbart påverka utbyggnaden av den havsbaserade vindkraften utan troligtvis attrahera fler företag med relaterad kompetens till att etablera sig i andra delar av värdekedjan. Lärandenätverk med starkt *socialt kapital* skulle då ha möjlighet att formas. Särskilt intressant är möjligheten för

⁶² Som nämndes ovan absorberar staten mycket av risken vid kärnkraftsolyckor.

⁶³ Utöver att påverka inhemska aktörer kan udden riktas mot EU-kommissionens förslag med dess a) låga ambitionsnivå och icke-bindande mål för förnybar energi samt b) regler för acceptabla regelverk som domineras av kortsiktig kostnadseffektivitet. Denna kombination riskerar leda till att ny kapacitet inte byggs i den takt som behövs för att uppnå målet.

dess företag att utveckla ”Innanhavstekniken” för Östersjön (se även 3.4.4) där cirka 90 TWh skulle kunna produceras i anläggningar som projekteras, söks tillstånd för eller har tillstånd (figur 3:12).⁶⁴



Figur 3:12. Översiktsbild av den havsbaserade vindkraften i Östersjön.

⁶⁴ Det finns parker i drift med kapacitet på 1,3 GW; det byggs nya med kapacitet på 0,3 GW; tillstånd finns för parker med 3,6 GW kapacitet; det söks tillstånd för parker med kapacitet på 10,1 GW och det projekteras för parker med 14,4 GWs kapacitet. Många projekt som projekteras är ännu i ett så tidigt stadium att de inte har angett någon beräknad produktion. Vi har därför uppskattat produktion med en kapacitetsfaktor på 40 %. Uppgifter om projekt i Östersjön har sammanställts från <http://www.wab.net>, <http://www.4coffshore.com>, http://www.southbaltic-offshore.eu/news/imgs-media/Karte_Ostseeraum_Download.pdf, <http://www.offshore-stiftung.com/Offshore/aktuelles/-/51,51,60005,liste9.html> och <http://www.ptmew.pl/pl/strona-glowna.php>

Storbritannien, Tyskland och Danmark har olika regelverk och inspiration kan fås från en analys av dessa (Söderholm, 2009; Jacobsson m.fl., 2013; Svensk Vindenergi, 2013). Regelverket bör även säkerställa möjligheten till kostnadstäckande export av el. Export inom ramen för Nordpool skulle kunna fyllas av ett samarbetsavtal mellan de berörda länderna kring Östersjön vilket kan kompletteras med bilaterala avtal med andra EU-länder. Denna systemsvaghet är naturligtvis omöjlig för privata aktörer att påverka direkt.

3.5.3 Stärk resursmobiliseringen

Resursmobiliseringen är mångfasetterad och utgör en nyckelfunktion i skiftet till den kommersiella tillväxtfasen. Systemsvagheter 1–3 blockerar denna funktion: avsaknad av regelverk för koordinering av investeringar i parker och elnät, höga risker och dyrt kapital samt brist på specialistutbildningar. Till dessa kan läggas brist på incitament för att bygga anpassade hamnar. Även för denna funktion ligger mycket ansvar på statliga aktörer men privata aktörer har en större roll att spela än vid stärkande av funktionerna ovan.

För *finansiellt* kapital är utmaningarna att forma regelverk som minskar politiska risker och marknadsrisker samt finna lösningar som minskar och lyfter över tekniska risker från investerare till samhället. De senare kan kräva ingrepp i kapitalmarknaden för att säkra tillgång till kapital med rimlig ränta. Då havsbaserad vindkraft är mycket kapitalintensiv har räntenivån en stor påverkan på produktionskostnaden – som visades i figur 3:9 kan denna vara drygt 60 öre/kWh vid 3 % realränta medan den stiger till 90 öre/kWh med 8 % realränta. Det är således av stor betydelse för produktionskostnaden, och för vindkraftens legitimitet (avsnitt 3.4.1), att realräntan begränsas. De tyska och brittiska regeringarna har, vid sidan om långsiktiga och attraktiva regelverk, statliga banker som delfinansierar investeringar (KfW, Green Bank) samt lyfter bort risker från privata investerare. KfW har erhållit 5 miljarder euro för att investera i 10 parker.⁶⁵ En annan lösning är att en statlig bank, som SBAB, ger ut ”gröna” obligationer som staten står som garant för och som används för att investera i havsbaserad vindkraft.⁶⁶ Ett dylikt riskavlyft kunde vara ett sätt att få investerare som pensionsfonder att tillföra kapital. Även privata aktörer kan med hjälp av nya affärsmodeller underlätta försörjningen av kapital – det danska kraftbolaget DONG är ett exempel (Jacobsson och Karlton, 2013).

Omfattning på behovet av *humankapital* beror på det industriella tillväxtmålet. Med höga ambitioner kommer flaskhalsar att uppstå, men en utbildningspolitik som vägleds av det förväntade kompetensbehovet kan minska dessa. Utmaningen är således att koordinera utbildningspolitiken med dessa ambitioner, vilket kan te sig svårt eftersom högskolorna har stor autonomi. En koordinering skulle

⁶⁵ Finansieringsfrågan är akut genom låga elpriser och osäkerhet för kraftbolagen vilket försämrar deras rating på kapitalmarknaden, med åtföljande högre räntekostnader (Intervju I).

⁶⁶ Denna lösning kan naturligtvis användas för andra infrastrukturella investeringar, exempelvis förgasad biomassa och kärnkraft.

dock kunna innebära införandet av inslag med havsbaserad vindkraft i allmänna utbildningar. Ett exempel kan vara valfria kurser (i Sverige eller utomlands) inom byggnadstekniska utbildningar för att bidra till försörjning av kompetens för att konstruera fundament. En anpassning kan även innebära utveckling av specialistutbildningar (som i Danmark, Tyskland och Holland). Ett exempel är den magisterutbildning i projektledning för havsbaserad vindkraft som planeras på Gotland (Intervju L). Uppmärksamhet bör även ges till särskilt kritiska utbildningar, exempelvis el- och högspänningsteknik, där intresset från svenska studenter är svalt (Intervju Q och M). En anpassning av högskolans utbildningsprogram måste dock göras inom ramen för de gränser som staten sätter budgetmässigt vilket kan leda till trögheter. Det är därför av stor vikt att aktörer i systemet artikulerar sina behov av humankapital.

För *elnätets* del av infrastrukturens utbyggnad är utmaningen att forma regelverk för havsplanering (avsätta områden för havsbaserad vindkraft) och koordinering av investeringar till havs med nätutbyggnaden på land och till havs. Privata aktörer kan, särskilt med sina erfarenheter från Tyskland och Storbritannien, bidra till regelverkets utformning. Slutligen, för utbyggnaden av *hamnar* krävs ett långsiktigt mål samt ett trovärdigt regelverk för formering av marknader. För projektörer tillkommer att framöver koordinera sina åtagande gentemot hamnarna och bidra till att denna del av infrastrukturen byggs upp.⁶⁷

3.5.4 Försvaga Nordsjöteknikens dominans av leverantörsindustrins utvecklingsinsatser

Parker som är lokaliserade i Östersjöns gynnsammare klimat har redan en kostnadsfördel gentemot installationer i Nordsjön (avsnitt 3.2.2). Då leverantörsindustrin, inklusive dess svenska företag, och tunga akademiska enheter/institut i EU fokuserar "Nordsjötekniken" föreligger det emellertid en brist på tekniska lösningar som är anpassade till Östersjöns fysiska förutsättningar. Nordsjöteknikens dominans bland leverantörsindustrin utgör systemsvaghet 7 vilken formar *kunskapsutveckling och spridning* på ett sätt som innebär att tekniken inte optimeras för Östersjöns förutsättningar. Potentialen för kostnadsminskningar förverkligas därför inte vilket försvagar funktionen *marknadsformering*.

Den redan existerande kostnadsfördelen kan stärkas genom att driva ett delvis parallellt utvecklingsspår till Nordsjötekniken i form av "Innanhavsteknik". Till del kommer förekomsten av marknadsskapande åtgärder att ge incitament för en sådan utveckling men dessa kan kompletteras med ett forsknings-, utvecklings- och demonstrationsprogram för anpassad teknik, där staten är medfinansier. Medan den exakta inriktningen på ett program inte kan specificeras kan några exempel ges på relevanta kunskapsområden (Dalén, 2013): fundament (inklusive lösningar som klarar förekomst av is och teknik för att installera fundamenten); turbiner (som är överdimensionerade och inte alltid passar Östersjöns vindförhåll-

⁶⁷ Blekinge Offshore, med sin planerade investering på 2,5 GW, förväntas leda till att hamnen i Karlshamn byggs om så att det blir en nod för byggande av andra Östersjöparker (Nilsson, 2014).

landen), logistiklösningar, inklusive skeppsbyggnad och lösningar för underhåll samt kraftöverföringslösningar. Ett program bör även inkludera flytande vindkraftverk – en teknik som är oberoende av vattendjup och bottenförhållande och som bygger på marinteknisk kompetens, ett styrkeområde i Sverige.⁶⁸

Ett program kunde samla aktörer från akademi och institut med relevanta kompetenser, exempelvis sjöfart, marin teknik, elteknik och byggnadsteknik, och företag i hela värdekedjan. Lärandenätverk med starkt *socialt kapital* skulle kunna utvecklas mellan kompetenta beställare, och akademi/institut där företagen artikulerar behov av nya lösningar och bidrar till dess utveckling på olika sätt (*entreprenöriella experiment*); från kravställning och demonstration till forskningspartner. Genom forskningens starka koppling till utbildning kan ett program även stärka *resursmobiliseringen*. Programmet skulle således kunna stärka inte bara *kunskapsutveckling och spridning* utan även *entreprenöriella experiment* och *resursmobilisering* (humankapital). Initiativ till ett program kan tas av akademi, institut, företag och stat och SWTC tog nyligen initiativ i frågan tillsammans med SP och några företag (2014). För statens del tillkommer frågan om (del)finansiering och incitament för *marknadsformering* så att företag ser en affärsmöjlighet inom området.

3.5.5 Avslutande kommentarer

Det finns således ett antal systemsvagheter vilka behöver åtgärdas med mångfasetterade insatser från stat, näringsliv, akademi och institut. Det är av stor vikt att realistiska förväntningar finns med avseende på de långa ledtider som är inblandade i att utveckla innovationssystemet. För investeringar i nya parker är det en fråga om cirka ett årtionde (Jacobsson m.fl., 2013). San Miguel med flera (Intervju J) och Svenska Kraftnät (2012) understryker även de långa ledtider som gäller för investeringar i transmissionsnät. Skapandet av nya utbildningsprogram och framväxt av ny specialiserad kompetens tar även det lång tid (Carlsson och Jacobsson, 1996). Även hamnombyggnader är tidskrävande. Det är därför centralt att i tid förmedla en trovärdig målbild. Först då blir det av intresse för aktörer att undersöka diversifieringsmöjligheter, engagera sig i FUD-program, formera nya utbildningsprogram, bygga upp en kompetens att investera i systemet och lägga resurser på att koordinera nätutbyggnad med parkutbyggnad etc.

Samtidigt är det av stor vikt att genomföra en politik som snarast börjar formera marknader så att de företag som är engagerade inte försvinner ur innovationssystemet. WPD, en ledande projektör med mycket stor erfarenhet, beslöt i juni 2014 att i stort sett avveckla sin svenska verksamhet inom havsbaserad vindkraft i avvaktan på långsiktiga politiska beslut som gör det möjligt att bedöma framtida intäkter (WPD, 2014). För att nå de uppsatta målen, i tid, är det därför av vikt att formera marknader snarast för att få igång en utbyggnadsprocess samtidigt som arbetet med långsiktiga förändringar påbörjas, inklusive det utredningsarbete som beskrivs i avsnitt 3.4.1.

⁶⁸ Synergier finns sannolikt med vågkraftens flytande vindkraftverks utveckling och dessa bör tas tillvara på.

3.6 Referenser

- 4C Offshore (2014): 4C Offshore <http://www.4coffshore.com/offshorewind/> 2014-05-12.
- ABB (2014): ABB redovisar stark ordertillväxt och starkt kassaflöde för andra kvartalet, Pressmeddelande, 23 juli.
- AGEB (2013): AGEB Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2013) Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2013 nach Energieträgern, data från 12 Dec 2013.
- BASREC (2012): Conditions for deployment of wind power in the Baltic Sea region, Baltic Sea Region Energy Co-operation (BASREC), April.
- Bergek, A. och Jacobsson, S. (2010): Are Tradable Green Certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine? Lessons from Sweden 2003–2008, *Energy Policy*, 38, 1255–1271.
- Bergek, A., Jacobsson, S. and Sandén, B. (2008): ‘Legitimation’ and ‘development of positive externalities’: two key processes in the formation phase of technological innovation systems’, *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol.20, No. 5, September 2008, pp 575–592 .
- Beurskens, L., Hekkenberg, M. and Vethman, P. (2011): Renewable Energy Projections as Published in the National Renewable Energy Action Plans of the European Member States. ECN and European Environment Agency.
- Bundesministerium (2011): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Tariffs, degression and sample calculations pursuant to the new Renewable Energy Sources Act (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG), 4 August 2011 (‘EEG 2012’).
- Carlsson, B. och Jacobsson, S. (1996): Technological systems and industrial dynamics – implications for firms and governments, in Helmstädter, Ernst and Perlman, Mark, editors: *Behavioral Norms, Technological Progress and Economic Dynamics: Studies in Schumpeterian Economics*, The University of Michigan Press.
- CCC, Committee on Climate Change (2011): The Renewable Energy Review, May.
- Dalén, G. (2013): Presentation av Göran Dalén vid Windforce Baltic Sea, Stockholm 20–21 februari.
- DECC (2013): Investing in renewable technologies – CfD contract terms and strike prices, Department of Energy and Climate Change, London.
- Deutsche Bank Climate Change Advisors (2011): UK Offshore Wind: Opportunity, Cost and Financing.
- E.ON (2011): E.ON Offshore Wind Energy Fact book, E.ON Climate & Renewables, December.
- Economist (2014): Nuclear decommissioning. A glowing review, 2014-04-06, <http://www.economist.com/node/216000135/print>.

Elforsk (2011): El från nya och framtida anläggningar 2011, Sammanfattande rapport, Elforsk rapport 11:26

Energimyndigheten (2007): Långsiktsprogno 2006, Energimyndigheten, ER 2007:02.

Energimyndigheten (2009): Långsiktsprogno 2008, Energimyndigheten, ER 2009:14.

Energimyndigheten (2010): Kärnkraften nu och i framtiden, Energimyndigheten, ER 2010:21.

Energimyndigheten (2011): Långsiktsprogno 2010, Energimyndigheten, ER 2011:03.

Energimyndigheten (2013): Långsiktsprogno 2012, Energimyndigheten, ER 2013:03.

Energimyndigheten (2014): Produktionskostnads-bedömning för vindkraft i Sverige, ER 2014:16.

Energimyndigheten (2014a): Vindkraftsstatistik 2013, ES 2014:02.

Energimyndigheten (2014b): Scenarier över Sveriges energisystem, ER 2014:19.

Energimyndigheten (2014c): Energiläget i siffror, Energimyndigheten.

European Commission (2008): Offshore Wind Energy: Action needed to deliver on the Energy Policy Objectives for 2020 and beyond, COM(2008)768 final.

European Commission (2011): Energy Roadmap 2050, Energy Roadmap 2050 {COM(2011) 885}.

European Commission (2013): Draft guidelines for environmental and energy State aid, 2014-2020, http://ec.europa.eu/competition/consultations/2013_state_aid_environment/index_en.html.

Eurostat (2012): Total gross electricity generation, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00087&plugin=1>.

EWEA (2011): Pure Power – Wind energy targets for 2020 and 2030. Brussels.

EWEA (2014): Wind in power, 2013 European statistics, February 2014.

German Advisory Council on the Environment (2011): Pathways towards a 100% renewable electricity system, October.

Göransson, L. (2014): The impact of wind power variability on the least-cost dispatch of units in the electricity generation system. Doktorsavhandling, Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola.

Hatt, A, Andersson, M. och Yngwe, LK. (2014): Ta vara på förutsättningarna och exportera förnybar el från Östersjön, www.sydsvenskan.se/opinion/aktuella-fragor/ta-vara-paa-forutsattningarna.

Hedberg, P. och Holmberg, S. (2014): Folkets åsikter om olika energikällor 1999–2013, SOM-institutet, Göteborgs universitet.

- Hobohm, J., Krampe, L. and Peter, F. (2013): Cost reduction potentials of offshore wind power in Germany, Fichtner Prognos.
- Holttinen, H., Rissanen, S., Larsen, X., och Lövhölm, AS. (2013): Wind and load variability in the Nordic countries, VTT, Finland.
- Huss (2013): Presentation av Martin Huss vid Windforce Baltic Sea, Stockholm 20–21 februari.
- IAEA (2012): Bearbetning av data från IEA Energy Statistics – Renewables for OECD Europe and Electricity for OECD Europe, www.iea.org/stats.
- Jacobsson, S. Dolff, F. och Karltorp, K. (2013): Bidrag till en handlingsplan för havsbaserad vindkraft i Sverige – för säkrad eltillförsel, stabilt klimat och industriell utveckling, rapport nummer 2013:11, Miljösystemanalys, Chalmers.
- Jacobsson, S. och Karltorp, K. (2012): Formation of competences to realize the potential of offshore wind power in the European Union. *Energy Policy* 44:374–384.
- Jacobsson, S. och Karltorp, K. (2013): Mechanisms blocking the dynamics of the European offshore wind energy industry – challenges for policy intervention, *Energy Policy* 63: 1182–1195
- Johansson, J. och Palm, L. (2014): Industrin behöver tydliga besked i energipolitiken, DI Debatt, 20 januari.
- Karlton, K., S. Guo and B. Sandén (2014): Financial challenges in the Chinese wind power industry, submitted to a scientific journal.
- KPMG 2010. Offshore Wind in Europe – 2010 Market Report.
- KTH (2014): Nytt vindkraftscentrum vid KTH och Uppsala Universitet, <http://www.kth.se/aktuellt/nyheter/nytt-vindkraftscentrum-vid-kth-och-upsala-univer> 2014-09-22.
- Kuechler, S. and Meyer, B. (2012): Was Strom wirklich kostet, Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS), Berlin, September.
- Lauber, V. and Jacobsson, S. (2014): Lessons from Germany's "Energiewende", forthcoming in Fagerberg, J., Laestadius, S. and Martin, B.,(eds): *The Triple Challenge: Europe in a New Age*.
- LORC (2014): LORC Knowledge <http://www.lorc.dk/offshore-wind-farms-map/list> 2014-05-12.
- Malmberg, H. (2012): Havsbaserad vindkraft i Östersjön. Inventering av frågeställningar och analys av förutsättningar för lönsamhet.
- McKerron (2013): personlig kommunikation med Professor Gordon McKerron, University of Sussex, England.
- Navigant Research (2014): World Market Update 2013, international wind energy development forecast 2014–2018, March 2014.
- Nilsson (2014): Presentation av Anders Nilsson vid Regionstyrelsen Blekinge, 5/2

Nätverket för Vindbruk (2014): Högskoleutbildning, <https://www.natverketforvindbruk.se/sv/Utbildning/Hogskoleutbildningar/>

Odell, M. (2014): Dags att trappa ner stöden till vindkraft, SvD Opinion, 27/1.

Offshore Valuation Group (2010): The Offshore Valuation. A valuation of the UK's offshore renewable energy resource, Public Interest Research Centre, Machynlleth, Wales.

Palm L. (2014a): Balanserat elsystem ger stabilitet och konkurrenskraft, www.skgs.org/debatt-balanserat-elsystem-ger-stabilitet-och-konkurrenskraft, 2104-02-25.

Palm, L. (2014): Vi behöver en generation kärnkraft till, www.svt.se/nyheter/sverige/vi-behover-en-generation-karnkraft-till, 2014-02-25.

Rabobank. 2011. Reaching EUR 10c/KWh... 10 ways to cut subsidies in offshore wind. Utrecht

Ramböll (2013): Kortslutning i kraftbranschen, Stockholm.

Regeringens proposition 2001/02:143 Samverkan för en trygg, effektiv och miljövänlig energiförsörjning, mars 2002.

Rubel, H., Paulsen, K., Hering, G., Waldner, M. and Zenneck, J. (2013): EU 2020 Offshore-Wind *Targets*. The € 110 Billion Financing Challenge, The Boston Consulting Group.

Rönnborg, P (2003): Borta Med Vinden – En analys av konkurrensen mellan leverantörer av vindkraftverk i Sverige. Rapport Nr. 43, Maj 2003 Lunds Universitet.

SCB (2014): Tillförsel och användning av el 2001–2012 (GWh), www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Energi/Tillforsel-och-anvandning-av-energi/Arlig-energistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/6314/6321/24270/, data från 26/11.

Schenner, E. (2011): Policy Instrument Section in Environmental Politics: The Political Career of Tradable Green Certificates in the EU and Sweden, PhD dissertation, University of Salzburg, Austria.

SKGS (2010): Vad kostar kraften? Indikativ beräkning av kostnader för ny kraft exkl. styrmedel och skatter, Pricewaterhouse Cooper.

SKGS (2014): Energiewende: Lärdomar för Sverige, Stockholm.

Strålsäkerhetsmyndigheten (2013): Förändringar i lagen (2006:647) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet och förordningen (2008:715) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet, Dokument nr: SSM2011-4690-44.

Svebio (2013): Biokraftkartan 2013 http://www.svebio.se/sites/default/files/Biokraftkartan2013_webb.pdf

Swedish Wind Industry Database (2014): SWID registrerade företag inom havsbaserad vindkraft <http://www.windindustry.se/> 2014-10-08.

- Svensk Energi (2014): Elåret 2013, Svensk Energi, maj 2014.
http://www.svenskenergi.se/Global/Statistik/El%C3%A5ret/Sv%20Energi_el%C3%A5ret2013_versJUNI2014.pdf
- Svensk Vindenergi (2013) Särskild satsning på havsbaserad vindkraft, Svensk Vindenergi, April.
- Svensk Vindenergi (2014): Vindkraftstatistik och prognos, kvartal 3 2014.
<http://www.vindkraftsbranschen.se/wp-content/uploads/2014/10/Statistik-vindkraft-kvartal-3-2014-20141015.pdf>
- Svenska Kraftnät (2012): Perspektivplan 2025 – en utvecklingsplan för det svenska stamnätet, Svenska Kraftnät, Oktober.
- Svenska Kraftnät (2013): Integrering av vindkraft, Sundbyberg, Mars.
- Svenskt Näringsliv (2014): Sveriges framtida elbehov, Svenskt Näringsliv.
http://www.svensktnaringsliv.se/migration_catalog/Rapporter_och_opinionsmaterial/Rapporter/sveriges-framtida-elbehov_591161.html/binary/Sveriges%20framtida%20elbehov
- Swerea (2013): Vinnova-pengar till testcenter för vindkraft, Pressmeddelande, 2013-12-03.
- Söder, L. (2013): På väg mot en elförsörjning baserad på enbart förnybar el i Sverige, Elektriska Energisystem, KTH, 21.10.
- Söderholm, P. (2009): Styrmedel för havsbaserad vindkraft, ER 2009:09, Energimyndigheten.
- Technopolis (2014): Utvärdering av Svenskt Vindkrafts Teknisk Centrum, Faugert & Co Utvärdering AB.
- THEMA Consulting Group (2013): Offshore wind farms as joint projects. On behalf of the Nordic Working Group for Renewable Energy under Nordic Council of Ministers, June.
- UBA Umweltbundesamt (2008): Economic Valuation of Environmental Damage. Methodological Convention for Estimates of Environmental Externalities, Federal Environment Agency, Dessau-Rosslau, Germany.
- UBA Umweltbundesamt (2012): Best-Practice-Kostensätze Für Luftschästoffen. Verker, Strom-und Wärmezeugung, Anhang B der Methodkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten.
- Vattenfall (2012): Vattenfall undersöker förutsättningar för investering i ersättningsreaktorer, http://www.vattenfall.se/sv/news-details_152996.htm?newsid=E033D6727E24052BF75C979319646ED, Vattenfall (2013): Pressmeddelande, 2013-05-22.
- Wieczorek, A., Negro, S., Harmsen, R., Heimriks, G., Luo, L., Hekkert, M., 2013. A review of the European offshore wind innovation system. Renewable and Sustainable Energy Reviews 26, 294–306.

Vindval (2013): Vindkraft i öppet landskap, skog, fjäll och hav. Lokala förutsättningar för förankring, rapport 6540, januari 2013.

von la Chevallier (2013): Clearer path ahead under new grid connection rules, Windpower Monthly, special report. April, 10–11.

WPD (2014): WPD Offshore Stockholm AB minimerar verksamheten i väntan på långsiktiga politiska beslut, pressmeddelande, 19.06.

Vänersborgs Tingsrätt, Mark och Miljödomstolen (2014): Mål nr M 2036-12., DOM 2014-06-25.

3.7 Appendix

Genomförda intervjuer

Alias	Namn	Organisation	Datum
A	Å. Larsson	Vattenfall, London	Februari, 2012
B	Anders Ljungman	E.ON	Januari, 2013
C	Mikael Lindgren	Protrol Engineering	Februari, 2012
D	Ivarsson	Scandinavian Wind	Juni, 2014
E	Kjell Andersson	SVEBIO	Februari, 2014
F	H. Huhn	Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES)	Mars, 2010
G	Anders Nilsson och Hans-Olof Svensson	Blekinge Offshore	Januari, 2013
H	Hans Ohlsson	WPD	Januari, 2014
I	Jan Norling	Vattenfall	Mars, 2013
J	Salomé San Miguel, Lars Welander och Martin Almgren	E.ON	Januari, 2013
K	Ola Hansson och Karin Petermann,	ABB Karlskrona	Februari, 2014
L	Liselott Aldén	Uppsala universitet	Maj 2014
M	Ola Carlsson	Chalmers Tekniska Högskola	Maj 2014
N	Hans Ohlsson	WPD	Februari, 2013
O	D. Stone	Head of Offshore Transmission, Department of Energy and Climate Change, London,	Juni, 2012
P	Stefan Karlsson	Global Segment Manager/Renewable Energy at SKF	September, 2009
Q	Lennart Söder	KTH	Februari, 2014
R	Katherine Elkington	Svenska Kraftnät	Maj, 2013

4 Marin energi

Eugenia Perez Vico, Johnn Andersson och Linus Hammar, Chalmers tekniska högskola i samarbete med Tobias Walla, Energimyndigheten

4.1 Teknikområdet i ett globalt perspektiv

När havet påverkas av solen, vinden och månens dragningskraft omsätts stora energimängder som kan utvinnas ur vågor, tidvattenrörelser och strömmar samt genom de skillnader som uppstår i havets temperatur och salthalt (Lewis m. fl., 2011). Denna studie avser marin energi och inkluderar därmed våg-, tidvatten-⁶⁹ och strömkraft. Flytande vindkraft, strömkraft från inlandsälvar samt tekniker som nyttjar temperatur- eller salthaltsgradienter faller utanför systemgränserna.

Vågkraftverk omvandlar energin i havsvågor till el för elnätet eller för nischapplikationer såsom avsaltning av havsvatten och drift av mätstationer. De kan vara kustbaserade, installerade på havsbotten eller förankrade på större djup, och skiljer sig åt med avseende på hur vågenergin fångas upp, omvandlas till el och utjämnas för inmatning på elnätet (Cruz, 2008). Tidvatten- och strömkraftverk omvandlar energin i strömmande havsvatten till el. Trots att havsströmmar har en lägre energitäthet än tidvattenströmmar tillämpas likartade tekniker (Hammar m. fl., 2012). Många teknikkoncept liknar nedsänkta vindkraftverk, med horisontella eller vertikala axlar, men även mer avvikande koncept förekommer (EMEC, 2014).

4.1.1 Teknikens framväxt och potential

Det första vågkraftspatentet togs 1799, men utvecklingen av marin energi intensifierades först efter 1970-talets oljekris genom betydande forsknings- och utvecklingsaktiviteter i bland annat Storbritannien, Japan och Sverige (Cruz, 2008; Gruppen för vågenergiforskning, 1979; Intervju L). Utvecklingen avtog emellertid från mitten av 1980-talet (Cruz, 2008; Jeffrey m. fl., 2013). De senaste tio åren har nya drivkrafter, såsom klimatförändringar och industriell förnyelse, åter skapat politiskt intresse, vilket ökat investeringarna, kunskapsutvecklingen och innovationstakten (Jeffrey m. fl., 2013; Corsatea, 2014).

Den globala fysiska resurspotentialen för marin energi har uppskattats till 69 000 TWh per år. Givet tekniska och socioekonomiska begränsningar är dock endast en mindre del utvinningsbar, vilket framkommer i tabell 4:1.

⁶⁹ I begreppet tidvattenkraft innefattas ofta tidvattenfördämningar som utnyttjar nivåskillnader i havet. Eftersom denna teknik påminner om konventionell vattenkraft och betraktas som mogen och pålitlig exkluderas den ur studien (Rourke m. fl., 2010).

Tabell 4:1. Den globala resurspotentialen för marin energi (Sandén m. fl., 2014).⁷⁰

TWh per år	Fysisk potential	Teknisk potential	Socioekonomisk potential
Vågkraft	32 000	2 000	400
Tidvattenkraft	13 000	4 000	200
Strömkraft	24 000	data saknas	data saknas
Totalt	69 000	data saknas	data saknas

Resurspotentialen varierar stort mellan olika regioner; USA, Kanada, Ryssland, Kina och Europas atlantkust har särskilt goda förutsättningar (Lewis m. fl., 2011; Rourke m. fl., 2010). Resursens storlek och tillgänglighet påverkas av kustmorfologi samt globala vindmönster och tidvattencykler, vilka varierar med säsong och under kortare tidsperioder (Hammar m. fl., 2012; Lewis m. fl., 2011). Marin energi anses trots detta ha potential att producera relativt pålitlig och förutsägbart elkraft som kan komplettera andra energislag som utjämnande kraftkälla (Hammar m. fl., 2012; Kim m. fl., 2012). Eftersom resursen är utspridd ser även flera länder möjligheter att minska sitt importberoende av energi (Lewis m. fl., 2011).

4.1.2 Teknik-, marknads- och policyutveckling

Marin energiteknik är omogen och befinner sig i en tidig demonstrationsfas (Lewis m. fl., 2011). Många teknikkoncept utvecklas parallellt och dominant design saknas (Lewis m. fl., 2011; SI OCEAN, u.å.). Variationen mellan olika teknikkoncept är emellertid mindre för tidvattenkraft än för vågkraft (Jeffrey m. fl., 2013; LCICG, 2012). Troligen kommer flera teknikkoncept, anpassade efter olika typer av havsmiljöer, att finnas även när sektorn är mogen (Ingmarsson, 2014). Teknikutvecklingen är inriktad på konceptutveckling, modellering, tanktester och småskaliga havstester. Endast ett fåtal fullskaliga prototyper har testats i havsmiljö (Carbon Trust, 2011). Över 150 teknikutvecklingsbolag är emellertid aktiva inom vågkraft och cirka 100 inom tidvatten- och strömkraft (EMEC, 2014). Tidvattenkraft bedöms ligga närmare ett kommersiellt genombrott än vågkraft, vilket återspeglas i ett större intresse från investerare och energibolag (Ingmarsson, 2014; SI OCEAN, 2014). Strömkraft är längst från kommersialisering och inga fullskaliga prototyper har ännu demonstrerats (Lewis m. fl., 2011).

Trots stora satsningar finns fortfarande få elproducerande anläggningar globalt. Den installerade effekten för vågkraft uppgick år 2013 till cirka 5,4 MW och för tidvattenkraft till cirka 6,7 MW (OES, 2013). Storbritannien står för 71 % respektive 78 % (OES, 2013). Denna dominans bygger på en betydande naturresurs och ett starkt offentligt stödsystem, som bland annat innefattar relativt höga inmatningstariffer (Jeffrey m. fl., 2013; OES, 2014; DECC, 2013; Winskel m. fl., 2014). Storbritannien har även omfattande forskningsaktiviteter, med många involverade aktörer och ett stort antal vetenskapliga publikationer (Corsatea, 2014).

⁷⁰ För strömkraft saknas uppskattningar av teknisk och socioekonomisk potential eftersom osäkerheterna är mycket stora (Sandén m. fl., 2014).

De globala investeringarna i marin energi föll med hela 41 % mellan 2012 och 2013, men har totalt sett ökat med 11 % sedan 2004. Osäkerheter kring bland annat nationella målsättningar, marknadsincitament och teknikutveckling skapar stora variationer i investeringsviljan (Bloomberg New Energy Finance, 2014; Corsatea, 2014).

En översikt av de politiska stödinstrument som olika länder använder för att främja marin energi ges i tabell 4:2. Denna visar att den internationella tyngdpunkten ligger på forskningsfinansiering. Området erhöll 8 % av de energirelaterade satsningarna inom EU:s FP7-program (Europeiska Kommissionen, 2014) och dess roll betonas ytterligare inom Horisont 2020 (Ingmarsson, 2014). Tabell 4:2 visar också att många länder stödjer området genom att etablera nationella strategier som definierar effektmål och utvecklingsplaner, förenkla tillståndsgivning och havsplanering, införa marknadsincitament och etablera havstestanläggningar. Därtill framgår återigen Storbritanniens ledande position inom Europa och Kanadas dito på andra sidan Atlanten.

Tabell 4:2. Översikt av offentliga stödinstrument för marin energi i olika länder (OES, 2014).

	Nationell strategi					Marknadsincitament					Finansiering		
	Effektmål	Utvecklingsplan	Detaljerad resursbedömning	Havsplan	Innätningstariff	ROC	Elcertifikat	Portföljstandard för förnybart	Öppna havstestcenter	Förenklad tillståndsprövsprocess	Grundläggande FoU	Prototyptestning	Testcenter
Australien			X	X						UU			
Belgien			X	X			X		X	X	X	X	
Danmark									X		X		
Irland	X		X	X	X				UU	UU	X		
Italien	X				X						X		
Japan			X				UU	X			X	X	
Kanada	X		X	X	X				X	UU	X	X	X
Kina			X	X					UU		X		
Korea	X		X				UU	X			X	X	
Mexico													
Monaco													
Nigeria		UU											
Norge				X			X		X		X		
Nya Zeeland			X	X					P		X		
Portugal	X	UU		X					UU	UU	X		
Spanien	X		X						X	UU	X	X	X
Storbritannien	X		X	X	UU	X			X	X	X	X	X
Sverige				X			X		X	UU	X	X	
Sydafrika		UU	X										
Tyskland	X		X	X	X						X		
USA			X	X					X	UU	X	X	X

X: befintligt UU: under utveckling P: planerat

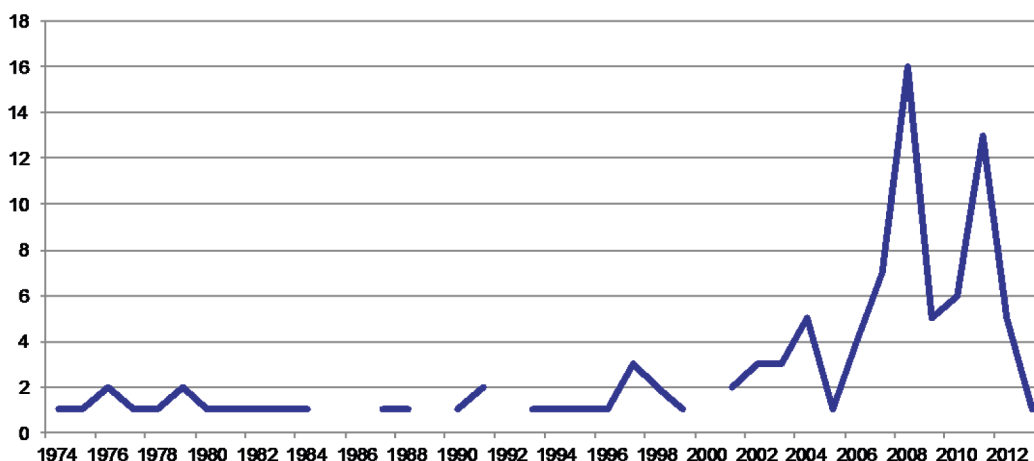
4.2 Strukturell analys

Mot bakgrund av denna genomgång av marin energi i ett globalt perspektiv presenteras det svenska innovationssystemets struktur.

4.2.1 Teknik

Marin energi är som tidigare nämnts ett omoget teknikområde som befinner sig i en tidig demonstrationsfas. Ingen dominant design har ännu framträtt inom vare sig våg-, tidvatten- eller strömkraft. Kartläggningen i denna studie visar att även de svenska bolagens teknikkoncept varierar och befinner sig i tidiga utvecklingsfaser. Några bolag, såsom Seabased, Minesto och Waves4Power, har testat sina koncept i havsmiljö, och flera andra bolag avser inleda havstester inom en snar framtid. Därtill har flera svenska strömkraftskoncept som även lämpar sig för havsmiljö testats i inlandsälvar.

En kartläggning inom denna studie har identifierat 102 svenska patent inom marin energi.⁷¹ Den första patentansökan är från 1902, men patenteringen tar verklig fart först efter 2004 (se figur 4:1).



Figur 4:1. Svensk patentering inom marin energi (1974–2013).⁷¹

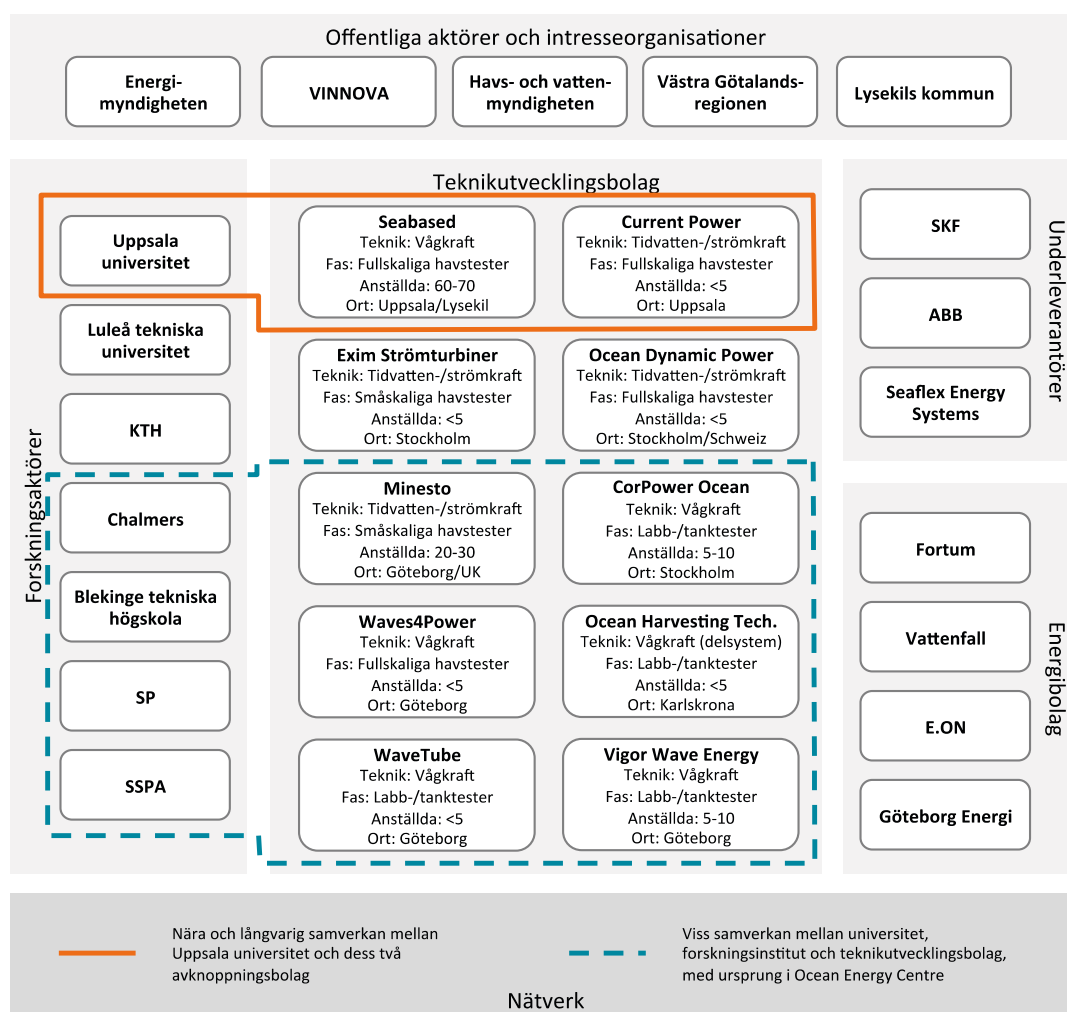
Sveriges resurspotential för marin energi är mindre än i många andra Europeiska länder (Lewis m. fl., 2011). Den tekniska resurspotentialen för vågkraft bedöms vara 10–30 TWh per år för hela Sveriges kust (Claesson m. fl., 1987; Gruppen för vågenergiforskning, 1979) och 8 TWh per år för de svenska delarna av Östersjön (Bernhoff m. fl., 2006). Sveriges möjligheter att producera tidvattenkraft anses

⁷¹ Sökningen är utförd 2014-04-03 på EPOs (European Patent Office) internationella databas över patentdokument (<http://worldwide.espacenet.com>), mestadels patentansökningar, och inkluderar svenska sökande (applicant) i patentklasserna Y02E10/28 (Tidal stream or damless hydropower) eller Y02E10/38 (wave energy or tidal swell).

försumbara (Intervju B), medan havsströmmar runt Orust och i Öresund kan ha viss potential (Grahn, 2011; Intervju N). Det finns emellertid få nyare studier av den tekniska och socioekonomiska resurspotentialen, och befintliga studier av vågkraft visar på relativt stor variation.

4.2.2 Aktörer och nätverk

Innovationssystemets aktörer delas in i teknikutvecklingsbolag, underleverantörer, energibolag, forskningsaktörer samt offentliga aktörer och intresseorganisationer. Det finns stora osäkerheter i den framväxande värdekedjans struktur och flera roller är tänkbara för både underleverantörer, teknikutvecklingsbolag och energibolag. Figur 4:2 illustrerar de viktigaste aktörerna och tydligaste nätverken.



Figur 4:2. De viktigaste aktörerna och tydligaste nätverken inom innovationssystemet.

Teknikutvecklingsbolag

Tio svenska teknikutvecklingsbolag är verksamma inom marin energi.⁷² Vissa är forskningsavknoppningar med nära koppling till universitet och högskolor (Current Power, 2014; Intervju E; Seabased, 2013), medan andra bygger på idéer från enskilda uppfinnare (CorPower Ocean, 2012) eller etablerade industriföretag (Intervju N; Minesto, 2013). Teknikutvecklingsbolagen är i huvudsak mindre uppstartsföretag som utvecklar unika teknikkoncept och delsystem (Ocean Harvesting Technologies, 2013; Minesto, 2013). Flera av dem har som ambition att bli leverantörer av kompletta vågkraftssystem (Intervju F och Q).

Även om föregångare till Waves4Power utfört havstester sedan 1970-talet, så har Seabased kommit längst. Seabased knoppades av från Uppsala universitet och aktörerna har en nära koppling (Intervju E och F). Just nu (2014) bygger bolaget tillsammans med Fortum en demonstrationsanläggning i Sotenäs som ska bli världens största vågkraftspark (Intervju F).⁷³ Minesto, som utvecklar ett tidvat-tenkraftskoncept, har också kommit relativt långt och testat (2014) i kvartsskala utanför Nordirland (Intervju N; Minesto, 2013). Övriga teknikutvecklingsbolag har begränsad verksamhet och få anställda. Dock har flera strömkraftsutvecklare genomfört fullskaliga tester i inlandsälvar (Intervju E; Ocean Dynamic Power, u.å.; Pettersson, 2014).

Energibolag

Flera energibolag i Sverige har satsat på marin energi, men i huvudsak utanför Sverige (E.ON, u.å.; Intervju I; Vattenfall, 2011). Dock har det inte rört sig om konventionella investeringar med förväntad avkastning, utan främst om strategiska satsningar för att bevaka områdets utveckling (Intervju B, C och I). De flesta energibolag är emellertid avvaktande, följer utvecklingen och har informella kontakter med teknikutvecklingsbolag (Intervju I). Energibolagen kan potentiellt agera som teknikutvecklare, projekteringsbolag, anläggningsägare och/eller eldistributörer. I denna studie betraktas de primärt som teknikneutrala ägare av marina energianläggningar, vilket är den dominerande ambitionen bland bolagen (Ingmarsson, 2014; Intervju I).

Fortum är det energibolag som satsat mest på marin energi i Sverige, genom investeringen i Seabaseds demonstrationsanläggning (Fortum, 2011). Vattenfall samarbetade med Uppsala universitet och Seabased runt 2006, men valde senare att fokusera på Irland och Skottland där förutsättningarna bedömdes vara bättre (Intervju I; Vattenfall, 2011). E.ON investerade 2009 i det svenska teknikutvecklingsbolaget Ocean Harvesting Technologies, men har sedan dess begränsat verksamheten i Sverige (Intervju O). Åren 2008–2009 samarbetade Göteborg Energi med det konsortium som senare bildade Waves4Power (Waves4Power, u.å.).

⁷² Tre av dessa bolag utvecklar strömkraftskoncept som kan tillämpas i både inlandsälvar och havsmiljö.

⁷³ Anläggningen planeras innefatta 420 kraftverk och få en installerad effekt på 10 MW (Fortum, 2011).

Underleverantörer

Flera svenska företag inom energi-, tillverknings- och offshorebranschen är potentiella underleverantörer av delsystem, komponenter och tjänster (Andersson, 2013a). Omkring 20 underleverantörer har samarbeten kring utveckling av specialiserade lösningar, leverans av standardkomponenter och enklare kunskapsutbyten (Intervju D, O och Q). Endast företaget Seaflex Energy Systems, som utvecklar och marknadsför förankringslösningar, har specialiserat sig på marin energi (Intervju K).

De mest engagerade stora industriaktörerna är SKF och ABB (Andersson, 2013a). SKF samverkar med svenska teknikutvecklingsbolag, i några fall genom konkreta men mindre projekt som involverat designteam. Bolaget har ett antal patent inom området, varav ett avser ett komplett teknikkoncept (Intervju D). ABB har investerat i utländska teknikutvecklingsbolag och levererat standardkomponenter till svenska teknikutvecklingsbolag (ABB, 2010, 2013; Intervju B).

Forskningsaktörer

Bland svenska universitet, högskolor och forskningsinstitut återfinns aktiviteter inom marin energi framförallt på Uppsala universitet, Chalmers och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP).

Uppsala universitets omfattande forskningsverksamhet anses vara världsledande med omkring 50 forskare, däribland 16–18 doktorander inom vågkraft och 5–6 inom marin strömkraft (Intervju E). Gruppen har etablerat en testanläggning för vågkraft vid Islandsberg på västkusten samt en testanläggning för marin strömkraft i Söderfors i Dalarna (Uppsala universitet, 2013a, 2013b; Intervju E; Nordgren m. fl., 2011). Uppsala universitet bedriver tillämpad och tvärvetenskaplig forskning som fokuserar på specifika tekniker för våg- respektive strömkraft (Uppsala universitet, 2011). Samverkan med avknopningsbolagen Seabased och Current Power är stark och personrörligheten hög (Billquist och Södahl, 2012; Intervju E).

Chalmers hade under 1970- och 1980-talet betydande forskning inom vågkraft och samarbetade med föregångare till Waves4Power kring havstester av teknikkoncept (Gruppen för vågenergiforskning, 1979; Intervju L; Waves4Power, u.å.). I dagsläget är dock verksamheten begränsad med 3–4 doktorander som arbetar specifikt med marin energi (Andersson, 2013b). Chalmers har emellertid administrerat nätverket Ocean Energy Centre och därigenom ökat sin samverkan med flera svenska aktörer (Andersson, 2013a). Chalmers Entreprenörskola har dessutom lagt grunden till teknikutvecklingsbolagen Minesto och WaveTube (Encubator, 2012; Intervju N).

SP har engagerat sig i en rad forsknings- och utvecklingsinitiativ (Intervju A). De deltog i Ocean Energy Centre och ledde under hösten 2013 en förstudie om etablering av en testanläggning för havsbaserad förnybar energi på västkusten. I dagsläget driver SP främjande aktiviteter inom ramen för VINNVÄXT-projektet OffshoreVäst, är engagerade i flera satsningar på de maritima näringarna och deltar i styrgruppen för den europeiska branschorganisationen Ocean Energy Europe (Intervju T och A).

Det finns även flera exempel på forskningsaktörer som har mer begränsade engagemang i innovationssystemet. Blekinge tekniska högskola samverkar med Ocean Harvesting Technologies genom laborietester och en industridoktorand (Intervju O). KTH samarbetar med CorPower Ocean och planer finns på att bygga en testanläggning för ett av bolagets delsystem (Ingmarsson, 2014). Luleå tekniska universitet har sedan länge samarbetat med både Uppsala universitet och Chalmers inom mekanik i energisystem (Ingmarsson, 2014). Därutöver samarbetar forskningsinstitutet SSPA med flera teknikutvecklingsbolag (Intervju T och Y).

Offentliga aktörer och intresseorganisationer

Innovationssystemets offentliga aktörer utgörs av statliga myndigheter och departement, regioner och kommuner. De är antingen involverade i forskning och utveckling eller i tillståndsprövning för test- och demonstrationsanläggningar i havsmiljö.

Energimyndigheten och VINNOVA är viktiga finansiärer av forskning och utveckling, tillsammans med bland annat Tillväxtverket och Vetenskapsrådet. Havs- och vattenmyndigheten är en central aktör inom tillståndsprövningen, där även myndigheter som Mark- och miljödomstolen, Länsstyrelsen, Kammarkollegiet, Sjöfartsverket, Trafikverket, Kustbevakningen, Försvarsmakten samt kommuner generellt är involverade. Myndigheternas aktivitet inom marin energi är dock begränsad (Intervju S och W).

Bland departementen har främst Näringsdepartementet aktiviteter som berör marin energi, om än i mycket begränsad omfattning. De tecknar övergripande direktiv inom energi- och näringslivspolitik, men inte på teknisk nivå. Vidare handlägger de både Energimyndigheten och VINNOVA samt arbetar strategiskt, exempelvis inom Blue Growth som är EU:s strategi för den maritima sektorn där marin energi är ett av fem fokusområden (Intervju U och X). Strategin speglas i regeringens nationella strategi för maritima näringar, vilken engagerar flera departement och utvecklar riktlinjer för offentliga aktörer (Ingmarsson, 2014; Intervju U och W; Mötesanteckningar, 2014c; Regeringen, 2014).

Den region med mest aktivitet inom området är Västra Götalandsregionen som finansierat och varit involverad i flera forsknings- och utvecklingsinitiativ (Intervju G), samt pekat ut marin energi som ett av fem maritima kluster (Intervju G; Wenblad m. fl., 2012).

Kommuner som är aktiva inom området finns framförallt i norra Bohuslän. Exempelvis har Lysekil stöttat Seabaseds etablering och påbörjat framtagningen av en marin översiktsplan tillsammans med tre grannkommuner (Intervju H; Rantakokko, 2014). Oskarshamns kommun har därtill intresserat sig för att etablera en testanläggning (Ingmarsson, 2014).

Det saknas områdesspecifika intresseorganisationer, även om lobbyarbete bedrivs inom samverkansinitiativ (Andersson, 2013a; Andersson m. fl., 2013). Viktiga intresseorganisationer finns emellertid inom sektorer som kan påverkas negativt av områdets utveckling, såsom Sveriges Fiskares Riksförbund vilka dock har en samverkansinriktad och försiktigt positiv inställning till marin energi (Intervju R).

Nätverk

Inom innovationssystemet finns två tydliga nätverksnoder (se figur 4:2). Den ena, Uppsalanätverket⁷⁴, karakteriseras av omfattande personrörlighet genom individer med dubbla anställningar och förtroendeposter, samt gemensamma forsknings- och utvecklingsprojekt (Billquist och Södahl, 2012; Intervju F). Samverkan sker även med berörda kommuner (Intervju H) och underleverantörer (Intervju F). Uppsalanätverket fokuserar på avknopningsbolagens tekniker och upplevs som slutet av andra aktörer (Billquist och Södahl, 2012; Intervju L). Den andra nätverksnoden utgår från samverkansplattformen Ocean Energy Centre som etablerades 2011 och samlade flera aktörer, bland annat kring utformningen av den bransch-gemensamma innovationsagendan Blå energi (Andersson, 2013a). Även om verksamheten i dagsläget är vilande har nätverket i viss mån levt vidare genom andra initiativ såsom OffshoreVäst. Nätverket fokuserar inte på en specifik teknik, består av en lösare samverkan än Uppsalanätverket och upplevs således som mer öppet och sökande.⁷⁵ Sinsemellan har de båda nätverksnoderna haft ytterst begränsad samverkan.⁷⁵ Sedan 2013 har emellertid kontakten utvecklats genom olika initiativ, i synnerhet kring innovationsagendan för marin elproduktion som drivs av Uppsala universitet och SP:s förstudie om en testanläggning på västkusten (Intervju I och N; Mötesanteckningar, 2014c). En tydlig skiljelinje framträder dock bland de svenska aktörerna avseende synen på samarbeten som samlar flera teknikkoncept. Antingen skattas värdet av övergripande utvecklingssamarbeten som litet (Intervju F), eller som centralt för branschens utveckling (Intervju O).

Nätverk växer även fram kring teknikutvecklingsbolagen, exempelvis i underleverantörsnätverk som ibland innefattar gemensam utveckling (Intervju N, O och Q) och i enskilda samarbeten med forskare (Intervju L och N). Ofta är dessa nätverk internationella, med fokus på Storbritannien, och innefattar utöver forskare och underleverantörer även andra teknikutvecklingsbolag, politiska aktörer och lobbyorganisationer så som RenewableUK (Intervju N, O och Q; Minesto, 2014). Teknikutvecklingsbolagen har emellertid begränsad kontakt med energibolag och stora industriaktörer (Intervju D, I och M).

Universitet och högskolor ingår i internationella forskningsnätverk, ofta genom ledande personer (Intervju E och L). Forskningskopplingarna mellan Uppsala universitet och Chalmers är dock svaga.⁷⁵

De politiska nätverken inom området är svaga och det saknas specifika bransch- och lobbyorganisationer (Andersson, 2013a; Intervju K). Dock finns en europeisk branschorganisation, Ocean Energy Europe, där flera svenska aktörer ingår. Även nätverk mellan forskningsfinansierande myndigheter är svaga (Mötesanteckningar, 2014c). Myndigheter involverade i tillståndsprövningar saknar en gemensam dialog kring marin energi och Havs- och vattenmyndigheten saknar en samordnad syn (Intervju W).

⁷⁴ Det nätverk som bildats kring Centrum för förnybar elomvandling vid Uppsala universitet, avknopningsbolagen Seabased och Current Power, samt berörda underleverantörer och kommuner i andra delar av landet, benämns som Uppsalanätverket i rapporten.

⁷⁵ Observationen baseras på interaktion under möten (Mötesanteckningar, 2014a, 2014b, 2014c).

4.2.3 Institutioner

Sverige saknar specifika lagar och regler för marin energi.

Teknikutvecklingsbolagens test- och demonstrationsaktiviteter i svenska vatten påverkas emellertid av en tillståndprocess där allmänhet, myndigheter och intresseorganisationer deltar, och Länsstyrelsen eller Mark- och miljödomstolen beslutar. Processen berör avvägningarna mellan konkurrerande intressen (såsom Försvarsmaktens och fiskerinäringens) samt mellan negativ lokal miljöpåverkan och positiva globala effekter genom energiomställning och minskad klimatpåverkan. Enligt miljölagstiftningen måste varje teknikutvecklare avfärda betydande miljöpåverkan eller visa att miljöpåverkan överträffas av allmännyttan, vilket kan kräva omfattande miljöstudier redan i test- och demonstrationsfasen (Mark- och miljödomstolen, 2014). Flera aktörer uppfattar processen som tidskrävande (Ingmarsson, 2014), men den väntas underlättas av den kommande nationella havsplaneringen som bereds av Havs- och vattenmyndigheten (Intervju F och Q). Myndigheter och kommuner ser havsplaneringen som ett hjälpmedel i avvägningen mellan motstående intressen (Intervju H, R och S). Dock är det fortfarande oklart hur avväganden ska hanteras.

Marin energi påverkas vidare av övergripande politiska styrmedel för förnybar energi (OES, 2012). Vågekraft inkluderas i elcertifikatsystemet, dock inte tidvatten- och strömkraft (Regeringen, 2003). Emellertid är vågekraft i dagsläget det minst mogna och dyraste av de inkluderade energislagen (Bloomberg New Energy Finance, 2014). Prissubventionen är liten i förhållande till stödsystem i andra länder. Exempelvis är Storbritanniens inmatningstariff på marin energi cirka fem gånger högre än det genomsnittliga priset för el inklusive elcertifikat i Sverige (DECC, 2013; Energimyndigheten, 2014). Marin energi anses inte vara politiskt prioriterat i Sverige (Intervju U och V), men området främjas ändå genom satsningar på forskning och utveckling (OES, 2013). En kartläggning inom denna studie har visat att de offentliga satsningarna sedan början på 2000-talet har uppgått till cirka 250 Mkr (se avsnitt 4.4.3).

Allmänhetens attityd till marin energi upplevs som mycket positiv (Hedberg, 2011; Intervju E, I, L och N). Området förväntas medföra mindre visuella och akustiska störningar än vindkraften, och ha begränsad miljöpåverkan (Intervju L och N). Trots att det saknas en organiserad lobby mot marin energi (Intervju N) kan den positiva attityden dock snabbt förändras om en storskalig utbyggnad inleds (Intervju J) eller om anläggningar placeras i områden som medför intressekonflikter (Intervju R).

4.3 Fasbestämning och målsättning

Föregående avsnitt beskrev hur innovationssystemet för marin energi är i en tidig demonstrationsfas som karakteriseras av begränsade aktiviteter och satsningar, stora osäkerheter, avsaknad av dominant design samt dyr och outvecklad teknik. Detta försvårar tecknandet av en tydlig målsättning mot vilken innovationssystemets funktionalitet kan bedömas.

Branschen har diskuterat en målsättning avseende svensk elproduktion för 2030 på 1 TWh per år (Mötesanteckningar, 2014c). Med en tillgänglighetsfaktor på 35 % motsvarar Seabaseds planerade demonstrationsanläggning 0,03 TWh per år, med andra ord 3 % av det uppsatta målet. Eftersom det saknas internationella erfarenheter blir rimligheten i den förväntade uppskalningen svårbedömd. Samtidigt faller den diskuterade målsättningen inom ramen för vad som kan anses rimligt givet de uppskattningar som gjorts av den svenska potentialen. Det har även diskuterats målsättningar för industriutveckling, där betydelsen av svensk elproduktion tonats ner och fokus istället legat på att utveckla en svensk exportindustri (Andersson, 2013a; Mötesanteckningar, 2014c).

Givet rådande osäkerheter fokuserar målsättningen i denna analys på industriutveckling framför svensk elproduktion. Analysen grundas på målsättningen att svenska koncept och produkter år 2030 finns installerade i kommersiella och lönsamma anläggningar utomlands i en betydande grad samt att detta resulterar i ekonomisk tillväxt i Sverige och bidrar till en hållbar energiomställning.

Målsättningen innebär att innovationssystemet år 2030 har tagit sig från demonstrationsfasen till en kommersiell tillväxtfas samt att svenska aktörer agerar som innovatörer på den internationella marknaden. Analysens fokus på internationella marknader leder emellertid inte till att utvecklingen av den svenska marknaden kan försummas. Studier av industriell dynamik påtalar vikten av närbelägna och skyddade tidiga marknader för ett innovationssystems utveckling, i synnerhet då test- och referensmarknader behövs (Coenen m. fl., 2012; Jacobsson och Bergek, 2004).

Rådande osäkerheter gör det svårt att på ett tydligare sätt kvantifiera målet. Dock kan ett antal omständigheter som bör infinns för att realisera målsättningen tecknas, nämligen konvergens mot en eller flera dominanta designer, teknisk robusthet och välutvecklade värdekedjor. I avsaknad av en mer konkret målsättning bör uppskattningen av funktionernas styrka snarare ses som en indikativ bedömning än en regelrätt värdering.

4.4 Funktionell analys

Efter beskrivningen av systemets struktur och målsättning följer nu analysen av den funktionella dynamiken. Styrkan i varje funktion uppskattas som stark, medel eller svag, mot bakgrund av systemets målsättning. Därtill identifieras och diskuteras systemsvagheter som antingen kan härledas till innovationssystemets struktur (systems specifika svagheter), till systemexterna faktorer inom Sverige, eller till systemexterna faktorer utanför Sverige. Systemsvagheterna indikeras med S1–S6 och ligger till grund för den diskussion om möjliga åtgärder som presenteras i avsnitt 4.5.

4.4.1 Kunskapsutveckling och -spridning – medel

Styrkan i funktionen *kunskapsutveckling och -spridning* härleds framförallt till utvecklingen av kunskap genom Uppsala universitets ledande forskning, utvecklingen av flera internationellt erkända teknikkoncept och tillgången på god kompetens inom komplementära näringar. Dock är kunskapsspridningen svag eftersom

kunskapsutvecklingen koncentrerats till ett relativt slutet nätverk. Sammantaget bedöms funktionen som *medel* eftersom den är på god väg att möjliggöra att det uppsatta målet ska kunna nås.

Chalmers vågenergiforskning under 1970- och 1980-talet utgjorde en tidig och stark kunskapsutveckling (Claesson m. fl., 1987; Intervju L; Regeringen, 1983). Trots att gruppens verksamhet avtog i betydande grad har kunskapsutvecklingen återupprättats det senaste decenniet, i synnerhet av Uppsalanätverket. Att Uppsala universitet i dag visar på internationellt ledarskap och bredd genom komplementära kunskaper kring marin energi bidrar till funktionens styrka (Nordgren m. fl., 2011). Gruppen har utöver teknikutveckling även en framstående forskning på miljöeffekter av marin energi med betydande vetenskapliga publikationer (Langhamer, 2009). Därtill utvecklas kunskap även inom svenska teknikutvecklingsbolag utanför Uppsalanätverket.

Kunskapsutvecklingen och -spridningen stärks också genom god kompetens från komplementära näringar i Sverige, såsom energi-, tillverknings- och offshoreindustrin. Kopplingen mot dessa näringar är emellertid svag (Ingmarsson, 2014; Intervju B, D, E, I och M) och vikten av denna typ av kunskapsöverföring har tonats ner (Intervju N). Ytterligare indikationer på svagheter i funktionen finns i form av kunskapsluckor inom områden som robusthet och effektivitet i extrema väderförhållanden, miljökonsekvenser, sociala effekter, elnätsintegrering, kostnadsreducering samt uppskalning (EERA, 2014; Intervju T). Det finns även betydande brister i utveckling och spridning av kunskap om vågförhållanden och geologiska förhållanden för projektering, vilket saktar ner tillståndprocessen (Ingmarsson, 2014; Mötesanteckningar, 2014c).

Kunskapsutvecklingen har i betydande utsträckning koncentrerats till Uppsala universitet och Seabased, vilket i detta fall är problematiskt av två skäl. För det första har Uppsalanätverket uppfattats som slutet. Offentligt finansierad forskning motiveras av en generisk kunskapsuppbbyggnad som inkluderar spridning till olika samhällsaktörer och det är oklart huruvida det ägt rum i detta fall. Merparten av senaste årens offentliga satsningar har direkt eller indirekt varit kopplade till Seabased, och trots att vissa generiska kunskapsspridningseffekter väntas, tillfaller intellektuella rättigheter ofta en ensam aktör (Billquist och Södahl, 2012; Europeiska Kommissionen, 2011). För det andra har forskningen på Uppsala universitet i huvudsak byggts med utgångspunkt i Seabaseds teknik (Billquist och Södahl, 2012; Uppsala universitet, 2011). Trots att forskningsresultaten publicerats har kunskapen i begränsad omfattning spridits i systemet. Detta beror på att generaliserbarheten och därmed relevansen för andra aktörer är oklar, samt på att kunskapsspridning ofta kräver samverkan mellan individer. Samverkan och personrörlighet har fokuserats på Uppsalanätverket, och i begränsad omfattning inkluderat andra universitet och teknikutvecklare (Intervju E). Dock har viss kunskap från Uppsalanätverket spridits genom grund- och forskarutbildning. Trots att många forskarutbildade stannat i miljön eller anställts av de två avknoppade utvecklingsbolagen, har flera gått till relevanta näringslivsaktörer så som ABB, Vattenfall, Fortum och konsultbolag (Intervju E och J).

Bristerna i *kunskapsutveckling och spridning* kan i huvudsak relateras till en systemspecifik svaghet, nämligen bristfällig områdeskunskap och samverkan hos offentliga aktörer (S1) (Ingmarsson, 2014; Intervju H, I, T och W; Mötesanteckningar, 2014b). Energimyndigheten har viss kompetens och bygger upp ytterligare kopplat till det planerade havsenergiprogrammet. Flera aktörer uttrycker dock ett behov av att höja Energimyndighetens kunskapsnivå för att lyfta fram området gentemot konkurrerande förnybara energisatsningar och bättre kunna utvärdera teknikkoncept (Ingmarsson, 2014; Intervju E och J). Kunskapsbristen anses ha skapat en obalanserad fördelning av medel, både inom teknikområdet och i förhållande till andra teknikområden, vilket bidragit till den koncentrerade kunskapsuppbyggnaden kring Uppsalanätverket. Det bedöms även vara viktigt att Havs- och vattenmyndigheten, givet sin centrala roll i havsplaneringen, utökar sin kunskap om marin energi gällande områdets anspråk på havsresurser och förhållandet till andra sektorer och naturvårdsintressen (Intervju W).

Därtill präglas funktionen av utvecklade nätverk till följd av svagheter i funktionen *utveckling av socialt kapital* (se avsnitt 4.4.4). Teknikutvecklarna fokuserar starkt på sina egna lösningar och samverkan dem emellan är svag (Ingmarsson, 2014), vilket hindrat kunskapsspridning och lärande. Trots att detta fokus ses som en nödvändighet givet hård konkurrens och begränsade resurser, visar erfarenheter från utvecklingen av marin energi i Storbritannien att bristande samverkan riskerar att sänka utvecklingstakten för området (Winskel, 2007).⁷⁶ Många teknikutvecklare använder specialanpassade komponenter framför befintliga och tillförlitliga standardkomponenter, vilket i vissa fall är nödvändigt. Dock skulle ökad samverkan mellan aktörer kunna skapa förutsättningar för en gemensam kunskapsutveckling och en kritisk massa som kan mobilisera specialiserade underleverantörer (Ingmarsson, 2014; Intervju K, M och O). Detta är i synnerhet viktigt för att systemet ska kunna ta sig vidare från dess tidiga utvecklingsfas, vilket kräver skalfördelar som kan leda till specialanpassade och mer kostnadseffektiva lösningar. Med undantag av Uppsalanätverket har funktionen även försvagats av bristande nätverk mellan forskningsaktörer och kommersiella aktörer (Intervju B, M och N; Mötesanteckningar, 2014b, c). De utvecklade nätverken märks även genom svaga kopplingar mellan den tidiga forskningen vid Chalmers och dagens kunskapsutveckling (Intervju L och Q). Troligen har detta, tillsammans med den svaga finansieringen under 1990-talet, bidragit till att innovationssystemets utveckling anses vara relativt långsam.⁷⁷

⁷⁶ Vikten av starka nätverk och nära samverkan mellan aktörer för att innovationer ska utvecklas och spridas är ett generellt tema inom forskningsområdet industriell dynamik och har även under lång tid varit centralt för svensk policyutveckling (Lundvall, 1992; Jacobsson, 1997).

⁷⁷ Inom havsbaserad vindkraft, som står närmast till hands för jämförelser, var Sverige och Danmark pionjärländer med världens första pilotanläggningar 1990–1991. Tio år senare hade Sverige installerat 11 MW och efter ytterligare fem år byggdes Lillgrund med 110 MW kapacitet (Hammar, L., 2014).

4.4.2 Entreprenöriellt experimenterande – medel

I en tidig fas då många osäkerheter återstår har *entreprenöriellt experimenterande* en central roll för osäkerhetsreduktion.⁷⁸ Flera svenska teknikutvecklare har varit engagerade i relativt omfattande experimenterande under flera år, men trots detta återstår tekniska osäkerheter och en dominant design har ännu inte framträtt. Funktionen bedöms därför som *medel* eftersom den är på god väg att bli så stark som krävs för att det uppsatta målet ska kunna nås.

Det *entreprenöriella experimenterandet* inleddes redan under 1970- och 1980-talet, med flertalet havstester av vågkraft på västkusten. Idag finns fyra svenska teknikutvecklingsbolag som utfört fullskaliga havstester, däribland Seabased som etablerar en demonstrationsanläggning som väntas bli världens största vågkraftspark. Ytterligare två svenska bolag har utfört småskaliga havstester och flera har uttryckt höga ambitioner för fortsatt experimenterande både i Sverige och utomlands (Intervju N, Q och T). Teknikutvecklare med mindre mogna tekniker experimenterar emellertid i första hand genom modelleringar på konceptuell nivå och tanktester i mindre skala. Sammantaget signalerar detta en viss mognadsgrad och en stor bredd i funktionen.

I Sverige finns förutsättningar för *entreprenöriellt experimenterande* i form av infrastruktur för utveckling och demonstration i olika faser. Några exempel är Uppsala universitets testanläggningar vid Islandsberg och Söderfors samt SSPA:s testfaciliteter i Göteborg. Svenska vatten anses generellt ha goda förutsättningar för testanläggningar (Claesson m. fl., 1987; Ingmarsson, 2014). Vissa aktörer som är i kritiskt behov av att testa och demonstrera sina koncept upplever dock en begränsad tillgång till ändamålsenliga anläggningar för havs- och tanktester till överkomlig kostnad (Ingmarsson, 2014; Intervju Y och N). Det har medfört att flera förlagt sitt experimenterande utomlands, vilket ger dem tillgång till infrastruktur och kunskap (EIT, 2013; Intervju N och Y).⁷⁹ För att möta behovet pågår emellertid diskussioner om samverkan kring utnyttjande av befintlig och framtida infrastruktur (Backman, 2014; Intervju T). Det finns därtill exempel på möjligheter för aktörer att nyttja infrastruktur som utvecklats för andra aktörers experimenterande. Waves4Power planerar nu (2014) att använda infrastruktur vid Seabaseds tidigare testanläggning i Norge (Mötesanteckningar, 2014a) och det finns planer på att arbeta för att flera aktörer ska kunna utnyttja Uppsala universitets testanläggning vid Islandsberg (Intervju T).

Trots dessa aktiviteter saknas kommersiella installationer, vilket speglar den internationella utvecklingen som uppfattas långsam (Vantoch-Wood, 2012). Funktionens styrka tonas framförallt ner av en systemspecifik svaghet, nämligen tids- och resurskrävande test- och demonstrationsaktiviteter (S2). Denna framhålls

⁷⁸ För en fördjupad genomgång av osäkerheterna, se avsnitt 4.6.

⁷⁹ Svenska aktörers utländska experimenterande anses potentiellt öka risken för utflytt, och försvaga den långsiktiga utvecklingen av den nationella kunskapsbasen och värdekedjan (Intervju I). Ett utländskt experimenterande kan emellertid ge en ökad kännedom om framtida exportmarknader.

både i Sverige och internationellt (Ingmarsson, 2014; Intervju I; Vantoch-Wood, 2012), exempelvis uppskattas kostnaden att etablera en våg- eller tidvattenkraftspark till 40–200 Mkr per MW (Corsatea, 2014). Erfarenheter från vindkraft visar också på att det är avsevärt mer resurskrävande att utföra havsbaserade tester och demonstrationer än landbaserade, vilket försvårar långtidsstudier av koncept (Jeffrey m. fl., 2013; DNV GL, u.å.). Även tillståndsprövsprocessen anses bidra till att test- och demonstrationsaktiviteter är tids- och resurskrävande (Mötesanteckningar, 2014a). Det beror delvis på att teknikutvecklare måste påvisa att miljöpåverkan av havsinstallationer är obetydlig eller överträffas av allmännyttan. Detta kräver omfattande miljöstudier i tidigt skede, vilket i sin tur kräver att tekniken testats i havsmiljö. Det föreligger således en risk för att ’moment 22’-situationer uppstår. Detta har redan drabbat både svenska och utländska teknikutvecklare, och befars av branschen bli ett stort problem när fullskaleanläggningar ska tillståndsprövas (Mötesanteckningar, 2014a). Uppsalanätverket utgör ett undantag då de tidigt satsat på grundliga miljöstudier, vilket visat sig vara till fördel under miljöprövningarna (HaV, 2014b).

Avsaknaden av långtidsstudier har kvarhållit många osäkerheter, såsom kunskapsluckor kring tillförlitlighet och kostnadseffektivitet (Intervju E och T; Mötesanteckningar, 2014a, 2014b) samt miljökonsekvenser (Hammar, 2014). Orimliga förväntningar på tids- och resursåtgång för att utföra tester och demonstrationer i havsmiljö har också lett till ett visst internationellt bakslag (Vantoch-Wood, 2012), som även kan observeras bland svenska aktörer (Mötesanteckningar, 2014c). Flera aktörer, inklusive berörda myndigheter och organisationer med marin kompetens, anser att branschen erfarit ett antal betydande tekniska misslyckanden, vilka bland annat berott på avsaknaden av standardiserade metoder för bedömningar av teknikduglighet (Ingmarsson, 2014; Intervju G, Q, R och S; Mötesanteckningar, 2014b).

Entreprenöriellt experimenterande påverkas därtill av svagheter i andra funktioner. Svagheter i funktionen *utveckling av socialt kapital* (se avsnitt 4.4.4) leder till bristande samverkan, spretighet i utvecklingen av koncept och låg grad av experimenterande med komplementära näringar. Svagheter i funktionen *vägledning av aktörernas sökprocesser* (se avsnitt 4.4.6) tar sig uttryck i att resursstarka aktörer, såsom elbolag och underleverantörer, agerar avvaktande och uppvisar ett svalt intresse givet teknikens rådande mognadsnivå (Ingmarsson, 2014; Intervju B, D, I, N och M). Ett betydande undantag är samarbetet mellan Fortum och Seabased kring byggandet av demonstrationsanläggningen i Sotenäs. Det kvarstår att se huruvida detta experimenterande reducerar osäkerheter och bidrar till att stärka systemets utveckling. Slutligen påverkas *entreprenöriellt experimenterande* av tidigare nämnda svagheter i funktionen *kunskapsutveckling och spridning*, i synnerhet rörande vågförhållanden och geologiska förhållanden för projektering (se avsnitt 4.4.1).

4.4.3 Resursmobilisering – svag

Resursmobiliseringen stärks av tämligen god offentlig och privat finansiering, tillgång på humankapital och komplementär infrastruktur. Dock har det saknats överblick i de statliga satsningarna, de svenska resursstarka aktörerna har i betydande grad satsat utomlands, och tillgången till den komplementära infrastrukturen har varit bristfällig. Dessutom är test- och demonstrationsaktiviteter mycket resurskrävande (se avsnitt 4.4.2). Funktionen bedöms därför som *svag* då den är långt ifrån så stark som krävs för att möjliggöra att det uppsatta målet nås.

Det offentliga stödet till marin energi har fokuserat på forskning och utveckling. Redan 1976–1986 hade föregångaren till Energimyndigheten ett program som fördelade över 14 Mkr i dåtidens pengavärde för forskning inom vågkraft, vilket bedöms vara en tidig och betydande satsning (Claesson m. fl., 1987). Efter detta avtog satsningarna, för att återupptas under de senaste tio åren (Intervju L). En kartläggning av offentliga aktörers finansiering av marin energi, vilken presenteras i tabell 4:3, visar att omkring 250 Mkr fördelats sedan 2003.

Tabell 4:3. Finansiering från Energimyndigheten, VINNOVA, Tillväxtverket, Veteskapsrådet och Västra Götalandsregionen fördelat över olika bidragsmottagare för perioden 2003 till 2015 (för 2014–2015 gäller anslag som beslutats i april 2014 eller tidigare).⁸⁰

Aktör	Belopp (kkr)	Andel
Seabased Industry AB	141 992	56,6 %
Uppsala universitet	66 650	26,6 %
Seabased AB	17 859	7,1 %
Chalmers Tekniska Högskola AB	10 220	4,1 %
Corpower Ocean AB	7 139	2,8 %
Minesto AB	5 274	2,1 %
Vigor Wave Energy AB	1 000	0,4 %
Ocean Harvesting Technologies AB	441	0,2 %
Falkung Miljö Energi AB	250	0,1 %
Totalt	250 825	

De senare årens offentliga satsningar i Sverige anses betydande, även i ett europeiskt perspektiv, och bedöms ha stimulerat privata investeringar (Corsatea, 2014). Dock har de dominerats av enskilda anslag, vilket enligt många aktörer skapat bristande översikt och samordning (Andersson, 2013a; Intervju V och X). Detta har resulterat i att Uppsala universitet och Seabased, vilka i stor utsträckning arbetat kring

⁸⁰ Den offentliga finansieringen har kartlagts genom sökningar på relevanta finansiärers projekt-databaser och genomgångar av relevant dokumentation om beviljade anslag. Observera att vissa bidragsmottagare inte framkommer i tabellen på grund av att de är projektparter eller att satsningen är alltför generell samt att kartläggningen inte inkluderat mindre stöd till entreprenörprojekt i tidiga utvecklingsfaser.

ett teknikspår, tagit del av betydande resurser genom ackumulerade fördelar⁸¹ som lett till viss undanträngning av stöd till andra teknikspår (Billquist och Södahl, 2012). Dessa två aktörer har tillsammans erhållit 90 % av de offentliga anslagen sedan 2003 och demonstrationsanläggningen i Sotenäs (se posten Seabased Industry AB) över 50 %. Samtidigt har flera andra aktörer haft svårt att mobilisera resurser för forskning, utveckling och demonstration, särskilt i större skalor, och anser att resursfördelningen varit otransparent, orättvis och försvårat utvecklingen av generisk kunskap (Ingmarsson, 2014; Intervju E, L, N och T). Trots det har få ansökningar inom området fått avslag (Intervju X). Det kan emellertid bero på att ansökningar dragits tillbaka på grund av långa handläggningstider eller på att aktörer bedömt utsikterna att få finansiering som begränsade och därmed valt att inte ansöka.

Kartläggningen indikerar också att satsningarna fokuserats på mer mogna teknik-koncept. Generellt sett tyder internationella erfarenheter på att koncept som i dagsläget anses mindre mogna ofta har stor potential att sänka kostnader radikalt och utnyttja en större del av resurspotentialen (Carbon Trust, 2011; Jeffrey m. fl., 2013). Därför är det viktigt att även stötta utvecklingen av dessa.

Resursmobiliseringen försvagas alltså av en tidigare nämnd systemspecifik svaghet, nämligen bristfällig områdeskunskap och samverkan hos offentliga aktörer (S1). Denna har medfört en avsaknad av översikt och samordning i de offentliga insatserna, vilket i sin tur resulterat i ett omedvetet fokus på en gruppering och en relativt mogen teknik. De senaste åren har emellertid Energimyndigheten aktivt eftersträvat att stödja en portfölj av olika teknikkoncept (Intervju X).

Vad gäller privat finansiering har svenska utrustnings- och energibolag gjort betydande investeringar, men framförallt utomlands och i avtagande takt. Resursstarka aktörer med viktiga nyckelkompetenser, samt övriga privata finansiärer, har uppvisat en avvaktande inställning då den relativt låga mognadsgraden medför stora kostnader, finansiella risker och långa återbetalningstider för investeringar (Ingmarsson, 2014). Trots det har flera svenska teknikutvecklingsbolag lyckats attrahera privat kapital och vissa drar nytta av internationella stödsystem (Ingmarsson, 2014; Intervju N och O). Dock upplevs tillgången på lämpligt kapital för resurskrävande utvecklings- och demonstrationsaktiviteter vara begränsad, och flera teknikutvecklare anser att de kan tvingas flytta utomlands (Fröberg, 2013; Intervju F och N; Johnsson, 2013; Magnusson m. fl., 2014). Sammantaget signalerar detta svagheten i funktionen gällande mobilisering av privat kapital, vilket även är fallet för andra förnybara teknikområden (Bloomberg New Energy Finance, 2014).

En annan viktig aspekt av *resursmobilisering* är tillgången till relevant infrastruktur. Behoven för marin energi bedöms ligga relativt väl i linje med befintlig elnätsinfrastruktur (Intervju E), även om dess nuvarande geografiska täckning kan vara problematisk och medföra långa ledtider och stora investeringar (Ingmarsson, 2014). För drift och underhåll finns viss lämplig infrastruktur, även om en uppskalning skulle

⁸¹ Genom att ha lyckats attrahera stöd i ett relativt tidigt skede har aktörerna kunnat nå en position som underlättat motiveringen av ytterligare satsningar med hänvisning till uppvisade resultat.

kräva ytterligare kapacitet för hamnar, verkstäder och servicefartyg (Intervju E och P). Möjligheten för marin energi att utnyttja resurser och infrastruktur som kommer att byggas upp för havsbaserad vind har lyfts fram (Intervju N och V; Jeffrey m. fl., 2013), men ingen sådan utveckling har ännu identifierats i Sverige och vissa aktörer tror att möjligheterna är överskattade (Intervju Q). Vidare anses det finnas relevanta komplementära näringar i Sverige med lämplig infrastruktur för teknikutveckling (Andersson, 2013a; Intervju B och D). Dock har stora industriaktörer med betydande infrastruktur framförallt haft aktiviteter i Storbritannien och därmed har samverkan med svenska teknikutvecklare varit svag. Det avvaktande intresset från dessa näringar, och oförmågan hos den svenska branschen att skapa kritisk massa, lyfts fram som orsaker även till svårigheten att få tillgång till komplementär infrastruktur (Ingmarsson, 2014; Mötesanteckningar, 2014b).

Sammanfattningsvis försvagas tillgången till privat kapital och komplementär infrastruktur av den avvaktande inställningen hos svenska utrustnings- och energibolag, andra privata finansiärer och relevanta komplementära näringar. Detta beror på svagheter i *vägledningen av aktörernas sökprocesser* (se avsnitt 4.4.6).

Även tillgången till gynnsamma havsområden är en viktig resurs. Tidigare tillståndsprövningsprocesser har visat på konflikter mellan havsbaserad elproduktion, fiske, sjöfart och naturvårdsintressen (Intervju E, F, R, S och W). Då det finns få test- och demonstrationsanläggningar för marin energi är emellertid utrymmeskonflikterna få. Vid en uppskalning uppstår dock konkurrens med andra näringar och energislag (Intervju H; Mötesanteckningar, 2014c), vilket kommer att kräva fördjupad planering (HaV, 2014a). Trots att regeringens maritima strategi och havsplaneringen väntas behandla tillgångsfrågan är det oklart hur det kommer påverka den marina energisektorn (Ingmarsson, 2014; Intervju U och W; Mötesanteckningar, 2014c).

Slutligen anses tillgången på relevant humankapital vara god. Uppsala universitet har utbildat många personer och det bedöms även finnas relevant kompetens inom andra branscher som lätt kan omskolas för att möta behoven inom marin energi (Intervju B, D, E, F och Y).

4.4.4 Utveckling av socialt kapital – svag

Analysen av tidigare funktioner har beskrivit hur svag *utveckling av socialt kapital* lett till outvecklade nätverk, vilka skapat dåliga förutsättningar för synergieffekter, konvergens och lärande. Funktionen är därmed långt ifrån så stark som krävs för att det uppsatta målet ska kunna nås, och bedöms därför som *svag*.

Utvecklingen av socialt kapital präglas av en central systemspecifik svaghet, nämligen bristande samverkan mellan branschens aktörer (S3). Trots att det sociala kapital som finns inom Uppsalanätverket är starkt har förtroendet mellan denna nod och andra aktörer, i synnerhet de nätverk som utvecklats inom OEC, varit svagt och samverkan ytterst begränsad. Med undantag av Uppsalanätverket har även samverkan mellan forskningsaktörer och kommersiella aktörer uppfattats som svag. Det råder bristande förståelse för varandras förutsättningar, behov och

roller. Kommersiella aktörer efterfrågar att forskningen tydligare kopplas mot befintliga applikationer, medan forskningsaktörerna efterfrågar större förståelse för forskningens förutsättningar och högre mottagarkapacitet (Intervju B, M och N; Mötesanteckningar, 2014b, c). Ett ytterligare tecken på svag *utveckling av socialt kapital* är den outvecklade värdekedjan. Ur tidigare beskrivna funktioner framkommer att kraftbolag och underleverantörer, vilka har centrala roller i en framtida värdekedja, agerat avvaktande (Ingmarsson, 2014; Intervju C och I; Mötesanteckningar, 2014b). Det noteras också att samverkan mellan industrin och berörda myndigheter inom tillståndsprövning och havsplanering är blygsam (Intervju W) samt att det förekommer bristande förtroende för forskningsfinansierande myndigheters sätt att handlägga ansökningar (Intervju T och O).

Den bristande samverkan mellan branschens aktörer (S3) är tätt sammankopplad med den tidigare identifierade bristen på områdeskunskap och samverkan hos offentliga aktörer (S1). Avsaknaden av översikt och samordning av offentliga insatser (se avsnitt 4.4.3) har lett till att resursfördelningen uppfattats som otransparent och orättvis (Ingmarsson, 2014; Intervju L, N och T). Det har försvagat förtroendet inom branschen och samverkan aktörerna emellan.

Ur intervjuerna utkristalliseras vidare två skilda inställningar till *utvecklingen av socialt kapital* som präglas av olika synsätt på hur branschen ska agera. Vissa uttrycker ett behov av att ena branschen för att arbeta med gemensamma utmaningar och lärande, medan andra ser ett begränsat värde av detta och efterfrågar en kraftsamling kring det hittills mest utvecklade konceptet (Intervju E, F, M, O och T; Mötesanteckningar, 2014b). Spänningar mellan dessa inställningar påverkar aktörernas agerande och försvagar funktionen.

Det finns emellertid tecken på att *utvecklingen av socialt kapital* kan stärkas genom de senaste årens olika initiativ för att föra samman aktörer, nu senast i arbetet med att utveckla Energimyndighetens havsenergiprogram (Mötesanteckningar, 2014b, c).

4.4.5 Legitimering – medel

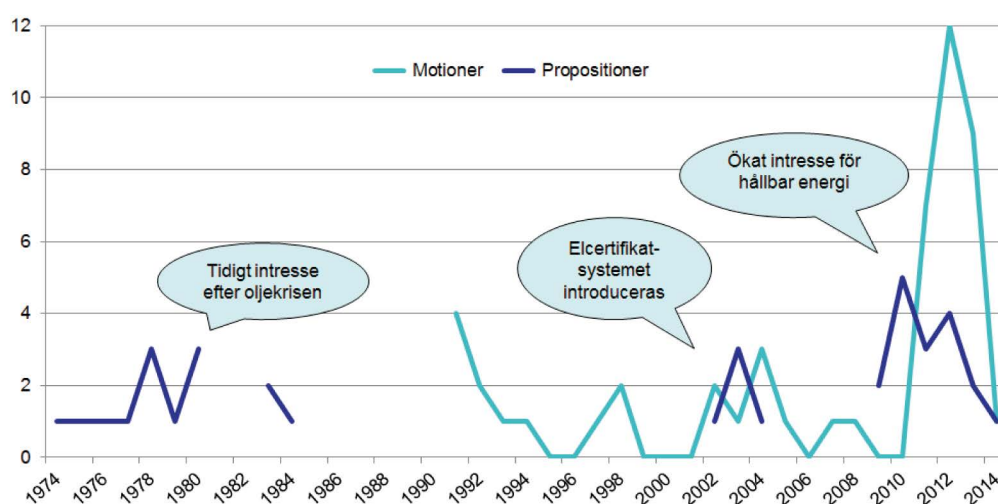
En positiv attityd hos allmänheten och ett visst politiskt intresse stärker *legitimeringen* av området. Dock försvagas funktionen av svag politisk lobbying, tekniska misslyckanden och avsaknaden av långtidsstudier. *Legitimeringen* bedöms som *medel* eftersom den är på god väg att bli så stark som krävs för att det uppsatta målet ska kunna nås.

Trots att vissa aktörer upplever ett svalt intresse för marin energi i den offentliga debatten, har allmänhetens attityd uppfattats som mycket positiv. Marin energi drar nytta av den allmänna positiva inställningen till förnybara energikällor och till viss del av vindkraftens erfarenheter. Exempelvis uppger Sveriges Fiskares Riksförbund att de reviderat sin inställning och numera är neutrala eller positiva till marina energianläggningar, efter erfarenheter från forskning om miljöeffekter av havsbaserad vindkraft (Intervju R). Ett ytterligare exempel är Havs- och vattenmyndigheten som tidigare motsatte sig havsbaserade vindkraftsetableringar men som i dag har

en mindre negativ syn, vilket sannolikt har att göra med ökad kunskap om hur vindkraft påverkar den marina miljön (Intervju W). Gällande marin energi har myndigheten indikerat en försiktigt positiv attityd, även om det fortfarande saknas samordning inom myndigheten. Även Försvarsmakten har efter en intressekonflikt med Seabased blivit mer öppna för etablering av marin energi (Intervju E och F).

Vidare anses marina energianläggningar allmänt ha fördelar avseende visuella föroreningar och buller jämfört med vindkraften (Esteban och Leary, 2012; Intervju H, L och N; Mötesanteckningar, 2014a). Exempelvis finns i dag ett politiskt motstånd mot att etablera havsbaserad vindkraft bland bohuslänska kommuner (Lysekils kommun, 2011; Mötesanteckningar, 2014a). Inställningen till vågkraft uppges vara annorlunda givet teknikens begränsade visuella påverkan. Alltså förefaller vindkraftsmotståndet främja kommunernas engagemang inom marin energi (Mötesanteckningar, 2014a). Samtidigt visar erfarenheter från Storbritannien att etablering av marina energianläggningar kan ge upphov till oro kring miljökonsekvenser, inflytande i tillståndprocesser och fördelar för det lokala samhället, trots en generellt sett positiv attityd till energislaget (Corsatea, 2014).

En del aktörer bekräftar även att det finns ett visst politiskt intresse för marin energi i Sverige (Intervju F och N). Det svenska politiska intresset växte fram i och med debatten om kärnkraftens avveckling och det internationella intresset för förnybar energi i samband med oljekrisen (Claesson m. fl., 1987). I motsats till vindkraften svalnade intresset för marin energi mellan 1980- och 1990-talet. De sista tio årens fokus på hållbar energiförsörjning har återuppväckt intresset internationellt, vilket även påverkat Sverige. Ur figur 4:3 framkommer det att marin energi omnämns i 39 propositioner och 49 motioner sedan 1970-talet. I tidiga omnämningar ges marin energi viss fristående uppmärksamhet medan området under senare år oftast nämns tillsammans med andra förnybara energislag.



Figur 4:3. Antal propositioner och motioner som nämner marin energi (1974 till april 2014).⁸²

⁸² Sökning på 'vågenergi ELLER vågkraft ELLER havsenergi ELLER strömkraft ELLER tidvattenkraft ELLER "marin energi"' på <http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Forslag/Motioner/> samt på <http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Forslag/Propositioner-och-skrivelser/22-04-14>.

Ett ytterligare tecken på politisk legitimitet är att enskilda riksdagsledamöter uttalat intresse och stöd för området i media (Lundgren, 2011; Tiger, 2009). Som nämnts är även flera regioner och kommuner positivt inställda och inkluderar marina energianläggningar i sina översiktsplaner. Bland dessa offentliga aktörer finns förhoppningar om att framtida etableringar kan skapa tillväxtmöjligheter för lokala näringar i kustnära miljöer (Henricson, 2012; Ingmarsson, 2014; Intervju G och H; Wangel, 2009).

Ytterligare tre faktorer stärker *legitimeringen*. Sverige ansågs ha goda förutsättningar att bygga en industri för turbintillverkning för vindkraft, men man missade tillfället. Idag finns en viss politisk drivkraft att inte göra om samma misstag för marin energi (Intervju U och V). Vidare noteras en avsaknad av organiserad lobbybying specifikt mot marin energi, trots att detta snabbt kan förändras vid storskalig utbyggnad då större intressekonflikter kan uppstå. Dessutom har flera svenska teknikutvecklingsbolag utvecklat lösningar som fått internationellt erkännande, vilket ökat uppmärksamheten, och troligen även legitimiteten, för branschen i stort (Sievers, 2010; Zerpe, 2008). Seabased har även, tillsammans med Uppsala universitet, varit aktiva i media och engagerat politiker, vilket ytterligare stärkt funktionen (Corneliusson, 2013; Ehn och Nordin, 2013; Johnsson, 2011).

Styrkan i *legitimeringen* tonas ner av att området inte prioriterats inom svensk politik (Intervju U och V). Vågkraft inkluderas i elcertifikatsystemet, men gynnas trots det inte i förhållande till andra energislag. I media framkommer även regioners och politikers avvaktande inställning (Levin, 2012; Södermanlands Nyheter, 2012). Vissa aktörer har uppfattat att det finns motverkande krafter från vindkrafts- och kärnkraftförespråkare, och att marin energi har hamnat i skuggan av vindkraften på grund av svag politisk lobbybying (Intervju E, L och Q). Detta beror till viss del på bristande samverkan mellan branschens aktörer (S4), vilket försvårat branschgemensamma lobbyinsatser.

Den generellt sett positiva attityden till marin energi kan vidare ha försvagats av tekniska misslyckanden till följd av tids- och resurskrävande test- och demonstrationsaktiviteter (S2), vilket visar på *legitimeringens* påverkan av *entreprenöriellt experimenterande* (se avsnitt 4.4.2). Organisationer med marin kompetens samt berörda myndigheter är kritiska mot vissa teknikutvecklare som anses sakna relevant kompetens och upplevs som en sjösäkerhetsrisk (Intervju R och S). Flera aktörer anser att oseriösa teknikutvecklare, samt tekniska misslyckanden hos framträdande teknikutvecklare, skapar skepticism mot branschen som helhet (Intervju E och R; Mötesanteckningar, 2014b). Avsaknaden av standardiserade metoder för bedömningar av teknikduglighet upplevs underlätta för oseriösa aktörer (Ingmarsson, 2014; Intervju E) och mognare tekniker som havsba-serad vindkraft framstår då som mer attraktiva (Ingmarsson, 2014; Intervju Q; Mötesanteckningar, 2014b). En relaterad faktor är avsaknaden av långtidsstudier (se avsnitt 4.4.2) som gör det svårt att visa på tillförlitlighet för marina energikoncept, vilket försvagar *legitimeringen* (Ingmarsson, 2014).

4.4.6 Vägledning av aktörernas sökprocesser – svag

Vägledningen av aktörernas sökprocesser påverkas i hög grad av funktionen *legitimering* (se avsnitt 4.4.5) som emellertid anses vara något starkare. Befintliga privata investeringar och offentlig forskningsfinansiering indikerar viss styrka i funktionen, vilket främst mobiliserat universitet och småföretag. Men trots att aktörer upplever den internationella potentialen som stor är drivkrafterna för marin energi i Sverige otillräckliga för att i betydande grad vägleda systemets aktörer. Ett tydligt tecken på systemets svaghet är att resursstarka aktörer agerat avvaktande. Funktionen är långt ifrån så stark som krävs för att det uppsatta målet ska kunna nås och bedöms därmed som *svag*.

Det finns betydande tekniska och politiska osäkerheter som resulterar i att investeringar i marin energi bedöms ha mycket hög finansiell risk (Jager m. fl., 2011). Att lösa dessa osäkerheter kräver ofta resurser och kompetens från etablerade aktörer, som i detta fall agerat avvaktande. Det har hindrat utvecklingen av ett antal funktioner och minskat osäkerhetsreduktionen i systemet, vilket förstärker den negativa effekten.

De tekniska osäkerheterna försvagar vägledningen, både till och inom systemet. Detta speglar den ömsesidiga negativa påverkan mellan funktionerna *vägledning av aktörernas sökprocesser* och *entreprenöriellt experimenterande*. Vad gäller avsaknaden av dominant design kan dock flera teknikkoncept för marin energi komma att existera parallellt. Dessutom kan teknisk diversitet vara en styrka i ett innovationssystem som präglas av stor osäkerhet (Jacobsson m. fl., 2004). Emellertid finns tecken på att den låga tekniska konvergensen och bristen på samverkan hindrat lärandet, sänkt utvecklingstakten och därigenom försämrat förutsättningarna för att nå kostnadseffektivitet. Det finns ett visst samarbete kring internationella standarder, där Elforsk är involverad som svensk aktör (Intervju T). Samarbetet kan potentiellt driva konvergens, men det är oklart om det sker (Jeffrey m. fl., 2013). Vidare har internationella utvecklingsinitiativ haft för höga förväntningar på teknikens mognadsgrad och förmodade resultat (Jeffrey m. fl., 2013). Det har lett till ett bakslag som även märks i Sverige där resursstarka aktörer dragit tillbaka sitt engagemang.

De politiska osäkerheterna är tätt sammankopplade med en central systemspecifik svaghet, nämligen den osäkra marknadspotentialen (S4) (Mötesanteckningar, 2014b, c). Majoriteten av de svenska aktörerna anser att marknadspotentialen är låg och att svenska vatten endast är lämpliga för testning, trots att den tekniska potentialen uppskattats till 10–30 TWh (Ingmarsson, 2014; Intervju K, P och U). Samtidigt menar vissa att en inhemsk elproduktion är realistisk, om än i mindre omfattning och längre fram i tiden (Andersson, 2013a; Ingmarsson, 2014; Intervju E och O). Även om samtliga teknikutvecklare siktar på internationella marknader är den svenska marknadspotentialen relevant eftersom den driver innovationssystemets utveckling och eftersom flera aktörer har ambitioner att bedriva testverksamhet i Sverige.

Ytterligare en systemspecifik svaghet som skapar politiska osäkerheter är avsaknaden av politisk målbild (S5). Detta är delvis en konsekvens av den osäkra marknadspotentialen som resulterat i att marin energi har en oklar roll i det framtida svenska energisystemet. Området hämmas också av den politiska oenigheten kring kärnkraften, låga elpriser och överkapaciteten på elmarknaden (Bergek och Jacobsson, 2010; Ingmarsson, 2014; Intervju L; Jager m. fl., 2011). I motsats till flera andra länder saknar Sverige en strategisk översyn och politisk vision kring marin energi, vilket vissa aktörer anser hindrar områdets utveckling (Andersson, 2013a; Intervju E och Q; Mötesanteckningar, 2014b). Det har saknats politiskt genomslag och att området ändå växt fram beror till stor del på det drivande Uppsalanätverket (Intervju U och V).

Förutom statlig forsknings- och utvecklingsfinansiering är elcertifikatsystemet det enda befintliga politiska stödinstrumentet som skulle kunna vägleda satsningar. Dock sker inte det eftersom marin energi är det minst mogna bland de inkluderade energislagen, vilket leder till svagheter i funktionen *marknadsformering* (se avsnitt 4.4.7). Många aktörer efterfrågar långsiktiga och förutsägbara stödsystem liknande det brittiska (Mötesanteckningar, 2014a, b). Vart tredje europeiskt land kan anses ha mer fördelaktiga politiska stödinstrument för marin energi än Sverige, såsom investeringsstöd, skattesubventioner och inmatningstariffer (Jager m. fl., 2011).

Den politiska osäkerheten avspeglar sig även i avsaknaden av direktiv för tillsynsmyndigheter i tillståndsprövningsprocessen för anläggningar (Intervju E, S och W). Exempelvis saknar Havs- och vattenmyndigheten riktlinjer för hur framtida klimateffekter ska vägas mot lokal miljöpåverkan (Intervju W). En genomgång av myndighetens yttranden gällande havsbaserad vindkraft visar att myndigheten hittills endast tagit hänsyn till lokal miljöpåverkan. Därtill kan Havs- och vattenmyndighetens avsaknad av en internt samordnad syn på marin energi och bristande kännedom om branschens förutsättningar bli problematisk om en inhemsk elproduktion ska byggas upp. Myndigheten samordnar det pågående havsplaneringsarbetet som kommer att spela en stor roll för vilka branscher som kommer att kunna nyttja olika havsområden. Om marin energi ska kunna byggas ut på områden med god energiresurs och närhet till infrastruktur på land är det viktigt att branschen tidigt indikerar sina behov. (Intervju W).

Det finns två politiska initiativ som potentiellt skulle kunna stärka *vägledningen av aktörernas sökprocesser*, nämligen EU:s maritima strategi Blue Growth och regeringens arbete med den kommande svenska maritima strategin. Aktörer uttrycker förväntningar om att dessa ska driva satsningar och aktiviteter inom marin energi genom att ge tydligare direktiv och stöd för offentliga aktörer samt lösa osäkerheter kring havsplanering (Intervju U och W; Mötesanteckningar, 2014c).

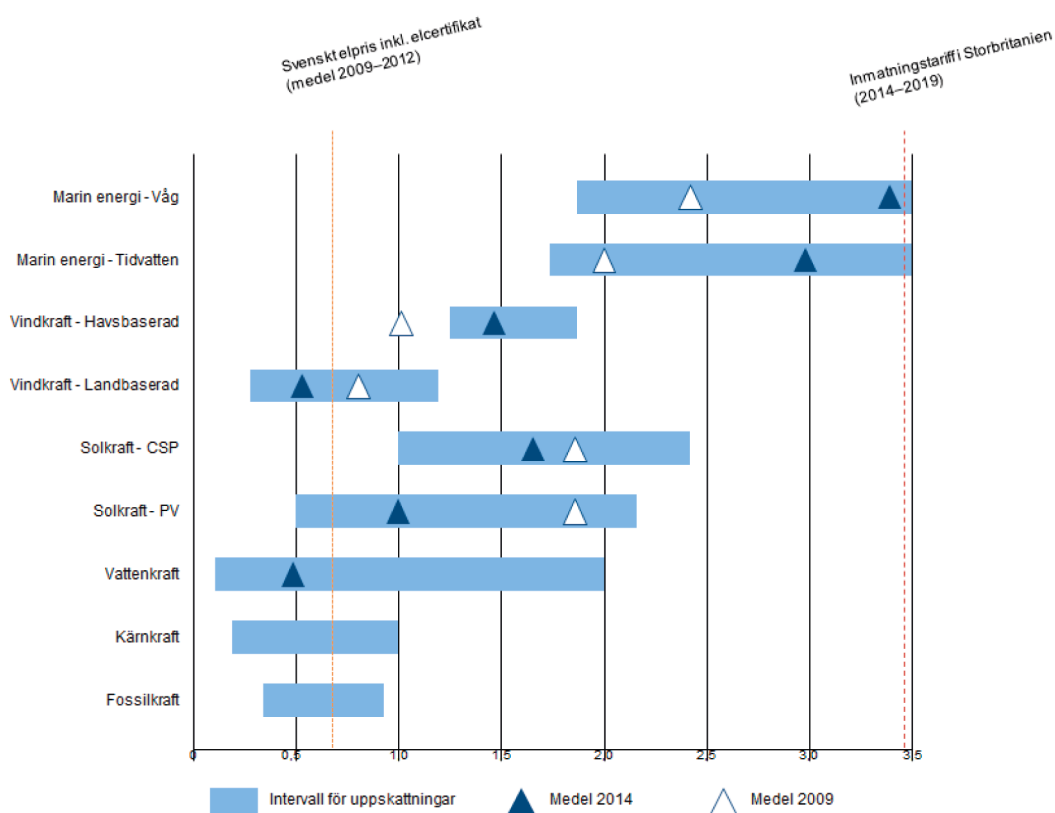
4.4.7 Marknadsformering – svag

Trots en betydande internationell potential och ett svenskt marknadsformande elcertifikatssystem som inkluderar vågenergi, saknas en kommersiell marknad för marin energi. Marknadsformeringen bedöms vara *svag* eftersom den är långt ifrån att vara så stark som krävs för att det uppsatta målet ska kunna nås.

Den internationella marknaden för marin energi är fortfarande förkommersiell och tidsskalan för att nå konkurrenskraft mot andra energislag räknas i decennier (Esteban och Leary, 2012). Dock tar ledande svenska aktörer sikte på exportmarknader med högre elpriser, exempelvis i Afrika och Gulfstaterna, som snabbare väntas bli kommersiella (Hammar, 2011; Mötesanteckningar, 2014a). Att isolerade önationer med höga elpriser på grund av dyr bränsleimport kommer utgöra en viktig språngbräda för marin energi har tidigare förutspåtts (Bryden, 2007).

Det diskuteras att marina energitekniker kan finna lönsamma marknader genom att kombineras med andra energislag, till exempel flytande vindkraft, men det finns olika föreställningar om potentialen i detta (Ingmarsson, 2014; Mötesanteckningar, 2014b, c). Det finns även möjliga nischmarknader, såsom applikationer för avsaltning av havsvatten, drift av mätstationer till havs, oljeplattformer och fiskodlingar (Intervju Q; Mötesanteckningar, 2014b). Vissa aktörer är dock skeptiska till dessa (Intervju K).

Trots fokus på exportmarknader är den svenska marknadsutvecklingen viktig för att skapa en tidig och närbelägen hemmamarknad för test och demonstration. En viktig systemspecifik svaghet inom Sverige som påverkar *marknadsformeringen* är de svaga marknadsincitamenten (S6). Elcertifikatsystemet förväntas vara marknadsformerande för vågenergi (övrig marin energi exkluderas), men figur 4:4 visar att den är dyrast av de energislag som inkluderas. Den har därmed sämst förutsättningar i den konkurrens som uppstår och marknadsincitamenten uteblir.



Figur 4:4. Uppskattningar av produktionskostnad för olika energislag i kr per kWh (Bloomberg New Energy Finance, 2014; DECC, 2013; Energimyndigheten, 2014).

Då marin energi består av omogna tekniker finns emellertid stora osäkerheter i denna typ av skattningar, vilket illustreras av de breda intervallen i figur 4:4. Enligt Bloomberg New Energy Finance (2014) ligger kostnaden för marin energi på minst 1,75 kr per kWh. Samtidigt skattade IEA (2010) att produktionskostnaden för en svensk vågkraftsanläggning skulle ligga kring 1,3 kr per kWh. Nyligen gjordes även en skattning som inkluderade verkliga erfarenheter från installationer av vågkraftsanläggningar, vilket resulterade i produktionskostnader på mellan 2,7 och 5,4 kr per kWh (SI OCEAN, u.å.). Det är dock tydligt att det svenska elpriset inklusive elcertifikat på 0,7 kr per kWh (orange linje i figur 4:4) ligger långt ifrån dessa kostnader och därmed inte skapar incitament för svensk marknadsutveckling. I synnerhet framträder detta styrinstrument som svagt jämfört med Storbritanniens pris för vågenergi på cirka 3,5 kr per kWh (röd linje i figur 4:4).

Elcertifikatsystemet är således ett marknadsformerande stödinstrument som inte är lämpat för att svara mot de behov som marin energi i dagsläget har, nämligen tillgång till en hemmamarknad för test- och demonstrationsaktiviteter. Samtidigt är det inte säkert att den teknik som är bäst lämpad för svenska förhållanden är den som efterfrågas globalt. Potentiellt skulle ett starkt marknadsformerande stödinstrument, som införs i en allt för tidig fas och blir allt för styrande mot svenska förhållanden, kunna skapa felaktig vägledning. Detta understryker de svaga marknadsincitamentens (S6) koppling till den osäkra marknadspotentialen (S4) som försvårar utformningen av ändamålsenliga styrmedel.

4.4.8 Sammanfattning av funktionernas styrkor och svagheter

Analysen har visat att innovationssystemet är i en tidig demonstrationsfas med relativt outvecklad struktur. Funktionerna *kunskapsutveckling och -spridning*, *entreprenöriellt experimenterande* och *legitimering* bedöms vara medelstarka medan övriga bedöms som svaga. Ytterligare ett tydligt tecken på funktionernas svaghet är bristen på positiva externa effekter. Det finns få överbryggande nätverk, lågt förtroende, en bristande samordning bland berörda myndigheter, och stora kvarvarande politiska och tekniska osäkerheter. Vissa externa nyttor kan visserligen identifieras inom Uppsalanätverket, exempelvis kunskapsspridning, personrörlighet och stärkt legitimitet hos allmänhet, politiken och relevanta offentliga aktörer, men de har i relativt begränsad omfattning spridits i resten av innovationssystemet. I tabell 4:4 nedan sammanfattas de sju funktionernas styrkor och svagheter.

Tabell 4:4. Sammanfattning av funktionernas styrkor och svagheter

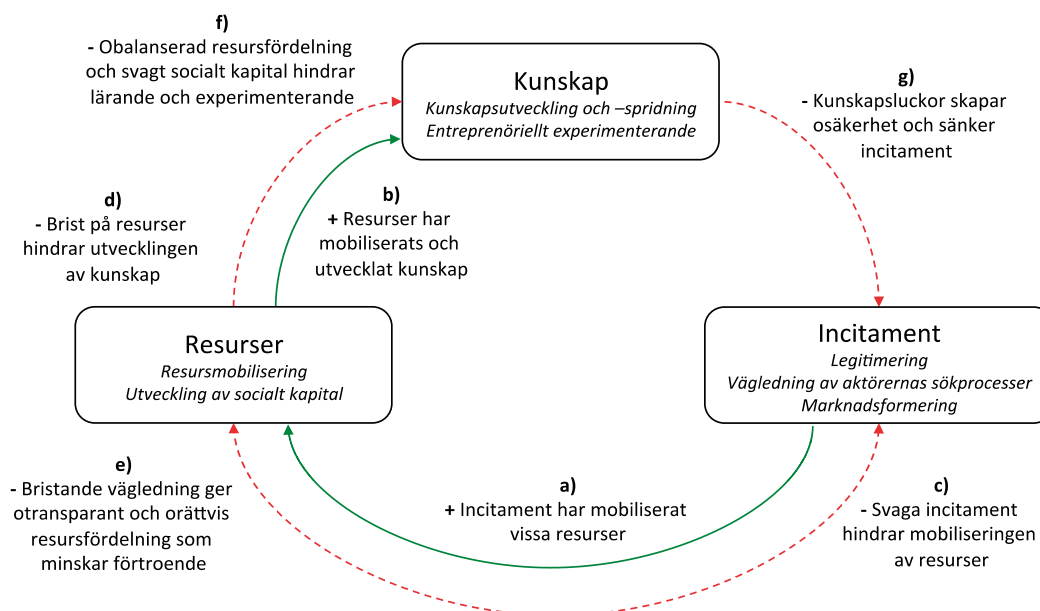
Kunskapsutveckling och spridning	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Tidig stark kunskapsuppbyggnad • Internationellt ledande forskargrupp på Uppsala universitet • Kompetens inom komplementära näringar • Utveckling av flera internationellt erkända teknik-koncept	<i>Svagheter</i> • Kunskapsutveckling koncentrerad till ett nätverk som uppfattas som slutet • Svag kunskapsspridning (förutom inom Uppsalanätverket) • Bristfällig områdeskunskap hos offentliga aktörer
Entreprenöriellt experimenterande	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Intensivt och brett svenskt experimenterande • Befintliga test- och demonstrationsanläggningar • Goda förutsättningar för utveckling av ny infrastruktur för experimenterande	<i>Svagheter</i> • Lågt experimenterande med komplementära näringar • Experimenterandet är tids- och resurskrävande • Resurskrävande tillståndsprocess
Resursmobilisering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Relativt god offentlig forsknings- och utvecklingsfinansiering • God tillgång på humankapital • Befintlig komplementär infrastruktur	<i>Svagheter</i> • Brist på översikt och samordning av statliga satsningar • Resursstarka aktörer har framförallt satsat utomlands och i avtagande takt
Utveckling av socialt kapital	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Starka band inom Uppsalanätverket • Tecken på att nya relationer växer fram	<i>Svagheter</i> • Lågt förtroende och bristande samverkan mellan aktörer • Resursfördelningen har uppfattats som otransparent och orättvis • Utvecklad värdekedja
Legitimering	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Positiv attityd hos allmänheten • Visst politiskt intresse • Internationellt erkända koncept	<i>Svagheter</i> • Politiskt nedprioriterat • Tekniska misslyckanden • Avsaknad av långtidsstudier • Svag politisk lobbying
Vägledning av aktörernas sökprocesser	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • God internationell potential • Området har vuxit fram trots svalt svenskt politiskt intresse • Förväntningar inför den kommande svenska maritima strategin	<i>Svagheter</i> • Avvaktande aktörer • Tekniska osäkerheter • Politiska osäkerheter • Osäker svensk marknadspotential
Marknadsformering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Elcertifikatsystemet inkluderar vågenergi • Viss tro på utvecklingen av en inhemsk marknad på sikt	<i>Svagheter</i> • Elcertifikatsystemet otillräckligt för marknadsformering • Osäker svensk marknadsutveckling • Avsaknad av prioritering mellan fokus på exportindustri eller inhemsk elproduktion

4.5 Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden

Efter den funktionella analysen följer nu en mer övergripande analys av innovationssystemets dynamik samt en diskussion av möjliga åtgärder med utgångspunkt i de identifierade systemsvagheter.

4.5.1 Analys av innovationssystemets dynamik

Den funktionella analysen har tydligt visat hur de olika funktionerna stärkt och försvagat varandra, och på så sätt hur systemsvagheter nas effekter spridits. Detta summeras i figur 4:5 som illustrerar systemets dynamik på en övergripande nivå. För att förenkla de många kopplingarna har funktionerna grupperats under de tre kategorierna kunskap, resurser och incitament. Då syftet med analysen är att identifiera systemsvagheter, fokuserar figuren på detta snarare än på drivkrafter för systemet.



Figur 4:5. Summering av innovationssystemets dynamik.

En naturlig startpunkt för analysen av innovationssystemets dynamik är de tidiga incitament, såsom oljekrisen och debatten kring avveckling av kärnkraften under 1970- och 1980-talet, som mobiliserade vissa resurser till systemets uppbyggnad. Efter en period av lågt intresse under 1990-talet har de senare årens klimatdebatt och den lovande internationella energipotentialen (se a i figur 4:5) återigen stärkt incitamenten, vilket lett till ökad resursmobilisering och kunskapsutveckling (se b i figur 4:5).

Incitamenten har dock försvagats av en rad faktorer, vilket hindrar mobiliseringen av resurser (se c i figur 4:5). Dessa faktorer inkluderar elcertifikatsystemets otillräcklighet som marknadsformeringsinstrument, teknikens låga mognadsgrad som medför stora finansiella risker, samt de stora osäkerheterna gällande det potentiella bidraget till svensk elproduktion, marknadspotential och relevansen för svenskt näringsliv. Dessa tekniska och politiska osäkerheter gör att resursstarka aktörer, komplementära näringar, privata finansiärer, politiker och andra samhällsaktörer är avvaktande.

De svaga incitamenten har lett till en viss brist på resurser, vilket hindrar utvecklingen av kunskap och hämmar experimenterande (se d i figur 4:5). Exempelvis har detta märkts genom begränsat experimenterande med komplementära näringar samt brist på uthålligt kapital för test- och demonstration, i synnerhet rörande långtidsstudier.

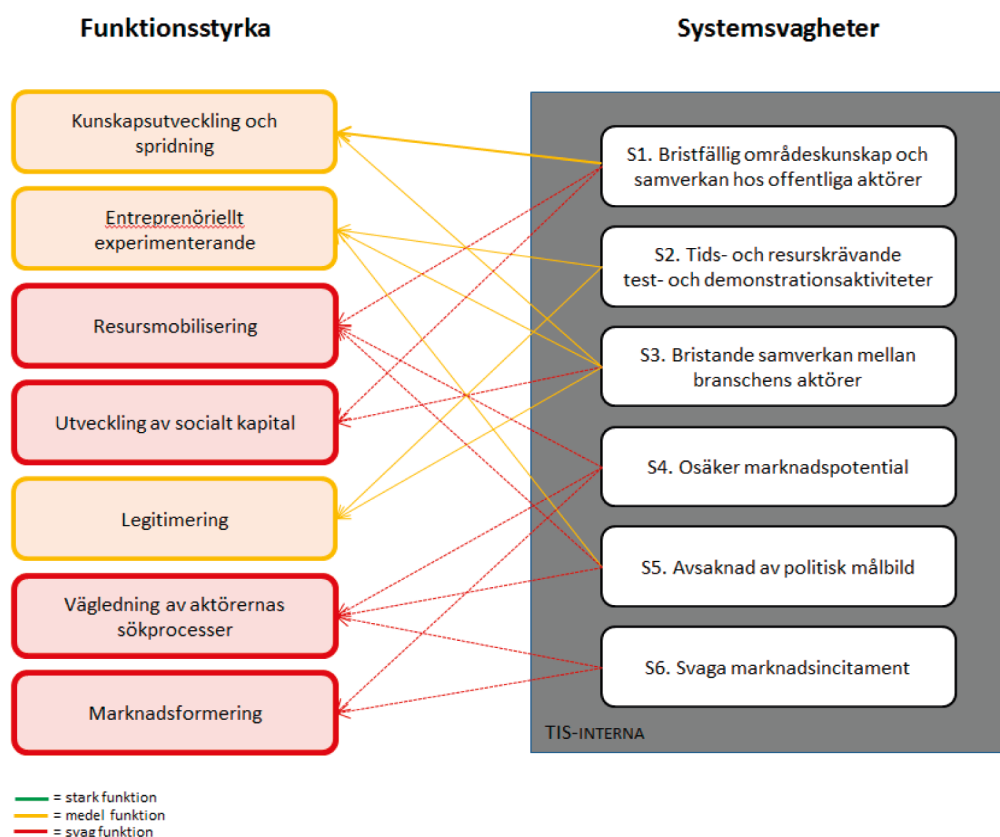
Vidare har bristande vägledning lett till att resursfördelningen uppfattats som otransparent och orättvis, vilket minskar förtroendet och hindrar nätverksskapandet (se e i figur 4:5). Att offentliga satsningar dominerats av enskilda anslag, samt att samverkan mellan forskningsfinansierande myndigheter varit bristfällig, har enligt många aktörer lett till en brist på överblick och samordning. Detta har medfört att kunskapsnoden kring Uppsala universitet och Seabased har vuxit sig stark och därmed dragit nytta av ytterligare fördelar.

Analysen tyder alltså på att en omedveten satsning på ett vinnande kort, som gett en obalanserad resursfördelning och försvagat förtroendet, har skett på bekostnad av det interaktiva lärandet och experimenterandet (se f i figur 4:5). Det sammanbindande sociala kapitalet har i vissa fall, i synnerhet kring Uppsalanätverket, varit starkt, medan det överbryggande sociala kapitalet mellan noder, vilket är viktigt för utvecklingen för innovationssystemet som helhet, varit svagare. Detta har i sin tur resulterat i svag konvergens och avsaknad av kritisk massa, vilket försämrat förutsättningarna för lärande och för att skapa intresse för området. Interaktivt lärande har lyfts fram som särskilt viktigt för utveckling och spridning av innovationer som påverkar större system, vilket är fallet för marin energi.

Slutligen finns det många kvarvarande kunskapsluckor vilket skapar osäkerhet och försvagar incitament (se g i figur 4:5). Till viss del beror det på den låga graden av kunskapsspridning. Exempelvis har förväntningarna på att den ledande kunskapsnoden ska bana vägen för övriga aktörer genom att lösa osäkerheter realiserats i liten utsträckning. Detta eftersom kunskapsnoden uppfattats som sluten och för fokuserad på ett teknikspår. Vissa av dess aktiviteter har drivit utvecklingen av institutioner, men andra teknikspår har trängts undan och fått sämre påverkansmöjligheter. Detta kan skapa problem i framtiden eftersom en dominant design ännu inte har framträtt. De tekniska osäkerheterna skapas i hög grad av kunskapsluckor som försvagar vägledningen av aktörernas sökprocesser, både till och inom systemet, och bidrar till avsaknaden av en kritisk massa för att koppla upp underleverantörer och sänka kostnader. Vidare har kunskapsluckor lett till tekniska misslyckanden som försvagat legitimiteten.

4.5.2 Systemsvagheter och möjliga åtgärder

Även om innovationssystemets aktörer framgångsrikt mobiliserat vissa resurser och utvecklat kunskap har analysen visat på hur ett antal systemsvagheter skapat en negativ återkoppling i systemet som hindrar dess utveckling. Figur 4:6 sammanfattar de sex mest betydande systemsvagheter och deras huvudsakliga koppling till de analyserade funktionerna.⁸³



Figur 4:6. Identifierade systemsvagheter och huvudsaklig koppling till de analyserade funktionerna.

De identifierade systemsvagheter kan alla härledas till innovationssystemets struktur och är därmed systemspecifika. Samtidigt inkluderar två av dem aspekter som kan härledas till systemexterna faktorer inom Sverige: de tids- och resurskrävande test- och demonstrationsaktiviteterna (S2) beror till viss del på den nationella tillståndprocessen för havsinstallationer som inte är specifik för marin energi; och de svaga marknadsincitamenten (S6) beror utöver avsaknaden av specifika styrmedel för marin energi på det generella elcertifikatsystemets oförmåga

⁸³ Det finns betydande indirekta samband som inte framkommer i figuren. Till exempel så bidrar den osäkra svenska marknadspotentialen (S4) till svagheter i *vägledningen av aktörernas sökprocesser*; det leder till att resursstarka aktörer förblir passiva och inte gör investeringar, vilket i sin tur försvagar *resursmobiliseringen*.

att svara mot områdets behov. Ingen av systemsvagheterna kan härledas direkt till systemexterna faktorer utanför Sverige. Dock underbygger faktorer utanför Sverige vissa av dem. Exempelvis försvagar det låga elpriset och överkapaciteten på elmarknaden inom Europa *marknadsformeringen* och bidrar till osäkerheter kring den marina energins roll i det framtida svenska energisystemet.

För att bryta den nämnda negativa återkopplingen i systemet och bana vägen för teknikområdets utveckling och uppfyllandet av det uppsatta målet krävs åtgärder. Nedan diskuteras hur de identifierade systemsvagheterna kan adresseras av statlig politik, och av andra aktörer i systemet.

Eftersom åtgärder för att utveckla teknikområdet bör utgå från en helhetssyn och inkludera alla aspekter av ett innovationssystem, är det nödvändigt att stärka områdeskunskapen och samverkan hos offentliga aktörer (S1). Det innebär att offentliga aktörer inom olika politikområden, såsom forskning, innovation, energi och miljö, behöver samverka. Detta kan potentiellt skapa balans, förutsägbarhet och transparens i stödsystem och satsningar, vilket i sin tur kan stärka lärandet och sprida kunskapsutvecklingen bland fler aktörer. Åtgärderna för att stärka områdeskunskapen och samverkan hos offentliga aktörer behöver löpa parallellt med utvecklingen av en politisk målbild, både för att ge underlag för diskussion kring målbilden och för att samverkan för politikutveckling ska ligga i linje med denna. De bör således till viss del involvera branschaktörer, även om fokus ligger på de offentliga aktörer som systemsvagheten avser. En annan aspekt är tillståndsgivningsprocessen som troligen kommer att bli allt viktigare i och med det framtida växande utnyttjandet av haven. Om en politisk målbild innefattar att Sverige ska satsa på en inhemsk marknad för marin energi så är det viktigt att branschen ges utrymme i de havsplaner som tas fram, eftersom dessa har stort inflytande på tillståndsprövningar. Att ansvariga myndigheter utökar sin kunskap, får tydliga riktlinjer och formerar sin syn på marin energi är ur detta perspektiv viktigt.

Att test och demonstrationsaktiviteter är tids- och resurskrävande (S2) har lett till att många tekniska osäkerheter kvarstår. Detta bör mötas med åtgärder som syftar till att mobilisera resurser, skapa gemensamma utvecklingsinitiativ samt underlätta den omfattande tillståndsgivningsprocessen. I dagsläget har det mobiliserats betydande resurser för uppbyggnaden av Seabaseds demonstrationsanläggning och det finns planer på ett havsenergiprogram. För att marin energi ska kunna kommersialiseras och skalas upp krävs dock fortsatt omfattande utvecklingsarbete med fokus på att verifiera teknikens prestanda och tillförlitlighet samt sänka den totala energikostnaden. I längden kan detta reducera osäkerheter och potentiellt mobilisera resurser genom att vinna resursstarka aktörers förtroende, trots tidigare tekniska misslyckanden. Även om det är svårt för offentliga investeringar att täcka upp för det resurskrävande experimenterandet kan dessa skapa legitimitet och incitament för ytterligare privata satsningar. Att skapa gemensamma utvecklingsinitiativ där branschens aktörer samlas kring gemensamma tekniska utmaningar är extra viktigt givet områdets tidiga fas och avsaknaden av dominant design, i synnerhet då experimenterandet är tids- och resurskrävande. Dessa kan bidra till att öka kunskapsspridningen i systemet och fördela kostnaderna för experimenterandet på

flera aktörer, både privata och statliga. För att skapa gemensamma utvecklingsinitiativ krävs åtgärder från offentliga aktörer, i form av incitament och riktade satsningar, men det är även nödvändigt att branschens övriga aktörer aktivt formerar sig och samverkar. Att underlätta test- och demonstrationsaktiviteter innefattar därtill att ge tydligare stöd och riktlinjer för både teknikutvecklare och offentliga aktörer i den omfattande tillståndsprocessen. Exempelvis bör teknikutvecklare ges lämpligt stöd i att ta fram underlag avseende miljökonsekvenser, i synnerhet då tidigare beskrivna 'moment 22'-situationer kan uppstå. Här kan forskningsaktörer spela en viktig roll eftersom de samlar viktig kompetens på området, givet att offentliga aktörer ger rätt förutsättningar.

Att öka samverkan mellan branschens aktörer (S3) innefattar att stärka det bristande sociala kapitalet som präglar systemet, i synnerhet i form av överbryggande länkar. Politiska aktörer kan skapa incitament för nätverkande, både inom branschen och mot andra branscher, genom olika insatser för samverkan. Dessa bör dock inte bara inkludera nätverkande utan även interaktiv samverkan. Branschaktörerna kan själva driva samverkansprocesser, samt engagera sig i att skapa politiskt stöd för att öka resurstilldelning och främja området i havsplaneringsprocessen. Exempelvis riskerar lämpliga områden att låsas upp till andra sektorer om inte branschen kommunicerar sitt områdesanspråk inom den pågående havsplaneringen. Att adressera detta område kan potentiellt öka kunskapsspridningen samt stärka det svaga förtroendet mellan aktörer och den svaga politiska lobbyingen.

Att utreda marknadspotentialen (S4) och teckna en politisk målbild (S5) är en förutsättning för all eventuell policyutveckling. Målbilden som tecknas har strategiska konsekvenser, framförallt rörande den centrala frågan om satsningar och styrmedel ska fokusera på att skapa en hemmamarknad eller exportindustri. Den kommer även att påverka de förväntade effekterna av satsningarna och i slutändan avkastningen på statliga medel. Med en tydlig politisk målsättning förenklas också avvägningen mellan teknikens långsiktiga miljöfördelar och dess eventuella inskränkningar på andra sektorer och intressen. Därtill kan målsättningen bidra till att öka områdeskunskapen och stärka samverkan bland offentliga aktörer. För att kunna teckna en politisk målbild som utgår från verkliga förutsättningar krävs en utredning av den svenska marknadspotentialen, vilket innefattar en bedömning av energislagets betydelse för den svenska energimixen och svensk industrialisering. Idag råder stora osäkerheter kring om man ska fokusera på exportindustri eller inhemsk marknad. Detta är ett viktigt hinder för systemets utveckling som kvarstår trots pågående diskussioner och initiativ kring kartläggning av den svenska resurspotentialen. Processen att teckna den politiska målbilden och utreda marknadspotentialen bör ledas av politiska aktörer eftersom dessa kommer äga och förvalta den slutliga målbilden och för att säkerställa objektivitet under utredningen av marknadspotentialen. Dock kan andra branschaktörer genom lobbyaktiviteter framhålla behovet av denna typ av åtgärder. De bör också involveras i processen för att säkerställa att tillgänglig kunskap nyttjas och underlätta förankring av resultatet.

Slutligen bör åtgärder som syftar till att stärka de svaga marknadsincitamenten (S6) utgå från en politisk målbild som klargör energislagets roll i det framtida energisystemet. Dagens incitament, i form av elcertifikatsystemet, är otillräckliga eftersom marin energiteknik är allt för omogen. Om politiska aktörer vill se ökad utveckling inom området så behövs andra typer av stödinstrument som är anpassade efter den aktuella utvecklingsfasen.

4.6 Referenser

- ABB, 2010. ABB invests in renewable energy company, Pressmeddelande, <<http://www.abb.com/cawp/seitp202/00204075ae12ec24c12577e50035bd20.aspx>>.
- ABB, 2013. ABB leads \$12 million investment in tidal power leader Scotrenewables, Pressmeddelande, <<http://www.abb.com/cawp/seitp202/7276211b99896c85c1257b2d004e1603.aspx>>.
- Andersson, J., 2013a. Blå energi – En strategisk innovationsagenda för marin energi. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Andersson, J., 2013b. Renewable Offshore Energy: Relevant Research and Attitudes to Collaboration at Chalmers and University of Gothenburg. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Andersson, J., Bolund, B., Carlson, O., Fängström, O.D., Jansson, A., Larsson, T., Lindelöf, U., Lord, R., Losman, B., Möller, P., Sidenmark, M., Waller, E., 2013. ”Fiska jobb och energi ur havet”, Ny Teknik, 2013-06-05, sid. 29.
- Backman, M., 2014. Vind, vågor & bioenergi, Göteborgs-Posten, 2014-02-02, sid. 64–66.
- Bergek, A., Jacobsson, S., 2010. Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine? Lessons from Sweden 2003–2008. Energy Policy 38, 1255–1271.
- Bernhoff, H., Sjöstedt, E., Leijon, M., 2006. Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea. Renewable Energy 31, 2164–2170.
- Billquist, K., Södahl, B., 2012. Utvärdering av CFE II 2011 Version 2/2012-03-05.
- Bloomberg New Energy Finance, 2014. Global trends in renewable energy investment 2014. Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF.
- Bryden I., 2007. Tidal Energy. In: Caille’ A, (ed), 2007, Survey of Energy Resources, 525–41. World Energy Council, London
- Carbon Trust, 2011. Accelerating marine energy, <<https://www.carbontrust.com/media/5675/ctc797.pdf>> (2014-03-20).
- Claesson, L., Forsberg, J., Rylander, A., Rindby, T., 1987. Energi från havets vågor. Energiforskningsnämnden, Stockholm.
- Coenen, L., Benneworth, P., Truffer, B., 2012. Toward a spatial perspective on sustainability transitions. Research Policy 41, 968–979.

Corneliusson, M., 2013. Centerpartister besökte Seabased, Bohuslänningen, 2013-01-22, sid. 11.

CorPower Ocean, 2012. <<http://www.corpowerocean.com>> (2014-04-15).

Corsatea, T.D., 2014. Increasing synergies between institutions and technology developers: Lessons from marine energy. Energy Policy (2014) <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.006i>>

Cruz, J., 2008. Ocean Wave Energy – Current Status and Future Perspectives. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Current Power, 2014. <<http://www.currentpower.eu>> (2014-04-10).

DECC, 2013. Investing in renewable technologies – CfD contract terms and strike prices. Department of Energy & Climate Change, UK, <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/263937/Final_Document_-_Investing_in_renewable_technologies_-_CfD_contract_terms_and_strike_prices_UPDATED_6_DEC.pdf> (2014-06-20).

DNV GL, u.å. Offshore wind 10 years 10 lessons Reflections on a decade of experience, <http://www.gl-group.com/assets/technical/10years_10_lessons_GL_GH.pdf> (2014-07-06).

E.ON, u.å. Pelamis wave energy project – Information sheet, <http://www.eon.com/content/dam/eon-com/en/downloads/e/E.ON_PELAMIS_INFO_SHEET.pdf> (2014-05-28).

EERA, 2014. EERA and ERA-NET Joint Workshop on Wave and Tidal Energy within the European Union. 2014-01-15. European Energy Research Alliance, <http://cluster013.ovh.net/~eeraset/wp-content/uploads/eera_and_era-net_joint_workshop_report.pdf> (2014-07-10).

Ehn, T., Nordin, L., 2013. Framtidens energi finns i Bohuslän, Bohuslänningen, 2013-10-16, sid. 23.

EIT, 2013. KIC InnoEnergy: CorPower Ocean – Getting Closer to the Sea. European Institute of Innovation & Technology, <<http://eit.europa.eu/newsroom/kic-innoenergy-corpor-power-ocean—getting-closer-sea>> (2014-04-22).

EMEC, 2014. European Marine Energy Centre, <www.emec.org.uk> (2014-03-15).

Encubator, 2012. <<http://www.encubator.com>> (2014-04-25).

Energimyndigheten, 2014. Kontrollstation för elcertifikatsystemet 2015 ER 2014:04.

Esteban, M., Leary, D., 2012. Current developments and future prospects of off-shore wind and ocean energy. Applied Energy 90, 128–136.

Europeiska Kommissionen, 2011. Statligt stöd nr SA.32263 (2011/N) – Sverige Stöd till utveckling av en demonstrationsanläggning för vågenergi, Bryssel, 2011-11-09.

Europeiska Kommissionen, 2014. Action needed to deliver on the potential of ocean energy in European seas and oceans by 2020 and beyond (COM(2014) 8 final), Bryssel, 2014-01-20.

- Fortum, 2011. Fortum and Seabased AB to start construction of a wave power park in Sweden, Pressmeddelande, <<http://www.fortum.com/en/mediaroom/Pages/fortum-and-seabased-ab-to-start-construction-of-a-wave-power-park-in-sweden.aspx>>.
- Fröberg, J., 2013. Sex heta miljöteknikbolag blev sex iskalla, Svenska Dagbladet, 2013-07-05, sid. 4.
- Grahn, D., 2011. Utredning av möjligheterna till marin förnybar energi i Öresund. Master Thesis, Institutionen Teknik och samhälle. Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Gruppen för vågenergiforskning, 1979. Vågenergi i Sverige, Göteborg.
- Hammar, L., 2011. Towards Technology Assessment of Ocean Energy in a Developing Country Context. Licentiate Thesis, Institutionen för energi och miljö. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Hammar, L., 2014. Power from the Brave New Ocean - Marine Renewable Energy and Ecological Risks. Doctoral Thesis, Institutionen för energi och miljö. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.
- Hammar, L., Ehnberg, J., Mavume, A., Cuamba, B.C., Molander, S., 2012. Renewable ocean energy in the Western indian Ocean. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 4938–4950.
- HaV, 2014a. Havsplanering – Nuläge 2014. Havs- och vattenmyndigheten, Göteborg, <<https://www.havochvatten.se/download/18.276e7ae81443563a7504728/1395153792677/nulagesbeskrivning-preliminar-hogupplust.pdf>> (2014-07-20).
- HaV, 2014b. Yttrande: Ansökan om tillstånd enligt 11 kap miljöbalken till projektområde för forskning och utveckling inom vågkraft, Dnr. 2236-14. Havs- och vattenmyndigheten, Göteborg.
- Hedberg, P., 2011. Färre vill satsa mer på vindkraft, in: Holmberg, S., Weibull, L., Oscarsson, H. (Eds.), Lycksalighetens ö. SOM-institutet, Göteborgs Universitet, Göteborg.
- Henricson, L., 2012. Alliansförslag skapar irritation, Göteborgs-Posten, 2012-05-30, sid 11.
- IEA, 2010. Projected Costs of Generating Electricity 2010 Edition. International Energy Agency and OECD Nuclear Energy Agency, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/projected_costs.pdf> (2014-07-10).
- Ingmarsson, P., 2014. Förstudie om havsenergibranschens forsknings- och utvecklingsbehov. SP och ÅF-Infrastructure.
- Jacobsson, S., 1997. Sweden's Technological System för Electronics and Computer Technology, in: Carlsson, B. (Ed.), Technological Systems and Industrial Dynamics. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Jacobsson, S., Bergek, A., 2004. Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. Industrial and Corporate Change 13, 815–849.

- Jacobsson, S., Sandén, B., Bångens, L., 2004. Transforming the Energy System – the Evolution of the German Technological System for Solar Cells. *Technology Analysis & Strategic Management* 16, 3–30.
- Jager, D.d., Klessmann, C., Stricker, E., Winkel, T., Visser, E.d., Koper, M.I., Ragwitz, M., Held, A., Resch, G., Busch, S., Panzer, C., Gazzo, A., Roulleau, T., Gousseland, P., Henriët, M., Bouillé, A., 2011. Financing Renewable Energy in the European Energy Market. Ecofys, Fraunhofer ISI, TU Vienna EEG and Ernst & Young, <http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/renewables/2011_financing_renewable.pdf> (2014-07-15).
- Jeffrey, H., Jay, B., Winskel, M., 2013. Accelerating the development of marine energy: Exploring the prospects, benefits and challenges. *Technological Forecasting & Social Change* 80, 1306–1316.
- Johnsson, L., 2011. Vågkraftsverkstillverkning ett lyft för Lysekil, Bohuslänningen, 2011-11-11, sid. 13.
- Johnsson, L., 2013. Aktier ska förverkliga Seabaseds nya fabrik, Bohuslänningen, 2013-06-27, sid. 17.
- Kim, C.-K., Toft, J.E., Papenfus, M., Verutes, G., Guerry, A.D., Ruckelshaus, M.H., Arkema, K.K., Guannel, G., Wood, S.A., Bernhardt, J.R., Tallis, H., Plummer, M.L., Halpern, B.S., Pinsky, M.L., Beck, M.W., Chan, F., Chan, K.M.A., Levin, P.S., Polasky, S., 2012. Catching the Right Wave: Evaluating Wave Energy Resources and Potential Compatibility with Existing marine and Coastal uses. *PLoS ONE* 7.
- Langhamer, O., 2009. Wave energy conversion and the marine environment. Doctoral thesis. Uppsala University, Uppsala.
- LCICG, 2012. Technology Innovation Needs Assessment (TINA) Marine Energy Summary Report. Low Carbon Innovation Coordination Group, <<https://www.carbontrust.com/media/168547/tina-marine-energy-summary-report.pdf>> (2014-04-20).
- Levin, D., 2012. Politiker avvaktar satsningar, Dagens Nyheter, 2012-10-01, sid. 9.
- Lewis, A., Estefen, S., Huckerby, J., Musial, W., Pontes, T., Torres-Martinez, J., 2011. Ocean Energy, in: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., Stechow, C.v. (Eds.), *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Lundgren, Å., 2011. "Vågkraften har potential i Sverige", GT, 2011-01-31, sid. 19.
- Lundvall, B.Å. (Ed.), 1992. *National Systems of Innovation—Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers, London.
- Lysekils kommun, 2011. Vindbruk – tematiskt tillägg till översiktsplanen med miljökonsekvensbeskrivning. Dnr LKS 10-4-375. Lysekil.

Magnusson, M., Lindner, G., Edlund, M., 2014. ”Statliga fonder agerar som kortsiktiga riskkapitalister”, Dagens Nyheters nätupplaga, 2014-03-28, <<http://www.dn.se/debatt/statliga-fonder-agerar-som-kortsiktiga-riskkapitalister/>>

Mark- och miljödomstolen, 2014. Ansökan om tillstånd för uppförande och drivande av vindkraftverk i Kattegatt, Falkenberg kommun (Mål nr M 2036-12). Vänersborgs tingsrätt, Vänersborg.

Minesto, 2013. <<http://www.minesto.com>> (2014-03-16).

Minesto, 2014. The EU awards €750,000 for the development of tidal power components – resulting in unique collaboration between tidal energy developers, Pressmeddelande, <http://www.minesto.com/Resources/Minesto_Eurostars_funding_ENG.pdf>.

Mötesanteckningar, 2014a. Företagande, miljö och förnybar energi. Fouriertransform, företagarna och Sotenäs kommun, Hotell Smögens Hafvsbad, Smögen, 2014-06-26.

Mötesanteckningar, 2014b. OEC avslut-uppstart. Ocean Energy Centre, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 2014-05-21.

Mötesanteckningar, 2014c. Workshop inom Energimyndighetens kartläggningsarbete av havsenergibranschen. SP och Energimyndigheten, Göteborg, 2014-04-11.

Nordgren, J., Andersson, P., Eriksson, L., Sundquist, B., 2011. Quality and Renewal 2011 An overall evaluation of research at Uppsala University 2010/2011. Uppsala universitet.

Ocean Dynamic Power, u.å., <http://odp-group.com/wordpress/wp-content/themes/odp_group/docs/tt.pdf> (2014-05-20).

Ocean Harvesting Technologies, 2013. <<http://http://www.oceanharvesting.com>> (2014-08-27).

OES, 2012. Annual Report 2012. Ocean Energy Systems, <http://www.ocean-energy-systems.org/oes_reports/annual_reports/2012_annual_report/> (2014-03-20).

OES, 2013. Annual Report 2013. Ocean Energy Systems, <http://www.ocean-energy-systems.org/oes_reports/annual_reports/2013_annual_report/> (2014-07-15).

OES, 2014. Ocean Energy Review of Supporting Policies. Ocean Energy Systems, <http://www.ocean-energy-systems.org/documents/42961_ocean_energy_review_of_supporting_policies.pdf> (2014-07-06).

Pettersson, I., 2014. Kort kommunikation med I. Pettersson, Styrelseordförande på Exim Strömturbiner AB, 2014-05-15.

Rantakokko, E., 2014. De ska enas om havets villkor, Bohuslänningen, 2014-01-28, sid. 11.

Regeringen, 1983. Regeringens proposition 1983/84:10 om svensk havsresursverksamhet, Stockholm, 1983-12-15.

Regeringen, 2003. Regeringens proposition 2003/04:42 Torv och elcertifikat, Stockholm, 2003-11-13.

- Regeringen, 2014. Den maritima strategin växer fram, <<http://www.regeringen.se/sb/d/18185>> (2014-07-10).
- Rourke, F.O., Boyle, F., Reynolds, A., 2010. Tidal energy update 2009. *Applied Energy* 87, 398–409.
- Sandén, B., Hammar, L., Hedenus, F., 2014. Are renewable energy resources large enough to replace non-renewable energy?, in: Sandén, B. (Ed.), *Systems Perspectives on Renewable Power*. Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. <<http://www.chalmers.se/en/areas-of-advance/energy/cei/Pages/Systems-Perspectives-on-Renewable-Power.aspx>>
- Seabased, 2013. <<http://www.seabased.com>> (2014-03-20).
- SI OCEAN, u.å. Ocean Energy: State of the Art, <http://si-ocean.eu/en/upload/docs/WP3/Technology%20Status%20Report_FV.pdf> (2014-03-15).
- SI OCEAN, 2014. Wave and Tidal Energy Strategic Technology Agenda, <<http://www.si-ocean.eu/en/upload/SI%20Ocean%20-%20WaveTidal%20Strategic%20Technology%20Agenda.pdf>> (2014-08-27).
- Sievers, J., 2010. Uppfinning från LiU hyllas, *Norrköpings Tidningar*, 2010-12-06, sid. 14.
- Södermanlands Nyheter, 2012. Nej till vågkraft i Oxelösund, *Södermanlands Nyheter*, 2012-10-12, sid 6.
- Tiger, A., 2009. Potentiellt utbyte inom vågkraft, *Kristdemokraten*, 2009-04-09.
- Uppsala universitet, 2011. CFE - Centrum för förnybar elomvandling, <http://www.el.angstrom.uu.se/CFE/CFE_se.html> (2014-05-10).
- Uppsala universitet, 2013a. Pågående forskningsprojekt Marin Strömkraft, <<http://www.el.angstrom.uu.se/forskningsprojekt/Marin%20Stromkraft.html>> (2014-08-26).
- Uppsala universitet, 2013b. Lysekilsprojektet – forskning och utveckling av vågkraft, <<http://www.el.angstrom.uu.se/forskningsprojekt/WavePower/Lysekilsprojektet.html>> (2014-08-26).
- Vantoch-Wood, A.R., 2012. Developments within the UK Wave Energy Sector, BIEE 9th Academic Conference.
- Vattenfall, 2011. Ocean Energy Development Programme Annual Report 2011, <http://corporate.vattenfall.com/Global/corporate/news_and_media/doc/Ocean_Energy_Annual_Report_2011_20781072.pdf> (2014-07-20).
- Wangel, U., 2009. Vågkraftsvisioner för Skurups kommun, *Ystads Allehanda*, 2009-06-01, sid. 16.
- Waves4Power, u.å. Den historiska bakgrunden till W4P Waves4Power AB.
- Wenblad, A., Lindegarth, S., Hanning, A., 2012. Maritima kluster i Västra Götaland 2012. Västra Götalandsregionen, Göteborg och Tjörnö.

Winkel, M., 2007. Marine energy innovation in the UK energy system: financial capital, social capital and interactive learning. *International Journal of Global Energy Issues* 27, 472–491.

Winkel, M., Radcliffe, J., Skea, J., Wang, X., 2014. Remaking the UK's energy technology innovation system: From the margins to the mainstream. *Energy Policy* 68, 591–602.

Zerpe, H.k., 2008. Länsföretag på ambassadörs lista för framtiden, Norrbottens-Kuriren, 2008-12-29, sid. 36.

4.7 Appendix

Genomförda intervjuer

Inom ramen för studien har totalt 25 intervjuer (5 telefonintervjuer och 20 personliga intervjuer) genomförts med nyckelpersoner inom teknikområdet. Alla intervjuer genomfördes under vårterminen 2014 av författarna. Tabell A visar hur intervjuerna fördelats på olika aktörskategorier.

Tabell A. Intervjuernas fördelning på olika aktörskategorier.

Aktörskategori	Antal intervjuer
Teknikutvecklingsbolag	5
Energibolag	1
Underleverantörer	5
Forskningsaktörer	6
Offentliga aktörer	6
Intresseorganisationer	2
Totalt	25

5 Solceller

*Björn Sandén, Chalmers tekniska högskola i samarbete med
Anneli Kamb och Duncan Kushnir, Chalmers tekniska högskola,
Andreas Gustafsson och Susanne Karlsson, Energimyndigheten*

5.1 Teknikområdet i ett globalt perspektiv

Energin i solens strålar är källa till mer än 99,9 % av alla förnybara energiflöden på jordens yta (Sandén m.fl., 2014). En mindre del av solenergin omvandlas till vindar, strömmande vatten, temperatur- och saltgradienter, och strukturer inom växtriket. Alla dessa sekundära energikällor kan utnyttjas men den största potentialen finns i system som använder solenergin direkt. Det finns en mängd tekniker som på olika sätt omvandlar solljusets energi till el, värme och bränslen. Detta kapitel omfattar omvandling till el i solceller som ofta förkortas PV efter den engelska termen ”photovoltaics”. Solceller är den solenergiteknik som idag växer snabbast i världen.⁸⁴

5.1.1 Områdets framväxt

Den fotovoltaiska effekten, d.v.s. generering av ström eller spänning i ett material som utsätts för ljus, upptäcktes redan 1839. Under slutet av 1800-talet och 1900-talets första hälft gjordes sporadiska experiment med olika material. I samband med utvecklingen av moderna halvledare uppfanns den första praktiska kisel-solcellen 1954. Under 1950- och 1960-talen användes solceller i satelliter, och efter den första oljekrisen började solceller tas i bruk nere på jorden, framförallt i konsumentelektronik och i tillämpningar där anslutning till elnäten är dyr eller omöjlig, som på båtar, fjällstugor och telekommunikationsanläggningar. Främst tyska och japanska satsningar på nätanslutna solcellstak ledde till en påskyndad marknadsutveckling under 1990-talet. Under det senaste decenniet har efterfrågan accelererat i ett stort antal länder, kostnaderna har sjunkit snabbt och en global industri har utvecklats.

5.1.2 Teknikbeskrivning

Solcellens viktigaste del är ett material vars elektroner kan fånga upp energin i solens strålar och därmed generera elektrisk ström och spänning. I solcellen ingår även kontakter och ledare som för strömmen vidare. Flera celler sätts ofta ihop till en modul. Flera moduler kan sedan sättas ihop i ett solcellssystem där även andra komponenter som växelriktare, anordningar för montage och energilager kan ingå. På grund av att tekniken i stort sett är skaloberoende finns ett större spektrum av

⁸⁴ Statistik från International Energy Agency (www.iea.org) visar att den globala årliga elproduktionen från solceller ökade från 7 TWh till knappt 100 TWh mellan 2007 och 2012, medan solvärme och termisk solkraft ökade från 0,7 TWh till 5 TWh under samma period.

tillämpningar än för andra energitekniker, från centimeterstora system i konsumentelektronik med effekter på några milliwatt till kilometerstora solcellsparker med effekter på flera hundra megawatt.

Efter utvecklingen av de första solcellerna av kristallint kisel på 1950-talet har ett stort antal alternativa material prövats. Forskningen går idag åt flera håll där man i en riktning på olika sätt försöker höja verkningsgraden och i en annan siktar mot tunnfilmssolceller med lägre verkningsgrad men mycket låga produktionskostnader. Trots stora utvecklingsinsatser av alternativa material har kiselsolcellerna behållit sin konkurrenskraft och dominerar fortfarande marknaden.

5.1.3 Potential

På grund av solenergiressursens storlek och att solcellerna omvandlar en stor andel av solstrålningen till el, typiskt 10–20 %, är tekniken ett av få alternativ som på sikt helt kan ersätta fossila bränslen och kärnkraft. Om effektiviteten vid en första anblick inte ser hög ut så kan man jämföra med vindkraftparker som typiskt kräver en tio gånger större yta för att producera samma mängd el och med biobränslebaserade system som kräver en hundra gånger större yta (Kushnir och Sandén, 2011; Sandén m.fl., 2014). Mängden solenergi som når jordens yta varje timme motsvarar samhällets totala energianvändning under ett år (IPCC 2011).

Tabell 5:1 återger en grov uppskattning av den globala solelpotentialen. De olika måtten tar hänsyn till teoretiska respektive idag uppnådda verkningsgrader samt till uppskattningar av hur stora ytor som teoretiskt finns tillgängliga respektive hur stora ytor man skulle kunna nyttja med hänsyn tagit till konkurrerande användningsområden (Sandén m.fl., 2014).⁸⁵ Den framtida socioekonomiska potentialen, d.v.s. den mer restriktiva och realistiska potentialen, uppskattas till mer än en miljon TWh per år. Det motsvarar omkring 50 gånger dagens elproduktion i världen och nästan 10 gånger världens totala primärenergianvändning.

Tabell 5:1. Den globala resurspotentialen för solel (Sandén m.fl., 2014).

TWh/år	Fysisk potential (på jordytan)	Teknisk potential (på land)	Socioekonomisk potential
Solel	730 000 000	20 000 000	>1 000 000

Solenergin når jordens alla ytor och det årliga inflödet är geografiskt mer jämt fördelat än tillgången på annan förnybar energi (Sandén m.fl., 2014). Solenergitillgången varierar dock kraftigt över tiden. Långt från ekvatorn (som i Sverige) varierar tillgången över året, dygnsvariationen finns överallt, och slutligen skapar molnbildning en mer ojämn variation på både kortare och längre tidskalor.

⁸⁵ Se Sandén m.fl. (2014) för utförligare beskrivningar om vilka antaganden som gjorts.

5.1.4 Teknikens utvecklingsstatus

Efter sex decenniers utveckling är solceller idag konkurrenskraftiga i många länder även i nätanslutna tillämpningar. Mellan 2008 och 2012 sjönk priset på solcellsmoduler med över 80 % på många marknader och priset för installerade system sjönk med över 60 %.⁸⁶ Det är idag billigare för konsumenter i många länder att själva producera solel än att köpa el från nätet. På vissa marknader kan solel även konkurrera på den öppna elmarknaden, särskilt i länder där efterfrågan på el är som störst mitt på dagen på sommaren. System som klarar dygns- och årstidslagring, och därmed reducerar behovet av kompletterande elproduktion och stora elnät, är fortfarande kostsamma. Utvecklingen av ny batteriteknik har dock startat en diskussion kring nära förestående massavhopp från nätet i USA och Australien (Bronski, m.fl., 2014).

En orsak till de lägre priserna har varit utvecklingen av en global värdekedja med framväxten av massproduktion av celler och moduler i Asien. Europeiska företag drar sig uppåt i värdekedjan mot maskinvaruproduktion eller neråt mot projektering och installation. Industrin befinner sig under 2014 fortfarande i en omstruktureringsfas där många företag försvinner, andra tillkommer och många omdefinierar sin roll i värdekedjan. Vissa företag specialiserar sig medan andra eftersträvar större vertikal integration (Hjalmarsson och Sandén, 2014).

Solceller måste idag betraktas som en mogen teknologi och den globala industrin befinner sig i en kommersiell tillväxtfas (se figur 2:4). Men med tanke på att solceller år 2013 fortfarande svarade för mindre än 0,5 % av världens elproduktion, eller 0,01 % av den uppskattade potentialen, bedömer vi att solceller fortfarande befinner sig i ett inledande skede av tillväxtfasen. Kommersiella solceller har idag en verkningsgrad på runt 15 %, vilket är långt från världsrekordet för en laboratoriecell på drygt 44 % (Green m.fl., 2014) och från den teoretiskt maximala verkningsgraden för omvandling av solljus till el på 80–90 % (Sandén m.fl., 2014).⁸⁷ Det finns alltså stort utrymme för fortsatt utveckling. Inte minst gäller detta på systemsidan, där solceller tillsammans med annan modulär teknik som batterier och bränsleceller på sikt helt kan förändra hur samhällets energisystem är utformade. I de länder där utvecklingen kommit längst som Tyskland och Italien kan man observera tecken på att solceller på allvar börjar utmana etablerade strukturer för produktion och konsumtion av el.

5.1.5 Internationell utveckling av marknader och politik

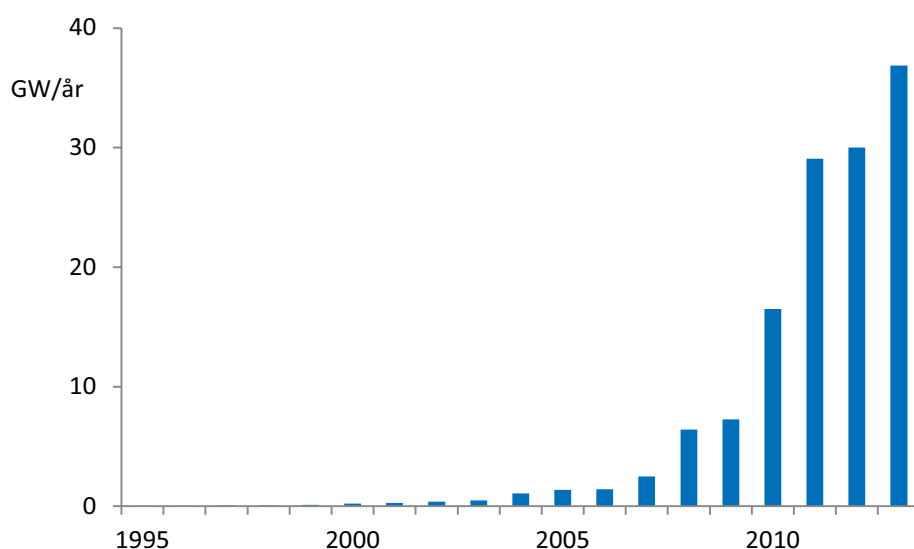
Den internationella marknadsutvecklingen har gått i vågor sedan 1950-talet med perioder av snabbare tillväxt som avlöst perioder av långsammare (Jacobsson m.fl., 2004; Sandén, 2005). Årlig produktion och försäljning har dock hela tiden ökat och i absoluta tal var ökningen mycket kraftig det senaste decenniet

⁸⁶ Uppskattningen baseras på uppgifter från International Energy Agency, flera årgångar av ”Trends in Photovoltaic Applications”.

⁸⁷ Den teoretiska gränsen beror på sammansättningen av direkt och diffus solinstrålning. Den teoretiska gränsen för specifika tekniker kan naturligtvis vara betydligt lägre.

(se figur 5:1) med en produktion på 30–40 GW per år de senaste åren och en installerad effekt på nästan 140 GW vid slutet av 2013 (IEA, 2014). Värdet av produktionen av solcellssystem samma år uppgick till omkring 100 miljarder euro. Marknadsökningen skapades initialt av politiska styrmedel, främst i form av inmatningstariffer, men de ökande produktionsvolymerna har lett till kraftigt reducerade priser, vilket i sin tur drivit på marknadsutvecklingen ytterligare. Under senare år har inmatningstariffer och investeringsstöd kunnat reduceras kraftigt eller helt tagits bort i många länder.

Solceller har följt en så kallad ”erfarenhetskurva” mot lägre kostnader när produktionen ökar. Förutsägelsen att kostnaden för att på så vis ”köpa ner” priset till konkurrenskraftiga nivåer skulle vara mycket begränsad i förhållande till hela elmarknaden tycks ha besannats (Sandén, 2005). I jämförelse med den stora framtida potentialen har man behövt subventionera relativt små volymer för att uppnå konkurrenskraft (se även avsnitt 9.5.3). Trots att kostnaden på ett globalt plan varit blygsam kan vissa länder, som Tyskland, som gått före och tagit en oproportionerligt stor del av bördan, dras med kostnader som inte är helt försumbara.



Figur 5:1. Den årliga globala installationen av solceller 1995–2013 (IEA, 2014).

Några länder har nu en relativt hög andel sol i sina system. Italien har kommit längst med 7–8 % sol (IEA 2014). Med ökande andel distribuerad produktion utan rörliga kostnader, spridd på hundratusentals privatpersoner och små företag, förändras maktbalansen på elmarknaden. Under 2014 pågår vad som skulle kunna kallas ”institutionella strider” kring inmatning på näten, d.v.s. politiska diskussioner och maktspel om hur elmarknaden ska regleras och vad som får eller bör avgiftsbeläggas alternativt subventioneras (Jacobsson och Lauber, 2014; Kåberger, 2014).

5.2 Strukturell analys

Mot bakgrund av solcellernas utveckling globalt presenteras här det svenska innovationssystemets struktur. I de olika delarna koncentrerar vi oss på teknikspecifika aspekter men noterar även vissa viktiga generella eller kompletterande strukturer.

5.2.1 Teknik och naturresurser

Generella och kompletterande strukturer

Naturresursförutsättningarna är både gynnsamma och ogynnsamma. Sveriges landyta tar emot ungefär 400 000 TWh solenergi per år, vilket kan jämföras med den totala energianvändningen på ca 400 TWh per år. Hur mycket av solenergin som kan och bör tas tillvara i solceller är därför inte främst en fråga om tillgång på naturresurser, utan om hur stora ytor man vill använda. Till exempel skulle samma yttäckning av solceller som Tyskland hade 2013 ge 40 TWh per år i Sverige.⁸⁸ Med en produktionstopp mitt på dagen samvarierar solelproduktionen över dygnet med samhällets genomsnittliga efterfrågan. En naturgiven nackdel för solceller i Sverige och andra kalla länder är emellertid att solelproduktionen inte samvarierar med efterfrågan på energi över året på samma sätt som i många andra länder.

I Sverige finns väl utbyggda transmissions- och distributionsnät, vilket minskar marknaden för fristående solcellssystem. Dock skapar detta goda möjligheter att tillföra elnäten stora mängder solel från byggnader och infrastruktur. En sådan strukturell fördel ska inte underskattas. För andra tekniker som t.ex. havsbaserad vindkraft krävs investering i nya nät. Även vattenkraften är en stödjande strukturell komponent. Den utgör en unik tillgång i det nordiska elsystemet som komplement till elproduktion som växlar kraftigt över olika tidsskalor.

Just tillgången på hus och andra byggda konstruktioner utgör en strukturell tillgång för solceller i jämförelse med annan elproduktion. Potentialen på lämpliga hustak har uppskattats till 40 TWh per år (Kjellsson, 2000). Solceller kan annars utnyttja i stort sett vilka ytor som helst. Busk- och gräsmark i anslutning till vägar, järnvägar, flygplatser och kraftledningsgator kan uppgå till 4 300 km² (Stenmark 2012), och konvertering med 10 % verkningsgrad på dessa ytor skulle ge 430 TWh per år. Om intresset minskar för golf skulle 20 TWh per år kunna produceras på Sverige golfbanor.⁸⁹ Med ett par kvadratmeter solceller per bil skulle Sverige bilpark kunna generera 1 TWh per år.

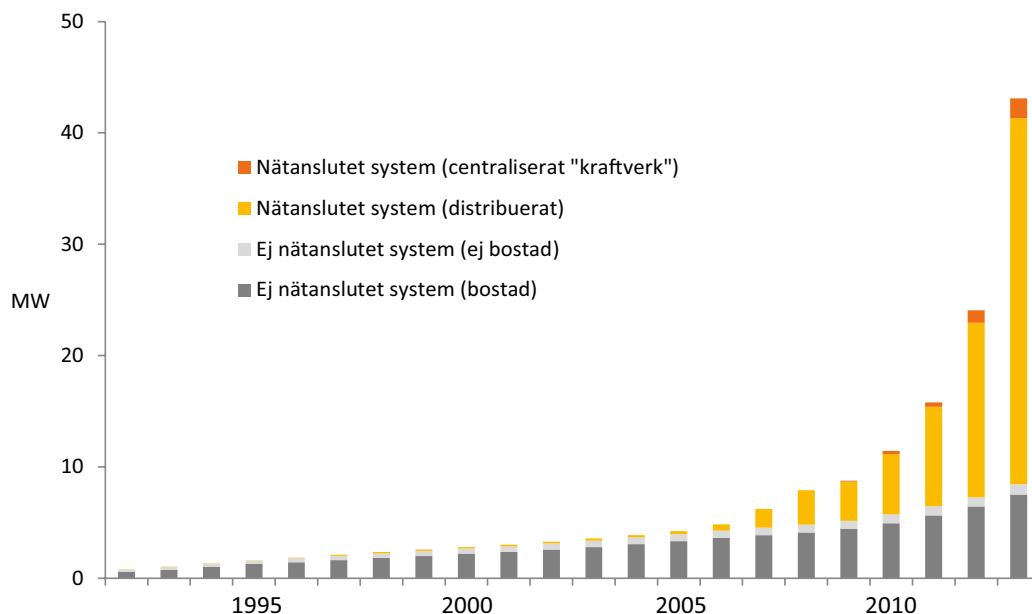
På svenska universitet finns en stor och växande kunskap inom materialvetenskap och materialfysik i bred bemärkelse (Andersen m.fl., 2010; Fogelberg och Sandén, 2008). Detta är en latent resurs som kan mobiliseras. Med företag som ABB och Ericsson inom landet finns även en bred kunskapsbas inom elkraft och elektronik.

⁸⁸ Tyskland hade i genomsnitt över landet en installerad effekt på 0,1 MW/km² (0,1 W/m²). Sveriges yta är 450 000 km². I Sverige ger 1 MW normalt knappt 1 GWh per år.

⁸⁹ I Japan finns det minst ett exempel på en golfbana som byggs om till en solcellspark.

Teknikspecifika strukturer

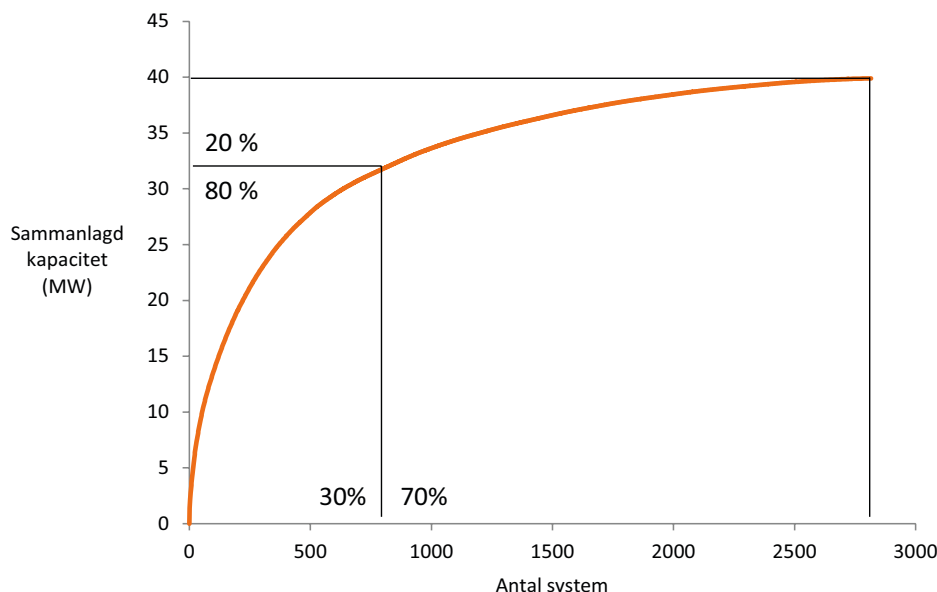
Den svenska installerade effekten av solceller är mycket liten i en internationell jämförelse, men i relativa termer har den vuxit snabbt under senare år och uppgick vid 2013 års slut till ca 43 GW (se figur 5:2). Drygt 80 % av kapaciteten är ansluten till nätet.



Figur 5:2. Installerade solcellssystem i Sverige indelade i fyra kategorier (Lindahl, 2014).

Solcellstekniken sprids i samhället på ett annat sätt än traditionella kraftverk. En stor mängd system av varierande storlek växer fram parallellt. Den 30 juni 2014 hade drygt 2 800 anläggningar beviljats investeringsstöd. Nästan 2 000 av de drygt 2 800 anläggningarna (70 %) hade en effekt på under 10 kW. Dessa svarade för 20 % av den totala effekten medan de större anläggningarna (30 %) bidrog med 80 %. Den största anläggningen hade en effekt på 1 400 kW. Storleksfördelningen på de nätanslutna anläggningarna framgår av figur 5:3. Geografiskt finns en god spridning över landet men med en tydlig koncentration till de södra länen.

Flertalet av installationerna fungerar troligtvis som en sorts lokala demonstrationsanläggningar. Vid sidan av dessa finns dock två större demonstrations- och testanläggningar: Glava Energicentrum i Värmland och Kullen utanför Katrineholm.

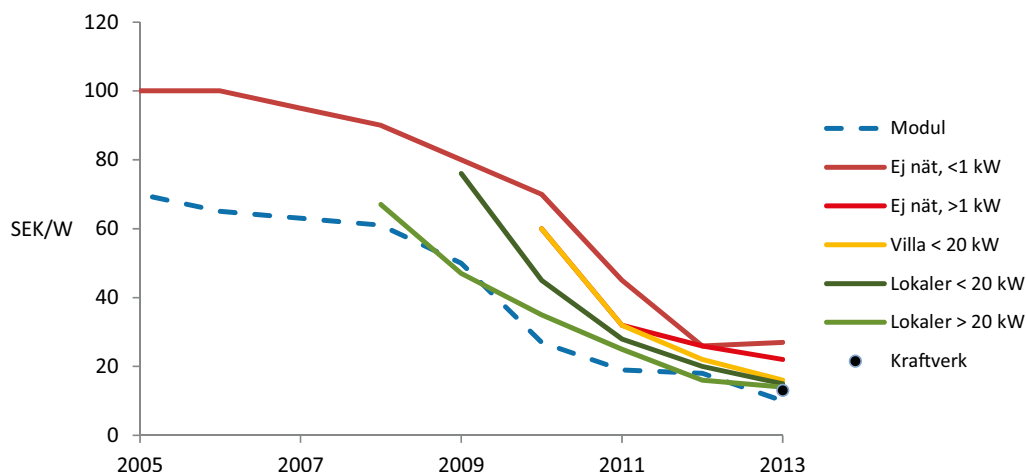


Figur 5:3. Storleksfördelning av nätanslutna anläggningar som beviljats investeringsstöd t.o.m. 30 juni 2014. Registret innefattar 2 816 anläggningar. Uppenbart felaktiga uppgifter i registret har korrigerats manuellt. Källa: Boverket.

Även om modulproduktionen i Sverige överstiger efterfrågan importerar merparten av alla solcellssystem som installeras i Sverige. Kostnadsreduktionen för solcellsmoduler på den internationella marknaden har därför fört med sig en kraftig kostnadsreduktion även i Sverige. Men det är inte bara modulkostnaden som minskat. Även kostnaden för övriga systemkomponenter och installation har gått ner. I Sverige har kostnaden för installerade system minskat lika snabbt som modulkostnaden (se figur 5:4). Mellan 2010 och 2013 sjönk kostnaden för ett typiskt villasystem från 60 kr per W till 16 kr per W (exklusive moms). Det innebär att det trots den begränsade marknadsvolymen har skett ett snabbt lärande inom installatörskåren och konkurrensen tycks därmed ha varit tillräcklig för att skapa dessa effekter.⁹⁰ Stridh m.fl. (2014) uppskattar elkostnaden från ett villasystem till 1,2 kr/kWh, d.v.s. inte långt över den rörliga delen av elpriset på omkring 1,0–1,1 kr/kWh (Lindahl, 2014).

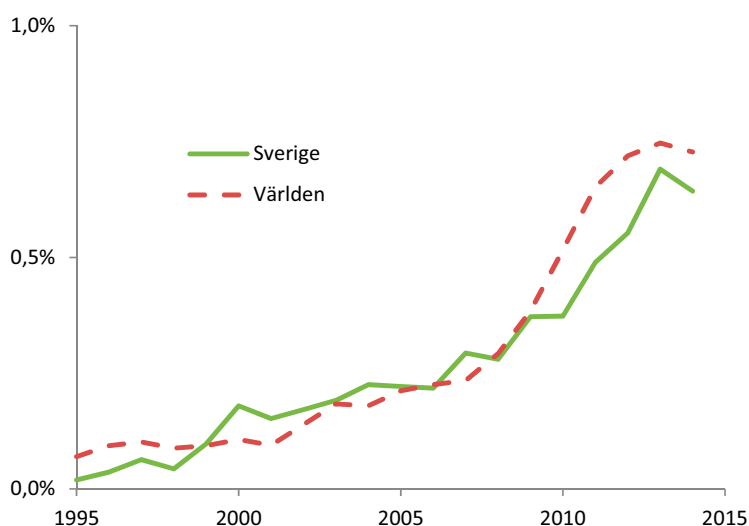
Tittar vi bakåt i värdekedjan finns det i Sverige en enda kvarvarande produktionsanläggning för modultillverkning, nämligen Swedmodules i Glava i Värmland. I anläggningen sätts moduler ihop av importerade kiselceller. Merparten av produktionen går på export (Intervju A). Figur 5:9 nedan illustrerar hur produktionskapaciteten hos de svenska modultillverkarna följde den globala marknadsutvecklingen 2002–2008, och hur det drastiska prisraset efter 2008 gjorde att tillverkning lades ner. Swemodule tog över REC Scanmodules anläggning men utnyttjar bara en mindre del av produktionskapaciteten. En del av de andra företagens maskinpark finns kvar i landet.

⁹⁰ Det finns stora skillnader mellan olika länder. Kostnaden i Sverige är i det perspektivet låg och ligger i linje med tyska priser. Som jämförelse låg priset för små system (under 10 kW) 2013 på ca 33 kr/W i USA, d.v.s. dubbelt så högt som i Sverige (Barbose m.fl., 2014).



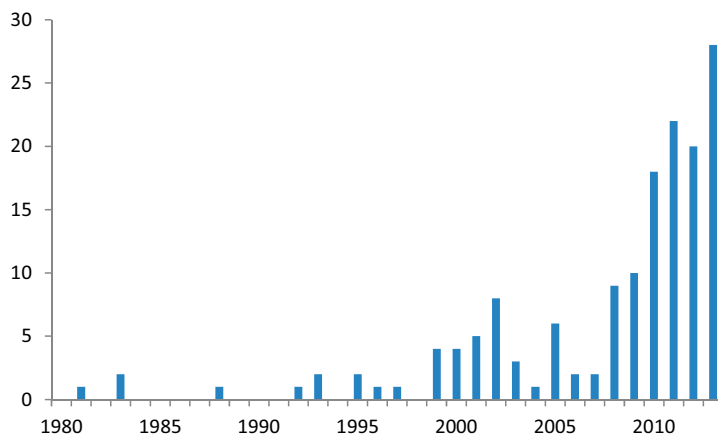
Figur 5:4. Kostnadsutvecklingen i Sverige för olika systemtyper (exklusive moms) (Lindahl, 2014).

Det finns några experiment- och pilotanläggningar för produktion av nya material och cellteknologier. Anläggningar för mer kommersiell produktion är under uppbyggnad (Intervju H, I). Vad gäller kunskapsbasen inom den svenska universitetsvärlden visar en bibliometrisk analys att verksamheten ökar snabbt mätt i antalet publicerade artiklar per år. Solcellspublikationernas andel av den totala svenska publikationsvolymen ökade från mindre än 0,1 % före 1999 till nästan 0,7 % 2013 (grön heldragen linje i figur 5:5). Den svenska utvecklingen inom området följer den internationella utvecklingen (streckad röd linje i figur 5:5). Sverige har en relativ styrka inom vissa tunnfilmstekniker men är svagt inom traditionell kiselteknik.



Figur 5:5. Publikationstakten inom solcellsområdet jämförd med den totala publikationstakten, i världen (streckad röd) och i Sverige (heldragen grön). Källa: Science Citation Index, Söksträng: "photovoltaics" OR "solar cell" OR "solar cells".

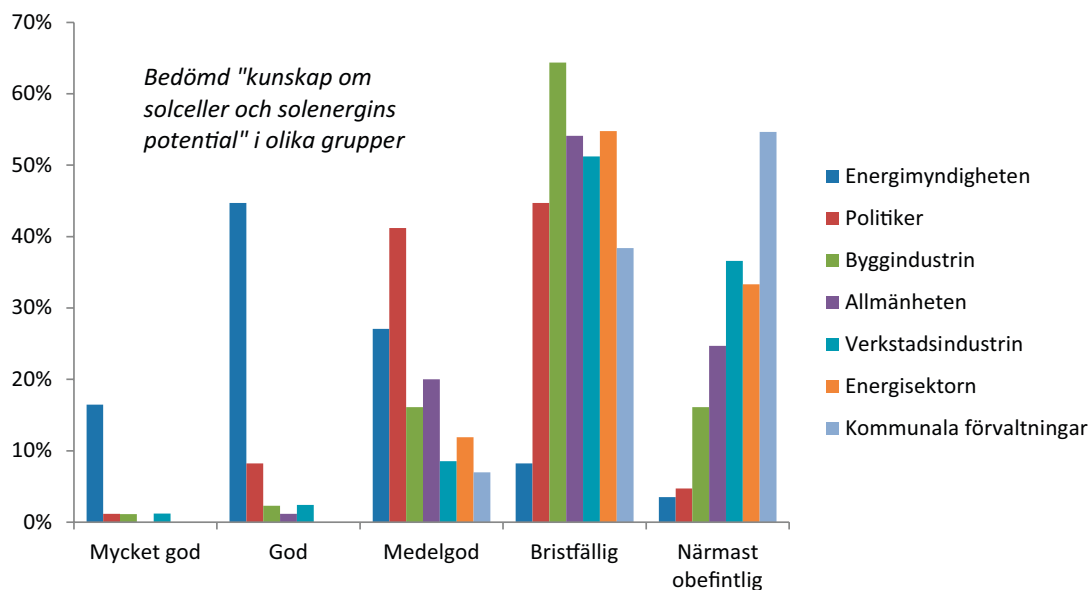
Kunskapsmassan kan även indikeras med patent och patenteringsintensiteten kan mätas på olika sätt. Figur 5:6 visar svenska patent som identifierats som solcellspatent enligt klassificeringssystemet Cooperative Patent Classification. Patenteringstakten har ökat snabbt under senare år. Patenten indikerar även en relativ svensk styrka inom vissa tunnfilmstekniker, ny solcellsteknik baserad på nanotrådar och elsystemkomponenter (se vidare avsnitt 5.2.2).⁹¹



Figur 5:6. Svenska patent (svensk uppfinnare eller sökande) identifierade som solcellsteknik (Y02E10/50/low) enligt klassificeringssystemet Cooperative Patent Classification (CPC). Källa: Europeiska patentverket.

På Solforum 2014 som arrangerades av Energimyndigheten och samlade aktörer verksamma inom solenergiområdet i Sverige genomfördes en undersökning med hjälp av mentometrar. Kunskapsnivån inom svensk industri, det politiska systemet och bland allmänheten bedömdes där vara låg (se figur 5:7), medan kunskapen på Energimyndigheten av flertalet bedömdes som god.

⁹¹ Metodmässigt är det intressant att även söka på associerade patentklasser eller på patent med liknande terminologi eftersom det indikerar om det finns en mer generell kunskapsbas som kan riktas mot ett nytt tillämpningsområde, i det här fallet solceller. Inom projektet har inledande försök gjorts för att identifiera en sådan bredare kunskapsbas.



Figur 5:7. I en mentometerundersökning på Solforum 2014 ställdes frågan kring olika aktörers kunskap om solceller och solenergis potential. Antal svar varierade mellan 82 och 87. Deltagarna kom från privata företag (36%), universitet och högskolor (33%), myndigheter och kommuner (21%), institut (2%) och övriga (8%). Solforum arrangerades av Energimyndigheten.

5.2.2 Aktörer och nätverk

Generella och kompletterande strukturer

Solcellsteknikens modulära struktur skapar möjligheter att sätta ihop små system av olika typer. Tillsammans med tillgången på globala marknader för olika systemkomponenter gör detta att en mängd olika aktörer relativt lätt kan ta klivet in i värdekedjans marknadsnära delar. Etablerade aktörer och nätverk inom byggindustri, installation, design och detaljhandel utgör därför en latent resurs för installationsdelen av solcellernas innovationssystem. I den övre delen av värdekedjan är det mer oklart i vilken mån etablerade aktörer kan och vill befatta sig med solcellstekniken (se t.ex. hur solenergiaktörerna bedömer verkstadsindustrins kunskap om och attityd till solceller i figurerna 5.7 och 5.11)

Teknikspecifika strukturer

En överblick över värdekedjan och dess aktörer i början på 2014 ges i figur 5:8. Tabell 5:2 återger utvecklingen över tid i värdekedjans olika led. Den samlade bilden är att det under senare år har skett en stark utveckling nedströms i värdekedjan, med en kraftig ökning av antalet ägare av nätanslutna solcellssystem (se även figur 5:3) och av installatörer och återförsäljare.⁹² Detta kan ses som en kombinerad effekt av investeringsstödet (se nedan) och prissänkningar (se figur 5:4).

⁹² Under hösten 2014 tycks antalet företag som åtminstone säger sig installera solcellssystem öka från dag till dag. Se till exempel kommentarsfältet på Bengts Villablogg under rubriken leverantörer <http://bengts.blogg.viivilla.se/leverantorer/>.

Ännu längre ner i värdekedjan kan vi observera ett ökat intresse från elbolagen att handla med solel. Vid sidan om de etablerade elhandelsbolagen har det uppstått företag som helt inriktar sig på handel med solel, t.ex. EgenEl.

Uppströms i värdekedjan har antalet företag som tillverkar moduler av importerade celler drastiskt minskat från fem företag 2010 till ett 2013, som ett resultat av prissänkningar och global konkurrens (figur 5.9).⁹³ Trenden är mer positiv för forskningsnära företag som utvecklar material, celler och maskiner för cellproduktion, liksom för företag som utvecklar kringutrustning som elektriska komponenter för styrning och systemoptimering. Bland dessa finns ett stort företag (ABB).

Tabell 5:2. Utvecklingen av antalet aktörer i värdekedjans olika led.

Aktörskategori	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Maskiner, material & cellera	1	1	3	3	4	7	7	6	6	6
Modulera	3	4	4	4	5	5	7	6	4	2
Koncentrerad sola	0	0	1	2	2	2	3	3	3	3
Kringutrustninga	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5
Grossistera										2
Installatörer & återförsäljareb	1		5	8			37	54	88	113
Ägarec	27	30	42	81	124	137	491	855	1 643	2 618
<i>Allmännyttigt bostadsföretag</i>							8	13	18	25
<i>Samfälligheter etc.</i>							17	38	82	171
<i>Bolag, Bostadsrättsföreningar</i>							74	143	239	366
<i>Fysisk person</i>							213	446	1 063	1 787
<i>Landsting & kommuner</i>							42	78	104	132
Elbolag som köper soleld									24	29
<i>Ekvivalent med nettodebitering</i>									14	19
<i>C:a Nordpols spotpris</i>									10	10

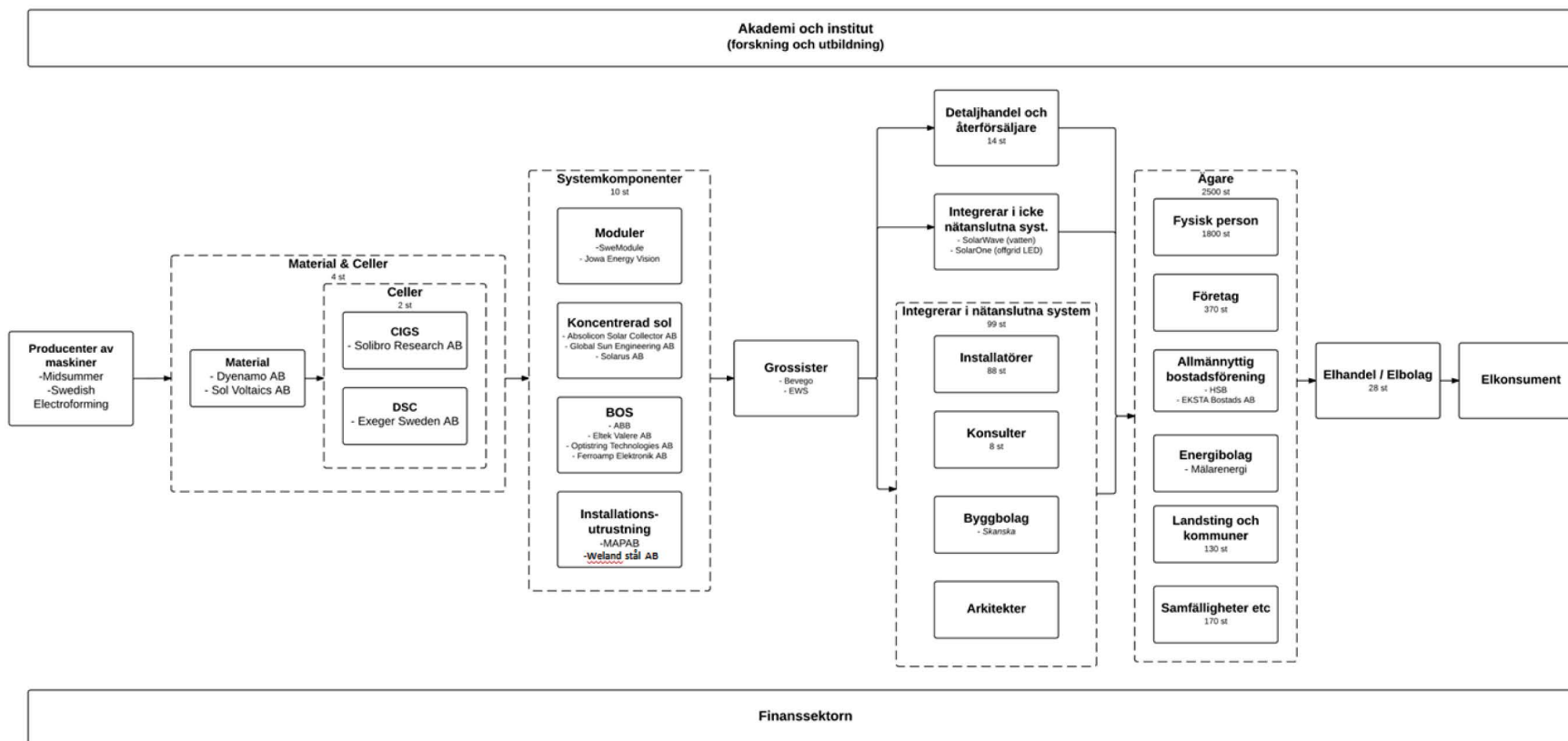
a Källor: IEA-PVPS, National Survey Report of PV Power Applications in Sweden, flera årsupplagor, Svensk solenergi

b I värden för 2004, 2006–2007 saknas några detaljhandelsföretag som ingår i värden för 2010–2013. Uppgifter saknas för 2005 och 2008–2009. Källor: 2004–2007 Porsö 2008, 2010–2013 IEA-PVPS, National Survey Report of PV Power Applications in SWEDEN, flera årsupplagor.

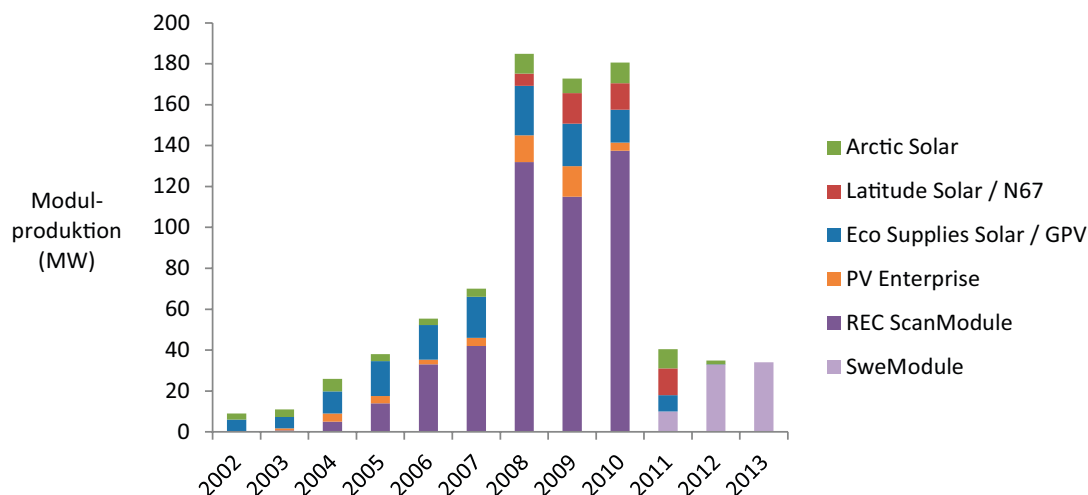
c Källor: 2004–2009 Solel.nu, 2010–2013 Boverket

d Ekvivalent med nettodebitering innebär att elhandelsbolagen erbjuder i omkring 1 kr/kWh, dvs ungefär motsvarande det rörliga kostnaden för el. C:a Nordpools spotpris innebär att elhandelsbolaget som ligger i närheten av Nordpols spotmarknadspris, t.ex. 40 öre/kWh. Källa: Johan Lindahl, Uppsala universitet.

⁹³ I tabell 5:2 anges två företag under "Moduler" 2013. Ett av dessa, Jowa Energy Vision, har köpt utrustning men hade 2013 ingen tillverkning.



Figur 5:8. Identifierade svenska aktörer i värdekedjan (i början på 2014). En del aktörer agerar på flera ställen i värdekedjan. Flera elhandelsbolag köper inte bara solel utan erbjuder även sina kunder att köpa solcellssystem som sedan installeras av underleverantörer (installatörer). Kategorin "ägare" inkluderar endast ägare av nätanslutna system och antalet ägare av icke nätanslutna solceller i någon form är betydligt större. Figuren baseras på information från Lindahl, 2014; Intervju B, J och företagshemsidor.



Figur 5.9. Årlig modulproduktion i Sverige 2002–2013 (Lindahl, 2014).

Som en följd av ökade anslag till forskning och utveckling ökar universitet, högskolor och institut sin verksamhet inom området (figur 5:5 och 5:12). Med högre forskningsanslag till solceller och subventioner (se avsnitt 5.2.3) har aktiviteten även ökat på myndigheter som Energimyndigheten och Boverket.

Branschorganisationen Svensk Solenergi utgör ett nätverk för aktörer inom både solvärme och solel. Svensk Solenergi arbetar aktivt för att få upp solenergi på den politiska agendan, men organisationen uppfattas av en del som relativt svag i jämförelse med andra branschorganisationer inom energiområdet och en del centrala aktörer i branschen är inte medlemmar. Den relativa svagheten kan vara en naturlig konsekvens av branschens blygsamma ekonomiska storlek (Intervju J), men kan också delvis bero på det relativa oberoende som utvecklats mellan värdekedjans olika delar i Sverige. Komponenttillverkarna har varit inriktade på export och installatörerna har i huvudsak använt importerade komponenter.

Det finns täta samarbeten mellan de cell- och materialutvecklande företagen och olika universitet och institut. I flera fall beror detta på att företagen utvecklats från forskning som bedrivits och bedrivs på universiteten (Solibro – Uppsala universitet; Exeger och Dyneamo – Uppsala universitet, KTH och Swerea-IVF; Sol Voltaics – Lunds universitet). Midsummer som utvecklar maskinutrustning för produktion av tunnfilmceller har inte avknoppats från universitetsforskning men har knutit starkare band till forskningen allt eftersom (Intervju H). Inget av dessa företag är medlemmar i Svensk Solenergi. Utvecklingen av organiska solceller sker i samarbete mellan Linköpings universitet och Chalmers tekniska högskola. Solibro ägs av det kinesiska företaget Hanergy och ingår därmed i företagets globala nätverk inom tunnfilmssolceller.

I installationsledet finns det också kunskapsnätverk som sträcker sig över nationsgränserna. Ett exempel är när tyska grossistföretag utbildar svenska installatörer (Intervju D). Historiskt har Solelprogrammet, finansierat av Energimyndigheten och Elforsk, spelat en viktig roll för att bygga nätverk på installationssidan. Under senare

tid har en ny typ av nätverk börjat utvecklas. Till exempel har bloggar och nätforum som Bengts Villablogg och Solcellforum utvecklats till noder för kunskapsspridning och solelföretaget Egen El ingår i samma företagsgrupp som tidningen ETC och kring dessa skapas nätverk av mikroproducenter och solelkonsumenter.

Det finns även vissa begynnande nätverk som kopplar ihop aktörer uppströms och nedströms i värdekedjan. Swedmodules har etablerat ett nätverk med företag inom installationsbranschen (Intervju A) och Solkompaniet, en av de ledande installatörerna, har visst kunskapsutbyte med Solibro (Intervju D). I ett projekt kring en testbädd för solenergi lett av SP görs även försök att koppla ihop aktörer med olika kompetens och inriktning (Intervju F).

5.2.3 Institutioner

Generella och kompletterande strukturer

Kunskap och intresse för miljöfrågan i breda samhällslager utgör generella kognitiva och normativa strukturer som påverkar just solcellernas innovationssystem i hög grad eftersom vanliga konsumenter kan utgöra viktiga aktörer i systemet. Likaså påverkar allmänna intressen kring teknik och design, och viljan att investera i hus och hem. Ett allmänt lågt förtroende för elbolagen kan driva kunder till att göra sig mer oberoende genom att producera el själva. En undersökning som genomfördes på uppdrag av energimarknadsinspektionen 2012 visade att 85 % hade ett lågt förtroende för aktörerna på elmarknaden.

I den andra vågskålen finns tankestrukturer hos etablerade aktörer i energibranschen kring hur ”riktiga” kraftverk ska se ut, och där har värme, ånga och turbiner varit en naturlig utgångspunkt. En mängd generella regleringar kring elektriska installationer och elnät har, liksom skatter som inte är anpassade till distribuerad småskalig elproduktion, en stor påverkan på systemet. Som ett intressant exempel på det senare kan nämnas elcertifikatsystemet vilket är till för att stimulera produktion av förnybar el. Det kräver mätning av inmatad el med timvis upplösning, medan den minsta enheten man kan handla med är en MWh – en produktionsnivå som det kan ta månader att nå upp till för den enskilde villaägaren med solceller på taket. Vissa skatter som koldioxidskatten har en indirekt påverkan genom att förändra kostnaden för andra tekniker medan regler kring moms och ROT-avdrag har en mer direkt påverkan.

Teknikspecifika strukturer

Det finns inga politiska mål eller planeringsramar för varken solenergi, solel eller solceller i Sverige. Detta har utpekats som ett allvarligt problem av branschorganisationen Svensk Solenergi (2014). Ett annat potentiellt problem är avsaknaden av en statligt organiserad process för insamling av data kring utbyggnaden av solelproduktionen (Intervju B). Den kvantitativa information som presenteras i detta kapitel baseras i stora delar på ett projekt inom IEA (International Energy Agency) och på data som samlas in i samband med ansökan om investeringsstöd kompletterade med siffror från äldre rapporter och intervjumaterial. Om man skulle sätta

ett mål, t.ex. för den installerade kapaciteten eller den producerade solelen i Sverige, finns det i dagsläget ingen administrativ process för att följa upp det.

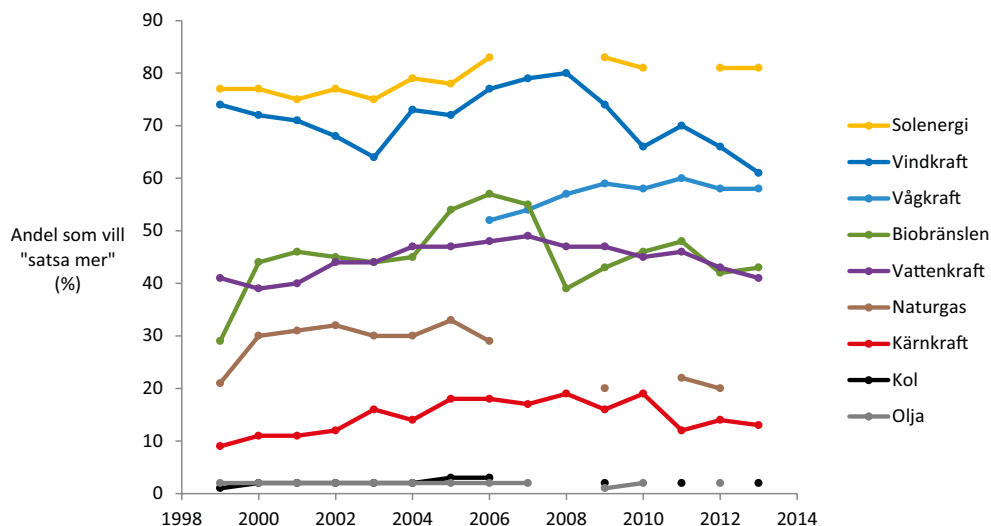
En annan del av den kognitiva dimensionen rör attityder, föreställningsvärldar och förväntningar på framtiden hos nyckelaktörer. På grund av sin annorlunda karaktär har solcellstekniken länge inte tagits på allvar av etablerade aktörer. Även inom forskarkåren som ofta ses som mer kunskapsorienterad, fritänkande och framåtblickande än industrin finns exempel på detta. Som ett intressant exempel ges följande citat från sammanfattningen av ett stort energiforskningsprojekt (European Energy Pathways) på Chalmers tekniska högskola: *”Även om helt nya mer ”hållbara” tekniker (t.ex. vätgas-baserade tekniker, solcellstekniker och fusion) säkerligen kommer att utvecklas, är det osannolikt att dessa kommer att spela någon större roll under de fyra decennier som leder fram till år 2050”* (Johnsson, 2011).⁹⁴ Samma år som rapporten publicerades installerades det mer än 20 GW solcellskapacitet i det europeiska elsystemet, vilket var mer än den sammanlagda installationen av alla andra typer av kraftverk (EWEA, 2012). En förändring i inställningen till och kunskapen om solceller kan dock ha skett de sista åren (Intervju B). Det stora antalet elhandelsbolag som nu på eget initiativ erbjuder höga fasta ersättningar för solceller (se tabell 5:3) kan tyda på en förändrad attityd i elbranschen. År 2014 kom också den första tevereklamen för solcellssystem, med ett stort elbolag som avsändare.

Det har länge funnits en positiv attityd till solenergi hos allmänheten. Figur 5:10 visar data från SOM-institutets undersökning om attityder till olika energikällor. På frågan om hur man tycker att Sverige bör satsa på olika energikällor de närmaste 5–10 åren har runt 80 % tyckt att man ska ”satsa mer” på solenergi ända sedan undersökningen började år 1999. Solenergin har toppat popularitetsligan alla år den ingått i studien. Även i en undersökning gjord år 2013 av SIFO på uppdrag av Telge Energi var solenergin den mest populära kraftkällan. Så mycket som 83 % av villaägarna i undersökningen kunde tänka sig att sätta upp solceller på taket, en ökning från 79 % år 2012 (Telge Energi, 2013).

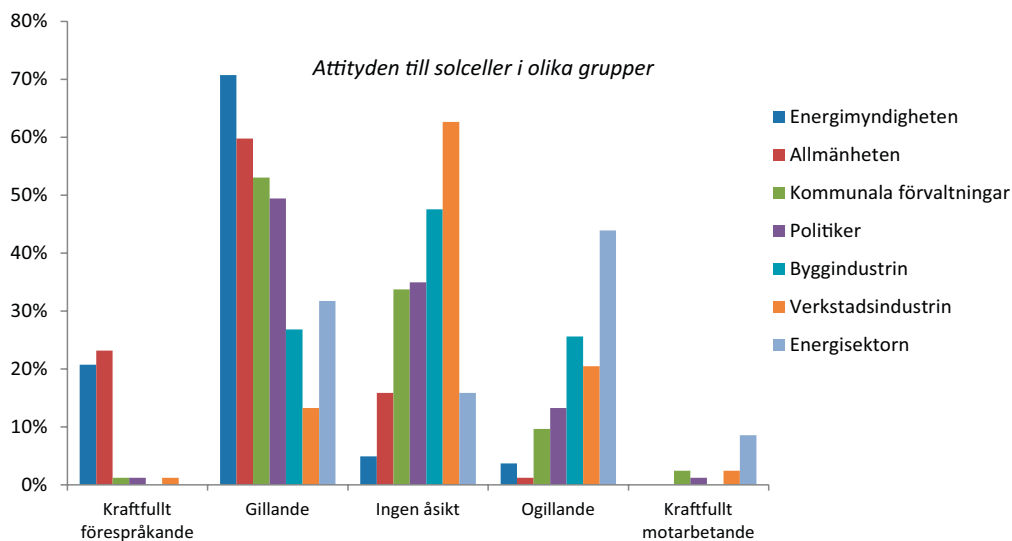
En annan indikator på intresset från en bred allmänhet är aktiviteten på internet. ”Bengts Villablogg” är en populär sida för kunskapsspridning kring solceller och produktion av solceller. Antalet besökare har stigit kontinuerligt sedan starten i november 2010 och i maj 2014 hade bloggen 35 000 besökare (Intervju C).

En undersökning av hur aktörer i det svenska solenergiområdet uppfattar legitimiteten för solceller inom olika grupper bekräftar bilden att allmänheten är positiv medan industrin och politiken är splittrad (figur 5:11). Energimyndigheten uppfattades ha en gillande inställning.

⁹⁴ I engelskt original lyder texten ”Although entirely new and more ‘sustainable’ technologies (e.g. hydrogen based technologies, solar cell technologies, and nuclear fusion) will undoubtedly be developed, these technologies are unlikely to play any major roles in the four decades leading up to the year 2050.”

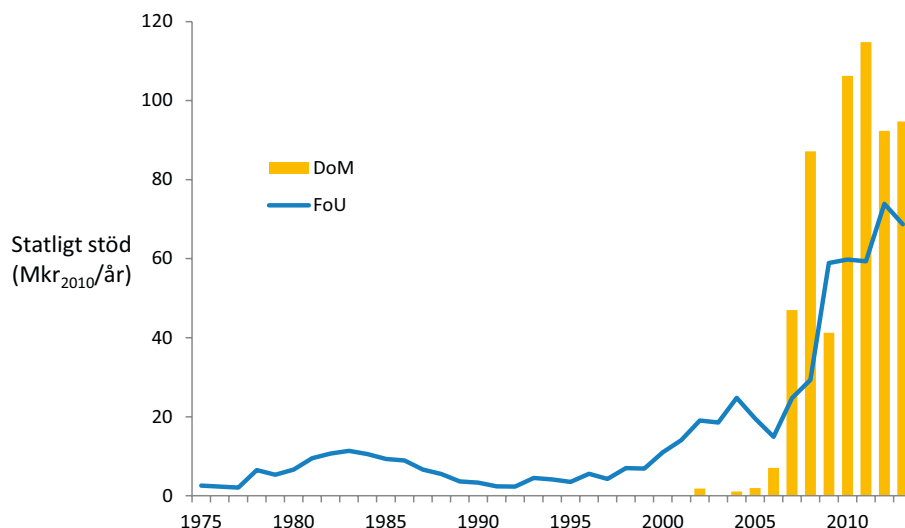


Figur 5:10. Svenskarnas attityder till olika energikällor. Andelen som svarat "satsa mer" på frågan hur Sverige bör satsa på olika energikällor de närmaste 5–10 åren. Övriga svarsalternativ var "satsa ungefär som idag", "satsa mindre än idag", "helt avstå från energikällan" och "Ingen uppfattning" (Hedberg och Holmberg, 2014).



Figur 5:11. I en undersökning utförd med mentometrar på Solforum 2014 ställdes frågan kring olika aktörsgruppers attityd till solceller. Antal svar varierade mellan 82 och 83. Deltagarna kom från privata företag (36%), universitet och högskolor (33%), myndigheter och kommuner (21%), institut (2%) och övriga (8%).

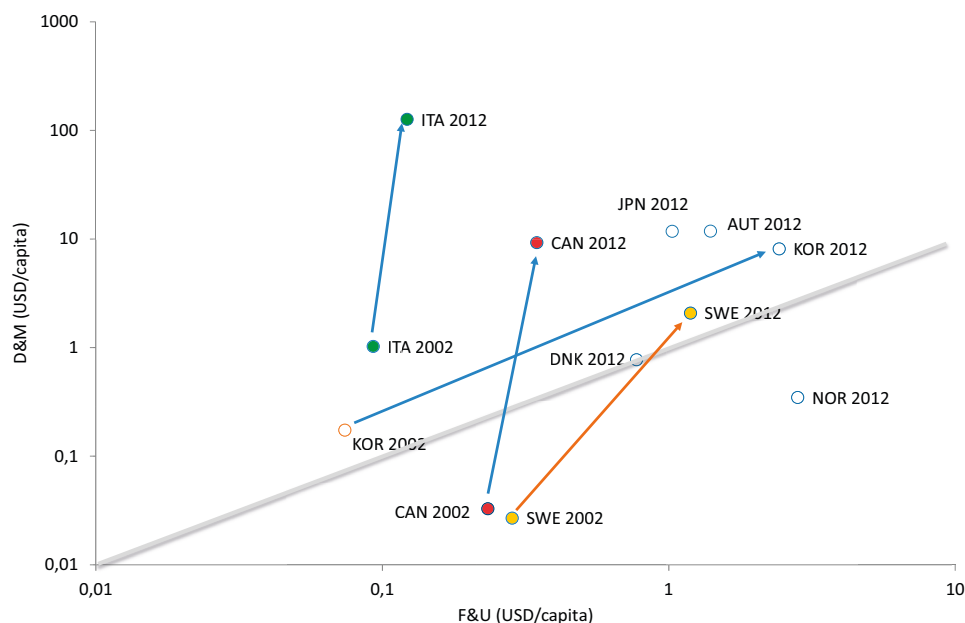
Statliga stöd inom solcellsområdet utgår i Sverige till såväl forskning och utveckling (FoU) som demonstration och marknad (DoM). Stöd till FoU har funnits 1970-talet. Satsningarna ökade markant efter 2000 (se figur 5:12). Huvuddelen av dessa medel har gått till FoU om celler och material medan endast en mindre del har gått till att utveckla steg längre ner i värdekedjan. En del mer tillämpningsnära forskning har bedrivits inom Solelprogrammet finansierat av Energimyndigheten och Elforsk.



Figur 5:12. Statligt stöd till forskning och utveckling (FoU) respektive demonstration och marknad (DoM). Huvudfinansierare för FoU under senare år är Energimyndigheten, Venskapsrådet, Vinnova och Stiftelsen för strategisk forskning (SSF). Stödet 2009–2013 är fördelat över år efter färdigställandedatum i Boverkets databas, vilket inte helt överensstämmer med periodiseringen av utbetalningar från Energimyndigheten. Alla värden är inflationskorrigerade med konsumentprisindex. Figuren baseras på information från IEA R&D database, IEA-PVPS och Boverket.

I en internationell jämförelse har Sverige historiskt satsat mer på FoU än på DoM, men balansen har förändrats under senare år, se figur 5:13. Figuren visar balansen mellan FoU och DoM i ett antal länder. För några länder visas hur satsningarna utvecklats i olika riktningar under en tioårsperiod (2002–2012). Italien är ett land som nästan helt fokuserat på att stödja marknadsintroduktion medan Norge huvudsakligen har satsat på forskning och utveckling. Sydkorea är ett exempel på ett land som balanserat ökade stöd till marknadsutveckling och FoU. Sverige har över tid utvecklats mot en position med såväl större som mer balanserade satsningar. I en internationell jämförelse har dock satsningarna på marknadsstöd varit blygsamma medan satsningarna på FoU nu är relativt stora räknat per capita.

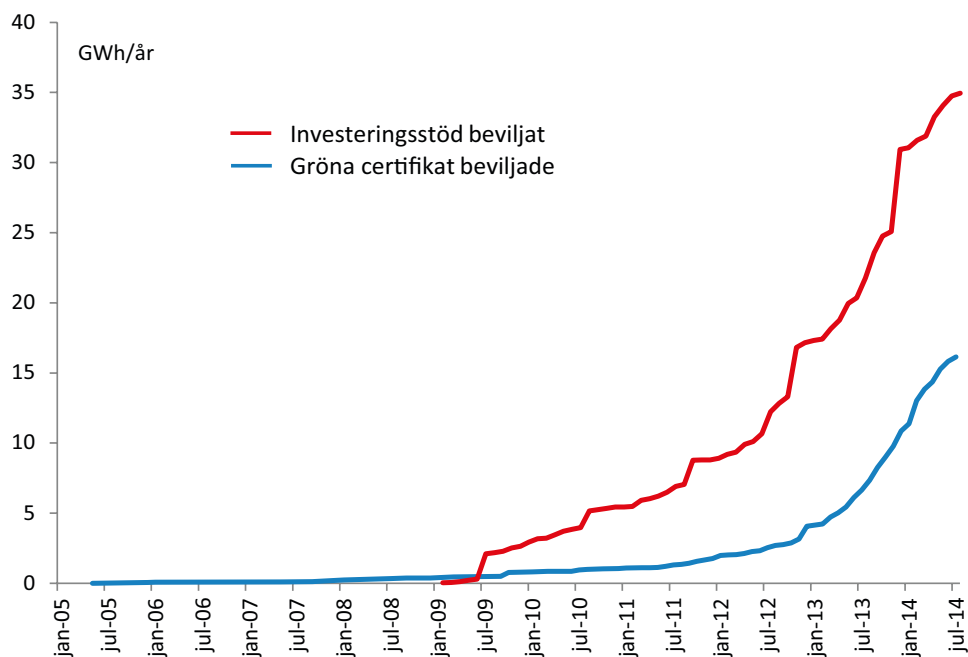
Före 2005 fanns inga marknadsstöd i Sverige. I maj 2005 infördes det första investeringsstödet för solceller i offentliga byggnader. Stödnivån var 70 % av investeringskostnaden och den slutgiltiga omfattningen uppgick till 138 Mkr (Förordning 2005:205, Boverket 2009). Sedan dess har ett antal investeringsstöd avlöst varandra vilka även omfattat privatpersoner och företag (Förordning 2009:689, ändringar och tillägg: Förordning 2011:1027 och 2012:971). Stödnivån har sänkts stegvis ner till 35%. Installationer som färdigställdes 2009–2013 har totalt beviljats ca 460 Mkr, d.v.s. runt 100 Mkr/år (se figur 5:12). I juni 2014 var nästan hela den fastställda budgeten till 2016 redan upplåst i beviljade projekt. Ibudgetpropositionen hösten 2014 föreslogs dock ett fortsatt stöd på 100 Mkr/år fram till 2018.



Figur 5:13. Balansen mellan statliga satsningar på demonstration och marknad (DoM) och forskning och utveckling (FoU) år 2012 i ett antal länder. För Sverige, Italien, Kanada och Sydkorea visas trenden över en tioårsperiod. Figuren baseras på data från ett flertal rapporter från IEA-PVPS.

Elcertifikatsystemet är det huvudsakliga styrmedlet för att stödja spridning av elproduktion från förnybara energikällor i Sverige. Före 2013 hade certifikaten dock en marginell betydelse för introduktionen av solceller på marknaden. Det fanns två skäl till detta. För det första har priset på certifikaten legat kring 20 öre/kWh, vilket vid tidigare höga priser på solcellsanläggningar inte nämnvärt påverkade lönsamheten i en investering. För det andra har elcertifikatsystemets utformning varit anpassad till mer storskalig produktion och byråkratin och kostnader för timmätning har avskräckt många små solelproducenter. Den snabba tillväxten av beviljade ansökningar om certifikat för solelproduktion under 2013 och första halvan av 2014 visar emellertid att certifikaten nu spelar en annan roll (figur 5:14). För solcellsanläggningar som under 2014 uppskattningsvis når kostnader mellan 0,9 och 1,2 kr/kWh kan ett avdrag på 20 öre per kWh vara avgörande för om investeringen upplevs som lönsam. Kravet på timmätning utgör dock fortfarande ett problem eftersom endast den el som levereras till nätet mäts per timme (Intervju C).⁹⁵ En relaterad fråga är hur väl administrationen av certifikatsystemet är anpassad till en möjlig ökning av antalet ansökningar från några hundra till tusentals per år.

⁹⁵ Om den småskaliga solelproducenten skall få ersättning för all producerad el måste mätningen ske i dennes eget elnät innan elen antingen används (i byggnaden) eller matas ut på nätet. Husägaren måste själv bekosta mätare som finns inom det egna elsystemet, men inte den mätare som ligger i gränssnittet mellan huset och nätet (förordning 1997:857). Eftersom ungefär hälften av elen från typiska villasystem matas ut på nätet måste man antingen själv bekosta mätare och mätning eller nöja sig med certifikat för hälften av produktionen.



Figur 5:14. Den uppskattade solelproduktionen från anläggningar som beviljats certifikat (blå kurva) respektive beviljats investeringsstöd (röd kurva). Från att ha utgjort en mycket liten del ökar nu andelen solcellsanläggningar som ansökt om och beviljats gröna certifikat. Figuren är baserad på data från Boverket och Energimyndigheten. Den beviljade mängden certifikat behöver inte motsvara den beräknade elproduktionen för certifikatsbeviljade anläggningar.

En annan fråga med stor betydelse för lönsamheten i en solcellsanläggning är möjligheten att sälja överskott av producerad solel på nätet (inmatning) eller kvitta levererad el mot mottagen el från nätet (genom nettomätning eller nettodebitering). Regleringen kring inmatning, nettomätning och nettodebitering har utretts av flera statliga utredningar sedan 2008. Problemen med att hantera just denna fråga visar på svårigheten att förändra institutionella strukturer så att de passar en radikalt annorlunda teknik.

Enligt ellagen (förordning 1997:857, kap 3, § 15) har man rätt till ersättning för inmatad el på nätet. 2010 infördes en ändring i ellagen (kap 4, § 10) som gör att producenter med en säkring under 63 A och en produktion under 43,5 kW, som under året är nettokonsumenter av el, inte själva behöver betala för timmätning av inmatad el (dessa producenter benämns numera ofta ”mikroproducenter”, eller ”prosumenter”). Sammantaget bör detta ge en möjlighet att åtminstone få ersättning i paritet med priset på Nordpol, vilket under senare år under dagtid legat runt 30–40 öre per kWh. Nettomätning (endast nettoflödet till och från elnätet mäts och rapporteras) eller nettodebitering (kostnad för el in kvittas mot el ut på räkningen) skulle istället innebära att den inmatade elen de facto får ett värde på omkring 1 kr per kWh (den rörliga elkostnaden inklusive skatter).

Det har rätt oklarhet kring om det är förenligt med svensk och europeisk lagstiftning att kvitta moms och energiskatt på det viset. Enligt EU-kommissionen är

nettodebitering och kvittning av energiskatt förenligt med energiskattedirektivet (Diemer, 2012). Flera länder i EU tillämpar även nettodebitering med momsavräkning. Danmark gör det sedan 1998, vilket är godkänt av EU (Boligkontoret, 2014; Intervju C). Den senaste svenska utredningen kom dock fram till att nettodebitering inte är förenligt med momsdirektivet (SOU, 2013:46), och föreslog i stället en skattereduktion för inmatad el som skulle ge en motsvarande ekonomisk kompensation. Det något omarbetade förslaget i propositionen som baserades på utredningen fick dock nej av kommissionen eftersom skattereduktionen strider mot statsstödsreglerna (Hatt, 2014). För de företag som först fått en subvention för att investera i solceller skulle skattereduktionen för att mata in solel på nätet endast innebära en extra intäkt och inte stimulera till ökad installation. I budgetpropositionen hösten 2014 föreslog den nya regeringen att ett omarbetat förslag ska träda i kraft den 1 januari 2015 och ge en skattereduktion på 60 öre per inmatad kWh.

5.3 Fasbestämning och målsättning

Att beskriva vilken fas det svenska TIS:et för solceller befinner sig i är inte helt enkelt på grund av relationen till det globala TIS:et. Vi konstaterade tidigare att den globala solcellsindustrin befinner sig i en tidig kommersiell tillväxtfas karaktäriserad av snabb marknadstillväxt, inriktning mot storskalig produktion, processinnovation och standardiserade produkter. Företag försvinner i snabb takt och färre stora aktörer dominerar övre delen av värdekedjan. Samtidigt finns en fortsatt diversifiering inom forskning och innovation med nya tekniker och nya tillämpningsområden på väg in.

Det svenska TIS:et för solceller är starkt beroende av den globala utvecklingen. Historiskt har olika delar av den svenska värdekedjan (se figur 5:8, tabell 5:2) haft en starkare koppling till globala delsystem än till andra inhemska delar av värdekedjan,⁹⁶ och de olika delarna i värdekedjan påverkas på helt olika sätt av den globala utvecklingen.

Modultillverkarna har följt den internationella utvecklingen där flertalet gått i konkurs på grund av prisfallet och konkurrensen från Kina. Den kvarvarande aktören försöker hitta en nisch i det globala systemet. Forskningen och de forskningsnära utvecklingsföretagen har klarat sig bättre och står redo att utveckla nya typer av maskiner, material och celler. Företagen och teknikerna de representerar befinner sig i, eller är på väg ur, en demonstrationsfas och är nu i behov av att hitta nischmarknader med speciella krav. Installation av solcellssystem i Sverige befinner sig i en nischmarknadsfas men står på gränsen till en kommersiell tillväxtfas. Mängden aktörer ökar snabbt, det finns en tillgång till standardiserade produkter (men inte standardiserade systemlösningar) och prisbilden ser allt mer gynnsam ut i flera marknadssegment. Utvecklingen hämmas dock av osäkerheter kring de institutionella ramverken.

⁹⁶ Det svenska solcellssystemet har tidigare beskrivits som ett system uppdelat på tre separata delar men liten eller ingen kontakt sinsemellan: forskningsnära cell- och materialutveckling, modulproduktion samt installation och solelproduktion (Sandén m.fl., 2008).

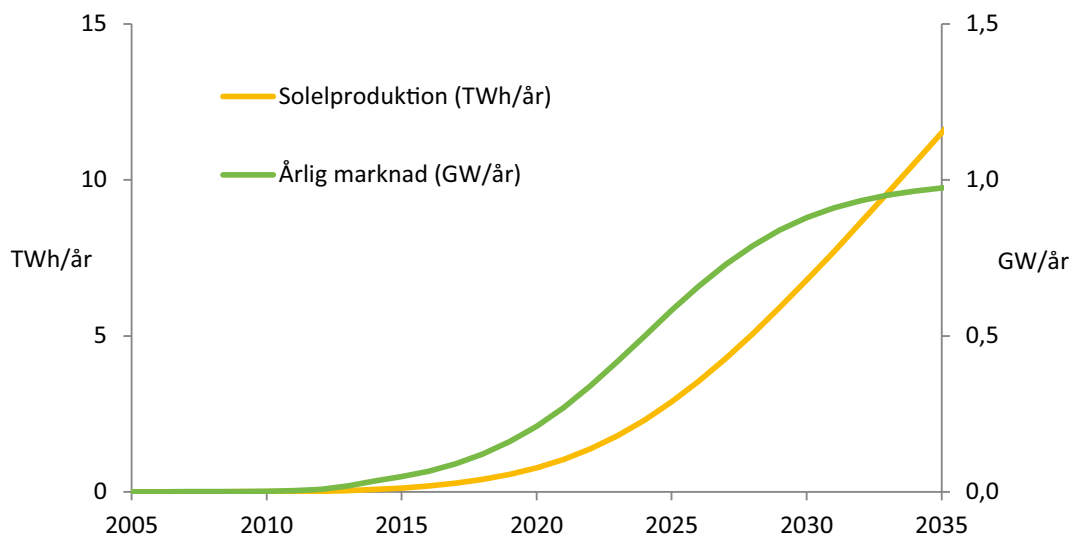
Som helhet är det rimligt att placera det svenska systemet i en nischmarknadsfas, men på grund av att förutsättningarna för systemets olika delar skiljer sig radikalt åt, är det svårt att sätta upp ett gemensamt mål för systemet. Värdekedjan består av många delar och man skulle i princip kunna sätta upp en mängd mål, vart och ett svarande för en del av värdekedjan, från utvinning av olika råmaterial till slutprodukten solcell (se figur 5:8). Med många olika mål riskerar man dock att missa de systemaspekter som är centrala i TIS-analysen. Som en kompromiss väljs här att utgå från två mål, ett för värdekedjans nedre delar (systeminstallation) och ett för de övre (komponenttillverkning). Dessa motsvarar på ett tydligt sätt två olika relationer till det globala TIS:et. Systeminstallatörerna kan importera komponenter från den globala marknaden, medan komponenttillverkarna till stor del måste exportera sina produkter.

Det är en uppgift för den demokratiska processen att sätta teknikpolitiska mål. Men eftersom det saknas teknikpolitiska mål för solceller i Sverige föreslås här två mål. Dessa ska inte betraktas som ett resultat utan som en utgångspunkt för att kunna genomföra innovationssystemanalysen. För att analysen ska bli meningsfull behöver dock målen vara rimligt *realistiska och ambitiösa*. För mål som är mycket enkla att nå behövs ingen djupare analys och för mål som är helt orealistiska blir det realpolitiska värdet av en analys mycket lågt.⁹⁷

Eftersom produktionen av solcell är en relativt trivial process när väl en anläggning är installerad, föreslås att det första målet för innovationssystemet nedre delar mäts i *installerad soleffekt per år*. Här görs ingen skillnad på om komponenterna är inhemska eller importerade. Som mål sätts att den installerade effekten i Sverige omkring år 2030 ska uppgå till 1 GW per år. Detta motsvarar ungefär en årlig ökning av solcellproduktionen med 1 TWh per år.⁹⁸ I figur 5:15 skissas ett tillväxtscenario där installationsmarknaden stabiliseras på 1 GW per år kring 2030 samtidigt som den samlade effekten uppgår till 5–10 GW och solcellproduktionen till 5–10 TWh per år. Svensk Solenergi (2014) har presenterat ett mål på 5 GW för samma tidsperiod och 10 GW solcell har utvärderats i en rapport kring effekter av en hög andel förnybar elproduktion i det svenska kraftsystemet (Söder, 2013). Energimyndighetens strategirapport för utvecklingsplattformen kraftsystem föreslog en utbyggnad till 2 TWh per år 2020 (Energimyndigheten, 2012), vilket innebär en något snabbare inledande expansion än i det scenario som föreslås här.

⁹⁷ Det bör påpekas att ordet ”realistiskt” är försåtligt och innehåller många dimensioner, från rent fysiska begränsningar som människan inte kan påverka, till hinder som endast har att göra med vår nuvarande föreställningsvärld eller rådande tekoekonomiska förutsättningar. Som exempel kan tas att det inte finns något scenario av mer officiell ”realistisk” karaktär som inte underskattade de senaste tjugo årens faktiska utveckling av den globala solcellsmarknaden.

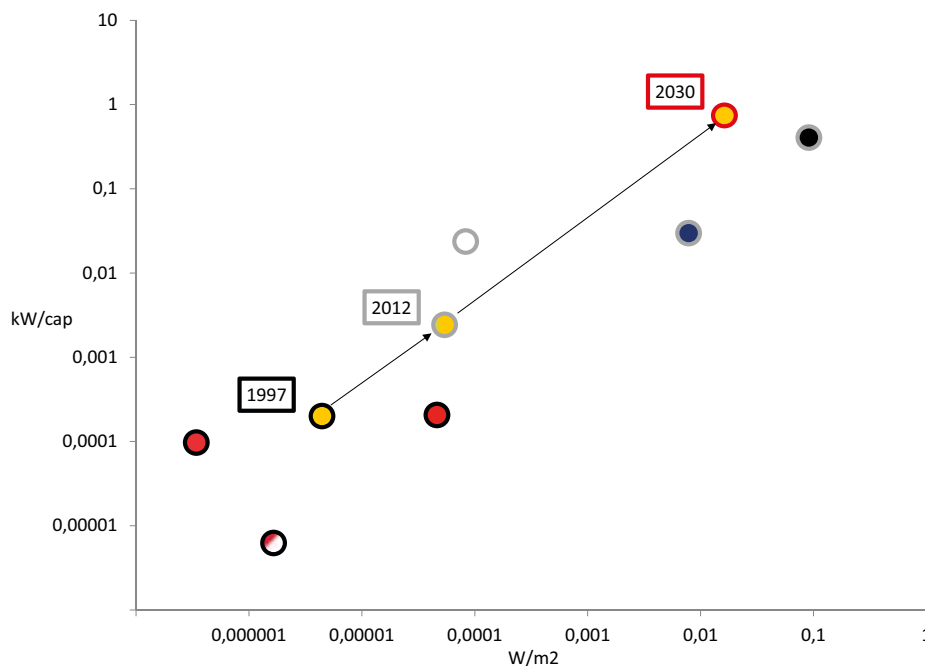
⁹⁸ Relationen mellan GW och TWh beror på solinstrålning, systemeffektivitet och systemdesign och om effekten är angiven för likström eller växelström. Effekten definieras för en instrålning på 1 kW/m². I Sverige är solinstrålningen drygt 1 MWh per m² och år på horisontella ytor över i stort sett hela landet med vissa lokala variationer. Historiskt har man observerat en produktion på ungefär 0,9 kWh/W, eller 0,9 TWh/GW, men med ny teknik och optimal systemdesign (och möjligtvis soligare väder, vilket har observerats i Tyskland) kan denna siffra komma att höjas. Söder (2013) räknar med 0,94 kWh/W men värden över 1 kWh/W är inte omöjligt. För våra syften i denna rapport är det tillräckligt att konstatera att 1 GW producerar ungefär 1 TWh per år i Sverige.



Figur 5:15. Ett möjligt mål för solcellernas innovationssystem i Sverige kan vara 1 GW installerad effekt per år kring 2030. Att bygga upp en sådan installationskapacitet för med sig en initialt exponentiell tillväxt av solproduktionen som övergår till en linjär tillväxt när installationskapaciteten är uppbyggd.

En årlig produktion på 10 TWh sol och en bit däröver torde inte möta några kraftigare fysiska eller tekniska begränsningar. Det motsvarar 6–7 % av Sveriges elproduktion (om denna inte förändras kraftigt) och skulle ligga i nivå med andelen sol i Tyskland 2013, och något lägre än i Italien (IEA 2014). Vidare blir ytbehovet för 10 GW i Sverige ungefär en fjärdedel av den yttäckning som Tyskland hade 2013. Som diskuterades i avsnitt 5.2.1 är potentialen för solceller i byggnadsbeståndet och i anslutning till befintlig infrastruktur mycket större. Som en sista jämförelse skulle solcellseffekten per person bli ungefär dubbelt så hög som i Tyskland 2013.

Givet dessa jämförelser skulle man kunna tycka att målet är för lågt satt. Vid slutet av 2013 hade Sverige dock en installerad effekt på endast 0,04 GW (se figur 5:2) och en installation på 0,02 GW/år. Vi talar alltså om ett produktionssystem som skulle bli 50 gånger större på 15 år. Det torde vara en utmaning även om andra länder kunnat demonstrera en liknande tillväxttakt. Tyskland gick från 0,03 GW till 10 GW installerad effekt på tio år (1999–2009) och Italien gick från 0,05 GW till 12 GW på bara fem år (2006–2011). Figur 5:16 sammanfattar utvecklingen i fyra länder över en 15-årsperiod med två mått på installationstäthet (per capita och per landyta) och jämför dessa med Sveriges position 2030 om det här presenterade scenariot förverkligas.



Figur 5:16. Installationstäthet mätt per capita och per landyta i fyra länder 1997 (svarta cirklar) och 2012 (grå cirklar) (baserad på data från IEA, 2014). Utvecklingen över femtonårsperioden kan jämföras med den utveckling som krävs i Sverige för att det presenterade scenariot ska förverkligas.

Det andra målet rör utvecklingen av komponenttillverkande industri före installationsledet. Av symmetriskäl antas här ett mål för produktionen som ungefär motsvarar värdet av komponenterna i 1 GW solcellssystem per år.

År 2013 svarade installationen för ca 25 % av den totala kostnaden och komponenterna för ca 75 % (EPIA, 2012; BSW, 2013). Om detta förhållande består och om dagens systemkostnad i Sverige sjunker från 2013 års kostnad på 13–16 kr/W till 8 kr/W 2030 (exklusive moms),⁹⁹ så innebär 1 GW/år ett förädlingsvärde på 2 miljarder kr/år i installationsledet (25 %) och 6 miljarder kr/år i tidigare led (75 %). Om man strävar efter att Sverige ska bli en nettoexportör av komponenter behöver målet sättas lite högre. Ett möjligt mål för värdekedjans övre delar skulle därför kunna vara ett värdeskapande på 6–10 miljarder kr/år, vilket motsvarar ungefär 6 000–10 000 årsarbeten och någon procent av världsmarknaden.¹⁰⁰

⁹⁹ . Fraunhofer ISE (2014) uppskattar en prissänkning i Tyskland till 0,6–1 euro per W 2030 för stora respektive små system. Baserat på detta antas ett ungefärligt medelvärde i Sverige 2030 på 8 kr/W även om den verkliga kostnaden naturligtvis kan bli en annan. Hittills har komponentkostnaden sjunkit avsevärt snabbare än installationskostnaden (EPIA, 2012), men givet de nu mycket lägre modulkostnaderna och ett förmodat utrymme för standardisering och effektivisering i installationsledet är det inte helt orimligt att tänka sig att kostnadsförhållandet består.

¹⁰⁰ Förädlingsvärdet i tillverkningsindustrin är ca 1 miljon kr per anställd och år (SCB, 2014). Enligt branschorganisationen BSW sysselsatte solcellssektorn i Tyskland 50 000–65 000 personer 2013.

Integration av solceller i produkter som bilar, textil och elektronik som går på export kan inkluderas i denna kategori. Alla delar av värdekedjan behöver inte fyllas. Specialisering till vissa segment är en möjlig strategi.

En underförstådd förutsättning i ovanstående scenario är att världsmarknaden för solceller fortvarigt ligger på minst ett par hundra GW under decennier efter 2030. Givet att det förmodligen krävs en ökning av solenergikapaciteten på flera tusen GW per år för att under seklet bygga och upprätthålla ett system som ersätter dagens fossilbaserade energisystem och levererar rimliga mängder energi till bortåt tio miljarder människor, framstår detta inte som ett särskilt vågat antagande.

5.4 Funktionell analys

Efter beskrivningen av systemets struktur och mål följer analysen av den funktionella dynamiken. Styrkan i varje funktion uppskattas på en tregradig skala: *svag*, *medel* och *stark*. Bedömningen görs utifrån vad som krävs för att nå de två målen. Tabell 5:3 och 5:4 sammanfattar resultaten. Styrkan i varje funktion beror på en sammanvägning av styrkor (drivkrafter) och svagheter (hinder) som kan vara systemspecifika eller systemexterna. De systemexterna faktorerna är antingen externa i den sociotekniska dimensionen, d.v.s. tillhör det mer generella nationella innovationssystemet, eller externa i den geografiska dimensionen, d.v.s. härrör från faktorer utanför Sveriges gränser. De systemspecifika faktorerna återfinns i det svenska solcellssystemets struktur. Vidare indikeras särskilt viktiga bromsande faktorer, eller systemsvagheter, med S1–S8 vilka ligger till grund för en diskussion om behovet av särskilda politiska åtaganden som presenteras i avsnitt 5:5.

5.4.1 Funktionell styrka för att nå målet 1 GW installerad effekt per år

Kunskapsutveckling och kunskapsspridning – medel

I Sverige sker relativt lite kunskapsutveckling inom installation av system och i produktion och distribution av solel. Eftersom Sverige ligger nära ledande marknader som Tyskland finns emellertid mycket kunskap att hämta in utifrån. Till exempel skaffar sig ledande installatörsföretag kunskap från tyska grossister som erbjuder utbildningar (Intervju D). Ett liknande inhemskt exempel är Swemodule som har utbildat ett 50-tal installatörer (Intervju A). Under de sista åren har antalet företag som erbjuder installation vuxit snabbt och ännu är det få som hunnit skaffa sig stor erfarenhet.

Kunskapsutveckling och kunskapsspridning bland arkitekter och byggföretag måste betraktas som låg även om intresset växer. Några stora byggföretag utvecklar kunskap kring nya ekologiska helhetslösningar där solceller utgör en del i nollenergihus (Intervju E). Andra typer av potentiella systemintegrerare som t.ex. fordonsindustrin utvecklar ännu ingen egen kunskap som är synlig i publikations- och patentstatistik. Tillgången på statligt stöd till FoU inom installation och systemintegrering är mycket begränsad och verksamheten på universitet och högskolor likaså (Intervju D och E) (S1). Underutvecklade nätverk mellan olika

aktörer i värdekedjan ger även ett begränsat korslärande (S2). Under en lång rad år var Solelprogrammet en viktig nod för *kunskapsutveckling och spridning*. Nu utvecklas andra nätverk, t.ex. ett av SP koordinerat testbäddsprojekt (Intervju F) som för samman olika typer av aktörer och Bengts villablogg som ger information framförallt till presumtiva systemkunder men också till branschens professionella aktörer (Intervju C). Den omfattande mängden installationer på skolbyggnader som möjliggjorts av de sista nio årens stödprogram skulle kunna ge en positiv långsiktig effekt på kunskapsspridningen om man utnyttjar dessa i utbildningen.

En sammanlagd bedömning ger betyget *medel*. Kunskapsutvecklingen är ännu ganska begränsad, d.v.s. lokaliserad till ett fåtal aktörer, men det finns god tillgång på kunskap i omvärlden och i jämförelse med andra tekniker är trösklarna låga för professionella aktörer att utveckla nödvändig kunskap. Vi ser därför inte att *kunskapsutveckling och spridning* kommer att vara ett stort hinder för att nå målet men systemsvagheten bristande stöd till FoU (S1) bör uppmärksammas liksom underutvecklade kunskapsnätverk mellan värdekedjans delar (S2).

Entreprenöriellt experimenterande – medel

Den goda tillgången på komponenter till låga enhetskostnader och systemens modulära karaktär gör det lätt att experimentera med olika systemlösningar och pröva integration i en mängd olika artefakter (man kan i tanken jämföra solceller med havsbaserad vindkraft, bioraffinaderier och kärnkraft som är tekniker där experimenterande är betydligt mer omständligt och kostsamt). Solceller har även en tydlig estetisk designdimension som skapar utrymme för experimenterande med egenskaper vid sidan om den rent tekniska funktionen. Bredden i experimenterandet i Sverige måste dock betraktas som begränsad. En del byggföretag och entreprenörer experimenterar med nollenergihus, byggnadsintegration och innovativ design (Intervju E), och några stora anläggningar sticker ut som försök att bygga regelrätta kraftverk. Intresset från arkitektur och industridesign är ännu begränsat.

Trots ett relativt underutvecklat *entreprenöriellt experimenterande* bedömer vi funktionen som *medel*. Det finns anledning att tro att merparten av det praktiska lärandet under den kommande 15-årsperioden kommer att handla om anpassning av befintliga solcellskomponenter till befintliga byggnader. Det kommer att räcka långt för att nå målet. För att komma längre under perioden efter 2030 krävs dock nya innovativa idéer kring hur solceller kan integreras i samhällets ytor (vägar, kläder, fordon, vatten etc.). En systemsvaghet som kan hindra detta vidare experimenterande är det bristande stödet till FoU (S1) inom solarkitektur och industridesign. De underutvecklade kunskapsnätverken (S2) mellan olika typer av arkitekter och industridesigners och de som utvecklar ny materialteknik utgör också en svaghet.

Resursmobilisering – stark

I och med att det finns god tillgång på komponenter som kan köpas in från den internationella marknaden är mobiliseringen av materiella resurser inget större

problem. Till detta kan läggas att existerande materiell infrastruktur som hus och elnät kan exploateras i TIS:et. Den snabba tillväxten av installatörer visar att mobilisering av kompetent arbetskraft inte heller är något egentligt problem. Det krävs inte mer än i storleksordningen två veckor för att utbilda en elektriker till solcellsinstallatör (Intervju D). Därefter krävs det naturligtvis erfarenhet och vidareutbildning för att bli en skicklig installatör.

Mobilisering av kapital är förmodligen ett mindre problem för solcellsinstallationer än för många andra tekniker. I föregående fas har investeringsstödet spelat en stor roll men för att nå storskalig spridning under den kommande 15-årsperioden kommer det att ha liten betydelse samtidigt som generella stöd som ROT-bidraget får ökande betydelse. I många fall handlar finansieringen om små belopp och vanliga bank- och bolån som både banker och investerare är vana vid. Eftersom privatpersoner ofta har en längre tidshorisont, ett annat kapitalavkastningskrav än andra investerare och är vana att investera i hus och hem skapas ett utrymme för investeringar som inte finns för annan energiteknik. Återigen är det illustrativt att jämföra med storskalig teknik som kräver helt andra finansieringsinstrument. Det bör påpekas att bankerna fortfarande är ovana vid att bedöma solcellsprojekt vilket kan ha betydelse för större installationer som görs av kommersiella aktörer (Intervju E). Här finns en viss systemsvaghet (S3) som kan ha betydelse för spridningen av större system. Helhetsbedömningen är dock att resursmobiliseringsfunktionen är *stark*.

Utveckling av socialt kapital – stark

I den fas där solcellsinstallationer befinner sig är *utveckling av socialt kapital* mellan nyckelaktörer inte av avgörande betydelse. Många relationer är av rent marknadsmässig karaktär. Man kan säga att det sociala kapitalet blir institutionaliserat som förtroende mellan grupper, d.v.s. mellan kunder och leverantörer. Här börjar elhandelsbolagen att spela en roll när de går in som mellanhänder och utnyttjar sina relationer till elkunderna för att sälja solcellssystem. Det är oklart hur den rollen kommer att utvecklas när solcellproduktionen på allvar börjar konkurrera med annan elproduktion. I leverantörskedjan kan det sociala kapitalet inom TIS:et dra nytta av existerande relationer och nätverk inom byggbranschen och bidra till en snabb mobilisering. Inget i intervjumaterialet indikerar att det skulle finnas några mer avgörande former av misstro mellan aktörer och grupper. Det finns en ganska stor samsyn kring vad som behövs för att utveckla branschen.

Som påpekats ovan saknas det starka nätverk som binder ihop installationsledet med modul- och cellutvecklare (S2), även om man nu ser betydligt starkare aktiviteter i den riktningen jämfört med för sex år sedan (Sandén m.fl. 2008; Intervju A, D och E). Ett tecken på denna svaghet är att flera centrala aktörer uppströms i värdekedjan inte är medlemmar av Svensk Solenergi och att denna branschförening av en del aktörer upplevs som svag och präglad av interna motsättningar (Intervju D). Försök görs för att knyta olika typer av aktörer närmre varandra, t.ex. i Energimyndighetens olika program och i nätverksprojekt, som solenergiplattformen koordinerad av SP. Närmanden sker även på bilateral basis och här

spelar de mest etablerade installatörerna en central roll liksom personnätverk inom TIS:et som sträcker sig långt bakåt i tiden. Det ser ut som att intresset för att koppla ihop värdekedjans olika delar ökar när den svenska marknaden för solcellssystem växer och den internationella konkurrensen hårdnar.

Sammanfattningsvis görs här bedömningen att funktionen överlag är *stark*. Det kan tyckas motsägelsefullt då svaga nätverk under några funktioner har identifierats som en viktig systemsvaghet. Men svagheten är mer kopplad till innovationsförmåga än till spridningsmålet, och här har även gjorts observationen att det nu verkar finnas en starkare drivkraft att utveckla innovationsnätverken och exploatera redan existerande nätverk i byggbranschen.

Legitimering – medel

Att göra en bedömning av legitimeringsfunktionen är inte helt lätt. Det finns aspekter av den som gör den svag medan andra gör den stark.

Växthuseffekten betraktas allt mer som ett reellt hot vilket ger legitimitet till all klimatneutral energiteknik. Osäkerheter i omvärlden kan gynna energislag som inte är beroende av import av bränslen. Samma tanke på en lägre nivå är att det låga förtroendet för elmarknadens aktörer gynnar egenproducerad el. Vidare visar studier av svenska folkets allmänna attityd till solenergi på ett stabilt och högt stöd. Den modulära formen som möjliggör småskalighet och flexibilitet gör det möjligt att undvika typiska NIMBY-konflikter.¹⁰¹ Solceller upplevs även som en mer spännande teknik jämfört med t.ex. tilläggsisolering (Intervju E). Man kan även notera att en småskalig distribuerad energiteknik som solceller passar jämförelsevis bättre in i den marknadsorienterade synen på elsystemet som under den senaste 20-årsperioden tagit över efter den äldre modellen som utgick från planerad tillförsel (Kåberger, 2014). Att det har funnits ett investeringsstöd under ett antal år har indikerat att solceller är något bra. Stödet i riksdagen för att förbättra villkoren för småskalig elproduktion verkar i dagsläget vara ganska starkt; den tidigare borgerliga regeringen försökte genomföra en skattereduktion och partierna inom det rödgröna blocket har förespråkat nettodebitering. Även bland elbolagen har tonen förändrats under senare år. Många vill gärna förknippas med solceller och erbjuder hög ersättning för solel, erbjuder solcellspaket till sina kunder och placerar sitt varumärke bredvid solceller i tevereklam. Detta tyder på att elbolagen upplever att solceller har en legitimitet som de vill få del av, men effekten blir förmodligen även att solceller blir en mer känd teknik och upplevs som mer etablerad. Det troliga skälet till omsvängningen inom politik och industri är med största sannolikhet den snabba utvecklingen i resten av världen. Flera hundratusen solcellstak i Tyskland är en materiell realitet som förändrar vad som upplevs som realistiska alternativ för elproduktion.

¹⁰¹ NIMBY står för ”not in my backyard” och syftar på att man kan tycka något är bra att ha i samhället, så länge som det inte kommer för nära just mig. Solceller kanske man just vill ha på den egna bakgården men då är det de egna solcellerna och inte någon annans kraftverk som tränger sig på.

Solceller har alltså i en del av det kollektiva medvetandet gått från att ha varit en fin men orealistisk tanke till något som verkar vara en självklar del av framtiden. Icke desto mindre finns det fortfarande en utbredd okunskap om solenergens resurspotential i världen och Sverige, en del myter kring låg effektivitet och lång energiåterbetalningstid hänger kvar, det finns en okunskap om den snabba prisutvecklingen och det finns i Sverige en fokusering på frågan om effektbehovet vinterns kallaste och mörkaste dag (S4). Det saknas uttalade politiska visioner och tydliga ställningstaganden. Det saknas även starka förespråkare i svensk storindustri (S5). På grund av den annorlunda karaktären tas solceller inte alltid på allvar, eller upplevs som ett hot, av de som varit vana att förknippa elproduktionsanläggningar med ångturbiner, kyltorn och stora vattendammar. Det finns också en risk att solcellernas rykte i Europa har försämrats av det faktum att Tyskland tog en stor del av kostnaden för att göra dem billigare, genom att subventionera dem på stor skala när de fortfarande var relativt dyra, och därför fortfarande dras med vissa kostnader. Om man inte känner till att just detta gjort solceller billigare för alla andra så kan den felaktiga slutsatsen dras att en satsning på solceller alltid är dyrt.

Slutsatsen vi drar av ovanstående resonemang är att legitimeringsfunktionen under den senaste treårsperioden gått från svag till *medel* och att det finns goda utsikter till ytterligare förstärkning. En avgörande systemsvaghet är den bristande kunskapen om solenergens potential; i världen och i Sverige, hos allmänheten, i relevant industri och bland politiker (S4).

Vägledning av aktörernas sökprocesser – stark

Mängden aktörer inom byggbranschen som lägger till solcellsinstallation till sin verksamhet ökar nu mycket snabbt. Det visar på att trösklarna för etablering är låga och att företagen spår att marknaden kommer att växa. De tidigare investeringsstöden tillsammans med de sjunkande priserna på komponenter har skapat en växande marknad. Utvecklingen i omvärlden visar på möjligheten till en mångdubbelt större marknad även i Sverige i framtiden. Vägledningen sker även mun till mun inom branschnätverk. Vägledning av aktörernas sökprocesser kan bli av epidemisk natur där ingen vill ställa sig vid sidan om utvecklingen. En avgörande fråga är naturligtvis hur marknaden faktiskt kommer att utvecklas de närmsta åren vilket behandlas under marknadsformering nedan. Elhandlarna som tagit steget in som leverantörer av solcellspaket är mer trevande. Det är inte uppenbart hur man ska tjäna pengar på mer solceller. Men den stora och ökande mängden elhandelsbolag som på olika sätt försöker inkludera solceller i sina erbjudanden visar att det finns just en sökprocess. Ovan påpekades att kunskapsutvecklingen och -spridningen och det entreprenöriella experimenterandet skulle kunna vara starkare om fler arkitekter och industridesigners riktade blicken mot solcellstekniken, vilket i sin tur skulle kunna förändra sökprocessen inom stora bygg- och industriföretag. Den sökprocessen skulle gynnas om det offentliga stödet till avancerad solarkitektur och design ökade (S1).

Sammanfattningsvis görs bedömningen att vägledningen av sökprocessen är stark. En mycket stor mängd aktörer känner att de tvingas förhålla sig till solcellstekniken på något sätt, och många tar en allt aktivare roll. Att en stor mängd aktörer finner anledning att söka sig till området, och kan etablera sig utan större svårighet, kommer att vara en styrka för områdets utveckling.

Marknadsformering – svag

För aktörer i installationsledet utgörs marknaden av de som köper anläggningar, vilka i nästa led på olika sätt är beroende av elmarknaden. Beslutet att köpa en solcellsanläggning påverkas av kostnaden för systemet och värdet av det. Kostnaden har sjunkit snabbt under senare år men förväntas inte sjunka lika snabbt under kommande decennium. Investeringsstödet har spelat en roll för gjorda investeringar men kommer snart att ha spelat ut sin roll. Mer generella stöd som ROT-avdrag har börjat spela en viktigare roll (Intervju D).

En exogen faktor som sänker värdet av solelen är att solinstrålningen inte kan styras och att den i Sverige varierar över dygnet och året på ett inte alltid fördelaktigt sätt. Värdet varierar dock mellan olika typer av investerare. För investerare som själva kan använda all producerad el, d.v.s. ersätta inköpt el, är solceller 2014 i Sverige precis på gränsen till att vara konkurrenskraftiga. Detta är fallet för många kommersiella verksamheter med stora elbehov dagtid, som kontor och affärer (Intervju D). Men kommersiella verksamheter har ofta ett krav på snabb återbetalning av investeringar och en investering i solceller är idag inte uppenbart lönsamt. I vissa fall kan andra mervärden som starkt varumärke komplettera värdet av elproduktionen (Intervju E). Privatpersoner med småhus kan ofta acceptera längre återbetalningstider och kan se en investering i solceller som bättre än att ha pengarna på banken. Dessa kan däremot normalt endast utnyttja hälften av den producerade elen och är beroende av att sälja eller lagra överskottet. Lokal lagring är fortfarande kostsamt och reglerna för ersättningen för den el som säljs via elnätet är oklara och under omvandling. I väntan på en nationell lösning på problemet experimenterar olika elhandelsbolag med egna modeller men det är oklart hur dessa skulle agera i en växande marknad (Intervju B, D och G). Anläggningar vars huvudsyfte är att leverera el till elkonsumenter via elnätet är idag långt ifrån konkurrenskraftiga i Sverige. Högre elpriser, krav på större andel gröna certifikat, eller en utvecklad marknad för solel eller andelsägande skulle kunna ändra på detta. Det finns ett embryo till en marknad för solel men den är fortfarande en marginell företeelse.

Trots att prisbilden idag är en helt annan än den var för tre–fyra år sedan görs här bedömningen att funktionen marknadsformering är svag. Den avgörande systemsvagheten är oklarheten kring det institutionella ramverket, d.v.s. kring investeringsstöd, ersättning och skattereduktion för el inmatad på nätet och krav för certifikattilldelning (S6). Situationen är instabil (i en positiv bemärkelse). Om problemen inte löses snart förutspås en minskad marknad 2015 i stället för en fortsatt tillväxt (Intervju D). Men eftersom det inte behövs mycket för att de rent ekonomiska drivkrafterna ska bli starka nog skulle ett tydligare och mer anpassat

institutionellt ramverk snabbt kunna leda till en mycket stark marknadsformering. Erfarenheten från andra länder är att ett institutionellt ramverk som ger ett lagom starkt stöd kan skapa en installationsindustri i nivå med målet.

Tabell 5:3 Sammanfattning av funktionell styrka i relation till målet 1 GW installerat effekt per år i Sverige 2030. Avgränsning: Installation av solcellssystem.

Kunskapsutveckling och -spridning	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • God tillgång på kunskap i grannländer som sprids i professionella nätverk • Låga kunskapströsklar för kunnigt fackfolk, t.ex. inom bygg- och elbranschen • Det finns nya noder för kunskapsspridning • Växande intresse för ekologiskt byggande och låg- och nollenergihus • De olika stödprogrammen har möjliggjort för skolor att installera solceller vilket exponerar dem för en ny generation	<i>Svagheter</i> • Små FoU-resurser allokteras till systemintegration och design (S1) • Svaga nätverk mellan olika delar av värdekedjan (men tecken på förbättring) (S2) • Liten och ny marknad ger begränsad erfarenhet hos många nya installatörer • Begränsad aktivitet på universitet och högskolor
Entreprenöriellt experimenterande	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • God tillgång på komponenter av olika slag och brist på stordriftsfördelar gör det relativt billigt och enkelt för olika aktörer att testa nya systemlösningar • Solceller kan integreras i en mängd olika ting • Solceller har en tydlig designdimension • Intresse från några större byggföretag att utveckla koncept för nollenergihus	<i>Svagheter</i> • Begränsade statliga stöd till innovativ solarkitektur och industrideSIGN (S1) • Svaga nätverk mellan olika delar av värdekedjan (men tecken på förbättring) (S2)
Resursmobilisering	Bedömning: Stark
<i>Styrkor</i> • Tillgång på komplementär infrastruktur som byggnader och utbyggda eldistributionsnät av god kvalitet och lätt att köpa in etablerade komponenter från den internationella marknaden • Lätt att få tillgång på tillräckligt kompetent arbetskraft • Små finansiella resurser krävs för mindre installationer, vilka kan mobiliseras genom vanliga bolån till privatpersoner som har längre tidshorisont och är intresserade av att investera i hus och hem. • Tillgång på statliga investeringsstöd eller ROT-bidrag	<i>Svagheter</i> • Bristande finansieringsmodeller och kunskap bland banker för större projekt (S3)
Socialt kapital	Bedömning: Stark
<i>Styrkor</i> • Det finns solcellsspecifika nätverk med personer som känner varandra sedan länge och etablerade nätverk inom olika branscher kan mobiliseras • Aktiviteter för att utveckla nätverken får finansiering • Relativt stark enighet om vilken typ av statligt stöd systemet behöver	<i>Svagheter</i> • Relativt svag branschorganisation med bristande förtroende från flera företag i systemet • Svaga nätverk mellan aktörer i olika steg i värdekedjan (men betydligt mer utvecklade än för sex år sedan) (S2)

Legitimering	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Starkt stöd hos allmänheten • Snabb internationell utveckling • Klimatfrågan accepterad som ett stort problem • Investeringsstöd indikerar visst gillande från staten • Lågt förtroende för elbolagen ger vilja att producera själv • Reklamkampanjer och erbjudanden från en mängd elhandelsföretag • "Sexig teknik" – roligare än tilläggsisolering • Väl i linje med den nya kund- och marknadsorienterade elmarknaden (till skillnad från den gamla tillförselorienterade)	<i>Svagheter</i> • Bristande kunskap om solenergins potential och betydelse i världen och Sverige (S4) • Det saknas förespråkare i svensk storindustri (S5) • Bristande kännedom om den förändrade prisbilden • Berättelser om kostnaderna för introduktionen av solceller i Tyskland används för att avskräcka • Långlivade myter kring effektivitet och energiåterbetalningstid • Fokus på eltilförsel under årets kallaste och mörkaste tid • Annorlunda jämfört med traditionell elproduktions-teknik skapar misstro bland elbranschens aktörer • Brist på politiska visioner
Vägledning av aktörernas sökprocesser	Bedömning: Stark
<i>Styrkor</i> • Växande världsmarknad ger inspiration och tillgång på komponenter vilket sänker trösklar för inträde • Växande marknad i Sverige ger tillströmning av potentiella leverantörer • Ledande industriella aktörer driver på andra i kund och leverantörsnätverk	<i>Svagheter</i> • Få riktade stöd till arkitektur och design (S1) • Bristande legitimitet och kunskap i vissa kretsar • Oklarheter kring framtida marknadsformering
Marknadsformering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Kostnaden är nu bara marginellt över rörliga delen av elpriset • Investeringsstöd har gett en växande marknad och större kännedom om tekniken, vilket ökar intresset och sätter tryck på fortsatt stöd • Stark legitimitet i breda befolkningsgrupper • En mängd nettodebiteringsmodeller erbjuds av elhandelsbolagen	<i>Svagheter</i> • Oklara regler kring moms, energiskatt, skattereduktion och nettodebitering för prosumenter (S6) • Låg kunskap om solceller i samhället (S4) • Gröna certifikat ej anpassade till småskaliga prosumenter • I Sverige ännu långt till konkurrenskraft för solkraftverk som enbart levererar till nätet och för system som görs helt oberoende av nätet med hjälp av lokal lagring

5.4.2 Funktionell styrka för att bygga en "komponentindustri" med 6 000–10 000 arbetstillfällen

Kunskapsutveckling och kunskapsspridning – medel

Kunskapsutvecklingen på svenska universitet följer den internationella utvecklingen. Solcellsrelaterade vetenskapliga artiklar har ökat kraftigt sedan 1990-talet och står nu för omkring 0,7 % av alla vetenskapliga artiklar som publiceras årligen, både i världen och i Sverige. Verksamheten har under senare år breddats och starka noder finns nu på flera svenska universitet. Sverige är på väg att bygga upp en kunskapsbas inom flera nya solcellstekniker, och inom vissa smala områden finns stark kompetens även i ett internationellt perspektiv. Kunskapen inom traditionell kiselteknik är dock svag. På universiteten finns laboratorieutrustning och generell kunskap inom fysik, kemi och materialvetenskap som skulle

kunna riktas mot solcellsområdet i än högre grad. Det finns starka kunskapsnätverk mellan universiteten och de små utvecklingsföretagen och även viss kunskapsöverföring från ledande installatörer kring användarkrav till utvecklingsföretagen, även om denna kan utvecklas (S2) (Intervju D). På modulsidan samarbetar den enda kvarvarande producenten Swemodule med Karlstads universitet (Intervju A). Med företag som ABB finns en stark kompetens inom elkraftkomponenter. Mycket av ABB:s solcellsrelaterade verksamhet finns dock i andra länder (Intervju C). Det kan även finnas förutsättningar att bygga kunskap och komponenter för kontroll och reglering av system.

Bedömningen här är att funktionen varken är stark eller svag utan *medel*. Det finns en grund att bygga på och existerande forskargrupper spelar en stor roll för kunskapsutveckling och kunskapsspridning, men en svag industriell mottagarkapacitet (S5) gör att finns det en risk (för det svenska innovationssystemet) att den utvecklade kunskapen inte leder mot målet utan exploateras i andra länder.

Entreprenöriellt experimenterande – svag

Det entreprenöriella experimenterandet, t.ex. mätt som antalet patent, är koncentrerat till ett fåtal utvecklingsbolag och ett fåtal teknikområden. Få stora företag, med ABB som möjligt undantag, är inblandade (S5). Även om dessa företag växer så är det en sårbar situation. Om det går bra för ett par av företagen så kan en god spiral av utökat experimenterande starta, där nya idéer föds ur en blandning av teoretisk och praktisk kunskap. Men om dessa företag inte lyckas etablera sig i någon nisch av den stora men tuffa världsmarknaden så kan det bli svårare att materialisera nya solcellsidéer i Sverige. Mer utvecklade nätverk till aktörer nedströms i värdekedjan skulle kunna leda till ett mer varierat och behovsanpassat experimenterande. Sådana samarbeten håller på att upprättas, både med svenska och utländska aktörer (Intervju H och I), men svaga nätverk utgör fortfarande en systemsvaghet (S2). I tidiga osäkra skeden kan det vara en fördel att samarbeta med aktörer som är geografiskt och kulturellt näraliggande.

Här görs bedömningen att funktionen är *svag* eftersom experimenterandet är koncentrerat till ett fåtal små aktörer med en osäker framtid.

Resursmobilisering – svag

Det finns inga större problem med att mobilisera materiella produktionsresurser. För många av utvecklingsföretagen har det även gått bra att få tag i de finansiella resurser som behövts i demonstrationsfasen (Intervju H och I). Däremot upplever man det som svårt att attrahera finansiellt kapital för att skala upp produktionen (S7) (Intervju A, H och I). Det finns en bristande legitimitet för solceller i Sverige vilket gör att investerare inte ser någon större anledning att satsa. Större kunskap (S4) och en större hemmamarknad skulle kunna ändra på detta (Intervju H). Andra skäl till det låga intresset för att investera stort är tron att all produktion ändå hamnar i Kina (Intervju A), att den internationella konkurrensen är mycket hård (S8) och att priserna är pressade (se avsnitt 5.1.4). Modulproducenten upplever att det finns god tillgång på produktionskunnig arbetskraft, medan cell- och materi-

alutvecklingsföretagen har delade meningar kring hur lätt det är att få tillgång till spetskompetens i Sverige (Intervju A, H och I). Med den ökade verksamheten på universiteten kan detta problem sannolikt minskas över tid. Trots att försörjning av vissa resurser är oproblematisk görs bedömningen att funktionen är *svag* och att systemsvagheten avsaknaden av kapital för uppskalning (S7) kan komma att vara ett avgörande hinder för att nå målet.

Utveckling av socialt kapital – medel

Det finns en stark exportinriktning bland komponentutvecklarna och världsmarknaden i deras nuvarande situation ter sig som närmast oändlig. Dessutom siktar de existerande företagen in sig på olika segment. Det gör att det inte finns någon egentlig konkurrenssituation mellan de nuvarande svenska aktörerna. De är inte heller av sådan storlek att de konkurrerar om en begränsad mängd resurser. Det finns ingen direkt anledning till osämja mellan aktörerna, och det tycks inte heller finnas någon sådan. Å andra sidan finns det inte många samarbeten (S2). De deltar t.ex. inte i branschföreningen Svensk Solenergi, som heller inte har som huvudinriktning att stödja svensk export. Även om det i flera fall finns samarbeten med universitet och i något fall med aktörer längre ned i värdekedjan framstår varje företag som en solitär, med varken starkt negativa eller positiva relationer med övriga solenergiverige. Funktionen bedöms därför som *medel*.

Legitimering – medel

Flera av de aspekter som stärker legitimiteten för solcellsinstallation i Sverige (se avsnitt 5.4.1, *Legitimering*) gäller också för produktion av komponenter i Sverige, t.ex. synen på växthuseffekten och behoven av förnybar energi i världen, liksom intrycket av den snabba marknadstillväxten i världen. På samma sätt försvagas legitimiteten även för komponentproduktion av den allmänna okunskapen kring solenergins potential (S4) och bristen på engagemang från starka industriella aktörer i Sverige (S5). Den marginella svenska marknaden gör att många svenska investerare och industrialister inte uppfattar solceller som ett riktigt alternativ som förtjänar att tas på allvar (Intervju H). Vittnesmålen om att det inte varit svårt att få mindre finansieringsvolymen för demonstrationer medan det är svårare att få nå fram till kapitalister med möjlighet att finansiera nästa steg, kan indikera att legitimiteten är stor hos en mindre grupp initierade aktörer, t.ex. Energimyndigheten, men betydligt mindre i bredare grupperingar. En intressant aspekt är att legitimiteten för utveckling av industriell komponentproduktion i Sverige historiskt kan ha varit starkare än för installation av solceller i Sverige (se t.ex. figur 5:11), men att den inte ökat lika snabbt för komponentproduktion som för installation. Det stora antalet cell- och modultillverkare som under senare år gått i konkurs i Europa (S8) trots stora statliga insatser kan till och med ha gjort att legitimiteten för komponenttillverkning minskat.

Legitimiteten och synen på solcellsindustrins roll kommer att vara en viktig faktor för att utveckla solcellsindustrin i Sverige. Det troliga är att exogena faktorer som den faktiska globala marknadsutvecklingen kommer att stärka legitimiteten under

kommande år. Som en följd av detta är det troligt att kunskapen om solenergis potential kommer att sprida sig. Slutsatsen blir att även om legitimiteten för produktion av solcellskomponenter i Sverige inte är stark så är den förmodligen inte i sig en avgörande svaghet utan klassas som *medel*.

Vägledning av aktörernas sökprocesser – svag

Det är ett problem för uppskalning av tekniken att det finns få större industriella aktörer involverade i utvecklingen och att antalet entreprenörer är mycket begränsat. Skälen till att sökprocessen mot området varit svag kan vara den historiskt låga legitimiteten för solceller i Sverige, den marginella spridningen och låga fysiska närvaron av tekniken, och avsaknaden av en elektronikindustri som skulle kunnat diversifiera sig mot solceller. Under några år uppstod flera modulproducenter men dessa slogs snabbt ut när konkurrensen hårdnade.

Efter några år av prispress, konkurser och ompositioneringar i värdekedjan framstår solcellsindustrin för de som känner till den som en osäker och svår industri att försöka etablera sig i (S8). För att öka robustheten i industriutvecklingen behövs det etablering av flera olika typer av aktörer av olika storlek och med varierande kompetens och tillgångar. Även om legitimiteten för tekniken är *medel* bedöms drivkraften att söka sig mot området som *svag*, och det kan vara en avgörande svaghet för systemet. Svagheten har två helt olika ursprung, vissa känner inte till tekniken och dess potential (S4) medan de som kan området även känner till att den internationella konkurrensen är stenhård (S8).

Marknadsformering – medel

De potentiella marknaderna för komponenttillverkare utgörs av olika segment av världsmarknaden. Världsmarknaden för solcellssystem har vuxit mycket fort och spås en fortsatt snabb tillväxt. Tekniken blir kommersiellt konkurrenskraftig på allt fler marknader och potentialen är mångfalt större än dagens efterfrågan. Samtidigt är konkurrensen hård och priserna pressade. Trösklarna för att ta sig in på flera marknadssegment är nu höga och kräver stora investeringar. Å andra sidan befinner sig tekniken fortfarande långt från teoretiska begränsningar för verkningsgrad och produktionskostnad, och antalet aktuella tillämpningar är stort men ändå relativt begränsat i förhållande till vad man skulle kunna tänka sig. Utmaningen för de svenska företagen är därför att hitta nischer där man kan erbjuda en unik fördel, för att sedan kunna utveckla mer storskalig produktion. I en intervju uttrycks att det exportstöd som finns i Sverige är anpassat till stora företag och inte är till mycket hjälp för små teknikföretag (Intervju H). För svenska företag skulle en större svensk marknad kunna utgöra en speciell typ av nisch med visst premiumvärde baserat på en ”made-in-Sweden”-faktor (Intervju A). En större svensk hemmamarknad skulle förmodligen erbjuda de svenska teknikföretagen ett enklare första insteg på marknaden. På grund av den svaga hemmamarknaden orsakad av osäkerheten kring det institutionella ramverket (S6) stannar bedömningen av funktionsstyrkan på *medel* trots den urstarka internationella utvecklingen.

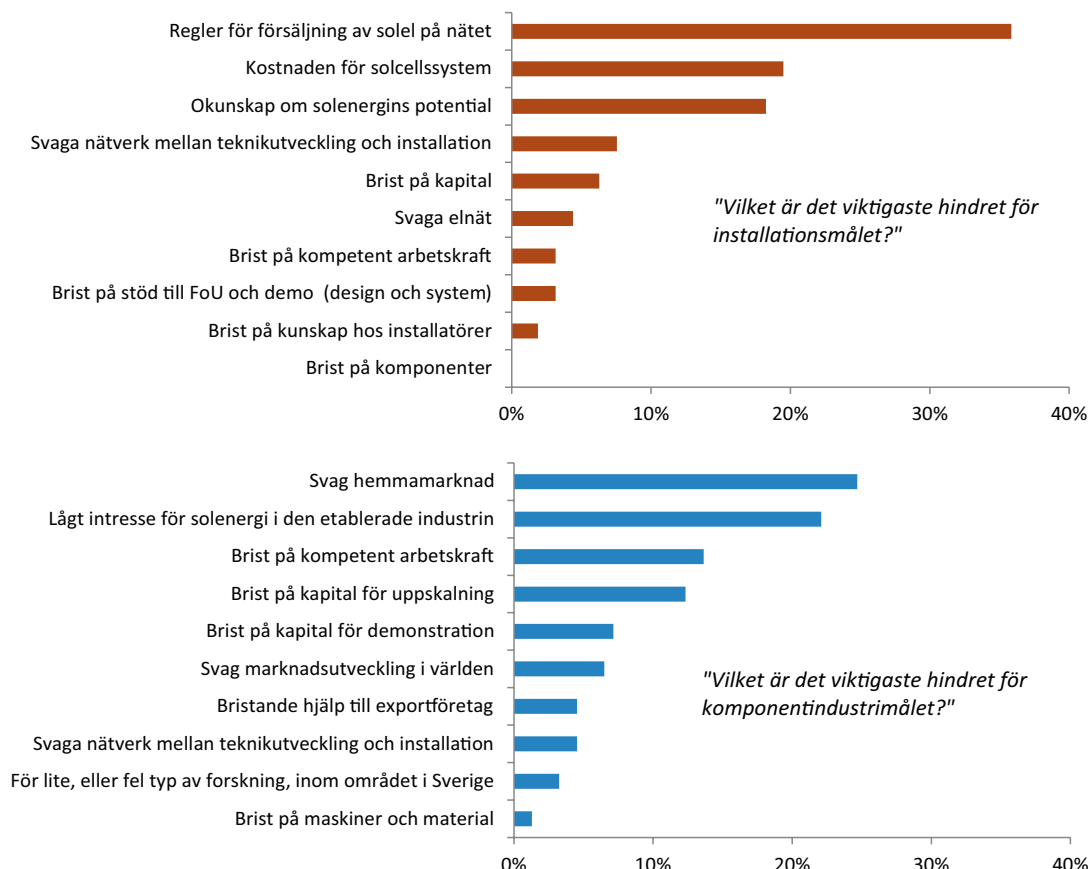
Tabell 5:3 Sammanfattning av funktionell styrka i relation till målet att bygga en "komponentindustri" med 6 000–10 000 arbetstillfällen i Sverige 2030. Avgränsning: Produktion av material, maskiner och komponenter

Kunskapsutveckling och -spridning	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Akademisk aktivitet ökande och i nivå med globalt snitt • Hög kompetens inom relevanta akademiska kunskapsfält som kan importera kunskap från ett mycket omfattande internationell kunskapsbas	<i>Svagheter</i> • Låg grad av kompetens och engagemang i merparten av etablerad industri begränsar mottagande och spridning av kunskap i industrin (S5) • Begränsad men ökande kunskapsöverföring från tillämpningssidan till komponentutvecklare (S2) • Liten kunskapsutveckling inom den dominerande cellteknologin (kisel)
Entreprenöriellt experimenterande	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Några växande (men små) företag existerar • Närvaro av minst ett större företag med intressen i branschen	<i>Svagheter</i> • Få stora företag vilket begränsar möjligheten till experiment och risktagande (S5) • Svaga nätverk över värdekedjan minskar möjligheten till gemensamma experiment (S2) • Patenterandet saknar bredd och är koncentrerat till några få små företag
Resursmobilisering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • God tillgång på materiella resurser (maskiner, komponenter) • Relativt god tillgång på kompetent arbetskraft • Tillgång på kapital i demonstrationsfasen	<i>Svagheter</i> • Svårt att få tag på kapital för uppskalning (S7) • Svagt intresse för resursstarka företag i etablerad industri (S5) • Låg kunskap om teknikens potential bland investerare (S4) • Hård internationell konkurrens avskräcker investerare (S8)
Utveckling av socialt kapital	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Ingen uppenbar konkurrenssituation eller osämja	<i>Svagheter</i> • Svaga nätverk i värdekedjan (S2) • Relativt svag branschförening
Legitimering	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Den globala framgången allt mer uppenbar • Relativt stort stöd inom myndigheter	<i>Svagheter</i> • Bristande kunskap om teknikens potential (S4) • Få starka och i debatten synliga etablerade industriföretag (S5) • Tuff världsmarknad med en stor mängd konkurser i Sverige, Europa och världen (S8)
Vägledning av aktörernas sökprocesser	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Det finns ännu utrymme för högre prestanda, lägre kostnader och nya nischprodukter	<i>Svagheter</i> • Tekniken ännu inte välkänd bland alla potentiella aktörer (S4) • Den internationella konkurrensen är hård och avskräckande (S8)
Marknadsformering	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Mycket stark global marknadsutveckling • Fortfarande stort utrymme för tillväxt • Stort utrymme för ökat antal marknadssegment med specifika krav	<i>Svagheter</i> • Begränsad svensk hemmamarknad på grund av svag installationsmarknad, vilket i sin tur beror på osäkerhet kring det institutionella ramverket (S6) • Exportstöd inte anpassat till små teknikföretag

5.5 Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden

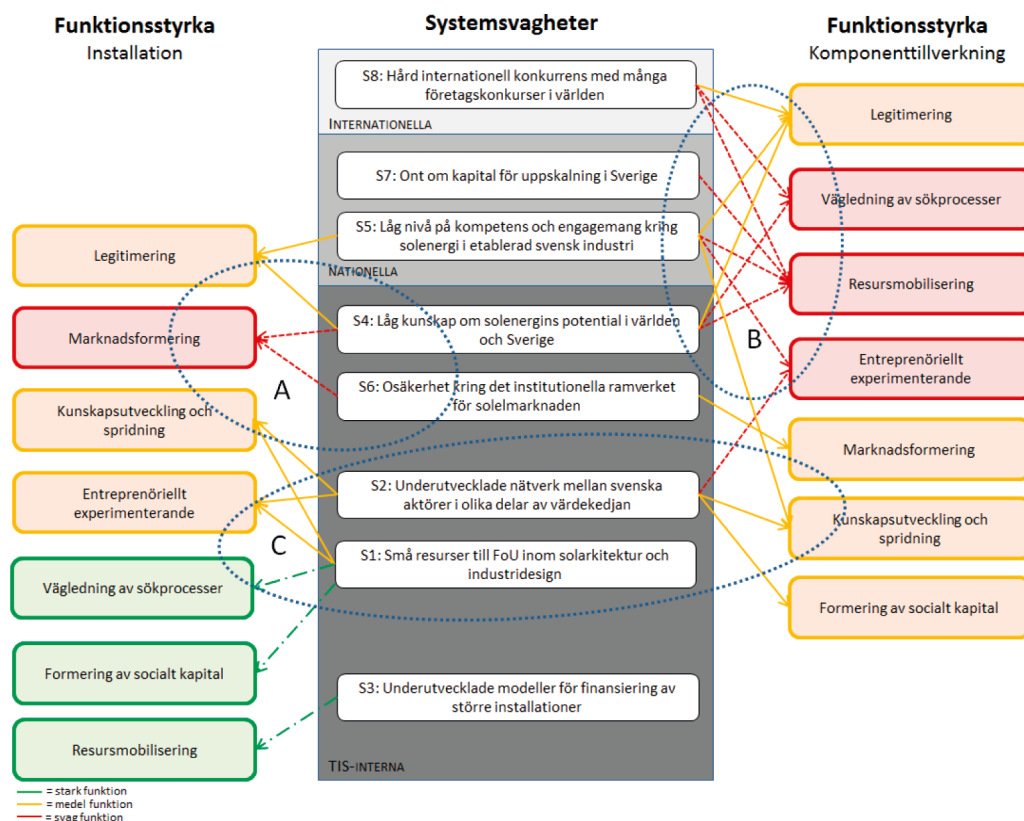
I avsnitt 5.4 värderades styrkan på funktionerna i relation till de uppsatta målen i de två delsystemen. En mängd pådrivande, eller funktionsstärkande, faktorer identifierades men analysen inriktas här mot problemlösning så dessa lämnas nu åt sidan. Åtta systemsvagheter (bromsande faktorer) identifierades varav fyra är gemensamma för de två delsystemen. En finns utanför den geografiska systemgränsen Sverige och ligger i det globala TIS:et. Två antas här huvudsakligen ligga utanför den sociotekniska systemgränsen och tillhör det nationella innovationssystemet snarare än TIS:et. Detta antagande kan dock diskuteras och generaliteten för faktorerna skulle kunna undersökas vidare. De återstående fem faktorerna är TIS-interna systemsvagheter.

Som ytterligare underlag för värderingen av betydelsen av olika bromsande faktorer genomfördes en undersökning med mentometerknappar på Solforum 2014. Deltagarna fick välja ut de två viktigaste hindren för att nå var och ett av de här antagna målen. Resultaten som visas i figur 5:17 bekräftar i stora drag den bedömning som gjorts i avsnitt 5.4 men tillför intressant information om den relativa betydelsen av olika faktorer. Det institutionella ramverket kring den svenska marknaden (S6) framstår som en nyckelfråga, där hemmamarknaden för komponenttillverkarna tillmätts en stor betydelse trots den starka internationella marknadsutvecklingen. Kunskapsnivån om solenergi i samhället i stort (S4) och intresset i den etablerade industrin (S5) värderas högt. Vidare framstår *resursmobilisering* i form av kompetens och kapital till uppskalning (S7) som väsentliga hinder för komponenttillverkningen. Svaga nätverk i värdekedjan (S2) tillmätts viss betydelse. I en annan fråga i samma undersökning som handlade om vad staten bör åtgärda rankades stöttandet av nätverk högt.



Figur 5:17. I en undersökning utförd med mentometrar på Solforum 2014 ombads deltagarna att välja de två viktigaste hindren får att nå de föreslagna målen (se avsnitt 5.3). Antal svar var 159 för installationsmålet (röda stolpar, det övre diagrammet), och 154 för komponenttillverkningsmålet (blå stolpar, det nedre diagrammet). De 88 deltagarna i undersökningen kom från privata företag (36%), universitet och högskolor (33%), myndigheter och kommuner (21%), institut (2%) och övriga (8%). Solforum arrangerades av Energimyndigheten.

I figur 5:18 har de systemförsvagande faktorerna grupperats och relaterats till systemfunktionerna. Det är nu möjligt att identifiera hur olika grupper av faktorer påverkar grupper av svaga funktioner. Detta kan utgöra en grund för att identifiera prioriterade åtgärder. I figuren framträder tre områden A, B och C där insatser skulle kunna göra särskilt stor nytta. På installationssidan tycks dynamiken kring marknadsformeringen vara helt avgörande (A). På komponentutvecklingssidan finns det ett kluster av faktorer som försvagar resursmobilisering, sökprocesser och experimenterande (B). Slutligen framträder ett tema kring tillämpningsanpassad innovation (C) som kopplar ihop de två delsystemen vilket här bedömts ha en mindre avgörande betydelse för att nå de definierade målen men som på längre sikt kan vara betydelsefullt.



Figur 5:18. Identifiering av intressanta åtgärdsområden (A, B och C) genom gruppering av systemförsvagande faktorer och svaga och medel funktioner. Funktionerna är svaga (röda heldragna linjer), medel (gula streckade) eller starka (gröna, prickade) (se avsnitt 5.4 för motivering).

5.5.1 Institutionell osäkerhet kring värdet av solel

Ur analysen av installationssidan framträder en bild av ett system som ganska snabbt skulle kunna växla från en nischmarknadsfas till en kommersiell tillväxtfas om det som försvagar marknadsformeringens funktion åtgärdas. Avgörande för detta är att osäkerheten kring värdet av solel reduceras. Den initialt viktigaste faktorn är att tydliga regelverk kommer på plats som gör det möjligt för den som investerar i en anläggning att kunna sälja el på nätet och få en rimlig och någorlunda förutsägbar ersättning. Det kan röra sig om regler kring nettodebitering eller skattereduktion. Det ligger dock bortom uppdraget i denna studie att klargöra fördelar och nackdelar med dessa åtgärdsförslag. Osäkerheten kring värdet av solel handlar inte bara om regleringar, det handlar även om kunskap. Ökad kunskap hos marknadsaktörer kring prissättning av och handel med distribuerad och intermittent el skulle förbättra marknadsfunktionen medan kunskap om solenergis potential och därmed sannolika framtida betydelse skulle påverka viljan att investera i lärande.

Om tydliga regleringar införs (t.ex. nettodebitering) och kompletteras med stöd till läroprocesser bland marknadsaktörer (t.ex. genom kommunala energirådgivare och branschorgan) skulle sannolikt en mängd positiva återkopplingsmekanismer sätta igång en process av fortsatt lärande, legitimering och marknadsutveckling.

Det skulle få positiva återverkningar på alla andra systemfunktioner på installationssidan. Tydliga politiska visioner kring solceller som direkt ökade legitimiteten skulle förstärka dynamiken ytterligare. Alternativet är förmodligen en väsentligt långsammare utveckling där ett varierat experimenterande med större inslag av lokal lagring sakta växer fram i takt med sjunkande kostnader på batterier.

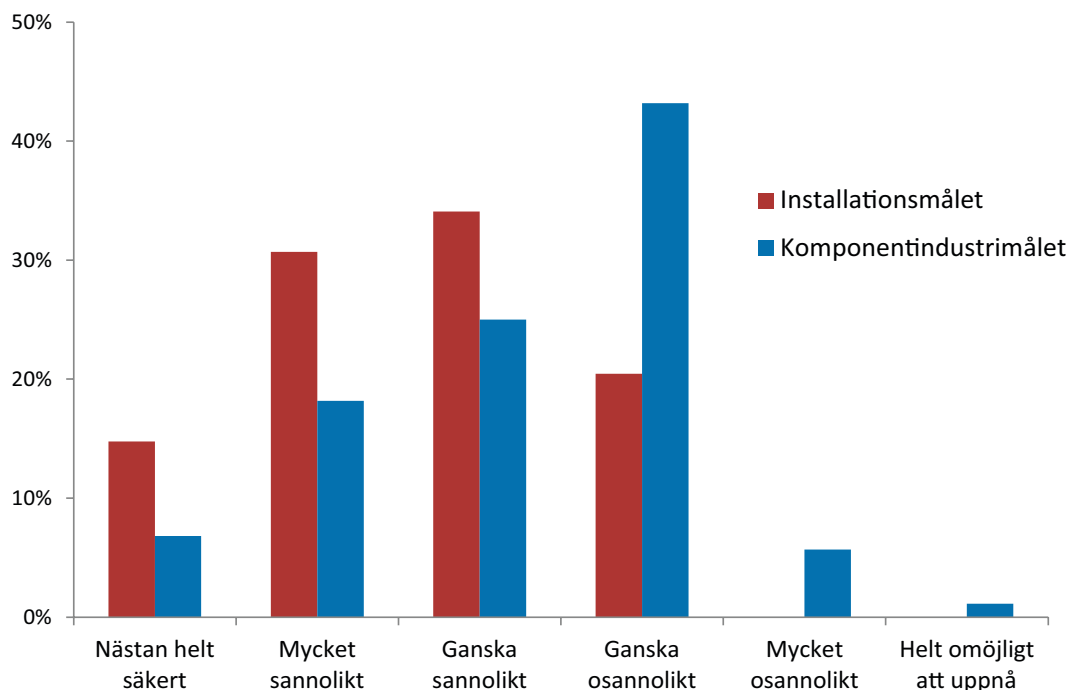
En väsentligt större hemmamarknad skulle även få betydelse för flera komponentleverantörer. Den blygsamma marknadstillväxten under senare år har öppnat för ökade samarbeten i värdekedjan. En större hemmamarknad skulle framförallt kunna få betydelse för experimenterande med nya idéer och leda till att kunskapen om och legitimiteten för solceller skulle öka bland investerare och industriella aktörer med komplementära resurser och kompetenser.

5.5.2 Begränsat experimenterande och bristande resurser till uppskalning

Tvärt emot vad många föreställde sig för några år sedan ser det mycket besvärligare ut att bygga en svensk leverantörsindustri inom solcellsområdet än att skapa en stor installationsmarknad. Deltagarna i den mentometerbaserade undersökningen på Solforum 2014 gjorde samma bedömning (se figur 5:19). Den snabba internationella utvecklingen med kraftigt sjunkande priser, stor konkurrens och konkurser som följd har vänt på situationen. Den växande solcellsforskningen på svenska universitet skulle på sikt kunna leda till en bredare bas av entreprenöriella experiment men det saknas engagemang och kunnande inom etablerad verkstadsindustri och bland kapitalförvaltare för att snabbt mobilisera resurser till uppskalning. De som har insikt i branschen känner till att en stor del av värdekedjan nu helt domineras av asiatiska företag och att tröskeln för nyetablering är hög.

Å andra sidan är det sannolikt att världsmarknaden kommer att fortsätta växa, inte marginellt utan med tiopotenser, och därför skulle en långsiktig satsning kunna vara försvarbar. Det är rimligt att tänka sig framväxten av en stor mängd nya systemlösningar där olika material och komponenter fyller unika funktioner (se även avsnitt 5.5.3). En långsiktig satsning skulle på sikt kunna bygga upp industriell kapacitet som i sin tur skulle kunna underlätta för framtida entreprenöriella experiment. Det är dock osannolikt att en sådan process kommer att vara självkatalyserande. Även om solcellsområdet får ökande uppmärksamhet och legitimitet kommer det att krävas kapital till uppskalning. Detta är sannolikt en faktor som kan behöva lösas på nivån för det nationella innovationssystemet (inte TIS-specifikt). Det kan behövas särskilda åtgärder inom finanssektorn, t.ex. nya direktiv till statliga fonder, för att frigöra kapital till industriell utveckling som gagnar långsiktig hållbarhet.¹⁰²

¹⁰² Magnusson m.fl (2014) diskuterar denna fråga på DN debatt den 23 mars 2014.



Figur 5:19. I en undersökning utförd med mentometrar på Solforum 2014 ombads deltagarna att avgöra sannolikheten för de två föreslagna målen (se avsnitt 3). Antal svar var 88 både för installationsmålet (röda stolpar), och komponentindustrimålet (blå stolpar). De 88 deltagarna i undersökningen kom från privata företag (36%), universitet och högskolor (33%), myndigheter och kommuner (21%), institut (2%) och övriga (8%).

5.5.3 Svaga inhemska nätverk i värdekedjan och begränsad tillämpningsnära innovation

Ovan gjordes observationen att med tydliga och lagom systemstärkande regleringar av solemarknaden skulle installationerna kunna börja växa snabbt. Detta skulle kunna göras med importerad konventionell teknik. För att nå i storleksordningen 10 GW installerad effekt krävs egentligen inte mycket innovation. Men för att förverkliga mer ändamålsenliga lösningar och för att nå bortom detta mål och bidra till en fullständig energiomställning i Sverige och världen kommer det att finnas stort behov av att ge utrymme till en stor rikedom av innovationer. Det är inte orimligt att föreställa sig en utveckling mot att merparten av samhällets konstruerade ytor blir ljuskonverterande. I frigörandet av en sådan potential framstår systemsvaghet S2 som central, d.v.s. bristande kunskapsnätverk mellan värdekedjans delar.

För att på kort sikt hjälpa till att forma mer ändamålsenliga installationer och på längre sikt utveckla helt nya produkter och integrerade systemlösningar skulle resurserna till forskning och utveckling kring solarkitektur och solproduktdesign kunna ökas. Om en sådan resursförstärkning kopplas ihop med medvetna försök att skapa tätare nätverk mellan design, installation, komponentutvecklare och materialforskare öppnas ökade möjligheter till innovation och *entreprenöriellt experimenterande* i hela värdekedjan. I en sådan process är sannolikt en större hemmamarknad av avgörande betydelse.

5.6 Referenser

Andersen, M.M, Sandén, B. A. och Palmberg, C., 2010. Green Nanotechnology in Nordic Construction: Ecoinnovation Strategies and Dynamics in Nordic Window Value Chains. Nordic InnovationCentre, Oslo.

Barbose, G., Weaver, S., Darghouth, N., 2014. Tracking the Sun VII: An Historical Summary of the Installed Price of Photovoltaics in the United States from 1998 to 2013. Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA.

Boligkontoret, 2014, Hvad er nettomålerordningen og kan jeres boligafdeling få glæde af den? Tillgänglig på www.bdk.dk.

Bronski, P. m.fl., 2014. The economics of grid defection: When and where distributed solar generation plus storage competes with traditional utility service. Rocky Mountain Institute, CohnReznick Think Energy and Homer Energy. www.rmi.org.

BSW, 2013. Photovoltaik-Preismonitor Deutschland 2013. Tillgänglig på www.solarwirtschaft.de.

Energimyndigheten, 2012. UP-rapport Kraftsystemet: Underlag från Utvecklingsplattformen Kraft till Energimyndighetens strategiarbete FOKUS. ER 2012:13. Statens Energimyndighet, Eskilstuna.

EPIA, 2012. Economic benefits of solar photovoltaics, The PV Value Chain, EPIA Fact Sheet, 24 september 2012.

Fogelberg, H. och Sandén, B. A., 2008. Understanding reflexive systems of innovation: An analysis of Swedish Nanotechnology discourse and organisation. Technology Analysis and Strategic Management

Green, M.A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., Dunlop, E.D., 2014. Solar cell efficiency tables (version 43). Progress in Photovoltaics: Research and Applications 22, 1–9.

Halmarsson, E. och Sandén, J., 2014. Potential areas of success for Northern European firms in the PV industry, Avdelningen för miljösystemanalys, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Hedberg, P. och Holmberg, S., 2014. Åsikter om energi och kärnkraft: Preliminära resultat från SOM-undersökningen 2013. SOM-institutet, Göteborg.

IEA, 2014. IEA-PVPS Trends in Photovoltaic applications: Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2013, Report IEA-PVPS T1-25:2014, International Energy Agency.

IPCC, 2011. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN)

Jacobsson, S. och Lauber, V., 2014. Chapter 14: On the German and EU cost discourse – is large-scale renewable power supply “unaffordable”? I Systems perspectives Renewable Power 2014 (red. B. Sandén), p. 148–157, Chalmers tekniska högskola.

- Jacobsson, S., Sandén, B. A. and Bångens, L., 2004. Transforming the energy system – the evolution of the German technological system for solar cells. *Technology Analysis and Strategic Management* 16:3–30.
- Johansson, T., 2012. Vikten av aktiva konsumenter på elmarknaden – vilken roll spelar förtroendet? *Prestation i Almedalen* den 4 juli 2012, Energimarknadsinspektionen.
- Johnsson, F., 2011. *European Energy Pathways*, Energiteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Kjellson, E., 2000. *Potentialstudie för byggnadsintegrerade solceller i Sverige*, Lunds universitet.
- Kost, C. m.fl., 2013. *Levelized Cost of Electricity: Renewable Energy Technologies*. Fraunhofer ISE.
- Kushnir, D. och Sandén, B.A., 2011. Multi-level energy analysis of emerging technologies: a case study in new materials for lithium ion batteries. *J. of Cleaner Production*, 19:1405–1416.
- Kåberger, T., 2014. Chapter 2: Drivers and barriers for renewable power. I *Systems perspectives Renewable Power 2014* (red. B. Sandén), p. 9–17, Chalmers tekniska högskola.
- Lindahl, J., 2014. *IEA-PVPS National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2013*. International Energy Agency/The Swedish Energy Agency.
- Magnusson, M., Linder, G. och Edlund, M., 2014. Statliga fonder agerar som kortsiktiga riskkapitalister. *Dagens Nyheter*, 28 mars.
- Porsö, J., 2008. The effects of a Swedish investment support for photovoltaics on public buildings: An analysis of the dynamics of the innovation system. *Avdelningen för miljösystemanalys*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Sandén, B. A., 2005. The economic and institutional rationale of PV subsidies. *Solar Energy*, 78:137–146.
- Sandén, B., Hammar, L. och Hedenus, F., 2014. Chapter 3: Are renewable energy resources large enough to replace non-renewable energy? I *Systems perspectives Renewable Power 2014* (red. B. Sandén), p. 18–31, Chalmers tekniska högskola.
- Sandén, B.A., Jacobsson, S., Palmblad, L., Porsö, J., 2008. Assessment of the impact of a market formation programme on the Swedish PV innovation system, *DIME International Conference “Innovation, sustainability and policy”* Bordeaux, France, pp. 11–13 September.
- Stenmark, M., 2012. *Infrastrukturens gräs- och buskmarker*. Rapport 2012:36 Jordbruksverket.
- Stridh, B., Yard, S., Larsson, D., Karlsson, B., 2014. Profitability of PV electricity in Sweden, *Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*, 2014 IEEE 40th IEEE Denver, CO, USA pp. 1492–1497.
- Svensk Solenergi, 2014. *Det behövs en plan*. PM 2014-08-07.

Söder, L., 2013. På väg mot en elförsörjning baserad på enbart förnybar el i Sverige, version 3.0. Kungliga tekniska högskolan, Stockholm.

Telge Energi, 2013. 8 av 10 husägare vill ha solpaneler. Nyhet 2013-08-30 på www.telgeenergi.se.

5.7 Appendix

Intervjupersoner

Alias	Namn	Organisation
A	Ingemar Åsberg,	Swedmodules
B	Johan Lindahl	Uppsala universitet
C	Bengt Stridh	ABB och Bengts villablogg
D	Lars Hedström	Solkompaniet
E	Åse Togerö	Skanska
F	Martin Warneryd,	SP
G	Tomas Kåberger	Chalmers
H	Sven Lindström	Midsummer
I	Giovanni Fili	Exeger
J	Jan-Olof Dalenbäck	Chalmers och Svensk Solenergi
K	Susanne Karlsson	Energimyndigheten

6 Elektrifierade tunga fordon i stadstrafik

*Thomas Magnusson och Christian Berggren, Linköpings universitet,
i samarbete med
Magnus Henke, Energimyndigheten*

6.1 Teknikområdet i ett globalt perspektiv

Elektromobilitet är ett vittfamnande begrepp. Det kan täcka in ett stort antal fordonstyper och tillverkare, en diversifierad tjänstesektor, liksom nya principer för stads- och trafikplanering. Denna rapport är avgränsad till elektrifiering av tunga fordon: bussar och lastbilar. Den inkluderar därmed inte elektrifiering av personbilar (eller elcyklar/elskotrar). Elektrifierade personbilar betraktas istället som ett angränsande och ibland delvis överlappande system, som framför allt kan användas för jämförelser. Elbilar är förvisso ett dynamiskt område men drivs nästan helt av ett antal stora batteri- och biltillverkare utanför Sverige: både nya företag som Tesla Motors och volymtillverkare som GM, Nissan-Renault och BMW. Svenskbaserade biltillverkare deltar med viss framgång – försäljningen av Volvo Cars laddbara premiumhybrid som utvecklades tillsammans med Vattenfall har överträffat förväntningarna – men svenska företag har små möjligheter att påverka den övergripande teknik- och marknadsutvecklingen. Genom den internationella teknikutvecklingen har kostnaderna för elektrifierade personbilar kraftigt sänkts under senare år, och det finns nu ett stort antal serietillverkade modeller på marknaden. Räckvidd och laddtider är nackdelar för de flesta elbilar, men förbättras kontinuerligt. Standarder har etablerats för infrastruktur, t.ex. snabbladdare, och även här sänks kostnaden fortlöpande.

6.1.1 Utmärkande drag för tunga fordon

Tunga fordon skiljer sig på flera viktiga sätt från personbilsindustrin.

För det första finns här flera internationellt betydelsefulla aktörer i Sverige: Volvo AB och Scania tillhör båda världens ledande tillverkare av tunga bussar och lastbilar. Vad de erbjuder eller inte erbjuder har en större internationell påverkan på industri, kunder, myndigheter och miljö än vad svenska aktörer har inom personbilsområdet.

För det andra är tunga fordon en bransch där höga krav på ekonomi, robusthet och tillförlitlighet traditionellt fördröjer introduktionen av ny teknik. Men just i denna normalt försiktiga bransch pågår nu en intensiv teknisk aktivitet, speciellt inom stadsbussar, där också nya nisch tillverkare har trätt fram, även i Sverige. I denna pågående omvandling har ett svenskt företag, Volvo AB, gått förbi de stora europeiska konkurrenterna och tagit en ledarroll för introduktionen av elektrifierade

fordon. Den svenska marknadsutvecklingen under de närmaste 5–10 åren kommer att spela en stor roll för om denna i branschen ovanliga satsning leder till en bredare spridning. Politiska styrmedel kommer att ha stor betydelse för utgången.

För det tredje finns det inom den tunga trafiken få incitament att stödja marknadsutvecklingen för mer miljövänliga fordon allmänt, och elektrifierade bussar och lastbilar särskilt. På personbilsområdet har det både i Sverige och internationellt under två decennier funnits ett omfattande stöd för s.k. miljöbilar och elektrifiering – i Sverige t.ex. supermiljöpremie, befrielse från fordonsskatt, etc. Men trots att utsläppen från personbilar redan minskar, medan de trendmässigt ökar från den tunga trafiken, så har inget skett för att skapa teknikdrivande marknadsincitament på den tunga sidan.

6.1.2 Kapitlets avgränsning

Av dessa skäl fokuserar detta kapitel på tunga fordon, och särskilt på *elektrifiering av tunga fordon i stadstrafik*. Genom sin miljöpåverkan i form av buller, sotpartiklar och kväveoxider, har den tunga fordonstrafiken stor betydelse för städernas miljö kvalitet. Detta gäller särskilt i storstäderna, där t.ex. Stockholm frekvent överskrider EU:s målvärden för kväveoxider och partiklar. En elektrifiering skulle förutom att kraftigt sänka CO₂-utsläppen verksamt bidra till bättre luft och lägre buller. Tack vare den rena, tysta och vibrationsfria driften kan elektrifieringen göra bussarna mer tilltalande och därmed bidra till att fler föredrar att använda kollektivtrafiken i stället för personbil. Elektrifierade bussar och lastbilar kan dessutom köras i områden som är extra känsliga för buller och luftföroreningar, något som möjliggör en integrerad stads- och trafikplanering för attraktiva urbana miljöer. Värdet av att som idag positivt särbehandla personbilar är omvänt proportionellt mot trafik- och klimatnyttan: en stadsbuss producerar i snitt 20 gånger fler passagerarkilometer än en personbil i stadstrafik. Elektrifiering av en sådan buss, i form av en laddbar hybrid ger fem gånger lägre CO₂-utsläpp per passagerarkilometer än en laddbar personbilshybrid.¹⁰³ En samlad svensk policy för elektrifiering av tung stadstrafik kan stärka attraktionskraften för Sverige som innovationsmiljö särskilt då för svenska urbana miljöer, och få ett betydande internationellt genomslag. Kapitlet är inriktat på områden och åtgärder som med måttliga investeringar kan förväntas ha stor effekt i närtid i Sverige, och även få effekter i Europa som helhet. Till avsevärd del kan dessa medel frigöras genom omallokering från existerande offentliga program inom fordonsbranschen. Utanför kapitlet faller långsiktiga infrastruktursatsningar till exempel s.k. elektriska motorvägar för transporter utanför städerna.

¹⁰³ Denna jämförelse bygger på att bussen utnyttjas 16 h/dag, jämfört med 1,5 h/dag för elbilen. Bussen uträttar då ett årligt trafikarbete på 1 200 000 personkm, jämfört med 20 000 för bilen. Detta ger 5 g CO₂/personkm i buss jämfört med 25 g CO₂/personkm för bilen.

6.1.3 Den tunga fordonsindustrin internationellt

Tunga fordon utgör en betydande industrigren. I EU och Nordamerika tillverkas totalt ca 1 miljon tunga lastbilar och bussar ett normalår, till vilket kommer en ännu större volym av lätta nyttofordon, framför allt distributionsbilar.¹⁰⁴

Tillverkningen av tunga fordon kan jämföras med personbilsbranschen där årsproduktionen i samma regioner är ca 30 miljoner, d.v.s. 30 gånger högre (Berggren, Magnusson, Sushandoyo, 2015). Samtidigt som volymen är lägre, har tunga fordon en mer fragmenterad marknad, med väsentligt olika användningsområden och egenskapskrav, från bussar och anläggningsfordon till brandbilar, sopbilar, gods-distributionsfordon och långtradare.

I Europa domineras marknaden av sex stora tillverkare: Daimler, Volvo (inkl. Renault Trucks), MAN, Fiat/IVECO, DAF och Scania. Dessa står för över 90 % av samtliga EU-registreringar och för drygt 40 % av den globala tillverkningen av tunga fordon. Flera europeiska tillverkare, främst Daimler och Volvo, är också verksamma i USA och amerikanska Paccar är verksamt i Europa (genom DAF). Denna integration gynnas av likartade kravnivåer mellan EU och USA vad gäller miljö och säkerhet. Några europeiska tillverkare, t.ex. Volvo, är också aktiva i Kina, som dock fortfarande är en i hög grad separat marknad, med väsentligt lägre krav på emissionsnivåer och utrustning.

Inom personbilsområdet har elektrifiering gjort betydande framsteg sedan sekelskiftet: enbart i USA översteg våren 2014 den samlade volymen elbilar (inklusive laddhybrider) 200 000 fordon. Något motsvarande genombrott har inte skett inom tunga fordon. Den grundläggande motortekniken i tunga fordon är sedan 1900-talets mitt präglad av en enda ”dominant design” – dieselmotorn. Tillverkarna fortsätter här att lägga stora resurser på inkrementell förbättring av denna teknik. Fokus de senaste tio åren har legat på att med bibehållen eller förbättrad bränsleeffektivitet uppfylla de allt strängare emissionskraven för kväveoxider och partiklar, som i Europa bestämts av Euro IV (från oktober 2005), Euro V (oktober 2008) och Euro VI (från januari 2014). Liknande emissionskrav gäller i Nordamerika och Japan följer med viss eftersläpning EU:s emissionskrav. De skärpta kraven har inneburit mycket stora FoU-kostnader; Scania investerade t.ex. ca 10 miljarder i utvecklingen av sin Euro VI-kompatibla motorgeneration. Det har medfört att tillverkarna nu eftersträvar avsättning för sina nya Euro VI-motorer, eventuellt med alternativa drivmedel, snarare än att utveckla helt nya drivlinor. Undantaget är främst stadsbussar (se mer nedan) där ett antal elektrifieringssteg har utvecklats och implementerats.

¹⁰⁴ Kategorin ”tungta fordon” är inte entydigt definierat internationellt. I den statistik som produceras av OICA och AEA åsyftas (ofta utan att det explicit anges) vanligen fordon > 3,5 ton (GVW). I vissa globala jämförelser undantas segmentet 3,5–7,5 ton där det finns en betydande asiatisk produktion (AEA 2011:26). Ibland behandlas fordon i kategorin 3,5–16 ton som ”medeltunga”, medan tunga fordon refererar till viktclassen > 16 ton, vilken motsvarar USA:s Class 8 (AEA 2011:57). På Volvo räknas fordon < 6,5 ton som lätta, 6,5–16 ton som medeltunga och fordon > 16 ton som tunga.

6.2 Strukturell analys

6.2.1 Teknik – fordon och laddinfrastruktur

Elektrifiering av tunga bussar/lastbilar kan förverkligas i olika steg och tekniska konfigurationer. Ett första viktigt elektrifieringssteg är fullhybridmotorer utan nätladdning. Inom personbilsindustrin är detta en etablerad teknik. Även inom den tunga sidan finns på den Europeiska marknaden sedan ca 2010 kommersiellt tillgängliga lösningar där dieselmotorer kombineras med eldrift. Framför allt lämpar sig denna teknik i trafik med mycket start och stopp, bromsning och acceleration, d.v.s. i stadstrafik. Fördelarna är minskning av lokala emissioner (utöver Euro VI), lägre buller samt besparingar i bränsle och därmed CO₂-utsläpp. Volvo uppger en minskning av bränsleförbrukning och CO₂-utsläpp på 35–40 % för sina hybridbussar vid användning i ren stadstrafik samt högre tillgänglighet på grund av minskad förslitning av bromsbelägg (Intervju A,B). Nackdelarna är högre inköpskostnader samt upplevd osäkerhet kring teknikens (framför allt batteriernas) robusthet och livslängd (Intervju C,D).

Nästa elektrifieringssteg är laddbara hybrider. De kan gå betydligt längre sträckor på ren eldrift, och därmed reducera emissioner och bränsleförbrukning påtagligt. Nackdelen är ökad kostnad p.g.a. större energilager samt behov av infrastruktur för laddning. På personbilsmarknaden har laddhybrider fått fotfäste med modeller från t.ex. GM/Opel, Mitsubishi, Toyota och Volvo. För tunga fordon är kraven betydligt högre, såväl på batteriernas kapacitet och robusthet (med en faktor tio högre krav på laddnings- och urladdningscykler), som på laddinfrastrukturens effekt och säkerhet (t.ex. effektkrav ≥ 100 kW). Här är utvecklingen ännu helt i sin linda. Sedan 2013 körs laddhybridbussar på prov i Göteborg och har enligt av Västtrafik rapporterade värden minskat dieselanvändning och dito koldioxidutsläpp med 75 % jämfört med en konventionell diesel. Den totala energiförbrukningen har på denna linje, där bussen går på el 70 % av tiden, minskat med 60 % (Hyperbus, 2014). Den dramatiska nedgången i energiförbrukning beror på att en elmotor är mycket energieffektivare än en förbränningsmotor i stadstrafik.

Det tredje steget, helelektriska fordon, är tekniskt sett betydligt enklare än hybrid-elektriska kombinationer. Det har funnits länge i särskilda applikationer, t.ex. för gaffeltruckar i inomhusdrift. Fördelarna är att lokala emissioner och buller elimineras helt, vilket t.ex. gör att linjesträckningar för bussar kan dras delvis inomhus och i områden som är extra känsliga för luftemissioner och buller, något som innebär att nya möjligheter skapas för stadsplaneringen. Likaledes kan man med tillgång till eldrivna lastbilar planera för lastning/lossning av gods inomhus. Nackdelar är den höga kostnaden för batterier och begränsningarna i räckvidd, alternativt kostnader i investeringar för laddning.

Det finns två olika typer av hybridsystem: parallell och seriehybrid (Tidblad-Lundmark m.fl., 2014). Vilken som väljs har stor betydelse för utvecklingskostnad, produktpris och möjligheter till skalekonomi. I en *seriehybrid* driver en fullstor dieselmotor en generator som alstrar ström åt en drivande elmotor eller matas in till ett energilager för senare användning. Vid inbromsning kan elmotorn

fungera som en andra generator och på så sätt återvinna bromsenergi. Tekniskt sett är detta en relativt enkel lösning. Olika företag kan leverera separata moduler utan några omfattande krav på integration, vilket håller utvecklingskostnaderna nere, medan produktkostnaden däremot tenderar vara hög p.g.a. dubbla elmaskiner. Seriehybrider har varit populära på stadsbussmarknader, särskilt i USA, där kunden varit beredd att betala de höga produktkostnaderna.

Det andra alternativet är en *parallellhybrid*. Här arbetar dieselmotorn direkt som drivmotor, ensam eller tillsammans med elmotorn, som också fungerar som en generator vid inbromsning. Elmotorn kan ensam driva fordonet kortare eller längre sträckor, beroende på energilagrets storlek. Parallellhybrider ger lägre produktkostnad än seriehybrider, vilket dels beror på att denna lösning endast kräver en elmaskin och dels på att dieselmotor och elmaskin kan göras mindre än i seriefallet eftersom de arbetar tillsammans. En annan skillnad är att parallellhybrider är väsentligt mer effektiva än seriehybrider i trafik utan start och stopp, d.v.s. utanför ren innerstadstrafik. Det beror på att en seriehybrid har inbyggda omvandlingsförluster eftersom dieselmotorns rörelseenergi först ska omvandlas till elektrisk energi och elenergin sedan åter omvandlas till rörelse av en separat elmotor. Båda dessa omvandlingar har förluster i storleksordningen 10 %. På längre sträckor utan inbromsning och återvinning av bromsenergi är verkningsgraden i en seriehybrid därför nästan 20 % sämre än i ett konventionellt dieselfordon – som dessutom är mycket billigare. Utanför ren innerstadstrafik är parallellhybrid därför det enda rimliga alternativet. Nackdelen är det integrerade, och därmed kostsamma, utvecklingsarbete som krävs för att åstadkomma ett effektivt samspel mellan elmaskin och dieselmotor.

Även helelektriska fordon kan delas in i två alternativa konfigurationer. Det ena är batteribestyckning för nattladdning. De kan sättas i drift med små investeringar i laddinfrastruktur eftersom det endast krävs laddstationer där fordonen står uppställda när de inte är i drift. Nackdelen är att det ställer krav på skrymmande och tunga batteripaket i storleksordning 2–3 ton per fordon, vilket begränsar nyttolasten och höjer kostnaden. I praktiken är detta alternativ enbart gångbart för stadsbussar; i både medeltunga och tunga lastbilar skulle nyttolasten bli för liten. Det andra alternativet är elfordon som snabbaddas vid lämpliga tillfällen under dagen, t.ex. vid ändhållplatser som i fallet bussar. Dessa fordon har väsentligt mindre batterier och blir därför billigare samtidigt som de kan ta större nyttolast. I gengäld kräver de investeringar i laddinfrastruktur. I ett linjenät för bussar kan sådana investeringar optimeras för högt utnyttjande. Detta är svårare för lastbilstrafiken. Distributionsfordon som levererar gods från externa terminaler till citykunder torde dock kunna försörjas med en kombination av nattladdning och laddning under lunchraster.

Anordningar för laddning av elfordon finns också av olika typer. En huvudindelning är i induktiv laddning (laddning genom magnetfält som inducerar ström i fordonet utan fysisk kontakt) och konduktiv laddning, som sker genom någon form av fysiskt kontakt. Laddsystemen för konduktiv laddning kan i sin tur delas in i olika

effektklasser och hur de olika komponenterna fördelas mellan fordon och fasta installationer. En vanlig uppdelning är i tre klasser (Intervju E,F; Haghbin, 2013):

- 1 Normalladdning för personbilar, 230 V, med vanlig kontakt och effekt upp till 3–4 kWh. Styrelektroniken finns ombord på fordonet. Förutom i det egna garaget kan sådana laddstolpar installeras på t.ex. arbetsplatser och hotell.
- 2 Snabbladdning med specialkontakt och spänning upp till 400 V och effekter på 10–20 kW, ibland upp till 50 kW. Även här finns styrelektroniken ombord på fordonet. Det finns tre standarder att välja på och tillverkarna erbjuder ofta installation i hemmet vid köp av en elbil. Amerikanska DoE uppskattar att dagens kostnad på upp till 3 000 dollar för själva utrustningen kommer att halveras till 2020 på grund av den snabba uppskalning som sker.
- 3 Laddstationer, 480–600 V spänning, effekter på 50–100 kW eller mer. Den skrymmande styrelektroniken, m.m. finns här installerad i själva laddstationen. För dessa utrustningar finns ännu inga standarder. Kostnaden idag uppskattas av DoE till 30 000–160 000 dollar eller mer (ca en miljon kronor) och förutsägelser om utvecklingen saknas. På grund av det höga effektuttaget kan man behöva förstärka det lokala kraftnätet i anslutning till laddstationen. I dessa fall blir totalkostnaden för installationen betydligt högre.

Generellt sker i omvärlden en betydande utbyggnad av laddning typ (1) och (2) och denna drivs på ytterligare av personbilstillverkarna. Laddstationer (3), för snabbladdning av tunga fordon, fordrar en betydligt större investering kopplad till planering av nya elektrifierade busslinjer eller nollutsläppszoner. Här finns i dagsläget (2014) ingen brett accepterad standard för gränssnittet mellan laddstation och fordon. När Göteborg Energi 2011–2012 skickade ut offertförfrågningar för laddstationer till sitt laddhybridbussprojekt kom inga svar från de stora leverantörerna och anbudet gick till ett nystartat mindre företag (Intervju G,H). Under 2014 pågår dock ett antal demo-projekt kring tung elektrifiering i Europa, inklusive Göteborg och Stockholm, där storföretagen engagerar sig och en snabb utveckling kan förväntas de närmaste åren.

6.2.2 Marknadsutveckling på olika delområden

Stadsbussar är en liten del av den totala marknaden för tunga fordon. I Europa säljs årligen ca 20 000 tunga bussar, vilket motsvarar en tiondel av försäljningen av tunga lastbilar. Av dessa är enbart omkring en tredjedel tillverkade för stadsdrift. Men ur ett innovationsperspektiv har stadsbussar en mycket större betydelse än vad volymsiffrorna förmedlar (Lowe m.fl., 2009). Kunderna äger fordonen betydligt längre – ofta hela fordonets livslängd om ca 12–14 år (Intervju I). Man har därför längre återbetalningstider för ny teknik. Vidare är dessa marknader i hög grad politiskt påverkade och köpare av stadsbussar ställer gärna särskilda krav på drivlinor med lägre emissioner och/eller vissa slag av fossilfria bränslen.

Industrin har därför en annan struktur med större utrymme för mindre företag, s.k. karosserier, som köper delsystem eller hela drivlinor externt. Vidare körs stadsbussar i välplanerade rutter med möjligheter till regelbunden tillsyn och underhåll, och – vid elektrifiering – optimal placering av laddstationer. Extrautrustning, t.ex. för energilagring, kan placeras på taken. Detta är inte möjligt på en lastbil, där kraven på packningstäthet är högre för att ge maximalt utrymme för gods. Allt detta gör att tekniska innovationer kan introduceras, prövas och förfinas på stadsbussar långt innan de slår igenom på de betydligt större men ekonomiskt mycket mer kortsiktiga lastbilsmarknaderna. En nackdel med stadsbussmarknaden är emellertid att de lokala politiska kundkraven kan bli alltför starka och därmed bidra till en stor spridning på olika busstyper, bränslen och tekniker, vilket leder till en ”negativ skalekonomi” i konstruktion och produktion.

I USA har offentliga transportköpare skapat en betydande marknad för dieselhybridbussar, vilka för närvarande utgör ca 10 % av samtliga stadsbussar i drift (APTA, 2013). De olika lokala kraven innebär samtidigt problem. Busstillverkarna köper drivsystemen från fristående specialister, t.ex. BAE Systems, Eaton och Allison, som har små möjligheter att skapa synergier och skalekonomi med andra fordonsegment. Lösningarna tenderar därför att bli dyra. Dessutom styrs de offentliga uppköpen av krav på ”Buy American” som innebär att europeiska (eller kinesiska) system måste tillverkas på plats eller köpa amerikanska delsystem, vilket t.ex. Daimler/Mercedes och Volvo gör till sina hybridbussar i USA (Intervju J). Detta skapar ytterligare fördyringar, speciellt i ett läge när de totala serierna är små.

Kina satsade tidigt på elektrifiering av personbilar i syfte att få ett övertag gentemot OECD:s etablerade biltillverkare, men lyckades inte utveckla mer konkurrenskraftiga fordon än några andra regioner (Howell, m.fl., 2014). Under senare år har de kinesiska storstäderna särskilt satsat på elbussar, där de offentliga köparna har ett avgörande inflytande. Kina har valt att främst satsa på bussar med stora batteripaket som ska gå i drift med enbart nattladdning. Detta är en tekniskt sett enkel lösning, som kan introduceras snabbt utan investeringar i laddstationer, och kan dra nytta av Kinas stora batteriindustri. Men den innebär samtidigt höga kostnader per buss och minskat passagerarutrymme per fordon. De stora offentliga satsningarna har i Kina skapat världens största marknad för elektriska bussar, där order på tusentals elbussar har rapporterats enbart under 2014 (Chinabuses 2014). Minst tio företag konkurrerar, med batteritillverkaren BYD i spetsen. Under 2013 började BYD satsa på internationell lansering och har provfordon i drift också i Europa, t.ex. i Köpenhamn och Helsingfors, samt en större beställning till Schiphol flygplats i Amsterdam.

Europas bussmarknad rymmer fem av de stora lastbilstillverkarna – Daimler, Volvo, MAN, IVECO och Scania – samt ett antal specialiserade mindre företag som Alexander Dennis och Wright Group i Storbritannien, Van Hool i Belgien, VDL i Holland och Solaris i Polen. I samband med de senaste årens elbilsintresse har det också uppstått nya nischade bussföretag som holländska eBusco och

svenska Hybricon. Storbritannien satsade med stöd av det statliga subventionsprogrammet Green Bus Fund tidigt på hybrider, vilka fick ett genombrott på marknaden i samband med OS i London 2012. Andra europeiska marknader, såsom Tyskland och Sverige, har varit mer avvaktande, med undantag för enskilda städer såsom Hamburg och Göteborg. På motsvarande vis har enskilda städer tidigt drivit på implementeringen av helelektriska bussar, t.ex. Umeå i Sverige.

Genombrottet för hybridbussar i London och Storbritannien möjliggjordes av att Londons borgmästare tidigt annonserade långsiktiga planer på att byta ut en betydande del av den existerande flottan av dieselbussar mot hybrider. I samband med detta inbjöds olika tillverkare att delta i ett omfattande test- och utvärderingsprogram. Transportmyndigheten Transport for London (TfL) tog en mycket aktiv roll som koordinator av detta program. TfL köpte också in hybridbussar och kunde tack vare egna test- och verkstadsresurser göra oberoende utvärderingar. Resultaten från test- och utvärderingsprogrammet bidrog till en osäkerhetsreduktion, något som var centralt för de privata bussoperatörerna som sedermera beslutade om inköp. I sin roll som kravställande myndighet påverkade dessutom TfL dessa inköpsbeslut genom skärpta upphandlingskriterier för busstrafiken i London, vilket gynnade hybridtekniken (Sushandoyo & Magnusson, 2014).

På bussmarknaden har möjligheten att köra helt tyst och emissionsfritt i stadstrafik på specifika sträckor i kombination med subventioner och lokala politiska beslut, skapat möjligheter både för ny teknik och nya företag (Intervju K). På lastbilsmarknaden saknas sådana stödjande faktorer. Kunderna efterfrågar bevisad tillförlitlighet och låg totalkostnad. Extrainvesteringar, t.ex. för att uppnå lägre bränsleförbrukning, ska normalt löna sig inom 3–4 år. I avsaknad av särskilda incitament är inga elektrifieringssteg idag lönsamma, varken i distributionstrafik eller i fjärrtrafik (Intervju L,M).¹⁰⁵ I fjärrtrafik kan visserligen hybridteknik spara upp till 10 % av bränslet, vilket med årliga körsträckor på upp till 20 000 mil kan ge en totalbesparing på bästa fall 300 000 kronor efter tre år. Detta understiger dock kraftigt kostnaden för hybridutrustningen. I distributionstrafiken är kalkylen ännu sämre. Här är visserligen den procentuella bränslebesparingen betydligt större, runt 15–20%, men den årliga körsträckan är mycket mindre och åkarnas marginaler ännu mer pressade. Det tar bort utrymmet för investeringar i ny teknik.

Specialfordon såsom hybridiserade sopbilar har setts som ett intressant område eftersom det kan påverkas av lokala myndighetskrav, och testbilar har prövats med framgång i flera europeiska storstäder. För att dra nytta av den nya tekniken

¹⁰⁵ En svensk studie hävdar att det går att nå återbetalningstider som understiger fordonens livslängd, framför allt för laddhybrider som används för dagligvarudistribution i städer och laddas vid lastkajer (Sebelius & Bark, 2014). Problemet är att den tekniska livslängden överstiger de flesta förstahandsköparens payoff-tider på 3–4 år, även om lastbilsägare är en heterogen kategori och det kan finnas firmabilar som rullar betydligt längre hos samma ägare. Studien föreslår även att elektrifierade distributionslastbilar kan dra nytta av kontaktledningar för spårvägar och/eller trådbussar, som ett komplement till laddstationer. Detta kan vara möjligt på sikt, men det förutsätter att det finns spårvägs-/trådbussystem etablerade. Dessutom krävs att kollektivtrafikbolagen är villiga att upplåta kontaktledningarna för distributionslastbilar. Detta är ingalunda självklart eftersom det kan medföra störningar för kollektivtrafiken.

behöver emellertid också utrustningen för att ta hand om och pressa samman soporna elektrifieras, vilket kraftigt ökar kostnaden. Vidare måste fordonstillverkarna bygga ut sina servicenät med elkunniga tekniker, men detta bedöms inte vara ekonomiskt försvarbart så länge som den lokala hybridmarknaden bara består av sopbilar.

Tillsammans har dessa faktorer inneburit att hybridlastbilar (> 3,5 ton) inte har fått något fotfäste i Europa, trots stora potentiella fördelar i urbana miljöer som högre effektivitet, lägre utsläpp och kraftigt minskat buller. Japan skiljer sig i viss mån. Med stöd av subventioner har företag som Hino och Fuso tillverkat flera tusen parallellhybrider i det medeltunga segmentet, 10–16 ton. Fuso har även lanserat en lätt lastbil (7,5 ton) på den Europeiska marknaden, men försäljningen har hittills varit begränsad med totalt 350 sålda fordon år 2014. Inga av dessa har sålts i Sverige (Intervju N). I USA har Smith Electric producerat helelektriska lastbilar i lättare viktclasser med stöd av Department of Energy, men råkade i svårigheter med inställd produktion 2013 (Cleantechnica, 2014).

Tabell 6:1 nedan visar en översikt över teknisk potential och marknadsstatus. Tabellen visar på stora skillnader i stadsbuss- och lastbilsapplikationer för olika elektrifieringssteg och tekniska konfigurationer, både vad gäller potential och status. Den visar också att olika geografiska marknader skiljer sig väsentligt.

Tabell 6:1. Översikt teknik-marknad.

Teknik	Hybrid		Laddhybrid		Helelektrisk	
	Serie	Parallell	Serie	Parallell	Nattladdad	Snabbladdad
Bränsle/CO ₂ -utsläpp (jfr diesel) ^a	–25%	–25%/35%	–80%	–80%	–100%	–100%
Tillämpning i både buss och lastbil	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja
Inköpskostnad (jfr diesel) ^b	+75%?	+ 50% (fallande)	osäkert	osäkert	Flerfaldigt högre	+ 200%
Stadsbuss status marknad	Reguljär trafik		Demo EU		Reg. trafik Kina Demo i EU	
Lastbil status marknad	(ej aktuell)	Reg. trafik Japan	(Demo Japan)		Demo Japan, USA	

Källa: Intervjuer. Anmärkningar:

^a Faktiskt minskad förbrukning och utsläpp beror på typ av körsträcka. Grad av minskade CO₂-utsläpp för laddhybrider och helelektriska fordon beror på andel förnybar el

^b Jämförelsen med traditionellt dieselfordon baseras på uppskattade skillnader i komponentkostnader. Verkligt pris beror på orderstorlek och förhandlingsuppgörelse. För BYD:s nattladdade helelektriska bussar har ett pris på 800 000 dollar/buss rapporterats från USA, för eBusco ett styckpris på 3–4 Mkr i Europa (Intervju O). Solaris uppskattar merkostnaden för snabbladdade helelektriska bussar till 200%, men betonar att priset beror på dimensioneringen av batteriet (Intervju Y). TOC, total cost of ownership, väger in inköpskostnad, bränsle- och underhållskostnader under relevant period. Volvos parallell-hybridbussar har sålts utan subventioner till ett antal privata operatörer (Intervju J), vilket tyder på positiv TCO i relation till konventionella dieselbussar. Volvo har inte satt något fast pris för sina laddhybrider. Istället erbjuder dem som "turn-key solution", där en separat kostnad beräknas för varje avtal beroende på trafiktyp, årligt miltal och topografi (Intervju J).

6.2.3 Aktörer och nätverk

Fordonstillverkare och industrinätverk

Två av världens ledande tunga fordonstillverkare har huvudsäten för utveckling och tillverkning i Sverige: Volvo och Scania. En betydande del av världens tunga fordonsutveckling äger därmed rum i vårt land. De svenska tunga fordonstillverkarna har dessutom stort industriellt och politiskt inflytande inom EU, bl.a. genom deras deltagande i internationella nätverk såsom fordonsindustriorganisationen ACEA och kollektivtrafikorganisationen UITP. ACEA är en aktiv part i förhandlingar om internationella standarder och lagkrav för tunga fordon och UITP driver på policyagendan för långsiktigt hållbara kollektivtrafiklösningar. En av de frågor som UITP arbetar med är standardisering av laddsystem för elektrifierade stadsbussar. UITP har därför etablerat en standardiseringskommitté med representanter från busstillverkare och tillverkare av laddstationer (Intervju P).

Volvo har sedan år 2010 en egenutvecklad parallellhybrid i kommersiell produktion. Sedan januari 2014 utgör hybrid drivlinor företagets standarderbjudande för stadsbussar i Europa. Volvo har även utvecklat en laddhybridbuss som lanserades kommersiellt 2014. I september detta år hade företaget sålt totalt ca 1 800 hybridbussar och tecknat order för leveranser av ca 50 laddhybridbussar (Intervju Q). Genom sitt dotterbolag Sunwin är Volvo dessutom aktivt inom helelektriska bussar i Kina.

Även Scania är aktivt inom elektrifierade tunga fordon. Fram till år 2008 utvecklades i Södertälje både en seriehybridlösning för stadsbussar och en parallellhybrid för lastbilar, men numera fokuserar man på parallellhybriden för både lastbils- och busstillämpningar (Intervju R). I samband med den stora IAA-mässan i Hannover 2014 lanserade Scania en stadsbuss med egenutvecklad parallellhybrid drivlina.

Vid sidan om dessa etablerade storföretag levererar Hybricon Bus Systems i Umeå helelektriska bussystem baserade på delsystem från externa leverantörer.

Eldistributionsbolag och elektrotekniska företag

Eldistributionsbolag som ansvarar för det lokala kraftnätet är nyckelaktörer vid etablerandet av laddinfrastruktur för laddhybrider och helelektriska fordon. I Sverige erbjuder flera av dessa bolag installationer av laddutrustning för främst elektriska personbilar, när så efterfrågas. Enligt bland andra kommunägda Göteborg Energi och statligt ägda Vattenfall finns dock ingen verklig affärsmöjlighet i sådana installationer eftersom strömförbrukningen är så liten. När det gäller laddstationer för tunga fordon såsom elektrifierade bussar ser eldistributionsbolag däremot en tydlig affärsmöjlighet (Intervju G,H,F).

Även de stora elektrotekniska företagen förefaller numera ha sett potentialen. Laddstationerna till de laddhybridbussar som testas i Stockholm med start 2014 levereras t.ex. av Siemens och även ABB har engagerat sig i utvecklingen av mer effektstarka laddstationer. Med måttliga investeringar (< 100 Mkr) och en avbetalningstid på ca 3 år räknar Göteborg Energi med att kunna erbjuda laddstationer för

en betydande del av stadens bussnät (Intervju G,H). På liknande sätt ser Vattenfall möjligheter att bygga vidare på demoprojektet med laddhybrider i Stockholm 2014 och att på kort tid (1–2 år) kunna installera laddsystem för en betydligt större elektrifierad bussflotta – om upphandlingsbesluten går i denna riktning och stadsplaneringen inte lägger hinder i vägen (Intervju F).

Flera olika affärsmodeller är tänkbara för eldistributionsbolagen. Till exempel kan de äga och ta betalt för utrustning och leverans genom ett fast abonnemang eller med ett förhöjt kWh-pris. Trots kostnaderna för infrastruktur anser eldistributionsbolagen att detta på sikt kan bli en lönsam affär för både beställare och bussoperatörer. Att hitta motsvarande lönsamhet för utbyggnad av infrastruktur för elektrifierade lastbilar är avsevärt svårare, eftersom lastbilarna i lägre utsträckning trafikerar förutbestämda rutter. Nyttjadegraden för en laddstation blir därmed betydligt lägre.

Användare/kunder och branschorganisationer

Bussar som används i linjetrafik delas in i tre klasser. Klass I är de bussar som normalt betraktas som stadsbussar; de är utformade för ett stort antal resande, stående såväl som sittande. Klass II är förorts-/regiontrafikbussar; de tar främst sittande passagerare, men det är även tillåtet med stående. Klass III är bussar utformade enbart för sittande passagerare. Det finns i dagsläget ca 14 000 registrerade bussar i Sverige, vilka är en stor del av kollektivtrafiken i landet (Roadmap Sweden, 2013). Av dessa är ca 4 300 Klass I stadsbussar (Intervju Z). Kollektivtrafiken planeras och handlas upp av regionala/regionala trafikbolag eller förvaltningar, t.ex. Skånetrafiken, Västtrafik eller SLL/Trafikförvaltningen i Stockholmsregionen (se sammanställning i appendix 2). Själva busstrafiken, inklusive inköpen av bussar, läggs ut på entreprenad till olika operatörer. Exempel på operatörer med entreprenad på kollektivtrafik och som därmed fungerar som användare/kunder av stadsbussar i Sverige är Arriva, Keolis, Veolia och Nobina.

Lastbilstransporter utförs antingen av åkerier som yrkesmässig trafik, eller av företag som äger fordon och utför transportarbete för egna behov, s.k. firmabilstrafik. 2011 fanns det i Sverige drygt 80 000 lastbilar över 3,5 ton i drift, varav 46 000 var åkeribilar och resten firmabilar. Firmabilsägarna är en mycket heterogen grupp med allt från mindre företag som har en lastbil för att lösa egna transportbehov, till detaljhandelskedjor med stora fordonsflottor som t.ex. ICA. Åkerinäringen i Sverige består av ca 10 000 företag, men hälften av dem är enbilsåkerier, d.v.s. de har bara ett fordon. Sammanlagt är åkeribilarnas transportarbete (genomsnittligt antal tonkm) betydligt större än firmabilarnas (Sveriges Åkeriföretag, 2013).

Både inom kollektivtrafik och inom godstransporter pressas användare/kunder av hård konkurrens med åtföljande små ekonomiska marginaler. Med undantag av enstaka image-höjande fordon kan de därför inte förväntas göra några större investeringar i elektrifierade fordon, om sådana inte specificeras och bekostas av transportköparna.

Myndigheter

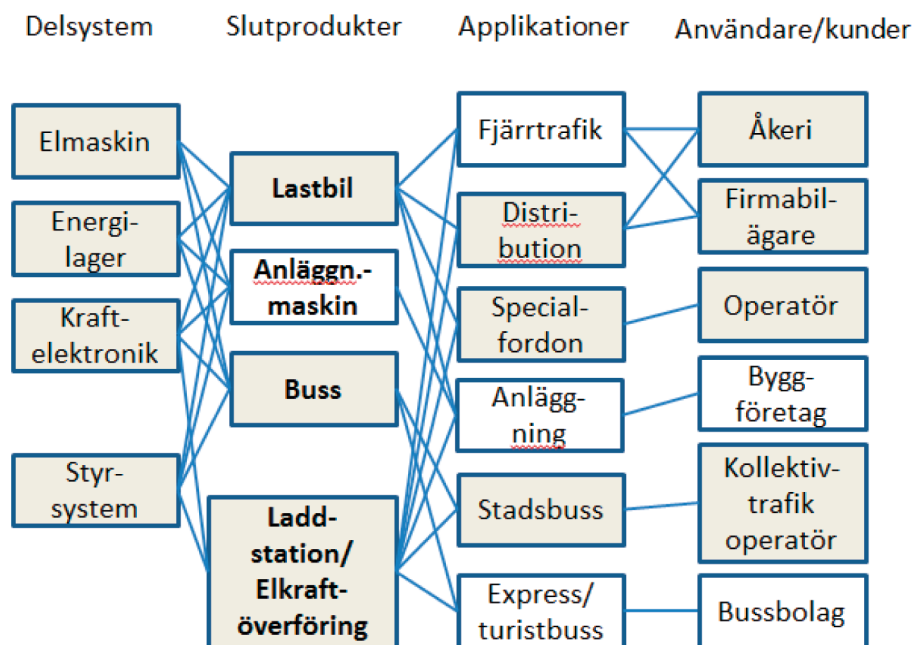
Trafikverket är den myndighet som har det övergripande ansvaret för långsiktig planering av det svenska transportsystemet. Trafikverket har också ansvar för grundläggande tillgänglighet i interregional kollektivtrafik, bl.a. genom upphandling av sådan trafik. I varje region eller län finns *Regionala kollektivtrafikmyndigheter* som ansvarar för planering av kollektivtrafiken.

Energimyndigheten ansvarar för att stödja det svenska energisystemets omställning till ekonomisk och miljömässig hållbarhet. Genom att tillhandahålla finansiellt stöd har myndigheten verksamt bidragit till viktiga FoU-initiativ inom el- och hybridfordon hos de svenska fordonstillverkarna, t.ex. Volvos satsningar för att kommersialisera sin parallelhybridlösning under senare delen av 2000-talet (Intervju S). En annan forskningsfinansiär, *VINNOVA* har ett särskilt ansvar inom området innovationsupphandling.

Svenska aktörers plats i värdekedjan

Figur 6:1 nedan visar en skiss över värdekedjan för elektrifierade tunga fordon. Råmaterial och material, samt komponenter är här utelämnade. De delsystem som figuren visar är de som är specifika för elektrifiering. Till dessa kommer traditionella delsystem i tunga fordon såsom chassi, kaross/hytt/påbyggnad, elsystem för lågspänning, kringutrustning, interiör och säkerhetsutrustning. För hybridfordon tillkommer dessutom bränslesystem, förbränningsmotor och transmission. Gråmarkerade rutor avser de områden det här kapitlet fokuserar på, d.v.s. tunga fordon som verkar i stadstrafik. Det inkluderar stadsbussar och distributionslastbilar, samt även vissa specialfordon som verkar i städer, t.ex. sopbilar.

Det svenska systemet med två stora tunga fordonstillverkare har sin tyngdpunkt på slutprodukterna. I Sverige finns det även starka eldistributionsbolag och elektrotekniska företag med intresse att tillhandahålla elkraft respektive laddstationer. Systemet är svagare när det gäller leverantörer av delsystem för fordonselektrifiering, såsom elmaskiner, energilager (batteri) och kraftelektronik. I sitt arbete med utveckling och tillverkning av elektrifierade tunga fordon har de svenska fordonstillverkarna framför allt fått söka delsystemleverantörer internationellt. Dessutom finns naturligtvis olika slags användare och kunder representerade i Sverige. Men för de tunga fordonstillverkarna är den svenska marknaden liten. Export är helt avgörande för att nå de volymer som krävs för en konkurrenskraftig utveckling och tillverkning.



Figur 6:1. Värdekedja för elektrifierade tunga fordon. Notering: Operatör av specialfordon är en heterogen grupp bestående av vitt skilda aktörer såsom renhållningsföretag (sopbilar), bärgningsföretag (bärgningsbilar) och räddningstjänst (brandbilar).

Lärandenätverk

Lärande kring ny fordonsteknologi sker i flera olika typer av nätverk, från nätverk som fokuserar på forskning och utveckling med tillverkare och högskolor i hög-sätet, till nätverk som byter erfarenheter kring demonstrationsprojekt och tidiga användningsfall mellan olika typer av beställare och användare.

För den första typen av nätverk spelar de offentliga insatserna en avgörande roll. Dessa insatser samordnas sedan 2009 inom FFI – Fordonsstrategisk Forskning och Innovation. FFI är organiserat som ett partnerskap mellan staten och fordons-industrin, och omsätter totalt ca 1 miljard kronor/år. I delprogrammet ”Energi & Miljö” finns en särskild satsning på ”Electromobility” för perioden 2010–2015.

En viktig del av den svenska forskningen inom fordonselektrifiering bedrivs inom Svenskt hybridfordonscentrum (SHC), som etablerades 2007 med stöd av Energimyndigheten. I SHC samarbetar AB Volvo, Volvo Personvagnar AB och Scania CV AB med fem tekniska högskolor och universitet – Chalmers, Lunds universitet, KTH, Linköpings universitet samt Uppsala universitet. Programmet täcker studier inom fyra olika områden: systemstudier och verktyg, elektriska maskiner och drivsystem, energilagring samt fordonsanalys. SHC finansieras av Energimyndigheten, akademi och industri.

När det gäller nätverk som innefattar andra aktörer än fordonstillverkare och tekniska högskolor/universitet är satsningarna mindre omfattande, och ofta mer lokala (Roadmap Sweden, 2014). Ett exempel på en sådan satsning är ElectriCity i

Göteborg, som delfinansieras av Energimyndigheten och samlar flera olika aktörer såsom en fordonstillverkare, en högskola, en kommun, fastighetsägare, ett energibolag, en regional kollektivtrafikmyndighet och trafikbolag. Syftet är att etablera och demonstrera en helt ny elektrifierad busslinje år 2015. Denna ska gå mellan två teknikparker – Lindholmen och Johanneberg – och ha en hållplats inomhus. Laddhybrider och helelektriska bussar ska trafikera linjen. Tanken är att skapa en plattform för utveckling och tester av nya tjänster och produkter, som bidrar till en mer attraktiv kollektivtrafik. Förutom själva bussarna omfattar projektet att ta fram och testa nya hållplatslösningar, trafikledningssystem och säkerhetskoncept samt system för energiförsörjning och energilagring (Intervju T).

Inom bussoperatörernas intresseorganisation ”Bussbranschen” finns ett aktivt intresse och erfarenhetsutbyte kring elektrifiering av stadstrafiken, med studieresor till olika europeiska städer, seminarieverksamhet på teman som ”År framtiden elektrisk?” och återkommande reportage från olika initiativ i Sverige, inklusive specialnumret ”eBUSS2” (juni 2014), helt ägnat åt om eldriven busstrafik. För dessa intressenter skapar elektrifiering möjlighet att öka kollektivtrafikens attraktivitet, image och marknadsandelar vilket driver på engagemanget och intresset att snabbt ta till sig nya erfarenheter.

Även internationellt finns ett stort intresse för elektrifierade stadsbussar. Kollektivtrafikorganisationen UITP samordnar sedan november 2013 projektet ZeEUS – the Zero Emission Urban Bus System. Projektet består av ett nätverk med ca 40 olika partnerorganisationer. Bland dessa finns kollektivtrafikbolag, bussoperatörer, energibolag, elektrotekniska företag, universitet, forskningsinstitut och fordonstillverkare. Projektet ska pågå fram till april 2017 och delfinansieras av EU:s 7:e ramprogram för forskning och innovation. Inom ramen för projekt ska man utveckla och testa system och lösningar för elektrifierade stadsbussar i åtta europeiska städer: Barcelona, Bonn, Glasgow, London, Münster, Plzen, Cagliari och Stockholm. Volvo, Vattenfall, forskningsinstitutet Viktoria och Storstockholms Lokaltrafik deltar som svenska partners i projektet (Maasing, 2014).

6.2.4 Institutioner

En stor mängd normer, lagar och bestämmelser reglerar den tunga fordons- trafik. I Sverige innefattar Trafikförordningen föreskrifter för vägtrafik och klargör dessutom den formella ansvarsfördelningen mellan kommuner, landsting och statliga myndigheter. När det gäller den regionala kollektivtrafiken har landstinget och kommunerna ett gemensamt ansvar. I varje län ska det finnas en regional kollektivtrafikmyndighet som utvecklar program för kollektivtrafiken. Kommuner och landsting beställer den trafik de vill upphandla inom sina gränser men myndigheten kan öka eller minska eller flytta trafik enligt sitt kollektivtrafikprogram. Sverige och Storbritannien är de två länder i Europa som har drivit avregleringen av kollektivtrafiken allra längst. I Sverige upphandlas ca 90 % av linjetrafiken med buss i fri konkurrens (Roadmap Sweden, 2013). Kollektivtrafik upphandlas normalt i perioder om 6–8 år, med option om förlängning i ytterligare 2+2 år, baserat på funktionskrav som ställs av regionala (vissa fall kommunala)

trafikbolag eller förvaltningar (se sammanställning i appendix 2). Olika operatörer kan komma in med anbud och det anbud som uppfyller funktionskraven till lägsta kostnad får entreprenad för de sträckor eller det område som den aktuella upphandlingen gäller (Intervju I).

Inköp och drift av hybridbussar (utan krav på laddning från elnätet) kan ske inom ramen för etablerade upphandlingsrutiner för kollektivtrafik, men kan i praktiken försvåras av specialkrav, t.ex. på vissa bränslen. Funktionskrav i upphandlingarna skulle dock även kunna driva på operatörernas beslut att köpa in hybridbussar, t.ex. genom att inkludera krav avseende energieffektivitet och buller. Förutsatt att fordonet uppfyller de funktionskrav som gäller för upphandlingen blir TOC (total cost of ownership) avgörande för operatörens beslut om inköp av fordon.

Ytterligare elektrifieringssteg, d.v.s. laddhybrider och helelektriska bussar, berör betydligt fler institutioner. Steget mot laddhybrider och helelektriska bussar innebär att trafikbolagen måste planera för laddning, vilket får konsekvenser både för linje- och tidsplaneringen och för det samlade fordonsbehovet. Beställarna behöver också bygga och utbyta erfarenheter kring olika tekniska aspekter rörande fordonsutformning, batteristorlek och laddningssystem. Eldistributionsbolagen som levererar kraften behöver beräkna kapacitet och projektera eventuell förstärkning av det lokala eldistributionsnätet, samt samverka med stadsplaneringen för bästa möjliga placering och utformning av laddstationer. Här behöver man väga in både tekniska/funktionella och estetiska aspekter. På sikt kan det också handla om att samplanera system som gör det möjligt för bussar och lastbilar att nyttja samma utrustning för laddning och elkraftsoverföring. Dessa olika aspekter påverkar kostnadsbilden för en elektrifierad transportlösning; de berör olika institutioner och olika aktörer ansvarar för dem. De behöver prövas ut i praktiska prov och mer omfattande demonstrationsprojekt.

6.3 Fasbestämning och målsättning

6.3.1 Fasbestämning

Analysen av marknadsutveckling och teknikpotential och översikten teknikmarknad i tabell 6:1 visar att systemet Elektrifiering av tunga fordon i stadstrafik inte låter sig bestämmas till en enda utvecklingsfas. Hybridteknik i lastbilar finns i form av färdiga produkter som också testats i praktiska prov, men någon marknadsspridning har inte kommit igång i Sverige eller övriga Europa. Däremot har tekniken nått en kommersiell spridning i stadsbussar. Om stadsbussar ses som en nisch inom den större marknaden för tunga fordon kan hybridtekniken därmed sägas ha nått en nischmarknadsfas.

Mer avancerade elektrifieringssteg befinner sig i en ännu tidigare fas.

Laddhybrider med konduktiv laddning har hösten 2014 precis lanserats kommersiellt i Europa, och fullelektriska bussar befinner sig i en prov- och demonstrationsfas, med många lokala initiativ i Europa och Sverige, men har kommit betydligt längre i Kina. För lastbilar finns inga liknande initiativ. Stadsbussarna blir därmed en viktig initial ”lärmarknad”, både för andra fordonstyper och för mer utvecklad elektrifiering i form av laddhybrider och helelektriska fordon.

6.3.2 Målsättning till 2030

Med utgångspunkt i en övergripande vision om att Sverige ska vara utan netto-utsläpp av växthusgaser år 2050 föreslår den statliga utredningen *Fossilfrihet på väg* (SOU, 2013:84) delmålet ”fossiloberoende fordonsflotta år 2030”. För att uppnå detta förordas både satsningar på biodrivmedel och elektrifiering. Under rubriken ”Eldrivna vägtransporter” hävdar utredningen att ”Sverige har möjlighet att spela en avgörande roll i den fortsatta utvecklingen genom svensk fordonsindustri. Det gäller särskilt på tunga sidan där de svenska tillverkarna är stora i ett internationellt perspektiv.” *Fossilfrihet på väg* sätter upp det ambitiösa målet att 83 % av de svenska stadsbussarnas trafikarbete ska ske med eldrift år 2030. Den antar vidare – utan att närmare specificera hur det ska gå till – att distributionslastbilarna i Sverige kan elektrifieras i samma grad som stadsbussarna.

En rapport framtagen av ett industrikonsortium med ABB, AB Volvo, Volvo Cars, Autoliv, PostNord, Robert Bosch och Siemens som initiativtagare hävdar att svensk industri har goda möjligheter att ta driva på den internationella utvecklingen av elektrifierade fordon: ”Sverige kan bli världsledande inom elfordon innan år 2030” (Roadmap Sweden, 2013, s.39). En sådan målsättning ligger väl i linje med det uppdrag FFI har att stärka den nationella innovationskapaciteten inom svensk fordonsindustri. Enligt sitt visionsdokument ska FFI ha ”fokus på samhällsmål avseende miljö, energi och säkerhet i kombination med industriell konkurrenskraft och sysselsättning i Sverige” (FFI, 2010, s.2). FFI har här pekat ut utvecklingen av energieffektiva elektrifierade framdrivningssystem som ett strategiskt viktigt område, som behöver särskilda satsningar.

Sammantaget finns det både miljömässiga och industriella mål att ta hänsyn till för det svenska innovationssystemet. I stadstrafik, där förbränningsmotorerna idag medför störst utsläpp och effektivitetsförluster utgör elektrifiering av tunga fordon en viktig delstrategi för att förverkliga miljömålet en fossiloberoende fordonsflotta. Utanför städerna däremot måste den tunga trafiken minska sin fossilbränsleanvändning på andra sätt (även om det pågår initiala prov med s.k. ”elektriska motorvägar”). Här har bl.a. Scantias Transport Laboratory visat de stora vinster som är möjliga med en kombination av effektivare fordon, bättre underhåll, genomtänkt godsplanering, förarträning och lägre fart (Scania 2014).

Det industriella målet att svenska tillverkare ska ha en ledande roll i den tunga trafikens elektrifiering baseras på att en betydande del av världens tunga fordonsutveckling utförs av företag baserade i Sverige. Om dessa företag kan driva på effektivisering och elektrifiering även internationellt, stärker det i sin tur svensk industriell konkurrenskraft. En sådan industriell målsättning kommer att kunna mätas i försäljning och marknadsandelar (och eventuellt royaltyinkomster), när tekniken konsolideras kring en, eller ett fåtal, ”dominanta designer”, men är i dagens ”flytande fas”, där ett stort antal konfigurationer och system konkurrerar, svår att kvantifiera (jfr. Abernathy, 1978).

Den analys av funktionaliteten i det svenska systemet för Elektrifiering av tunga fordon i stadstrafik som nedan följer sker i relation till de två målen som ange

ovan: det nationella spridningsmålet – att 83 % av de svenska stadsbussarnas och distributionslastbilarnas trafikarbete ska ske med eldrift – och målet om industriell utveckling och internationell konkurrenskraft inom elektromobilitet.

6.4 Funktionell analys

6.4.1 Entreprenöriellt experimenterande – stark

De svenska fordonstillverkarna har varit aktiva inom utveckling av teknik för elektrifiering av tunga fordon åtminstone sedan tidigt 1990-tal, ofta i samarbete med tekniska högskolor och med statlig delfinansiering. Under 1990-talet arbetade både Volvo och Scania med olika seriehybridsystem för tillämpning i stadsbussar och distributionslastbilar. Innan Volvo sålde sin personbilsdivision till Ford 1999 samordnade koncernen förkommersiell teknikutveckling för tunga och lätta fordon i den gemensamma FoU-enheten Volvo Technology. Förutom att utveckla seriehybridlösningar för bussar, lastbilar och personbilar utvecklade denna enhet under slutet av 1990-talet även ett parallellhybridkoncept som visades i personbilsprototyper. I början av 2000-talet beslutade Volvo att lägga ned utvecklingen av seriehybrider och istället fokusera helt på parallellhybridteknik för tunga fordon. Tekniken testades i både stadsbussar, sopbilar, distributionslastbilar och anläggningsmaskiner (Intervju A,B,Å).

Scania utförde fältprov med bussar baserade på ett tidigt seriehybridkoncept i Stockholm under 1990-talet. I mitten av 2000-talet tog man fram ett mer robust koncept med sikte mot marknads lansering omkring år 2010 (Folkesson, 2008). Man började år 2006 dessutom utveckla en parallellhybridlösning. Seriehybridutvecklingen lades dock ned efter fältprov i Stockholm 2009 och Scania har därefter också fokuserat sin utveckling på parallellhybridteknik (Intervju R).

Den utveckling och utprovning av olika tekniska konceptlösningar och fordonsslag som de svenska fordonstillverkarna utfört under de senaste 25 åren kan beskrivas som ett omfattande *entreprenöriellt experimenterande*. Detta har resulterat i osäkerhetsreduktion, vilket har gjort det möjligt att välja bort teknikalternativ. Därmed har företagen kunnat fokusera sina utvecklingssatsningar med sikte mot kommersiella tillämpningar. Den typ av parallellhybrid-drivlina som Volvo och Scania utvecklat håller också på att få ett bredare genomslag i fordonsvärlden, vilket bl.a. visas av att stora komponent-/delsystemtillverkare som Bosch, Magna och ZF har visat upp liknande system. I denna mening synes det entreprenöriella experimenterandet vara på väg in i en mognare fas av standardisering och uppskalning när det gäller elektrifieringens första steg, d.v.s. hybridfordon utan laddning från elnätet.

Någon utveckling mot dominant design kan ännu inte skönjas för elektrifieringens nästa steg, laddhybrider och helelektriska bussar. Här är utvecklingen i en fluid fas med många konkurrerande tekniska lösningar för både fordon och laddsystem. Vad gäller de senare driver Volvo på utvecklingen av laddstationer för konduktiv laddning tillsammans med leverantörer som ABB. En viktig del i detta arbete är att

ta fram ett standardiserat gränssnitt mellan laddstationer och fordonet (Intervju P). Scania medverkar bl.a. i projekt för innovationsupphandling av elvägar i ett samarbete med två olika leverantörer, Siemens och Bombardier, kring två principiellt olika lösningar, överföring via luftledning respektive induktiv laddning (Isaksson, 2014).

När det gäller själva fordonen är Volvo ensamt i Europa om att ha lanserat en laddhybridbuss, och är också på väg med en helelektrisk buss som ska testas i ElectriCity-projektet. För helelektriska bussar finns dock ett antal andra konkurrerande alternativ, varav de flesta bygger på nattladdning av stora batterisystem. Här har både Scania och Volvo tydligt tagit ställning mot nattladdade helelektriska fordon, med hänvisning till den höga batterikostnaden och att den höga vikten på batterierna leder till en väsentligt minskad nyttolast för fordonet (Intervju L,R).

De svenska fordonstillverkarnas fokuserade utveckling av parallellhybridteknik öppnar för både buss- och lastbilstillämpningar. Men idag ligger tyngdpunkten på stadsbussar. Sammantaget tyder den omfattande utprovningen av olika alternativ för hybriddrift, liksom engagemanget kring systemaspekter (laddinfrastruktur m.m.) i elektrifieringens fortsatta faser på att *entreprenöriellt experimenterande* är en *stark* funktion i det svenska systemet för elektrifiering av tunga fordon i stadstrafik.

6.4.2 Kunskapsutveckling och spridning – medel

Med sin fokuserade satsning på parallellhybrider skiljer sig Volvo och Scania från sina konkurrenter, t.ex. tyska MAN, som erbjuder en seriehybridbuss baserad på delsystem från fristående leverantörer (Intervju D,U). Parallellhybriden är en mer integrerad konfiguration än seriehybriden, och kräver att fordonstillverkaren utvecklar en betydligt högre grad av integrationskompetens. Här behövs djup kunskap både inom nya teknikområden såsom elmaskiner, kraftelektronik, energilager, och om mer etablerade områden såsom styrsystem, förbränningsmotorer och mekanik. Det faktum att företagen har lanserat väl fungerande fordon med denna teknik tyder därför på att det finns en mycket god integrationskompetens hos de svenska fordonstillverkarna. Att de dessutom serietillverkar och säljer produkter på en kommersiell basis tyder på att de förutom produkttekniska kunskaper även har erforderliga kunskaper om leverantörer, marknader och produktion av dessa nya produkter.

När Svenskt hybridfordonscentrum (SHC) etablerades 2007 som ett nationellt kompetencentrum för el-och hybridfordon skapades ett nätverk som möjliggjorde tätare forskningssamarbete mellan fordonstillverkare och tekniska högskolor. Det skapade också en plattform för samarbetsprojekt mellan fordonstillverkarna med syfte att lösa gemensamma teknikproblem, s.k. horisontella projekt, något som stärkts i satsningarna på samordnad fordonsforskning i FFI. En svaghet i det svenska systemet är emellertid att kunskapsutvecklingen är koncentrerad till fordonstillverkare och tekniska högskolor. Det saknas ledande leverantörer av nyckelkomponenter och centrala delsystem. Vidare finns kompetens och resurser för provning av fordonskoncept framför allt hos fordonstillverkarna (Bauner & Engdahl, 2011), något som försvårar oberoende test och utvärdering. Detta kan jämföras med Finland, där VTT byggt upp en omfattande och oberoende testverk-

samhet av olika typer av bussar, inklusive elektrifierade fordon, vilket attraherar europeiska och asiatiska företag som satsar på marknader i Europa (se t.ex. Laurikko, Nuottimäki, Nylund, 2012.)

För att det svenska systemet ska komma vidare till nästa utvecklingsfas krävs att kunskap om teknikens möjligheter och begränsningar sprids till fler aktörer, framför allt på användarsidan. Det inkluderar inte enbart de operatörer som köper in fordonen utan också de trafikbolag som specificerar de funktionskrav som styr upphandlingar av fordon och transporter. Andra aktörsgrupper som bör inkluderas i en mer utvecklad elektrifiering är eldistributionsbolag, kommunala tjänstemän och fastighetsägare. Ett exempel på hur man kan organisera ett sådant samarbete är demonstrationsprojektet ElectriCity i Göteborg. ElectriCity är ett ambitiöst projekt, men samtidigt lokalt och avgränsat till en enskild busslinje. Sådana projekt är mycket viktiga i tidiga faser, men om de inte leder vidare till samordnade insatser är risken att de blir isolerade företeelser och att kunskapsutvecklingen stannar lokalt. Detta påtalar flera av de kommuner och landsting som deltagit i den inventering av offentliga satsningar som gjorts av Roadmap Sweden (2014). De betonar både ett behov av mer samverkan mellan olika kommuner/landsting, en mer utvecklad informations- och kunskapsdelning, samt samordning på nationell nivå (se vidare 6.4.3 Resursmobilisering).

Sammantaget tyder tillverkarnas produkter och etablerade produktion på att det finns en betydande kunskapsutveckling i delar av det svenska systemet för elektrifiering av tunga fordon i stadstrafik. Men kunskapen är koncentrerad till ett fåtal aktörer, främst på tillverkarsidan, vilket indikerar att kunskapsspridningen är svagare än kunskapsutvecklingen. I en samlad bedömning bör därför funktionen *Kunskapsutveckling och spridning* värderas som *medelstark*.

6.4.3 Resursmobilisering – medel

De svenska tillverkarna av tunga fordon har mobiliserat betydande resurser i egen utveckling och produktion av elektrifierade drivlinor, främst för bussar i stadstrafik. Som enda företag i Europa har Volvo lanserat hybriddrivlinor som standardlösning för europeiska stadsbussar, och marknadsför sedan hösten 2014 också laddbara hybrider samt utvecklar fullelektriska fordon. Scania lanserade i samband med IAA Nutzfahrzeuge i september 2014 sin stadsbuss Citywide, med en egenutvecklad hybriddrivlina inklusive elmotor, och annonserade att kommersiell försäljning och serieproduktion är initierad (Intervju V). Svenska Hybricon i Umeå är vidare ett av de nya europeiska nischföretag som sedan 2010 utvecklar helelektriska fordon.

Sverige har en historiskt djup kompetens inom elkraftområdet präglad av ett nära samarbete mellan statliga beställare och teknikutvecklande företag (Fridlund, 1999). Detta har inneburit ett elproduktionssystem där fossilbränsleanvändningen per energienhet är en av de lägsta i Europa och världen. Med fortsatt utbyggnad av vind-, sol-, bio- och vågkraft kan detta system bli ännu renare och effektivare. Elproduktionssystemet med tillhörande kompetens inom elöverföring och nätstyrning har dock endast i liten utsträckning mobiliserats för fordonselektrifiering,

även om Vattenfall medverkade i Volvo Cars ECC-projekt (Environmental Concept Car) i början på 1990-talet och 15 år senare i samma biltillverkares utveckling av en laddhybrid. De prov som pågår nu med laddhybridbussar i Stockholm och Göteborg innebär dock en begynnande mobilisering. Volvo och ABB slöt 2014 ett s.k. globalt avtal som ”kombinerar Volvos el- och elhybridbussar med ABB:s snabbladdningsteknik och banar väg för snabb utveckling av eldriven kollektivtrafik .../och/ ska tillsammans ta fram ett standardiserat laddningssystem som via ett automatiskt takmonterat system ansluter och snabbladdar elbussar och elhybridbussar” (ABB, 2014).

Betydande statliga medel har under en längre tid avsatts för teknisk FoU inriktad på fordonsindustrin. Under 2000–2008 pågick två Gröna bilen-program i partnerskap mellan staten och svensk bilindustri, med en sammanlagd statlig finansiering om drygt 800 miljoner. Av dessa medel var 150 miljoner avsatta till projekt inom fordonselektrifiering. Merparten av dessa projekt avsåg horisontell teknikutveckling utan koppling till specifika fordonsslag (Faugert m. fl., 2007). Även Energimyndigheten har finansierat FoU inom fordonselektrifiering. 2011–2017 har man ett särskilt demonstrationsprogram med 285 Mkr anslagna. År 2009 startade programmet Fordonsstrategisk Forskning och Innovation (FFI) för att samordna den statligt finansierade fordonsforskningen i Sverige.

”Elektromobilitet” är ett av områdena inom FFIs ”strategiska satsningar”, med 128 Mkr anslagna för perioden 2010–2017. FFI är en betydande aktör med stark koppling till den traditionella fordonsbranschens företag och myndigheter. Men trots dessa specialsatsningar uppvisar man ett mycket begränsat deltagande från elkraftsektorns energileverantörer, komponent- och systemtillverkare.

En rapport från Roadmap Sweden (2014) gör en genomgång av de offentliga satsningarna på elektromobilitet i Sverige. Rapportförfattarna uppskattar de årliga anslagen till knappt 400 Mkr, varav staten står för hälften med Energimyndigheten, FFI och VINNOVA som stora anslagsgivare. Den andra halvan kommer från kommuner och landsting. Främst handlar dessa satsningar om personbilar eller 2- och 3-hjulingar, medan rapporten inte kunde finna några satsningar på elektrifierade tunga lastbilar (>3,5 ton). Däremot identifierades ett antal projekt kring elektrifierade bussar i olika regioner. Generellt var dessa regionala och kommunala projekt små, med anslag understigande 500 000 kronor/projekt.

Sammanfattningsvis har svensk industri, med stöd av offentliga medel, avsatt betydande utvecklingsresurser till fordonselektrifiering och serieproduktion av hybridbussar sedan några år tillbaka. Detta stärker funktionen *resursmobilisering*. Samtidigt är de resurser som satsas på elektrifierade bussar i Sverige och Europa blygsamma i jämförelse med de satsningar som görs i Kina (Intervju J). Eftersom stadsbussar är ett litet marknadssegment förblir produktionsvolymerna låga. Avsaknad av synergier med lastbilsproduktionen leder till svårigheter att knyta till sig leverantörer och håller tillbaka investeringar. De resurser och den kompetens som finns inom elkraftsektorn har hittills endast mobiliserats i några avgränsade projekt. Dessutom är de resurser som avsätts på användarsidan små och i hög grad fragmenterade (Roadmap Sweden, 2014).

För att nå högt uppsatta mål, både när det gäller nationellt genomslag och industriell utveckling och konkurrenskraft behöver fler parter mobiliseras och takten öka så att fler fordonstyper omfattas, och mer avancerade elektrifieringsformer, som laddhybrider och helelektriska fordon kan spridas på allvar. De väsentligt högre investeringskostnaderna för dessa lösningar, i både fordonen och infrastruktur, innebär att avsevärda finansiella resurser måste tillföras användarsidan.

En sammanvägning av produktions- och användarsidans mobilisering leder till att funktionen *resursmobilisering* bedöms som *medelstark*.

6.4.4 Legitimering – medel

Under 1990-talet växte kraven på att förbättra städernas luftkvalitet och sänka utsläppen av skadliga ämnen, särskilt kväveoxider och partiklar (sot) från dieselmotorer. Detta legitimerade olika lokala insatser, t.ex. inrättande av miljözoner i många städer för att stänga ute de mest miljöskadliga fordonen, men också att nya bränslen började provas i stadstrafiken, såsom etanol och så småningom också biogas (Sandén och Hillman, 2011). För att klara framtida krav på sänkta utsläpp av giftiga ämnen började fordonstillverkarna också satsa på drivlineutveckling och hybrider. Vid denna tid var tekniken ännu omogen. Folkesson (2008:35) redogör för hur busschaufförerna med hänvisning till den låga tillförlitligheten kallade den hybridbuss Scania provade ”hybridbussen som kom för att stanna”. På västkusten utförde Volvo och bussoperatören Göteborgs Spårvägar fältprov med seriehybridbussar i linjetrafik (Andersson och Björler, 2000), men eftersom tillgängligheten också för dessa var betydligt sämre än för konventionella fordon minskade operatörens intresse att ta till sig tekniken (Intervju X).

Under 2000-talet, framför allt sedan 2006/2007 har fokus i Sverige alltmer kommit att handla om trafikens klimatpåverkan. Detta har lett till ett stort intresse för utfasning av fossila bränslen inom tunga person- och godstransporter, och stark legitimitet för alternativ till konventionell dieseldrift. Samtidigt har omfattande utvecklingssatsningar och fältprov medfört avsevärda förbättringar vad gäller tillförlitlighet, tillgänglighet och prestanda i (del-) elektrifierade fordon. De utvärderingar som Transport for London presenterade efter sitt omfattande testprogram visade t.ex. att Volvos hybridbussar hade en högre tillgänglighet än motsvarande dieselbussar. Detta fick i sin tur en starkt positiv effekt på efterföljande inköpsbeslut hos de privata bussoperatörerna (Sushandoyo och Magnusson, 2014). Brittiska erfarenheter visar dessutom att urbana satsningar på fullelektrifiering har en betydande förmåga att skapa lokalt engagemang och uppslutning. På konferensen ”Electrified Public Transport” i Göteborg i maj 2014 redogjorde t.ex. Andy Gibbons, Head of Public Transport i Nottingham City för hur stadens inledande satsningar på biodrivmedel möttes av ett publikt ointresse, eftersom allmänheten inte märkte några skillnader. Stadens nästa steg, elektrifierad innerstadstrafik med tysta, utsläpps- och vibrationsfria bussar skapade en helt annan uppmärksamhet och engagemang. Det kunde också kombineras med kreativt nytänkande kring framtida linjedragning och stadsplanering. Dessa erfarenheter tyder på att

elektrifiering har potential att bygga en omfattande legitimitet. Men det kräver att elektrifieringen inte begränsas till enstaka demonstrationslinjer utan inbegriper hela stadsdelar.

Sådana satsningar är emellertid inte utan svårigheter. En representant för den polska busstillverkaren Solaris, som 2014 har levererat flest helelektriska bussar i Europa, förklarade på IAA-Mässan i Hannover 2014 att de potentiella köparna brukar oroa sig för flertal faktorer, som har att göra med osäkerhet och bristande erfarenhet. Det handlar om fordonens räckvidd och lokalisering av laddstationer med hänsyn till batteristorlek, ruttplanering och befintliga elnät; om behovet av stilleståndstid för att ladda och hur det kan påverka linjebussarnas tidtabeller och kollektivtrafikens servicenivå; det handlar om utformning av laddstationer och hur de kan integreras i stadsmiljön; samt inte minst om höga investeringskostnader jämfört med konventionella fordon samtidigt som utlovade låga driftkostnader återstår att bevisa (Intervju Y).

Sammanfattningsvis medför teknikens ökade tillförlitlighet, tillgänglighet och prestanda att funktionen legitimering har stärkts, men samtidigt begränsas den i dagsläget av en betydande osäkerhet kring flera faktorer. För att minska dessa osäkerheter behövs erfarenheter från en stegvis uppskalning. Då kan tillverkare, operatörer, kollektivtrafikbolag, energiföretag och stadsplanerare lära sig att samverka och utforma rutiner och specifikationer, som kan ligga till grund för trafikupphandling, linjeplanering och investeringar i infrastruktur som integreras med städernas detaljplanering. En sådan uppskalning och osäkerhetsminskning har ännu inte skett och sammantaget bedöms därför funktionen *legitimering* som *medelstark*.

6.4.5 Vägledning av aktörernas sökprocesser – svag

De globalt verksamma Sverige-baserade fordonstillverkarna, Scania och Volvo vägleds av både internationella – främst europeiska – krav och initiativ och av den nationella politiska dagordningen. För regionala kollektivtrafikmyndigheter och trafikbeställare är Sveriges nationella politiska dagordning dominerande. I denna intar målet ”fossilfritt” en överordnad ställning och har fungerat styrande på de nivåer som nationellt och regionalt utformar stödsystem och kollektivtrafikupphandling. På ett allmänt plan inbegriper målet fossilfritt både elektrifiering och ökad användning av biobränslen. Utredningen *Fossilfritt på väg* (SOU, 2013:84) sätter t.ex. upp mycket ambitiösa mål om elektrifiering av tung fordonstrafik i städer. Men utredningens diskussion om styrmedel och utfall följer inte upp dessa mål. Sålunda hävdar utredningen att de åtta landsting som år 2012 hade över 50 % förnybart drivmedel i kollektivtrafiken därmed ”är halvvägs att nå det nationella målet om fossiloberoende fordonsflotta” (sid. 788).

Inriktningen på ”fossilfritt”, med åtföljande skattesubventioner av biodrivmedel (till skillnad från högbeskattad elektricitet och fossila fordonbränslen) har medfört att ett antal kommuner och regioner gjort stora investeringar i anläggningar för produktion av biogas för användning som bränsle för stadsbussar. Krav på nyttjande av denna gas har i praktiken också styrt stora

offentliga upphandlingar. Flera tillverkare har anpassat sig. Sverige har t.ex. blivit en ledande marknad för tyska MAN:s gasbussar. Gasdrift har positiva miljöeffekter, såsom renare innerstadsluft och reducerade nettoutsläpp av växthusgaser. Men gasbussar har en mycket låg energieffektivitet, där mer än 80 % av bränslet bränns bort utan att driva fordonet. Tekniken i sig är mogen och utan stora förbättringspotentialer. Den erbjuder inte heller några påtagliga andra fördelar för användarna – resenärer och chaufförer – eller för allmänheten i övrigt.

De svenska satsningarna på biogas som bränsle till stadsbussar var ett framsynt steg på 1990-talet och det tidiga 2000-talet, när det saknades realistiska alternativ till konventionell diesel. Nu riskerar de att leda till inlåsnings. De har bl. a. bidragit till att den svenska marknaden för hybridbussar utvecklats svagt trots närvaron av världsledande tillverkare. Oaktat detta föreslår ”Fossilfrihet på väg” inga incitament för investeringar i elektrifierade stadsbussar då utredningen ”gör bedömningen att det redan idag finns starka incitament att välja energieffektiva bussar som kan gå på el” (SOU 2013:84). Tyvärr bortser denna bedömning från de risker och osäkerheter som beställare och operatörer upplever med tanke på att laddhybrider bara testats under ett år, på en specifik busslinje, i en enda stad, och att helelektriska bussar ännu inte prövats i reguljär kommersiell trafik i Sverige. Utredningen bortser också från de inlåsnings till andra drivsystem och bränslen som skapats genom ett drygt decenniums investeringar i biogasanläggningar, tankdepåer m.m.

Även för lastbilstrafiken är ”fossilfritt” en överordnad ledstjärna i den svenska diskursen. Här har den dock haft mycket mindre praktisk effekt då de politiska beslutsfattarna har få direkta påverkansmöjligheter. Medan t.ex. gasdrift fått ett stort genomslag i städernas bussflottor saknas den nästan helt i lastbilstrafiken. Till skillnad från personbilssidan med dess supermiljöbilspremier, nedsatta förmånsvärden, m.m. finns inte heller några ekonomiska incitament för yrkestrafiken att frångå konventionell dieseldrift. Utredningen *Fossilfritt på väg* (SOU, 2013:84) inser incitamentsproblemet. Men i linje med den övergripande retoriken om ”fossilfritt” föreslår den att s.k. fossiloberoende distributionslastbilar ska stödjas med premier på 250 000 kr, oavsett om det handlar om hybrider/elfordon eller fordon som drivs av gas eller etanol. Denna och liknande utredningar uttrycker ett betydande problem för vägledningsfunktionen i det svenska systemet, där förment teknikneutrala förslag till marknadsstöd i praktiken innebär ett stöd till mogen teknik utan väsentliga utvecklingsmöjligheter. Detta riskerar att tränga ut de lovande tekniker som nu finns inom elektrifieringsområdet.

För att sammanfatta finns fordonselektrifiering idag med på den nationella politiska dagordningen. Bränslesubstitution är dock fortfarande en dominerande tankemodell som vägleder sökandet efter alternativ till tunga dieseldrivna fordon, även i stadstrafik. Riktade styrmedel för att påskynda elektrifieringen saknas. Därför bedöms funktionen *vägledning av aktörernas sökprocesser* som *svag* i det svenska systemet för elektrifiering av tunga fordon.

6.4.6 Marknadsformering – svag

De senaste åren har intresset för laddbara och helelektriska bussar ökat påtagligt i Europa och Asien. Enligt en studie av Pike Research (2012) kommer marknaden för olika former av eldrivna bussar expandera kraftigt till uppskattningsvis 75 000 elektrifierade fordon i drift år 2018 (hybrider, laddhybrider, helelektriska och bränslecellsbusar). Huvuddelen av tillväxten tror man, utifrån de incitament som rådde vid rapportens tillkomst, ska ske i Asien/Stillahavsområdet. Intresset ökar också i Europa vilket demonstrerades på den stora mässan ”IAA Nutzfahrzeuge” i Tyskland i september 2014, där flera fordonstillverkare visade upp hybridbussar och helelektriska bussar. Dessutom visade flera ledande leverantörer upp delsystemlösningar för eldrift. På Europeaniva är ett flertal demoprojekt med laddhybrider eller komplett elektrifiering också igång eller i startfas, varav några i Sverige.

Efter en tveksam start har den svenska marknaden för hybridbussar börjat formera sig. I december 2013 rapporterade operatören Keolis att man tecknat en order om 52 seriehybridbussar från MAN för trafik i Stockholm (Keolis, 2013). Detta hybridsystem utvecklas tillsammans med Siemens, som också levererar till brittiska busstillverkare. I maj 2014 tillkännagav Volvo sin dittills största order i Sverige, 47 bussar till Nobina för trafik i Sundsvall och Örnsköldsvik. Därmed hade Volvo sålt totalt 120 hybridbussar i Sverige (Volvo, 2014). Det motsvarar 7 % av företagets totala hybridförsäljningen, en låg siffra för hemmamarknaden i denna tidiga fas. Demonstrationsprojekt kring mer avancerad elektrifiering har också kommit igång. Under 2014 startar Stockholm inom EU-projektet ZeEUS ett prov med laddhybrider från Volvo som ska gå i reguljär drift i tre år. År 2015 introducerar Göteborg ”ElectriCity” med en kombination av helelektriska bussar och laddhybrider, som integreras i en ny typ av stads- och trafikplanering. I Umeå har test och demonstration av helelektriska bussar från Hybricon med snabbbladdningsteknik från Opbrid pågått sedan slutet av 2010. Ytterligare bussar kommer att köpas in och tas i drift 2014–2015 (Umeå, 2014). Småskaliga tester med natteladdade batteribussar planeras även i flera andra svenska städer.

Medan en initial marknadsformeringsprocess för elektrifierade bussar är igång, befinner sig lastbilarna i ett vänteläge. Navigant (2014) uppskattar den globala flottan av elektrifierade lastbilar (hybrider, laddhybrider och helelektriska) till ca 20 000 fordon år 2013. Denna osäkra bedömning inkluderar lätta lastbilar (< 3,5 ton), och saknar siffror om det tunga segmentet. Hybrid- och ellastbilsmarknaden har enligt rapporten vuxit långsamt sedan 2011 och flera mindre tillverkare har försvunnit. Enligt samma studie kommer 350 000 hybrid- och helelektriska lastbilar att säljas globalt under perioden 2013–2020. Här ingår både lätta och tunga lastbilar. Potentialen är sannolikt avsevärt större när det gäller lätta lastbilar eftersom det här finns större möjlighet till synergier med personbilar, vilket kan leda till kostnadsreduktioner. Andra prognosmakare, t.ex. Frost och Sullivan (2012), gör mer positiva bedömningar. Det är dock osäkert vad dessa förutsägelser bygger på, speciellt som de inte längre kan baseras på antaganden om stigande fossila drivmedelspriser. Tvärtom kan skiffergasboomen i USA förväntas leda till en ökad konkurrens från fossil naturgas som fordonsdrivmedel.

Volvo AB lanserade år 2010 en hybridvariant i sitt medeltunga program i form av en begränsad serie för utvalda marknader. Denna hybrid baserades på en Euro V-certifierad motor. När den måste ersättas med Euro VI-motorer 2014 ansågs efterfrågan vara alltför svag, och hybridmodellen lades på is: *"FE Hybrid var väldigt uppskattad av kunderna, men affären finns inte...väldigt frustrerande!"* (Intervju L). Internationellt har japanska Fuso lanserat en hybridmodell i vikt-klassen under Volvos program. Denna elektrifierade lastbil säljs kommersiellt i Japan men marknadsförs inte ens i Sverige (Intervju N). Simuleringar under olika förutsättningar som utförts hos Volvo indikerar att det med nuvarande policyregim kommer det att dröja till åtminstone 2025 innan större förändringar såsom hybrid-drift blir ekonomiskt lönsamma i lastbilstrafik – om oljeprisfallet under 2014 fortsätter dröjer det sannolikt längre. För att få ett genomslag tidigare krävs därför nya stödformer och regleringar.

"Kort kan jag säga att med den teknologin som finns idag, och de kostnader som är förknippade med den teknologin, med avsaknad av policyliknande instrument så dröjer det innan det är kommersiellt gångbart. Det dröjer framåt 2025 med de simuleringar vi gör. ... Därför står vi och väntar nu. Strategin är helt klar, att det är åt det här hållet vi måste gå. Men nu är vi i ett vänteläge, och nu är den intressanta frågan: vill samhället förkorta den här tiden? Vill man lägga den nån gång 2020? Då kommer det att krävas policyincitament." (Intervju L)

Tekniken för lastbilselektrifieringens första steg – hybrider utan laddning från elnätet – finns, men marknaden saknas. Beträffande nästa elektrifieringssteg – laddhybrider och helektriska fordon – är osäkerheten ännu större. Detta gäller både internationellt och i Sverige. Det innebär att Sverige är mycket långt från den i *Fossilfrihet på väg* angivna målsättningen att 83 % av svenska distributionslast-bilars trafikarbete ska kunna ske med eldrift år 2030 (SOU, 2013:84). Samtidigt påpekar en representant för en större firmabilsägare att byten till elektrifierade stadsfordon skulle kunna gå förhållandevis fort om rätt förutsättningar gavs. Då handlar det dels om att det måste finnas en etablerad infrastruktur för laddning/kraftöverföring, och dels att det måste gå att motivera inköp av elektrifierade fordon ekonomiskt, med en rimlig avskrivningstid (Intervju Ä).

När det gäller bussar ser det något ljusare ut i och med att en marknadsformeringprocess är initierad. Men för laddhybrider och helektriska bussar handlar det ännu så länge om enstaka demonstrationer. Även här står vi därmed långt ifrån den storskaliga implementering och spridning som krävs för att nå målet. Ett av flera problem i marknadsformeringen för stadsbussar, förutom den tidigare noterade låsningen till "fossilfritt", är kollektivtrafikens långa upphandlingsperioder som binder operatörerna vid en viss teknik för avsevärd tid, vanligen 6–8 år med option om förlängning. Ett annat problem är att kollektivtrafikbolagen i Sverige, till skillnad från motsvarande bolag på kontinenten, saknar egna resurser för fordonsinköp. Med sådana resurser skulle kollektivtrafikbolagen kunna skapa en initial marknad där man tar till sig tekniken i begränsad omfattning, drar lärdom från driftserfarenheter i en tidig kommersiell fas och ger värdefull återkoppling

till tillverkarna. Detta skulle leda till en osäkerhetsreduktion som gör det möjligt att i efterföljande upphandlingar definiera funktionskrav som premierar den nya tekniken och därmed uppmuntrar de privata bussoperatörerna att ta till sig den. På så vis skulle man kunna få till stånd en stegvis introduktion av tekniken med hjälp av politiskt konstruerade nischmarknader (se stycke 2.1.3). Sådana möjligheter saknas dock i nuläget. Sammantaget bedöms *marknadsformeringen* som en *svag* funktion i det svenska systemet för elektrifiering av tunga fordon i stadstrafik.

6.4.7 Sammanfattad analys

I tabell 6:2 nedan sammanfattas analysen av de sex funktionerna i det svenska systemet för elektrifiering av tunga fordon i stadstrafik. Analysen lyfter fram *entreprenöriellt experimenterande* som en stark funktion. Funktionerna *kunskapsutveckling och –spridning*, *resursmobilisering* och *legitimering* bedöms som medelstarka. Framför allt är styrkan hos dessa funktioner obalanserad i förhållande till innovationssystemets aktörer, med en ojämn kunskapsspridning och resursmobilisering, samt avsaknad av rutiner för att väga ihop olika aktörers intressen. Vidare pekar analysen ut två särskilt svaga funktioner i förhållande till det angivna målet: *vägledning av sökprocessen* och *marknadsformering*.

Tabell 6:2: Sammanfattad funktionell analys

Entreprenöriellt experimenterande	Bedömning: Stark
<i>Styrkor</i> • Långsiktig teknikutveckling under årtionden med stor variation i tekniska konfigurationer och produktapplikationer • Utveckling av både fordon och laddsystem • Val av parallellhybridteknik möjliggör bredd i produktapplikationer	<i>Svagheter</i> • I dagsläget framför allt fokus på bussapplikation
Kunskapsutveckling och -spridning	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Nära FoU-samarbete mellan fordonstillverkare och tekniska universitet och högskolor. • Fungerande produkter tyder på hög integrationskompetens hos fordonstillverkarna	<i>Svagheter</i> • Kunskapsutvecklingen är koncentrerad till fordons-tillverkare och tekniska högskolor. • Saknas ledande leverantörer av delsystem för fordonselektrifiering • Saknas kompetens/resurser för oberoende test/utvärdering • Saknas samverkan mellan, och samordning av lokala/regionala initiativ på användarsidan.
Resursmobilisering	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Två av världens ledande tunga fordonstillverkare finns i Sverige – de avsätter betydande utvecklingsmedel till elektromobilitet. • Offentliga stödsystem främst för FoU på Energi-myndigheten, FFI, och VINNOVA, där elektromobilitet anges som ett strategiskt viktigt område • Serieproduktion av hybridbussar etablerad	<i>Svagheter</i> • Avsaknad av synergier med lastbilar leder till låga produktionsvolymen och håller tillbaka investeringar. • Små och fragmenterade satsningar i kommuner/landsting • Högre investeringskostnad jämfört med traditionella fordon medför att ytterligare finansiella medel krävs för inköp av elektrifierade fordon och etablering av infrastruktur för laddning/elkraftöverföring

Legitimering	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Stora möjligheter att bygga legitimitet hos allmänheten med tysta, vibrationsfria fordon med inga eller mycket låga utsläpp • Fördelar för användare: minskad driftskostnad, vibrationsfri, tystare och jämnare gång samt potentiellt minskat behov av service och underhåll.	<i>Svagheter</i> • Implementering kräver samverkan mellan flera olika institutionellt åtskilda aktiviteter såsom linjeplanering, stadsplanering, och elkraftdistribution. • Saknas upparbetade rutiner för att väga samman olika intressen • Inriktningen på "fossilfrihet" motverkar stegvis elektrifiering (hybrider, laddhybrider) där diesel används delar av tiden.
Vägledning av aktörernas sökprocesser	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Retorik på en nationell nivå drivet av trafikens klimatpåverkan. Elektrifiering ses som en del av lösningen.	<i>Svagheter</i> • Fossilfrihet och bränslesubstitution snarare än energieffektivitet. • Styrmedel gör ingen åtskillnad mellan ny och mogen teknik • Förnybara bränslen den premierade lösningen för lägre luftföroreningar och CO₂-utsläpp.
Marknadsformering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Positiva prognoser för marknadsutvecklingen globalt • Svenska marknaden för hybridbussar har börjat formera sig • Demonstrationer av laddhybrid- och elbussar påbörjade	<i>Svagheter</i> • Marknaden för hybridbussar långt ifrån ekonomiska volymmål • Laddhybrid/elbuss enbart i test/ demonstrationsfas • Marknadsformeringen för elektrifierade lastbilar har avstannat.

6.5 Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden

6.5.1 Styrkor och svagheter i förhållande till mål

Det övergripande målet för det svenska systemet för Elektrifiering av tunga fordon i stadstrafik såsom det identifierats utifrån statliga utredningar och industrirapporter (se avsnitt 6.3.2) är tvåfaldigt:

- Ett nationellt spridningsmål, baserat på en övergripande vision om minskad klimatpåverkan genom en "fossiloberoende fordonsflotta". Detta konkretiseras till att 83 % av de svenska stadsbussarnas och distributionslastbilarnas trafikarbete ska ske med eldrift år 2030 (SOU, 2013:84).
- Ett industriellt utvecklingsmål, föreslaget av tunga partsföreträdare att svensk industri ska vara världsledande inom elektrifierade fordon vid samma tidpunkt. Detta förutsätter en internationellt inriktad teknisk utveckling som stöds av ett kommersiellt genomslag på hemmamarknaden.

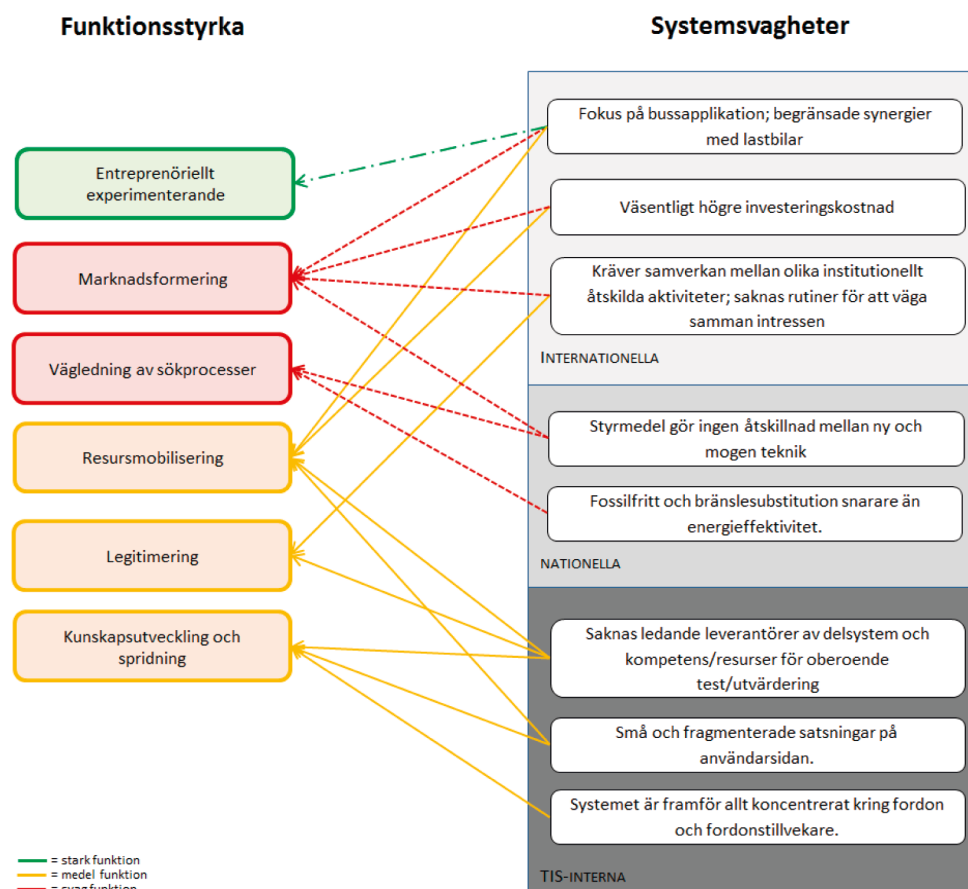
I hela Europa befinner sig för närvarande laddhybrider och helelektriska bussar (oktober 2014) i en demonstrations- eller tidig kommersialiseringsfas, samtidigt som introduktionen av elektrifierade lastbilar möter stora svårigheter. Därför kan initiativ för att påskynda marknadsutvecklingen i Sverige spela en mycket viktig roll både för de svenska företagen och internationellt, både genom att skala upp

teknikutprovningen och få upp volymerna. De internationella framgångar som svenska företag haft inom komplexa teknikområden som t.ex. elkraftöverföring och mobiltelefoni, har ofta grundats i att en stark och pådrivande hemmamarknad (Berggren och Laestadius, 2003; Fridlund, 1999). Avancerade kravställningar har drivit på teknisk utveckling och tidiga beställningar och resulterat i uppskalningsprocesser och volymtillväxt. Dessa erfarenheter visar på den nationella hemmamarknadens betydelse för utvecklingen under demonstrations- och tidiga kommersialiseringsfaser.

Som analysen ovan visar har det svenska systemet flera strukturella styrkor: den internationellt mycket konkurrenskraftiga tunga fordonsindustrin, den historiska närvaron av ett starkt elkraftblock, och en omfattande offentlig FoU-finansiering med samverkan mellan industri och högskola, framför allt i tidiga utvecklingsfaser. Samtidigt är systemet känsligt i och med att det i dagsläget är beroende av ett större fordonsföretags pionjärinsatser; det finns en brist på ledande leverantörer av nyckelkomponenter/delsystem och en avsaknad av fokus på Sverige inom elkraftföretagen (detta tycks nu dock vara på väg att vända). Bristen på teknik- och komponentresurser i det specifikt svenska systemet kan kompenseras genom Sveriges integration i EU som ger tillgång till världsledande komponent/delsystemleverantörer och ingenjörsföretag. En annan svaghet är användarsidans brist på oberoende resurser för test/utvärdering, och fragmenteringen av kollektivtrafikstrukturen med långa upphandlingsperioder som låser tekniken för avsevärd tid och kollektivtrafikbolagens avsaknad av egna resurser för fordonsinköp. I det svenska politiska systemet finns också en frikoppling från industriella utvecklingsintressen och behov av nationell marknadsutveckling. Detta uttrycks i att upphandlingar ofta ställer krav som i praktiken ger prioritet åt utländska leverantörer även på områden där svenska företag har en mycket lovande teknik.

Dessa strukturella styrkor och svagheter påverkar systemets funktionella dynamik. Genomgången ovan av dessa systemfunktioner, i relation till målen, har framhållt styrkan i funktionen *entreprenöriellt experimenterande*. Den har också påvisat en stark *kunskapsutveckling* inom delar av systemet med omfattande samarbete mellan industri och högskola, men även en obalans i relation till användarsidan. Vidare visar genomgången på en avsevärd *resursmobilisering*, genom omfattande insatser av främst en fordonstillverkare, och ett betydande offentligt FoU-stöd till fordonselektrifiering. Detta omfattar dock inte stöd till tidiga marknader, och har åtminstone tidigare haft en slagsida till personbilar. Hittills har inte heller teknikblocket inom elkraft (Vattenfall, ABB, m.m.) mobiliserats för elektrifiering i den tunga fordonstrafiken i någon större grad, även om lovande tecken kan skönjas. Genomgången visar också att det finns en stark legitimitet för alternativ till konventionell dieseldrift och ett växande antal lokala tester av elektrisk drivning. Men dessa konkurrerar med andra förnybara, men mindre energieffektiva alternativ såsom biogas. *Legitimeringen* för elektrifiering försvagas också av osäkerhet och brist på erfarenhet av systemaspekter som ruttplanering, laddstationsinvesteringar, anpassning av stadsplanering och långsiktiga kostnader.

Två systemfunktioner bedöms som svaga. En av dem är *vägledning av aktörernas sökprocesser*. Här har den politiska fokuseringen, nationellt och i viktiga regioner, på ”fossilfrihet” och förnybara bränslen snarare än teknikutveckling för energieffektivisering motverkat stegvisa satsningar på elektrifiering, eftersom de första elektrifieringstegen inbegriper en fortsatt, om än minskad, användning av fossilbränslen. Stora resurser har lagts på utredningar av och stöd för ”fossilfria fordon”, exemplifierat av utredningen *Fossilfrihet på väg*. Denna föreslår bl.a. förutom bibehållet skatteundantag på biobränslen, att ”fossiloberoende” distributionslastbilar ska stödjas med miljöbilspremier på 250 000 kr oavsett om det handlar om hybrider/elfordon eller fordon som drivs av gas eller etanol. Sådana ”teknikneutrala” subventioner som inte skiljer på ny och mogen teknik, gynnar i praktiken den mogna tekniken och ger mycket svaga incitament för elektrifiering. *Marknadsformeringen* är en annan viktig systemfunktion med flera svagheter. Det handlar om obalans i FoU-systemet, med stora resurser som satsas på teknisk utveckling, men mycket mindre på stöd för tidig marknadsutveckling. Dessutom finns det institutionella trögheter i kollektivtrafiksystemet som fördröjer införandet av ny teknik. Bristen på industriella insikter i det politiska systemet har också spelat in, med ett åtföljande ointresse att bidra till tidiga marknader för svenskutvecklad teknik. Strukturella systemsvagheter på olika nivåer (TIS-intern, Nationell och Internationell) och relaterade funktioner sammanfattas i figur 6:2.



Figur 6:2. Strukturella systemsvagheter på olika nivåer (TIS-interna, Nationella och Internationella) och relaterade funktioner.

De svagaste av systemets funktioner, *vägledning av aktörernas sökprocesser* och *marknadsformering*, kan direkt relateras till policy. Genom rätt policy-åtgärder finns det dessutom goda möjligheter att påverka *kunskapsutveckling och spridning*, *resursmobilisering*, och *legitimering* i positiv riktning.

6.5.2 Systemsvagheter och policy-behov

Elektrifierad drift av tunga fordon i stadsmiljö kan skapa ett antal fördelar utöver de minskade koldioxidutsläpp som betonas i fossilfri-utredningen: oöverträffad energieffektivitet jämfört med alla typer av förbränningsmotorer, mer attraktiv kollektivtrafik genom tystare och mer bekväma transporter, mer tilltalande stadsmiljöer genom lägre buller och utsläpp nära noll, och därigenom också nya frihetsgrader i stadsplaneringen att skapa tätare och grönare städer.

För att förverkliga dessa möjligheter och övervinna innovationssystemets nuvarande svagheter vad gäller främst *vägledning av aktörernas sökprocesser* och *marknadsformering*, men även *kunskapsspridning*, *legitimering* och *resursmobilisering*, krävs genomtänkta och ambitiösa politiska insatser, som beaktar de långa ledtider som präglar systemets utveckling. Kollektivtrafiken i Sverige styrs genom omfattande upphandlingar med detaljerade funktionskrav, och därefter avtal med löptider på 6–8 år, med option på förlängning. Själva bussarna har vanligen en livstid om minst 10 år. Om 83 % av stadsbussarnas trafikarbete ska ske med eldrift 2030 innebär det i princip att endast el- och laddhybridbussar får vara i drift vid denna tidpunkt. Senast från 2022–2024 måste då samtliga stora upphandlingar vara specificerade så att enbart sådana bussar kvalar in. I nuläget är inga elbussar i reguljär kommersiell trafik i Sverige och laddhybrider har endast prövats under ett år i en stad. Målet 83 % elektrifiering innebär att gå från <1% till 100 % av fordonen, inklusive omfattande investeringar i laddinfrastruktur, på en historiskt mycket kort tid. För att förverkliga en sådan *marknadsutveckling* krävs en mycket tydlig *vägledning av aktörernas sökprocesser*. Samtidigt får man inte fokusera alltför mycket på tidsmålet 2030, eftersom man då riskerar att forcera fram oövertänkta teknikbeslut. Det centrala är inte det absoluta tidsmålet, utan att riktningssignalen blir tydlig. Vilken policy som utvecklas och genomförs de närmaste åren blir därmed helt avgörande.

Precis som bussar är elektrifierade lastbilar (hybrider, laddhybrider eller rena elfordon) väsentligt energieffektivare än gas- eller etanoldrivna fordon i stadsmiljö, och innebär också andra fördelar såsom reducerade utsläpp av lokala föroreningar och tystare trafik. Sådana lastbilar innebär lägre driftskostnader men avsevärt högre inköpskostnader än konventionella fordon, där problemet är att åkerier har betydligt kortare avskrivningstider än stadsbussoperatörer. Samtidigt är användarna av lastbilar en synnerligen heterogen grupp, framför allt om man inkluderar specialfordon. Här finns t.ex. operatörer av sopbilar, en grupp som underkastas kommunala upphandlingskrav och därmed är föremål för direkt politisk styrning. I gruppen finns dessutom firmabilsägare, som i sig är en heterogen grupp bestående av en mängd olika aktörer. Därmed kan det finnas det möjligheter att identifiera specifika grupperingar av användare som behåller fordonen längre och därmed kan vara beredda att acceptera längre avskrivningstider. Sådana

marknadsnischer är betydelsefulla i ett initialskede. Inte desto mindre är ekonomiskt stöd avgörande för att få igång en spridning av elhybridlastbilar i nuvarande skede. Det är då viktigt att retorik om ”teknikneutralitet” inte får styra på så vis att de också inbegriper mogen, billigare teknik, såsom etanol- eller gasfordon, där det finns en etablerad stödjande infrastruktur. Som innovationsforskningen övertygande visat, skulle en sådan utformning medföra en utträngning av investeringar i den mer oprövade tekniken, i detta fall elektrifiering. Förutom inköpssubventioner för elektrifierade lastbilar kräver en elektrifiering av städernas godstrafik också en funktionell laddinfrastruktur. Erfarenheterna från bussområdet är då mycket viktiga.

Statligt FoU-stöd har varit betydelsefullt för *resursmobiliseringen* i den tidiga utvecklingen av systemet för elektrifiering av tunga fordon för stadstrafik. Framför allt har det medfört en riskdelning för fordonstillverkarna, något som gjort det lättare att motivera en långsiktig och osäker teknikutveckling. Men givet den fas systemet befinner sig i nu och de mål som är satta, är det minst lika viktigt att stödja marknadsutveckling som teknikutveckling. En viss omfördelning av de statliga insatserna är därför motiverat; från FoU-stöd till stöd riktat mot användarsidan. Av särskild vikt är här utprovning, test och värdering av integrerade system som inkluderar både fordon, energiförsörjning och infrastruktur, samt utveckling av rutiner för att väga samman olika intressen vid projektering, installation och drifttagning av sådana system. Det är också viktigt att skapa förutsättningar på en nationell nivå för att kunna dra lärdom från lokala initiativ, både i Sverige och internationellt.

Sammantaget bör huvudpunkterna i en policy för att övervinna innovationssystemets brister vad gäller *ojämn kunskapsspridning* och *legitimering*, *splittrad vägledning*, samt *otillräcklig resursmobilisering* och *marknadsformering* innefatta åtaganden som kan påverka systemets svaga och medelstarka sidor i närtid, d.v.s. fr.o.m. de upphandlingar som utannonseras 2015 och framåt.

- *Nationella riktlinjer för upphandlingskrav som stöder successiv elektrifiering av busstrafiken.* Sådana krav kan formuleras som en kombination av minskad fossilanvändning och väsentligt ökad energieffektivitet, och därmed bygga vidare på de effektivitetskrav som har börjat göra inbrott i upphandlingen av kollektivtrafiken. Detta innebär i praktiken att fordon med enbart förbränningsmotor, inklusive konventionella gasbussar, fasas ut. Krav på ökad energieffektivitet bör föras in redan 2015 och successivt skärpas under en längre tidsperiod, förslagsvis 2015–2030.
- *Supermiljöfordonspremier till tunga fordon.* Personbilsinköp har sedan slutet av 1990-talet åtnjutit diverse miljöbilspremier vilket i städerna inneburit en indirekt subvention av privatbilismen relativt kollektivtrafiken. I framtiden bör huvuddelen av stöden i stället inriktas till tunga stadsfordon för att kompensera för de osäkerheter som idag försvårar inköp av både elektrifierade bussar och lastbilar. Omfattningen på premien bör beräknas utifrån en enhetlig modell för alla tunga ”miljöfordon” som beaktar både reduktion av klimatskadliga gaser och minskad energiförbrukning. Genom en sådan kombination undviks det problem som var förenat med 1990-talets etanolsatsningar, där stödet till s.k. miljöbilar ofta innebar en subvention av fordon med sänkt energieffektivitet, på tvärs mot EUs målsättningar och riktlinjer.

Förslaget innebär differentierade subventioner beroende på drivmedel (diesel, etanol, gas, RME, HVO, etc) och grad av elektrifiering (hybrid, laddhybrid, hel-elektrisk). Stöden bör trappas ned gradvis, för att vara helt avvecklade efter 10 år, d.v.s. omfatta 2015–2025.

- *Nationellt stöd för investeringar i laddinfrastruktur för tung stadstrafik.* Det pågår för närvarande en snabb utveckling av tekniken för snabbladdning av tunga fordon, samtidigt som volymerna fortfarande är mycket låga. Det innebär att de tidiga investeringarna som spelar en nyckelroll för utvecklingen tar en stor kapitalrisk eftersom utrustningen idag är dyrbar samtidigt som den kommer att åldras snabbt. För att lyfta av denna risk och stimulera de investeringar som är nödvändiga både för buss- och lastbilstrafik, krävs tidsbegränsade statliga stödinsatser. Inledningsvis kan dessa riktas in på busstrafik, men i en senare fas öppna upp för en växande flora av godsfordon. I takt med att elektrifierad trafik ökar i omfattning och acceptans kan stöden avvecklas. Investeringarna kan då skötas rent kommersiellt av energibolagen, men i nuvarande tidiga fas är den upplevda osäkerheten/risken alltför stor för att kommersiella aktörer ska göra tillräckliga egenfinansierade investeringar. Tidsperioden för sådant stöd bör ta hänsyn till planeringens ledtider och behovet av resursmobilisering, lämpligen 10 år, d.v.s. 2015–2025.
- *Stöd till formering och utveckling av lärandenätverk kring elektrifierad tung stadstrafik.* I dagsläget är kunskapsutvecklingen och kunskapsspridningen på detta område mycket ojämnt fördelad mellan olika typer av producenter och användare/beställare. Samtidigt saknas erfarenhetsutbyte kring verkliga driftstillämpningar och tillgängliga data om utsläpp, ekonomi, tillförlitlighet, m.m. Därför är det betydelsefullt med nationellt stöd till en långsiktig nätverksverksamhet som omfattar alla berörda parter – tillverkare av fordon och laddinfrastruktur liksom kollektivtrafikbolag, lastbilsägare, bussoperatörer, eldistributionsbolag, tjänstemän, konsulter m. m. – och som drivs av en oberoende instans och stöds av relevanta forskningsinsatser. Tidsperiod 2015–2025.

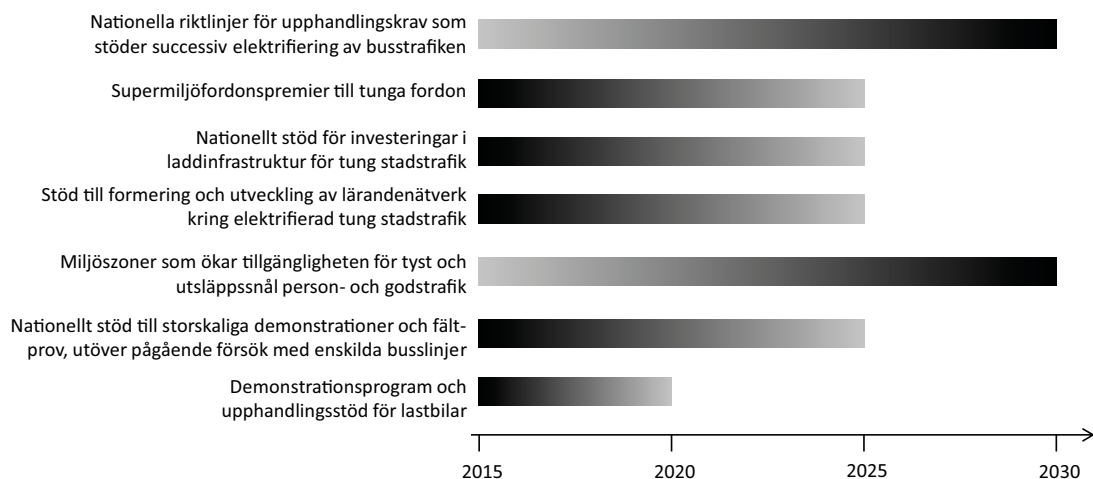
Följande åtaganden avser att adressera systemets svaga och medelstarka sidor på lite längre sikt:

- *Stegvis införande av miljözoner som ökar tillgängligheten för tyst och utsläppssnål person- och godstrafik.* I ett antal europeiska storstäder, från Hamburg till London, pågår utredningar och förberedelser för införande av ”ultralåga utsläppszoner”, i vissa fall med sikte på nollutsläppszoner 2025. Denna typ av zonreglering kan med fördel kombineras med utökade accesstider för tyst och utsläppssnål trafik så att sådana godsfordon kan lasta och lossa sena kvällar och tidiga morgontider, vilket skulle ha stor betydelse för framkomlighet och därmed också kostnader. För att få åsyftade effekter måste zonregleringen stödjas av investeringar i laddinfrastruktur. Eventuellt kan sådana lokala initiativ också stödjas av utvalda nationella demonstrationsprogram (se nedan).

- *Nationellt stöd till storskaliga demonstrationer och fältprov, utöver pågående försök med enskilda busslinjer.* Med nationellt stöd för sådana satsningar kan ny teknik testas i verklig drift, och de osäkerheter övervinnas som idag begränsar elektrifieringens legitimitet. För att skapa internationell trovärdighet och genomslag är det viktigt att även söka attrahera utländska fordonstillverkare, och att engagera oberoende resurser för jämförande tester och utvärderingar. Det är också väsentligt med erfarenhetsutbyte på EU-nivå kring teknikbedömning och kravformulering. Här kan insatserna dra nytta av de lärdomar som idag utvecklas inom ZeEUS – Zero Emission Urban Bus Systems, där Volvo, Vattenfall, forskningsinstitutet Viktoria och Storstockholms Lokaltrafik deltar som svenska partners (Maasing, 2014). För att få till stånd denna typ av program krävs omfattande förberedelser med konsortiebildning, partsöverenskommelser m.m., varför startsträckan kan bli utdragen. Troligen finns här också möjligheter att söka kompletterande EU-medel. Tidsperioden för stödet bör därför vara relativt lång, förslagsvis tio år, d.v.s. 2015–2025.
- *Demonstrationsprogram och upphandlingsstöd för lastbilar.* Då lastbilar har kortare payoff-tider, mer oregelbundna rutter och underhållsmöjligheter, samt att det finns färre möjligheter att ställa specifika krav på inköpen, kommer elektrifiering ske senare än för stadsbussar. Likväl är det viktigt att tidigt inkludera lastbilar i åtgärder för vägledning och marknadsutveckling. Ett första steg är att utforma och subventionera upphandling av elektrifierade specialfordon, såsom sopbilar. För att få några betydelsefulla effekter måste demonstrationsprogrammen samordnas med investeringar i laddinfrastruktur. Denna kan i början göras relativt enkel, då distributionsfordon tenderar att köra relativt korta sträckor. Anordningar för natt- och lunchladdning kan därför vara tillräckliga under en övergångstid.

Ett första steg kan vara subventionera upphandling av elektrifierade specialfordon, såsom sopbilar, förslagsvis genom upphandlingstävlingar under 5 år, d.v.s. 2015–2020.

Figur 6:3 sammanfattar förslagen om politiska åtaganden längs en tidsskala. Dessa förslag utgör en kombination av olika former av krav, incitament, stöd och subventioner. Stöd och subventioner behövs för att kompensera för osäkerheter och höga initialkostnader i en tidig marknadsfas. För att uppmuntra till kontinuerlig kostnadsreduktion bör nivån på subventionerna trappas ned gradvis, i takt med att kunskap om teknikens möjligheter och begränsningar utvecklas och sprids till fler aktörer och tekniken blir mer konkurrenskraftig. En bidragande faktor till en ökad konkurrenskraft är etablering av laddinfrastruktur, gradvis upptrappade upphandlingskrav som stöder successiv elektrifiering, samt stegvis implementering av incitament som medger en högre tillgänglighet för tyst och utsläppssnål person- och godstrafik i städer.



Figur 6.3. Politiska åtaganden och tidsperioder – gråskalor syftar till gradvis upptrappning av krav och incitament respektive nedtrappning av stöd och subventioner

6.6 Referenser

- ABB (2014) ABB och Volvo i globalt samarbete om snabbladdning av el- och elhybridbussar, Pressmeddelande ABB 2014-07-21.
- Abernathy, W (1978). The Productivity Dilemma. Roadblocks to Innovation in the Automobile Industry. Baltimore: John Hopkins University Press.
- AEA 2011. Reduction and Testing of Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Heavy Duty Vehicles – Lot 1: Strategy. Final Report to the European Commission 22/02/2011.
- Andersson, K & Björler, P (2000): Volvos HSG-buss: Erfarenheter från fältprov, KFB-Rapport 2000:72.
- APTA, 2013. "More than 35% of U.S. Public Transit Buses Use Alternative Fuels or Hybrid Technology." Transit News, 22 april, 2013.
- Bauner, D & Engdahl, H (2011) Elektromobility – Gemensamma resurser: Behov och utbud av provresurser i Sverige för utveckling och produktion av fordon med elektrisk drivlina, Viktoriainstitutet.
- Berggren, C. och Laestadius, S. (2003). Co-Development and Composite Clusters-the Secular Strength of Nordic Telecommunications. Industrial and Corporate Change, 12, 1, 91–114.
- Berggren, C; Magnusson, T; Sushandoyo, D (2015). Transition pathways revisited: established firms as multilevel actors in the heavy vehicle industry, Research Policy (forthcoming).
- Chinabuses (2014) "2000 Units of CSR Electric Buses will Start Operation", 2014-08-05, "Yutong E7 Electric Bus to Exceed 1,000 Units in Sales Volume", 2014-05-28.

- Cleantechnica, 2014. "Smith Electric Vehicles Stops Production Of Its EVs", May 2, 2014
- Faugert, S; Arnold, E; Eriksson, M-L; Jansson T; Segerpalm, H; Thoresson-Hallgren, I; Åström, T (2007): Samverkan för uthållig konkurrenskraft – Utvärdering av fordonsforskningsprogrammet Gröna Bilen, Faugert & Co Utvärdering.
- FFI, 2010: FFI:s Visionsdokument, Styrelsebeslut 2009-06-11, uppdaterat 2010-02-12
- Folkesson, A (2008): Towards sustainable urban transportation – test, demonstration and development of fuel cell and hybrid-electric buses, Doktorsavhandling, KTH.
- Fridlund, M. 1999. Den gemensamma utvecklingen – staten, storföretaget och samarbetet kring den svenska elkrafttekniken. Stockholm: Brutus Östlings bokförlag.
- Frost och Sullivan (2012) Aggressive Expansion Strategy Key to Leveraging Opportunities in EMEA's Hyper-Competitive Hybrid/Electric Market, Pressmeddelande Frost och Sullivan 2012-08-13.
- Hagbini, S. 2013. Integrated Motor Drives and Battery Chargers for Electric or Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Doktorsavhandling, Chalmers.
- Howell, S. Henry Lee, H. and Heal, A. 2014. Leapfrogging or Stalling Out? Electric Vehicles in China. Discussion Paper 2014-05. Environment and Natural Resources Program, Belfer Center for Science and International Affairs, John F. Kennedy School of Government, Harvard University.
- Hyperbus (2014): Introducing plug-in hybrids in the city of Gothenburg: the hyper bus project, LIFE10 ENV/SE/000041.
- Isaksson, P (2014) El på väg i Södertälje", eBuss2, juni 2014, Sveriges Bussföretag
- Keolis, 2013: Stor börsaffär ger stockholmarna en bekvämare och miljövänligare resa Pressmeddelande Keolis 2013-12-20.
- Laurikko, Juhani; Nuottimäki, Jukka; Nylund, Nils-Olof. 2012. Improvements in test protocols for electric vehicles to determine range and total energy consumption 34th FISITA World Automotive Congress, Beijing, China. Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer-Verlag. VOL 8, pp. 1733–1744
- Lowe, M., Aytekin, B., Gereffi, G., 2009. Public Transit Buses: A Green Choice Gets Greener, Manufacturing Climate Solutions, Centre on Globalization, Governance & Competitiveness (CGGC), Duke University, Durham (NC).
- Maasing. U (2014) Stort europeiskt projekt för elbussar, Bussmagasinet 2014-01-25.
- Navigant Research 2014. Hybrid Electric, Plug-In Hybrid, and Battery Electric Light Duty, Medium Duty, and Heavy Duty Trucks and Vans: Global Market Analysis and Forecasts, Navigant Research.
- Pike Research 2012. Electric Drive Buses. August 17. ("More than 75,000 Electric Drive Buses Will Be on Roads Worldwide by 2018.") Navigant Research

Roadmap Sweden 2013 En färdplan för att främja elfordon i Sverige, nå klimatmålen och samtidigt stärka den svenska konkurrenskraften, Roadmap Sweden.

Roadmap Sweden 2014: En strategisk agenda för innovation och utveckling av E-mobility i Sverige. Roadmap Sweden

Sandén, B. A. and Hillman, K. M., 2011. A framework for analysis of multi-mode interaction among technologies with examples from the history of alternative transport fuels in Sweden. *Research Policy* 40, 403–414.

Sebelius, S och Bark, P, 2014 Elektrifierad citylogistik. Utveckling av elektrifierade distributionsfordon för större tätorter, TFK-rapport 2014:1

SOU 2013:84 Fossilfrihet på väg Betänkande av Utredningen om fossilfri fordonstrafik, Stockholm 2013.

Sushandoyo, D & Magnusson, T (2014): Strategic niche management from a business perspective – taking cleaner vehicle technologies from prototype to series production, *Journal of Cleaner Production*, 74, 17–26

Sveriges Åkeriföretag, 2013. Fakta om åkerinäringen, Sveriges Åkeriföretag

Tidblad-Lundmark, S; Alatalo, M; Thiringer, T; Arfa Grunditz, A (2014): Vehicle components and configurations, in: Sandén, B and Wahlgren P: Systems perspectives on electromobility, Chalmers University of Technology, p. 22–32

Umeå, 2014, Storsatsning på världsunika elbussar, Pressmeddelande Umeå kommun 2014-02-12

Volvo, 2014 Största hybridordern i Sverige hittills: Nobina beställer 47 Volvo hybridbussar till Sundsvall och Örnsköldsvik, Pressmeddelande Volvo 2014-05-22

6.7 Appendix

Genomförda intervjuer

Alias	Organisation	
A	Representant för Volvo Group Trucks Technology, Advanced Technology & Research	2012-03-16, 2014-03-03
B	Representant för Volvo Group Trucks Technology, Advanced Technology & Research, Alternative Vehicle Efficiency	2012-03-16, 2014-03-03
C	Bus Fleet Manager Nobina	2011-03-30
D	Key Account Manager MAN	2014-10-02
E	Postdoc Chalmers	2014-04-01
F	Representant för E-mobility R&D Program Vattenfall	2014-04-04
G	Affärsutvecklare Göteborg Energi	2014-03-31
H	Omvärldsanalytiker Göteborg Energi	2014-03-31
I	Representant för Kollektivtrafiksekretariatet Västra Götalandsregionen	2014-03-04
J	Representant för Volvo Bus Corporation, Public Affairs	2014-03-05
K	Representant för Volvo, Bolagsstyrning (f.d.)	2014-03-03
L	Specialist Transportlösningar Volvo Group Trucks Technology	2014-03-05
M	Miljöansvarig Schenker	2014-04-01
N	Regionschef Fuso	2014-10-01
O	Försäljningsagent Ebusco	2014-10-01
P	Representant för Opbrid	2014-10-01
Q	Representant för Volvo Bus Corporation, kommersiell utveckling	2014-10-01
R	Representant för Scania, hybridutveckling	2011-09-15
S	Senior Adviser Volvo	2014-01-20
T	Representant för ElectriCity	2014-04-02
U	Representant för MAN	2014-10-02
V	Projektledare Scania	2014-10-01
X	Teknisk chef Volvo (f.d.)	2010-03-01
Y	Senior Area Manager Solaris	2014-10-02
Z	Ansvarig för upphandlad linjetrafik, Sveriges Bussföretag	2014-11-14
Å	Representant för Volvo Group Trucks Technology, Product Platform Electromobility	2007-04-16, 2014-03-04
Ä	Representant för PostNord	2014-11-14

Kollektivtrafikbolag/-förvaltningar i Sverige

Bolag/förvaltning	Ansvarar för tätortstrafik i
Blekingetrafiken	Karlskrona, Ronneby, Karlshamn och Sölvesborg
Bodens kommun	Boden
Piteå kommun	Piteå
Dalatrafik, AB	Avesta, Borlänge, Falun, Ludvika, Mora
Gällivare kommun	Gällivare, Malmberget, Koskullskulle
Hallandstrafiken AB	Halmstad, Falkenberg, Varberg
Jönköpings Länstrafik	Jönköping, Nässjö, Tranås, Vetlanda, Värnamo
Kalmar Länstrafik	Kalmar, Oskarshamn, Västervik
Karlstadsbuss	Karlstad
Kiruna kommun	Kiruna
Kollektivtrafikförvaltningen UL	Uppsala, Enköping
Kollektivtrafikmyndigheten i Västernorrlands län	Härnösand, Sollefteå, Sundsvall, Örnsköldsvik, Kramfors, Timrå, Ånge
Luleå Lokaltrafik AB	Luleå
Länstrafiken Sörmland	Eskilstuna, Katrineholm, Nyköping, Strängnäs
Länstrafiken i Jämtlands Län AB	Östersund
Länstrafiken Kronoberg	Växjö, Älmhult
Länstrafiken Västerbotten	Umeå
Länstrafiken Örebro	Örebro, Karlskoga, Lindesberg, Kumla
Piteå kommun	Piteå
Region Gotland, Enhet Kollektivtrafik	Visby
Skelleftebuss AB	Skellefteå
Skånetrafiken	Eslöv, Helsingborg, Hässleholm, Kristianstad, Landskrona, Lund, Malmö, Trelleborg, Ystad, Ängelholm
Storstockholms Lokaltrafik AB	Stockholms län
Värmlandstrafik AB	Arvika, Kristinehamn och Säffle
Västtrafik AB	Kungälv, Göteborg, Mölndal, Kungsbacka, Lerum, Alingsås, Borås, Ulricehamn, Falköping, Skara, Skövde, Lidköping, Mariestad, Trollhättan, Vänersborg, Uddevalla, Lysekil, Ljungskile, Strömstad
X-trafik	Bollnäs, Gävle, Hudiksvall, Sandviken, Söderhamn
Östgötatrafiken, AB	Finspång, Kisa, Linköping, Mjölby, Motala, Norrköping, Åtvidaberg

7 Bioraffinaderier

Hans Hellsmark, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i samarbete med Johanna Mossberg och Johanna Ulmanen, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Anders Holmgren, Alice Kempe och Jonas Lindmark, Energimyndigheten

7.1 Teknikområdet i ett globalt perspektiv

Enligt IEA är ett bioraffinaderi en hållbar process som förädlar biomassa till ett spektrum av biobaserade produkter som mat, kemikalier och material i kombination med el, drivmedel och/eller värme (IEA, 2009). Processen är biobaserad men liknas ofta vid ett oljeraffinaderis förädling av råolja, därav namnet bioraffinaderi. På grund av samproduktionen av flera biobaserade produkter skapas möjligheter till effektiv energiintegrering och ett bioraffinaderi ses därmed som ett resurseffektivt och ekonomiskt hållbart sätt att ersätta fossila produkter och minska utsläppen av klimatpåverkande gaser.

Globalt står transportsektorns utsläpp för ca 14 % av de totala utsläppen av växthusgas (IPCC, 2007). För EU-28 och Sverige är motsvarande siffra 19 respektive 32 % (Eurostat, 2014a). Siffror för kemisektorn rapporteras inte på samma sätt, men industrin uppskattar att ca 10 % av de fossila resurserna idag går till kemiindustrin och den står för 2 % av de globala utsläppen. Då är dock inte klimatpåverkan från användningen av de produkter branschen tillverkar inräknade. Den verkliga klimatpåverkan från sektorn är därför mycket större men också svårberäknad då sektorn levererar en stor mängd delkomponenter i system med väldigt olika livslängd och slutanvändning (Leimkuhler, 2010).

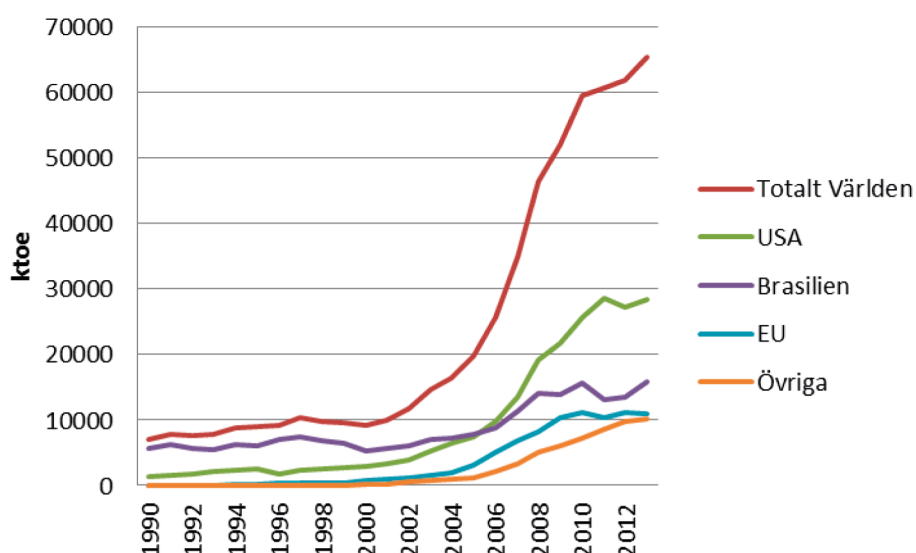
I jämförelse med el och värme, som kan produceras ekonomiskt konkurrenskraftigt från ett flertal förnybara energikällor (biomassa, sol, vatten, och vind), finns idag få ekonomiskt rimliga alternativ till att producera förnybara drivmedel och kemikalier utöver användandet av biomassa. För att på kort och medellång sikt nå kraftigt minskad klimatpåverkan från transportsektorn är en ökad användning av biodrivmedel en nödvändig men inte en tillräcklig åtgärd. Investeringar i alternativa transportmodeller, minskad fordonsvikt, energieffektivisering och ökad elektrifiering är avgörande komplement (IEA, 2011; SOU, 2013:84).

Samtidigt förutsätter elektrifiering och allt energieffektivare motorer en successiv och gradvis förändring av fordonsflottan så väl som kopplad infrastruktur (laddningssystem etc.). Förnybara drivmedel från biomassa kan helt eller delvis användas i existerande fordon och tillhörande infrastruktur, och genom t.ex. genom förgasning, kan biomassa användas som råvara för större delen av den etablerade kemin. Därmed kan klimatnytta uppnås i etablerade produktions- och

distributionsstrukturer. På det viset är utvecklingen av förnybara flytande och gasformiga¹⁰⁶ drivmedel och kemikalier ett viktigt komplement till andra åtgärder för att få ner utsläppen från transport och kemisektorn.

7.1.1 Marknadsutveckling av förnybara drivmedel

Satsningar på förnybara drivmedel har gjorts i många länder när oljepriset varit högt, t.ex. i samband med oljekriserna på 1970-talet, men de flesta har bordlagts när oljepriset normaliserats igen. Fram till 1990-talets början var det främst Brasilien som genom konsekvent långsiktigt stöd till landets sockerproducenter stod för produktion och användning av etanol som drivmedel. Sedan dess har produktionskapaciteten ökat och idag står USA, Brasilien och EU för 43, 24 och 16 % av den globala produktionen (BP, 2014). Enligt Eurostat (2014a) så utgjorde användningen av förnybara drivmedel (el inräknat) 5,1 % av den europeiska transportsektorn och 12,1 % av den svenska år 2012. I Brasilien, som har högst andel förnybara drivmedel i transportsektorn i världen, var den andelen 21 % år 2008 (IEA, 2011).



Figur 7:1. Produktion av förnybara drivmedel i världen. Källa: (BP, 2014).

¹⁰⁶ För gasformiga drivmedel finns redan viss infrastruktur (för naturgas och biogas men den kan likväl användas för den biometan som förväntas produceras via förgasning och metanisering av skogsråvara). Det byggs en handfull nya tankställen varje år och med det nya EU-direktivet, vars ambition är att det i medlemsländerna inte ska vara längre än 15 mil mellan tankställen för fordonsgas, kan utbyggnadstakten förväntas öka och täckningsgraden förbättras ytterligare.

Enligt IEA skulle det kunna vara möjligt att öka den globala andelen biobaserade drivmedel från dagens ungefär 3 % år 2010 till 27 % år 2050 på ett hållbart sätt. Enligt IEA:s scenario skulle det motsvara att ca 32 EJ (8 900 TWh) biobaserade drivmedel produceras, vilket i sin tur kräver ca 65 EJ (18 000 TWh) biomassa. Enligt en sammanställning av IPCC är den ekonomiskt och socialt hållbara potentialen för att använda biomassa för drivmedel, kemikalier, el och värme från restavfall och energigrödor någonstans mellan 120 EJ (33 000 TWh) och 155 EJ (43 000 TWh) (IPCC, 2011).

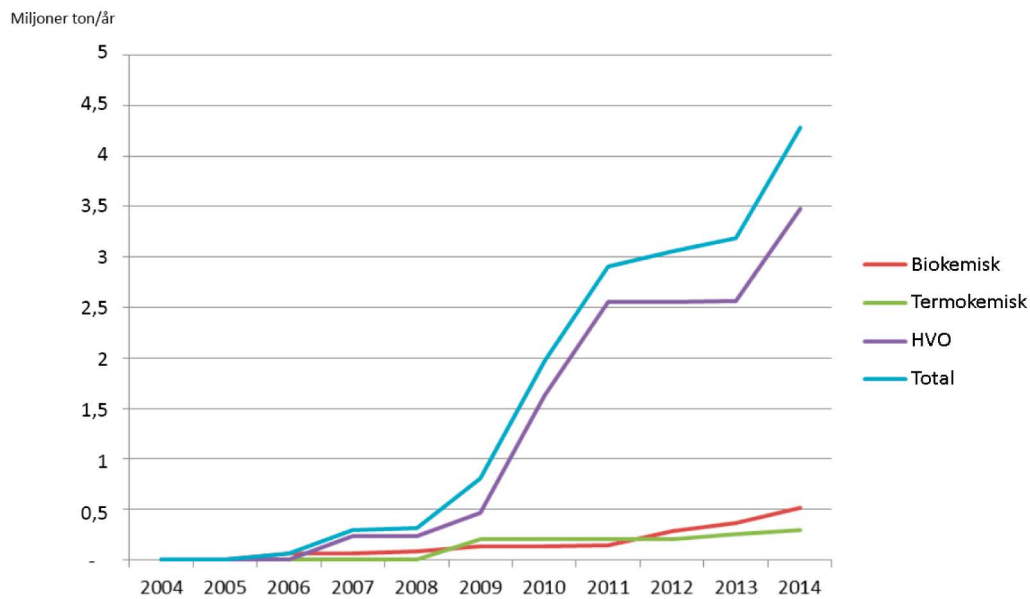
I dagsläget utgörs nästan alla förnybara drivmedel och kemikalier av biologiskt producerade molekyler – den så kallade första generationens produkter – vilka är baserade på jordbruksråvaror som vete, majs, sockerrör, och oljeväxter (t.ex. raps- och palmolja). En hög andel förnybara drivmedel och kemikalier kräver dock att avancerade processer, som gör all biomassa tillgänglig för drivmedels- och kemikalie- produktion utvecklas, och blir kommersiella (IEA, 2011).

7.1.2 Utvecklingsstatus: mer avancerade biodrivmedel och kemikalier

Jämfört med dagens biodrivmedel baseras de mer avancerade biodrivmedlen på *kemisk konvertering* av oljor och fetter som så tallolja, slakteriavfall, avfallsolja, palmolja (hydrogenated vegetable oil – HVO), samt på *bioteknisk och termokemisk konvertering* av lignocellulosa. HVO fick ett kommersiellt genomslag år 2007, då Neste Oil tog den första anläggningen i drift i Porvoo i Finland, och sedan dess har ytterligare tre storskaliga anläggningar driftsatts (se figur 7.2). År 2012 kom 2,4 % av världens biodrivmedelsproduktion från HVO, vilket motsvarar en produktion på ca 2,3 miljoner ton per år (IEA, 2013). Jämfört med bioteknisk och termokemisk konvertering av biomassa är HVO dock en mindre avancerad teknik med en väsentligen mer begränsad resursbas.¹⁰⁷

Utvecklingen av bioteknisk och termokemisk konvertering av lignocellulosa har hittills varit något av en besvikelse. År 2010 förutspåddes att den installerade kapaciteten skulle vara ca 680 000 ton drivmedel och kemikalier år 2012 inom OECD. I realiteten blev det dock inte mer än ca 140 000 ton varav det mesta i mindre pilot- och demonstrationsanläggningar med en kapacitet på under 75 000 ton per år (IEA, 2013). På grund av rådande förutsättningar har ett stort antal projekt avbrutits. Den faktiska produktionen är därmed försumbar.

¹⁰⁷ Ibland kallas HVO för "1.5-generationens drivmedel" för att antyda att den är mer avancerad jämfört med jordbruksbaserade biodrivmedel (s.k. "första generationen") men mindre avancerad jämför med tekniker för produktion av biodrivmedel från lignocellulosa (ibland kallat "andra generationen"). Tekniken för HVO baseras på existerande kemi och apparater från den petrokemiska industrin till vilka förbehandlingssteg och materialvalet har anpassats för att passa bioråvaran.



Figur 7:2. Ackumulerad kapacitet för produktion av mer avancerade biodrivmedel inom OECD (Bacovsky 2014).



Figur 7:3. Översikt av pilot, demonstration och kommersiella kemiska, biotekniska och förgasningsanläggningar som har byggts i IEA länder. Källa: IEA (2013).

Enligt data som samlas in av IEA (2013) är utvecklingen av kemisk, bioteknisk och termokemisk konvertering koncentrerad till USA, Kanada, Brasilien, Sverige, Finland, Norge, Nederländerna, Belgien, Tyskland, Italien, Österrike, Frankrike

och Spanien. Totalt har 48 pilot- och demonstrationsanläggningar i varierande skala byggts i dessa länder (se figur 7:3). Utöver detta sker det samtidigt mycket utveckling kring avancerade biodrivmedel och kemikalier i Kina där flera anläggningar nyligen byggts (Axelsson Linder, 2012).

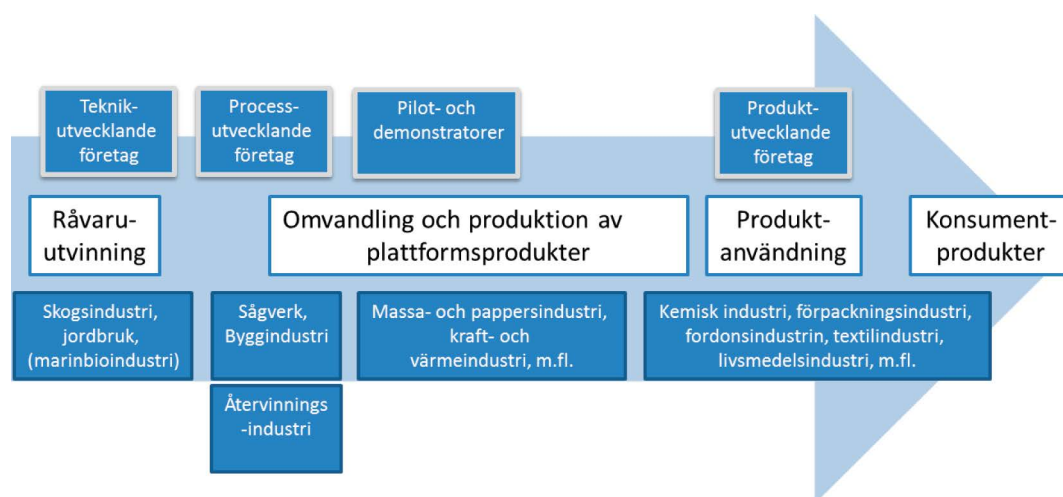
7.2 Strukturell analys

Sverige har under lång tid satsat på såväl förädling av skogsråvara till högvärdiga pappersprodukter och byggnadsmaterial, som på förädling av restprodukter och restavfall från staden, skogen och jordbruket till el, värme, biogas, etanol, metanol, DME (dimetyleter) och biodiesel.

Processerna som är under utveckling och av intresse i den här rapporten är råvaru-flexibla, vilket möjliggör användningen av en stor variation av biobaserade råvaror för att framställa en rad olika kemikalier, material, bränslen och energiprodukter. I följande avsnitt beskrivs de plattformsteknologier som definierar teknikområdet. Därefter beskrivs de nätverk och allianser som driver utvecklingen framåt. Strukturanalysen avslutas med att beskriva de institutioner som främjar alternativt hindrar utvecklingen av avancerade bioraffinaderier.

7.2.1 Avgränsning av det tekniska systemet: avancerade bioraffinaderier

Förverkligandet av avancerade bioraffinaderier är starkt beroende av tre huvudsakliga *plattformsteknologier* som föregås av olika försteg och leder till ett antal produkter (se figur 7:4). Dessa plattformsteknologier har redan nämnt och kan i huvudsak kategoriseras som antingen *termokemiska*, *biotekniska* eller *kemiska* processer (Pandey, 2011).



Figur 7:4. Värdekedja för produktion av biobaserade produkter.

Vissa *termokemiska processer* (så som förgasning) syftar till att bryta ner biomassan i dess beståndsdelar för att sedan bygga upp nya produkter av dessa.¹⁰⁸ Men termokemiska processer kan även användas för att öka energiinnehållet i biomassan samt att ändra dess egenskaper för att underlätta efterkommande processer – så kallade försteg eller förbehandling. Exempel på termokemiska förbehandlingsprocesser är torrefiering – där biomassan uppgraderas till biokol – och pyrolys – där biomassan uppgraderas till en bioolja.

Biotekniska processer utgår från fermentering eller enzymatisk behandling för att kunna nå en högre förädlingsgrad av biomassan. Det finns även intressanta råvaror som kan extraheras ur strömmar från industri som processar biologiskt material, t.ex. massabruk. Lignin är en sådan råvara som kan användas exempelvis som fastbränsle, förädlas vidare till miljövänliga bindemedel, nya material som kolfiber eller depolymeriseras till aromater (Joelsson och Tuuttila, 2012; Intervju D). En annan råvara tillgänglig i massabruk är tallolja – en restprodukt från massa- och pappersindustrin. Talloljan används sedan länge till att framställa bland annat fett- och hartssyror, som går till kemiindustrin bl.a. för tvättmedelstillverkning. På senare år har den dock p.g.a. skattemässiga fördelar¹⁰⁹ allt mer använts som råvara för framställning av biodrivmedel genom hydrering (HVO), d.v.s. *kemisk konvertering*.

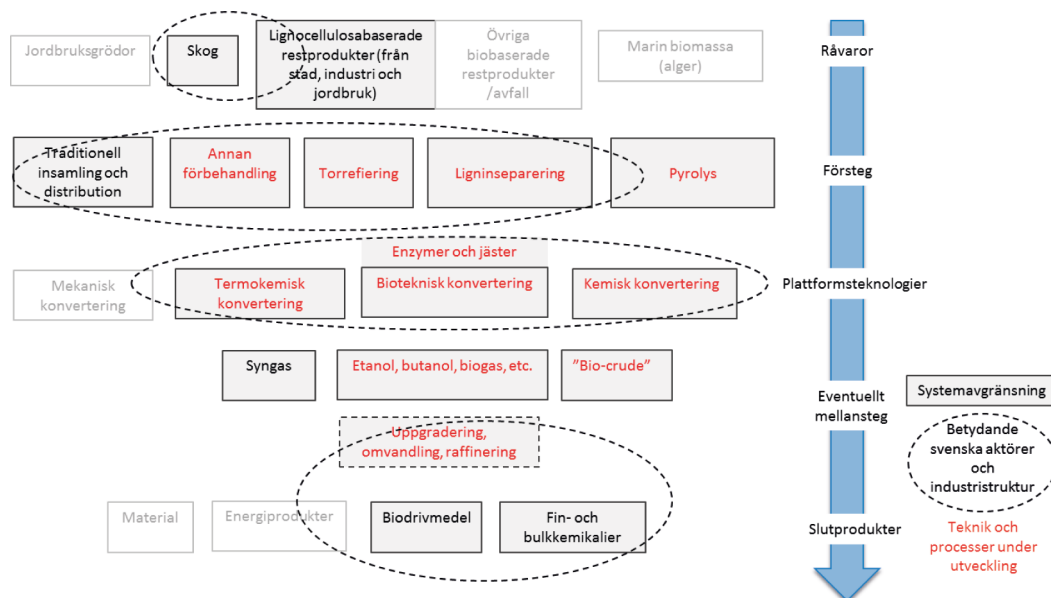
Bioraffinaderiets potentiella slutprodukter definieras i denna rapport inte närmare än drivmedel och bulk- respektive finkemikalier då variationen för vad som kan utvecklas med hjälp av de olika plattformsteknologierna är mycket stor.

7.2.2 Utveckling av aktörer, allianser och centrala nätverk kring plattformsteknologier och teknikspår

Ur en svensk kontext blir användningen av skogsråvara ett naturligt fokus för avancerade bioraffinaderier eftersom den största inhemska biomassarávaran är skogen och många olika företag i Sverige kan gynnas av att utveckla nya marknader för förädlad skogsråvara (se figur 7:5).

¹⁰⁸ Den absolut vanligaste termokemiska processen för biomassa idag är förbränning, vilken dock inte ger möjlighet till produktion av andra nyttigheter än värme och/eller elektricitet.

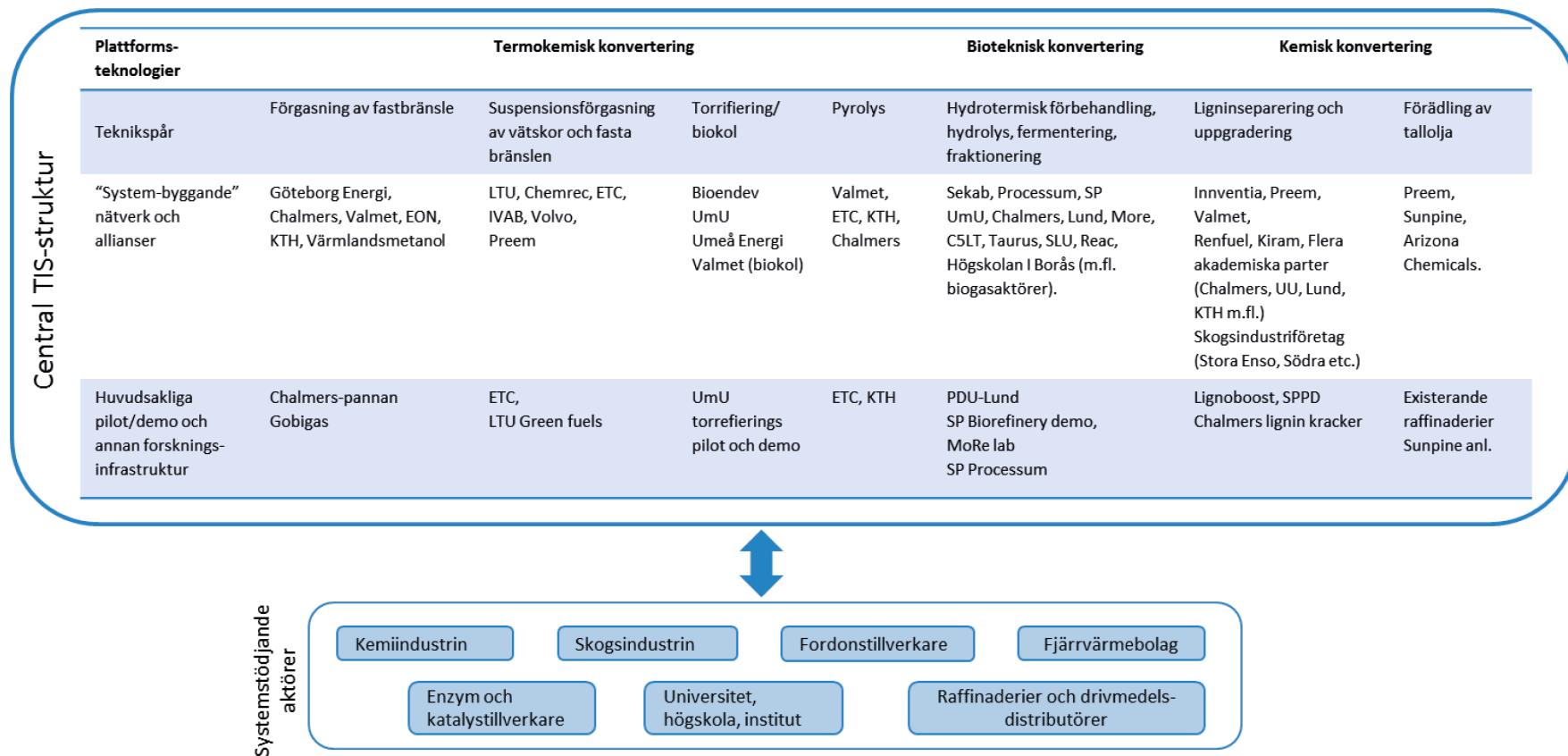
¹⁰⁹ Tallfettssyror har varit en av få globalt etablerade gröna kemiråvaror. Nu används de allt större utsträckning i Sverige för produktion av biodiesel och kemiindustrin ersätter råvarubortfallet med syntetiska fettssyror. Systemeffekterna (i form av ökade eller minskade CO₂ utsläpp) av denna användningsförskjutning går att diskutera men oavsett visar fenomenet ett exempel på den råvarukonkurrens som ibland uppstår mellan olika produktområden och komplexiteten i systemet.



Figur 7:5. Avgränsning av avancerade bioraffinaderier och därmed systemet som analyseras.

Bland dem som skulle kunna gynnas av en utveckling mot bioraffinaderier finns företag som ägnar sig åt råvaruutvinning, d.v.s. skogsindustrin och jordbruket som ger upphov till olika rest- och biprodukter som under rätt förutsättningar kan få ett ökat förädlingsvärde. Sågverk, återvinningsindustrin, massa och pappersindustrin, energisektorn, kemiindustrin m.fl. skulle kunna spela en viktig roll eftersom de har en teknologisk och organisatorisk struktur som lämpar sig väl för integration av de plattformstekniker som i denna rapport utgör avancerade bioraffinaderier. Kemiindustrin är inte bara lämplig för omvandling och produktion av plattform-produkter utan skulle tillsammans med bl.a. förpacknings-, fordons-, och livs-medelsindustrin även kunna utgöra framtida användare av de produkter som kan komma från avancerade bioraffinaderier på väg mot slutkonsument. Utvecklingen understöds av företag som ägnar sig åt teknik- och processutveckling, forskning och utveckling, och sist men inte minst produktutveckling.

Flertalet av dessa aktörer har kommit samman i systembyggande nätverk och allianser, där vissa ägnat sig åt utveckling av avancerade drivmedel och kemikalier från skogsråvara sedan 1970-talet (Hellsmark, 2010; Sandén och Jonasson, 2005; Ulmanen, 2013). Nätverk och allianser som uppstått har typiskt fokuserat på ett teknikspår under respektive plattformsteknologi. Nedan ges en översiktlig beskrivning av centrala nätverk inom varje plattformsteknologi, eventuella underliggande teknikspår samt utvecklingen av viktig fysisk infrastruktur. Dessa centrala TIS-aktörer är mer eller mindre beroende av att ytterligare aktörer är med och stödjer utvecklingen (se figur 7:6 för en sammanfattning).



Figur 7:6. Aktör och teknikstruktur TIS inom Sverige. De företag och organisationer som anges är exempel och ska inte ses som uttömmande.

Utvecklingen av termokemisk konvertering av biomassa¹¹⁰

Utvecklingen av termokemisk konvertering av biomassa drivs i huvudsak av fyra systembyggande nätverk som arbetar utifrån var sitt teknikspår (figur 7:6).

Det första spåret fokuserar på förgasning av fastbränsle för att producera biometan. År 2007 kompletterades Chalmers forskningspanna med en storskalig pilotanläggning för atmosfärisk fluidbäddsförgasning (Jacobsson m.fl., 2014). Satsningen skedde i samarbete mellan Valmet och Göteborg Energi och möjliggjorde att en storskalig demonstrationsanläggning på 20 MW (Gobigas I) kunde byggas av Göteborg Energi. Den nya anläggningen – som ska producera biometan för användning som fordonsbränsle – stod klar 2014 och förväntas tas i drift under vintern 2014/2015 (Intervju B och U). Nästa etapp, Gobigas II, har beviljats drygt 500 MKr inom NER300.¹¹¹ Ytterligare 80 MW kan därmed byggas om de kommersiella förutsättningarna bedöms som tillräckligt goda. Inom ramen för NER300 har också E.ON beviljats 1,9 miljarder kronor för att bygga en storskalig anläggning. Båda NER300 besluten kräver att investeringsbeslut sker inom given tidsram för att bidraget ska kunna erhållas.¹¹²

Det andra spåret fokuserar på suspensionsförgasning, främst av svartlut. Svartlut är en bi-produkt från kemisk massaframställning som i dagsläget bränns i en sodapanna (för kemikalieåtervinning och produktion av ånga och el). Vid förgasning av svartluten möjliggörs förutom kemikalieåtervinning och elproduktion även produktion av värme, drivmedel och/eller kemikalier. Sedan 1980-talets mitt har teknikutvecklingen drivits av bolaget Chemrec som tillsammans med olika kunder har konstruerat ett stort antal pilot- och demonstrationsanläggningar för en lång rad applikationer (Söderholm m.fl., 2014). Till en början var avsikten att använda processen för elproduktion, men efter ett misslyckat försök att få finansiering för en anläggning i kommersiell skala i början på 2000-talet skiftades fokus till produktion av biodrivmedel i form av metanol/DME. År 2005 stod en ny pilotanläggning klar i Piteå och den kompletterades senare med en enhet för DME-produktion. Detta möjliggjorde att hela processen, från svartlut till drivmedelsproduktion samt användning av det nya bränslet i en mindre testflotta av lastbilar från Volvo, kunde demonstreras för första gången. Runt anläggningen har ett forsknings- och utvecklingsnätverk växt fram bestående av nationella och internationella aktörer längs hela värdekedjan. Ett större forskningsprogram, BLG-

¹¹⁰ En viktig utveckling av förgasning i Sverige men som inte tas upp här är historien kring Växjö Värnamo Biomass Gasification Centre (VVBGC). Nätverket kring VVBGC hade långt gångna planer på att demonstrera trycksatt förgasning för produktion av drivmedel och kemikalier. Efter ett antal försök att få till en långsiktig finansiering bordlades planerna och många av medlemmarna i nätverket kring VVBGC har uppgått i de initiativ som beskrivs här (Hellsmark 2010).

¹¹¹ NER 300 ett finansieringsinstrument för storskaliga investeringar i innovativ förnybar energiteknik samt koldioxid avskiljning och lagring. NER 300 förvaltas gemensamt av Europeiska kommissionen, Europeiska investeringsbanken och medlemsstaterna.

¹¹² Ytterligare aktörer som ligger utanför det centrala nätverket, men som arbetar med parallella spår baserade på fastbränsleförgasning är dels Värmlandsmetanol, dels KTH som arbetar med gasrening och katalys i ett samarbete med det finsk-österrikiska företaget AndritzCarbona (Intervju B; Workshop 2014).

programmet, har också möjliggjort omfattande forskningsinsatser på området. Efter ett misslyckat försök att få till finansiering för att skala upp tekniken under år 2012 drabbades Chemrec av finansiella problem. Det operativa ansvaret samt mycket av personalen togs över av Luleå tekniska universitet som nu har vidgat utvecklingen till att inkludera fler råvaror och olika typer av drivmedel och kemikalier under namnet LTU Green Fuels (Intervju J och R).

Det tredje spåret är suspensionsförgasning via torrifisering där det senare är en förbehandlingsprocess vid vilken biomassa ”rostas” i en syrefattig miljö. Produkten/energibäraren – biokol – har en hög energidensitet och är därmed kostnadseffektiv att transportera. Biokol förväntas kunna ersätta, eller blandas med fossilt kol, i kraftvärmeverk och förgasningsanläggningar utan större modifikationer av konventionell teknologi (Bergman m.fl., 2005). I Sverige har utvecklingen drivits av forskare vid Umeå universitet som tillsammans med Umeå Energi kommersialiserar torrefieringstekniken genom företaget Bioendev. Tillsammans med Umeå universitet och SLU i Umeå byggde Bioendev en första pilotanläggning 2007–2009 (Ecotrafic, 2010; Intervju N). Anläggningen skalades upp under år 2012 för vidare forskning (Intervju N) och en demonstrationsanläggning i industriell skala uppförs i Holmsund utanför Umeå under år 2014 vilken kommer tas i produktion under år 2015.

Det fjärde och sista spåret under termokemisk konvertering är pyrolys. Produkten/energibäraren här är en flytande bioolja som skulle kunna ersätta fossil eldningsolja eller bunkerolja, användas i oljebaserade förgasningsanläggningar och genom kemisk behandling användas för att producera biodrivmedel. Internationellt är forskningen kring pyrolys omfattande. I Sverige har dock intresset för pyrolys varit begränsat, men år 2012 fick Billerud Korsnäs beviljat ca 280 MKr från NER 300 för utveckling av storskalig produktion. Projektet genomfördes dock inte då marknadsförhållandena inte ansågs tillräckligt stabila (Billerudkorsnäs, 2013). Forskning och utveckling inom pyrolys drivs dock numer både vid ETC och vid Umeå Universitet, där den senare verksamheten är fokuserad på direkt förädling av torrefierings- och pyrolysgas till flytande drivmedel och olika gröna kemikalier.

Utvecklingen av bioteknisk konvertering av biomassa

Utvecklingen av bioteknisk konvertering av biomassa består av ett stort nätverk för drivmedel och kemikalier från cellulosa. Utvecklingen har sitt ursprung i ett ökat intresset för att utveckla etanol som ett fordonsbränsle under 1980-talet. Parallellt med teknikutvecklingen stimulerades en marknadsutveckling baserat på första generationens bioetanol vilket sedermera resulterade i en storskalig spridning av etanol som fordonsbränsle i Sverige (Ulmanen, 2013). Förhoppningen har varit att en ökad användning av första generationens etanol ska bereda vägen för cellulosaeetanolen.

För att utveckla etanolteknologin från cellulosa, byggdes en pilotanläggning i labbskala vid Lunds universitet under början av 1990-talet och år 2004 invigdes en större pilotanläggning i Örnsköldsvik. Anläggningen ägs av holdingbolagen till Umeå universitet och Luleå tekniska universitet samt bolaget Sekab genom

bolaget Etanolkiln AB (EPAB). Till en början hade Sekab huvudansvar för driften av anläggningen och för kommersialiseringen av tekniken. De första planerna pekade på att kommersiella anläggningar skulle börja byggas 2008–2009, men på grund av finanskrisen har dessa planer behövt modifieras och marknaden för etanolanläggningar har inte utvecklats som många aktörer hade hoppats (IEA, 2013). Inom NER 300 har dock projektet ”Plant Goswinowice” i Polen erhållit finansiering och till vilket Sekab är teknikleverantör (Energimyndigheten 2013).

Verksamheten vid demonstrationsanläggningen togs över av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut våren 2012 och har sedan dess breddats från experiment med enbart etanol till en rad andra biotekniska omvandlingsprocesser (Intervju C). Detta innebär att nya aktörer har tillkommit i nätverket och att möjligheter för andra bolag som inte velat dela anläggning med Sekab har skapats (Intervju O; Workshop 2014). Det systembyggande nätverket utgörs i dag i huvudsak av Sekab, SP Processum, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Umeå universitet, Chalmers, Lunds universitet, Högskolan i Borås, More, C5LT, Taurus, SLU, Reac samt flera biogasaktörer.

Utvecklingen av kemisk konvertering av biomassa

Det kemiska spåret innehåller två systembyggande nätverk som arbetar utifrån var sitt teknikspår. Det första spåret fokuserar på ligninseparering ur svartlut.

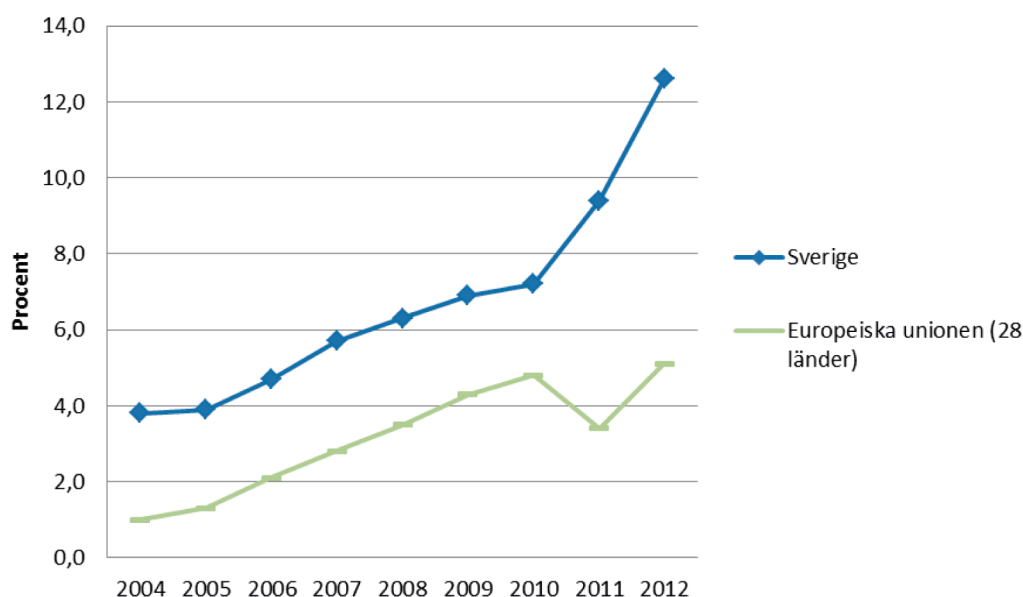
Arbetet kring ligninseparering från svartlut bygger på att tidigare forskning visat att ligninets sammansättning möjliggör vidare framställning av ett stort antal intressanta bioprodukter som plaster, kemikalier, drivmedel och kolfiber, men de flesta av dessa produkter har varit svåra att förverkliga (Joelsson och Tuuttila, 2012; Intervju D). För att kunna användas och uppgraderas behöver ligninet separeras från resterande beståndsdelar i svartluten. En av processerna för separering av lignin heter Lignoboost, där ligninet utvinns genom fällning med koldioxid följt av sur tvätt. Tekniken har utvecklats av Chalmers och Innventia sedan slutet av 1990-talet och år 2008 sålde Innventia tekniken till Valmet med förhoppningen att de skulle kommersialisera tekniken. Tekniken demonstreras i en mobil applikation och en större demonstrationsanläggning byggdes vid Nordic Papers bruk i Bäckhammar år 2007 (Intervju D). Det utvunna ligninet har hittills ersatt kol i Fortums kraftvärmeverk i Stockholm men Innventia och andra aktörer undersöker också möjliga andra applikationer så som kolfiber, batterier, bindmedel och biodrivmedel. Det systembyggande aktörsnätverket kring tekniken består främst av Innventia, Preem, Valmet, Renfuel, Kiram, flera akademiska parter (Chalmers, Umeå universitet, Lunds universitet, KTH m.fl.) samt skogsindustrieföretag (SCA, Stora Enso, Södra etc.).

Det andra spåret fokuserar på förädling av tallolja. En central aktör är Sunpine som bildades ur ambitionen att förädla talloljan till drivmedel. Ett antal skogsbolag bidrog genom leverans av råmaterial och Preem tog på sig att raffinera talloljan. År 2010 färdigställdes en kommersiell demonstrationsanläggning för produktion av råtalldiesel i Piteå (Ulmanen 2013). I Preems raffinaderi omvandlas sedan råtalldieseln till en förnybar diesel som blandas med konventionell diesel.

Ett möjligt ”tredje spår” under uppsegling är samtidig produktion av etanol och lignin.¹¹³ Processen bygger på alkalisk fraktionering av biomassa genom behandling med lut eller vitlut i en massakokare. Massan som fås i processen är lätt att hydrolysera och omvandla till etanol, mjölksyra eller ättiksyra medan ligninet kan avskiljas (se beskrivning ovan). Det systembyggande aktörsnätverket utgörs av i huvudsak av aktörer som är aktiva inom de två närliggande teknikspåren för ligninseparation – Innventia m.fl. – samt produktion av socker från lignocellulosa (bioteknisk plattform).

7.2.3 Institutioner

Generellt så är allmänheten positivt inställd till utveckling av bioenergi som en energikälla i Sverige och har så varit under decennier (Hedberg och Holmberg, 2014b). Det allmänna förtroendet för bioenergi och biodrivmedel har dock gått i vågor och det har debatterats hur mycket biomassa som bör användas för vad (Johansson och Salonen, 2007). Det har även funnits en internationell debatt kring användandet av odlingsbar mark för framställning av biodrivmedel istället för mat, vilken skapat frågetecken huruvida utvecklingen mot förnybara drivmedel är önskvärd eller inte (Johnson och Seebaluck, 2012). Även om denna debatt kan ha begränsat utvecklingen till viss del så har den lett även till att kvalitetskontroll och certifiering av biodrivmedel ökat.



Figur 7:7. Utveckling av biodrivmedel andett i % av drivmedelsmarknaden i Sverige och EU-28 enligt RED-direktivet, vilket innebär dubbelräkning av drivmedel baserade på avfall, restprodukter och lignocellulosa. Källa: (Eurostat, 2014b).

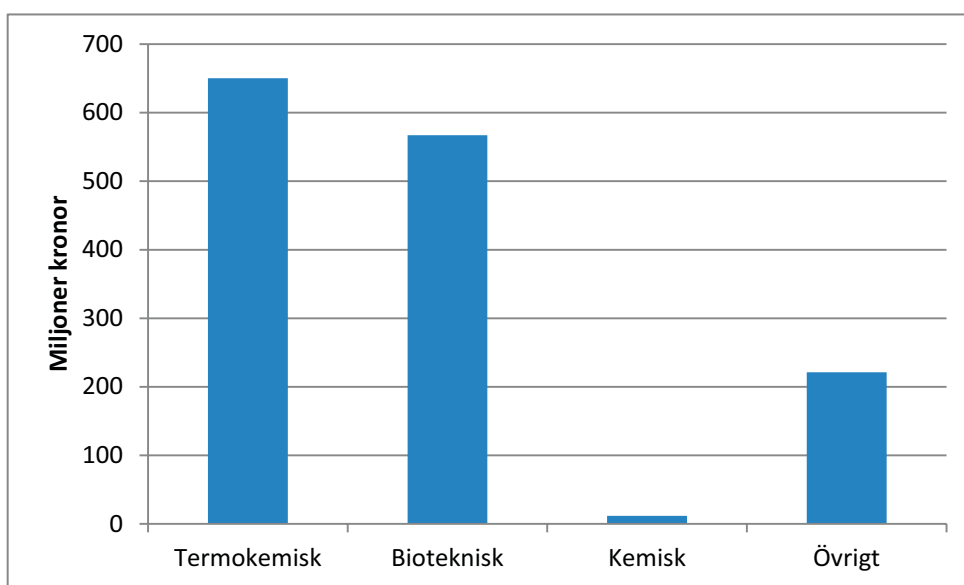
¹¹³ Slutprodukter biobränsle och/eller biokemikalier, processen kan med fördel integreras till ett massabruk.

Utvecklingen av bioenergi i Sverige har sin grund i omfattande investeringar som genomfördes för att bryta oljeberoendet i fjärrvärmesektorn under 1980-talet. När en koldioxidskatt sedan introducerades år 1991 ökade användandet av biomassa succesivt då det var det billigaste alternativet som fanns att tillgå. År 2012 stod biomassa för 70 % av all energi i fjärrvärmesektorn och 37 % av den totala energianvändningen¹¹⁴ i Sverige (Energimyndigheten, 2014). Även andelen förnybara drivmedel i den svenska vägtransportsektorn har ökat kraftigt under 2000-talet. År 2012 var andelen 12,6 % vilket kan jämföras med en genomsnittlig användning i EU-28 på ca 5,1 % (se figur 7:7) (Eurostat, 2014b).

Utvecklingen av förnybara drivmedel och kemikalier har stimulerats dels genom stöd till forskning och utveckling och dels genom marknadsskapande styrmedel som införandet av skatter, direktiv och undantag riktat mot produktion och användning.

Forskning och utveckling

Intresset för förnybara drivmedel i Sverige har resulterat i att finansiering för forskning och demonstration gjorts tillgängliga vid myndigheter och andra forskningsfinansiärer. En tentativ genomgång av Energimyndighetens program- och projektfinansiering av avancerade drivmedel från skogbaserad råvara visar att totalt ca 1,2 miljarder kronor har betalats ut (återbetalade medel avräknade) under perioden 1994–2013. Utöver detta har ytterligare ca en halv miljard kronor i EU-finansiering tilldelats forskning och utveckling vid pilot och demonstrationsanläggningarna i Värnamo, Piteå, Örnsköldsvik och Göteborg (1994–2014).



Figur 7:8. Energimyndighetens satsningar på forskning och demonstration för utveckling av teknikplattformar (baserat på medel tilldelat området för biodrivmedel)

¹¹⁴ Minus förluster i kärnkraft, utrikes transporter och användning för icke-energiändamål.

Figur 7:8 visar översiktligt hur Energimyndighetens finansiering inom biodrivmedelsområdet bidragit till de olika plattformsteknologierna. Finansieringen har varit relativt jämnt fördelat mellan termokemiskt och bioteknisk konvertering av biomassa, där respektive plattformsteknologi har fått 650 respektive 570 MKr. Den kemiska plattformen har erhållit ca 12 MKr, vilket kan tyckas lågt men samtidigt inkluderar den färre aktörer och utvecklingen mot förnybara drivmedel är en relativt ny företeelse. Huvuddelen av finansieringen som redovisas för den kemiska plattformen i figur 7:8 har gått till utvecklingen av HVO och siffrorna fångar inte upp ligninseparering och utveckling av lignin till andra produkter än drivmedel vilket drivit mycket av utvecklingen av plattformsteknologin. Plattformsöverskridande program som t.ex. samverkansprogrammet f3 har kategoriserats som ”övrigt” i figur 7:8.

Marknadsskapande styrmedel

För att stimulera marknadsutvecklingen av förnybara drivmedel finns styrmedel på både EU- och nationell nivå. Regeringen har gett skattelättnader för enstaka experiment med biodrivmedel sedan 1970-talet, men den mest grundläggande regeländringen kom 1991 när en koldioxidskatt och ett undantag för förnybara drivmedel infördes.

EU har stimulerat utvecklingen i Sverige genom att introducera indikativa mål för biodrivmedelsutveckling genom införandet av biodrivmedelsdirektivet år 2003 (2003/30/EC) och som senare följdes upp 2009 (2009/28/EC). I det första direktivet som kom sattes ett mål på 5,75 % förnybara drivmedel i transportsektorn till 2010 i genomsnitt för hela EU. Till 2020 har målsättningen ändrats till 10 % förnybara drivmedel för varje medlemsland.

I och med direktivet från 2009 (2009/28/EC) gjordes ett försök att gynna de drivmedel som kommer från avancerade bioraffinaderier genom att räkna dem dubbelt. Idag finns ingen möjlighet att få dubbelräkna volymerna mot t.ex. ett kvotpliktsystem i Sverige. Dubbelräkningen ökar därmed inte värdet av förnybara drivmedel från avancerade bioraffinaderier. Istället kan medlemstaten enklare uppnå sina mål och storleken på den totala marknaden för förnybara drivmedel minskar.

EU har även drivit på utvecklingen av hållbarhetskriterier för biodrivmedel. Endast förnybara drivmedel som kan uppvisa en tydlig klimatnytta utan negativ påverkan på biodiversitet och landanvändning kommer att komma ifråga (2009/28/EC), vilket kan komma att gynna drivmedel från avancerade bioraffinaderier.

Ytterligare styrmedel som gynnat biodrivmedelsutvecklingen har varit inriktade mot att stimulera utvecklingen av en personbilsflotta med lägre koldioxidutsläpp. Exempel är offentliga upphandlingar av biodrivmedelsfordon, skattelättnader på miljöbilar och undantag från parkeringsavgifter och trängselskatt i storstäder (SOU, 2013:84). Även distribution av drivmedel har stimulerats, dels med direkta subventioner men även genom den så kallade ”pumplagen” (2005:1248) som fastställde att alla tankställen i Sverige med försäljning över en viss volym måste kunna tillhandahålla biodrivmedel. Lagen gynnar en spridning av etanol som

var det billigaste alternativet för stationsägare att tillhandahålla, vilket senare ledde till att dyrare pumpanläggningar, som de för biogas, stimulerades med ytterligare subventioner (SOU, 2013:84).

I vårpropositionen 2012, som röstades igenom i riksdagen, angavs ambitionen att införa en kvotplikt för förnybara drivmedel under 2014. Senare angavs att kvotplikten skulle omfatta minst 7 % förnybara drivmedel i bensin och 9,5 % i diesel varav 3,5 % skulle uppfyllas med ”särskilt anvisade biodrivmedel” (Näringsdepartementet, 2013). Kvotpliktslagen drogs dock tillbaka juni 2014 (Finansdepartementet, 2014).

När det gäller rena kemiprodukter som inte används som drivmedel finns idag inga dedikerade styrmedel på efterfrågesidan. Kemiindustrin har dock traditionellt använt biobaserade råvaror inom vissa avgränsade produktsegment, exempelvis för produktion av hygien- och rengöringsprodukter (Intervju F). Vad gäller biobaserad plast så har vissa internationella aktörer börjat producera mindre mängder eten och polyeten (råvaror till plast- och kemiindustrin) utgående ifrån på biobaserad etanol, exempelvis Braskem (baserat på sockerrörsetanol) vars produkter används i Tetrapaks plastkorkar (Tetrapak, 2009). Mängderna biobaserad eten som finns att tillgå på marknaden är dock fortfarande (år 2014) försumbar jämfört med mängden fossil eten.

7.3 Fasbestämning och målsättning

I det här avsnittet används det som beskrivits om utvecklingen av avancerade bioraffinaderier för att avgöra vilken teknikutvecklingsfas (se avsnitt 2.1.3) som området befinner sig i, samt konkretisera en målsättning för området till år 2030. Målsättningen används senare för att avgöra styrkan i funktionerna (avsnitt 7.4), samt identifiera systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden (avsnitt 7.5).

7.3.1 Fasbestämning

I avsnitt 7.2 har det beskrivits hur investeringar i främst pilot- och demonstrationsanläggningar har genomförts, och att dessa har resulterat i att en betydande aktör- och forskningsinfrastruktur byggts upp längs flera värdekedjor med syfte att förverkliga avancerade bioraffinaderier.

Än så länge har investeringar inte resulterat i några kommersiella genombrott. Internationellt byggs endast ett fåtal anläggningar i kommersiell skala och hitintills har inga sådana anläggningar byggts i Sverige, även om flera kommersiella projekt har initierats. Teknikområdet bedöms därför vara i en demonstrationsfas och på god väg mot en nischmarknadsfas, även om en sådan ännu inte har påbörjats. För att området ska anses vara i en nischmarknadsfas behöver en eller flera plattformsteknologier ha skalats upp till kommersiell storlek, tekniken och dess produkter får därigenom återkoppling från betalande kunder och användare. Dessa nischmarknader kan vara naturligt förekommande eller politiskt konstruerade.

7.3.2 Målsättning

Nästa steg i analysen innebär att ett konkret mål för området avancerade bioraffinaderier ska formuleras. Det finns dock inga explicita målsättningar på nationell nivå för området bioraffinaderier i sig men ett antal anknytande visioner och målsättningar som är möjliga att relatera till.

En tydlig vision som är till gagn för utvecklingen av avancerade bioraffinaderier är regeringens prioritering om en fossilfri fordonsflotta till år 2030, som är en del av den mer övergripande visionen om att Sverige ska ha en hållbar och resurseffektiv energiförsörjning utan nettoutsläpp av växthusgaser till år 2050 (prop. 2008/09:162). Inom kemiområdet har fem framträdande aktörer inom kemiindustrin i Stenungsund tagit fram en vision om en kemiindustri ”baserad på förnybara råvaror och energi” till år 2030.¹¹⁵

Förutsättningen för att målsättning som tas fram inom ramen för den här rapporten ska vara realistisk är att det finnas tillräckligt med biomassa för att uppfylla den. Transportsektorns energianvändning i Sverige är ca 78 TWh (SOU, 2013:84). Kemiindustrins användning uppskattas till drygt 15 TWh (Hackl m.fl., 2010). I dag används ca 132 TWh biomassa för energiändamål (främst för produktion av el och värme) (Energimyndigheten, 2014). Enligt en sammanställning av olika potentialstudier kan biomassaproduktionen i Sverige öka med 50–60 TWh på kort sikt, inräknat tekniska och till viss mån ekologiska och ekonomiska restriktioner. Till 2050 skulle produktionen kunna öka med ca 160–200 TWh (Börjesson m.fl., 2013). Om en omräkningsfaktor från biomassa till drivmedel och kemikalier på 50–70 % används¹¹⁶ så blir det svårt att täcka dagens energianvändning inom transport- och kemisektorn med den biomassa som kan göras tillgänglig, särskilt med tanke på att biomassa har många användningsområden förutom drivmedel och kemikalier.

Enligt scenarierna som togs fram inom utredningen för Fossilfri Fordonstrafik (FFF-utredningen) bör emellertid energianvändningen i transportsektorn minskas med 39–60 % till 2030 med diverse energieffektiviseringar, byte av transporter etc., vilket i så fall skulle resultera i att behovet av drivmedel minskar till 36–55 TWh. Dessutom förväntas elanvändningen i transportsektorn öka och motsvara ca 2–4 TWh år 2030, vilket minskar behovet av biodrivmedel ytterligare. Men inte ens enligt de mest positiva scenarierna förväntas biodrivmedel kunna ersätta alla fossila drivmedel till 2030 (SOU, 2013:84), utan de skulle kanske kunna stå för ca 15–20 TWh av energianvändningen i transportsektorn, dvs. ca 32–60 % av den totala energianvändning beroende på scenario.

Om 40 TWh av biomassapotentialen används så innebär det ett tillskott på minst 20 TWh förnybara drivmedel och kemikalier från avancerade bioraffinaderier, vilket skulle innebära att ca 10 TWh drivmedel skulle kunna produceras för

¹¹⁵ <http://kemiforetagenistenungsund.se/index.php?sida=vision2030>

¹¹⁶ Där flytande drivmedel har en lägre omräkningsfaktor medan biometan via förgasning och metanisering har en högre omräkningsfaktor från biomassa till drivmedel på cirka 60–70 % (Börjesson et al, SOU, 2013:84).

transportsektorn¹¹⁷ och 10 TWh för kemisektorn. Ur ett resursperspektiv skulle en sådan målsättning inte vara helt orealistiskt och samtidigt innebära ett betydande tillskott för att högt ställda målsättningar kring en fossilfri fordonsflotta och en fossilfri kemisektor på sikt ska kunna uppnås.

Målsättningen på 20 TWh förädlad produkt innebär att ca 8–12 fullstora anläggningar behöver byggas om varje anläggning har en kapacitet på ca 200 000 ton produkt per år. Utifrån de beräkningar som gjorts vid tidigare uppskalningsförsök så kostar en sådan anläggning ca 4–5 miljarder kronor att bygga, vilket ger en total investeringskostnad på ca 30–60 miljarder kronor (Hellsmark och Jacobsson, 2012).

Målsättningen för analysen är därmed att:

- investeringar på 30–60 miljarder kronor har genomförts i Sverige för att bygga 8–12 anläggningar i kommersiell skala
- 20 TWh drivmedel och kemikalier produceras i anläggningarna

Om målsättningen förverkligas innebär det att området avancerade bioraffinaderier går från den nuvarande demonstrationsfasen, genom en nischmarknadsfas och mot en kommersiell tillväxtfas.

7.4 Funktionell analys

I det här avsnittet analyseras nyckelprocesserna för innovationssystemets utveckling och bedöms i förhållande till hur de stärker (eller hämmar) utvecklingen mot den målsättning som definierats för studien. Bedömningen har genomförts av författarna till detta avsnitt och bygger på input från en workshop som genomfördes med 43 representanter från industrin, akademien och andra offentliga organisationer som varit med och byggt upp området, 23 intervjuer samt sekundärdata (se appendix 3–5).

7.4.1 Kunskapsutveckling och spridning – stark

Funktionens styrka ligger främst i att de centrala plattformsteknologierna erhållit betydande och långsiktig finansiering som gjort att kunskap har kunnat ackumuleras vid landets universitet och högskolor, att starka kunskapsnätverk har kunnat formas samt att en rik forskningsinfrastruktur (se *entreprenöriellt experimenterande*) och även viss industriell erfarenhet byggts upp (Workshop 2014). Exempel på forskningssatsningar är Etanolprogrammet som tog sin början 1993 och som pågår än idag, samt storskalig och långsiktig finansiering till både fastbränsleförgasning och svartlutsförgasning (t.ex. BLG-programmet) (Hellsmark, 2010; Ulmanen, 2013; se även *resursmobilisering*). Även om andra länder både har kommit ikapp och passerat (särskilt inom etanolforskningen) så kan Sverige kunskapsmässigt anses ha en relativt framskjuten position i världen inom plattformsteknologierna.

¹¹⁷ De övriga 10 TWh skulle i så fall behöva komma från första generationens biodrivmedel.

Att leda uppbyggnaden av ett kunskapsområde är både dyrt och relativt svårt. Det innebär också att det finns få andra länder och miljöer att lära ifrån. Detta gäller särskilt svartlutsförgasning och fastbränsleförgasning där Sverige till skillnad från andra länder (med få undantag) satsar på storskalig förgasning kopplat till fjärrvärme, skogsindustrin och den petrokemiska industrin snarare än på småskaliga förgasningsprocesser (Joelsson och Tuuttila 2012; Workshop 2014).

När det gäller mer konkreta svagheter i funktionen lyfter workshopdeltagarna (2014) fram bristande kunskap om systemintegration samt att kunna kombinera olika kunskapsfält som utvecklas parallellt. Det saknas till exempel kunskap om hur olika processer kring produktion av etanol och lignin baserade produkter kan kombineras på bästa sätt och om hur olika teknikleverantörer ska kunna integrera sina specifika kunskaper kring förgasning, gasrening och syntes i en fullskalig förgasningsanläggning. Dessa svagheter kan till stor del härledas till bristande samarbeten och deltagande i gemensamma experiment (*entreprenöriellt experimenterande*), dels mellan teknikleverantörer i olika delar av värdekedjan, dels mellan akademien, stora och mindre bolag. Företag som av konkurrensskäl väljer att inte dela med sig av sina kunskaper är också en bidragande faktor. För att stärka kunskapsutvecklingen inom systemintegration och öka interaktionen mellan olika kunskapsfält krävs större forskningsmiljöer som kan ta ett helhetsgrepp kring kunskapsutveckling och organisera samarbeten mellan många olika typer av industriella aktörer (Workshop 2014).

Eftersom tekniken befinner sig i ett uppskalningsfas saknas det kunskap och erfarenhet om konstruktion, driftsättning, systemintegration i praktiken och uppskalningsprocessen, samt om nya produkter från bioraffinaderier och dess marknader (Intervju D, Workshop 2014). Vissa brister i kunskapsutvecklingen beror även på ett bristande deltagande från viktiga delar av industrin, särskilt skogsindustrierna men även katalystillverkare vars deltagande i forskningssamarbeten anses vara kritiska för att ta utvecklingen vidare och för att bygga upp en gemensam forskningsinfrastruktur av industriell relevans. Det bristande deltagandet har enligt vissa företrädare resulterat i en låg mottagarkapacitet hos viktiga delar av industrin och därmed försvagat deras förmåga att vara med och formulera en relevant forskningsagenda (Intervju B och X). Dessutom saknas det nationella aktörer inom strategiskt viktiga områden som utrustningstillverkning och katalys. Systembyggande aktörer blir därmed beroende av att bygga samarbeten och allianser med internationella aktörer. En viktig utmaning som kunskapsutvecklingen står inför är att få stora globala koncerner att förlägga utvecklingsresurser till anläggningar samt universitet och högskolor i Sverige (Workshop 2014).

Slutsatsen är att funktionen *kunskapsutveckling och spridning* är stark på grund av långsiktiga satsningar och ett stort antal aktörers engagemang. Dock saknas vissa centrala aktörer i värdekedjan och för att funktionen ska förbli stark behöver området som helhet gå över i en nischmarknadsfas.

7.4.2 Entreprenöriellt experimenterande – medel

Styrkan i funktionen utgörs av att Sverige har lyckats bygga upp en forskningsinfrastruktur som möjliggjort ett stort antal experiment längs stora delar av värdekedjan. Den anses vara konkurrenskraftig jämfört med liknande anläggningar i världen och därmed internationellt sett attraktiv för både industrin och akademien (se *kunskapsutveckling*). Det har därmed varit möjligt att förlägga en del EU-projekt och andra internationella samarbeten till infrastrukturen, som komplement till nationella projekt och forskningsprogram.

Infrastrukturen har möjliggjort experiment och utveckling av ny processteknologi och produkter, fordon, tankstationer samt bränslestandarder för andra generationens drivmedel. Dessa experiment innefattar olika tekniska produktionsprocesser i pilot- och demonstrationsanläggningar samt marknadsexperiment med främst nya typer av drivmedel på produktsidan. Experimenten har inkluderat första generationens biodrivmedel (biodiesel, biogas och etanol) och har använts för att bygga upp en infrastruktur och kunskap som i sin tur öppnat upp möjligheter för en vidare introduktion av andra generationens motsvarighet (även om det inte skett ännu).

När det gäller drivmedel som DME och metanol har marknadsexperimenten varit mer begränsade (Ulmanen 2013). I fallet DME har endast ett begränsat antal tunga fordon testats med fossil DME och senare med den biobaserade DME som har producerats vid Chemrecs demonstrationsanläggning i Piteå (Intervju A). Marknadsexperiment med metanol med fossilt ursprung genomfördes främst under 1980-talet (Sandén och Jonasson, 2005).

Det finns också stora möjligheter att utnyttja den existerande fossila infrastrukturen genom (ökad) inblandning (s.k. drop-in), både vad gäller drivmedel och kemikalier. I de fall då ny infrastruktur behöver byggas upp, som t.ex. för DME, så utgör detta en relativt låg kostnad eftersom drivmedlet främst riktar sig till tunga fordon som utnyttjar ett fåtal tankställen (Intervju P och Q). I Sverige finns dessutom ett väl utbyggt fjärrvärmesystem som efterfrågar spillvärme från bioraffinaderier och industrier vilket skulle kunna öka dess potentiella kostnadseffektivitet.

En tydlig styrka i det entreprenöriella experimenterandet har varit ett starkt deltagande av ett stort antal nationella och internationella aktörer längs stora delar av värdekedjan som anpassat sina processer och tagit fram nya produkter (Hellsmark et al 2014, Ulmanen 2013). Detta innebär att storskalig produktion och användning av olika typer av drivmedel och kemikalier, som kan utgöra grunden för bioraffinaderier, är tekniskt möjligt redan idag.

Svagheten i funktionen orsakas främst av att det är relativt dyrt att genomföra experiment i den existerande forskningsinfrastrukturen i förhållande till det industriella intresse som finns.¹¹⁸ För att existerande forskningsinfrastruktur ska kunna

¹¹⁸ Att genomföra experiment vid de tre huvudsakliga demonstrations- och experimentanläggningarna kostar ca 150–250 tusen kronor per dag och att bygga en fullskalig anläggning kostar ca 4–5 miljarder kronor (för en anläggning med kapacitet på ca 200 000 ton drivmedel) (Intervju B, C och O; Hellsmark and Jacobsson, 2012).

användas för att genomföra nya experiment i högre utsträckning behöver nya anläggningar i kommersiell skala planeras och byggas. Utan kommersiella anläggningar skapas inte en industriell efterfrågan vid forskningsanläggningarna på att genomföra experiment som t.ex. kan leda till användning av nya råvaror, effektiviseringar och optimering av processer och utveckling av nya produkter (Söderholm m.fl., 2014). Det har resulterat i ett lågt industriellt deltagande och därmed en finansiellt ansträngd situation vid flertalet av demonstrationsanläggningarna.

Återigen uppfattar många workshopdeltagare (2014) att skogsindustrins deltagande i pågående experiment är alltför begränsat, särskilt med tanke på att det i många fall är just skogsindustrin som förväntas integrera tekniken i sina befintliga processer. Skogsindustrin uppfattas som ekonomiskt pressad och arbetar för att förverkliga andra teknologiska alternativ som kan öka dess lönsamhet på kort eller mellanlång sikt. Skogsindustrin har därför begränsade möjligheter att satsa på kommersiellt oprövad teknologi med osäkra marknadsförhållanden (se *vägledning av aktörernas sökprocesser och marknadsformering*). I dess ställe har andra potentiella användare, som kemiindustrin och fjärrvärmebolagen klivit fram, men de har inte till fullo tagit den koordinerande rollen.

Ett gap har uppstått mellan demonstrations- och nischmarknadsfasen där ingen aktör ser det som sin roll att driva teknikutveckling och uppskalning av tekniken om inte spelreglerna tydliggörs och marknaden stärks (se *marknadsformering*). Detta gap har fått allvarliga konsekvenser för mindre teknikleverantörer och ägarna av forskningsinfrastrukturen som har svårt att finna alternativa inkomstkällor under tiden som de industriella aktörerna avvaktar (Söderholm m.fl., 2014).

Slutsatsen är att funktionen *entreprenöriellt experimenterande* är *medel* på grund av att en internationellt attraktiv forskningsinfrastruktur har byggts upp samtidigt som det gap som uppstått mellan demonstration och uppskalning behöver överbryggas för att vidare experiment ska vara motiverade och för att målet i slutänden ska kunna nås. Funktionen *entreprenöriellt experimenterande* bedöms som att vara på god väg att bli tillräckligt stark för att målet ska kunna nås (*medel*).

7.4.3 Resursmobilisering – svag

Den starka delen av funktionen grundar sig i att det funnits en relativt god tillgång på forskningsfinansiering under långa perioder, vilket har resulterat i uppbyggnad av kunskap, infrastruktur och experimenterande (se *kunskapsutveckling* och *entreprenöriellt experimenterande*). De storskaliga pilotanläggningarna som byggdes under 2000-talet i Piteå och Örnsköldsvik har varit offentligt ägda och offentliga medel har kunnat användas för att bygga upp infrastruktur och kunskap utan större krav på industriell motfinansiering. I ett senare skede, 2008–2010, gjordes ytterligare nationella medel på ca 1 miljard kronor tillgängliga för uppskalning och kommersialisering (Söderholm m.fl., 2014).

Forskningssatsningar som Etanol- och BLG-programmen har i kombination med centrumbildningar som Svenskt förgasningscentrum (SFC) resulterat i att flera personer har doktorerat inom området och att kunskapen som utvecklats har kommit in på grundutbildningsnivå. Det har gjort att tillgången på specialister är

god i förhållande till målet. Särskilda insatser för att skola om och utbilda drifts- och underhållspersonal från pappersmassaindustrin har också genomförts och vid driftsättning av större projekt (t.ex. Gobigas) har man kunnat utnyttja den kompetens som finns inom existerande petrokemisk industri (Intervju B; Workshop 2014).

När området nu går in i en ny fas där stora, dyra kommersiella anläggningar behöver byggas krävs betydande finansiering och i förlängningen tillgång på kompetent personal för att driftsätta och driva anläggningarna. Deltagarna vid workshopen (2014) lyfte fram att även om tillgången på specialister börjar bli bättre så krävs det betydande satsningar på att få blivande studenter intresserade av kemiteknik för att förbättra tillgången på processtekniker etc. som kan vara med och driftsätta och driva anläggningar när sådana ska byggas.

Aktörerna lyfter även fram att det råder brist på riskvilligt privat och offentligt kapital till de första anläggningarna (Intervju L och P). Det statliga kapital som finns är inte utformat för att hantera de marknadsrisker eller teknikrisker som finns då det i första hand utgörs av investeringsstöd på maximalt 10–20 % av den totala investeringen (Intervju T). Ytterligare kritik har riktats mot utformningen av nuvarande offentlig finansiering på både nationell och EU-nivå där vissa respondenter menar att tiden från det att stödet beviljas till det att byggandet ska vara igång är så kort att man inte ens hinner få nödvändiga miljötillstånd. Dessa faktorer bidrar till att aktörerna upplever att förutsättningarna att lyckas med projekten försvåras vilket, enligt workshopdeltagarna, kan innebära att seriösa aktörer med goda chanser att lyckas avstår från att söka (Workshop 2014).

På nationell nivå lyfter respondenterna fram att den finansiering som finns till existerande infrastruktur och kunskapsuppbyggnad förvisso är betydande men ”spretig” (Workshop 2014). Det gör den svår att använda för att bygga upp forskningsmiljöer av kritisk storlek. Dessutom saknas basfinansiering till forskningsinfrastrukturen, vilket gör den sårbar om tillfälliga gap i finansieringen uppstår (se även *entreprenöriella experiment*). Dessa gap gör det svårt att behålla nyckelpersonal i form av operatörer samt att utveckla anläggningen för att hålla den modern och internationellt konkurrenskraftig. I värsta fall kan detta på sikt leda till att anläggningen läggs ner (Workshop 2014; Intervju C och O).

I och med att det inte byggs kommersiella anläggningar är det svårt att behålla nyckelindivider som gått från akademien till industrin inom området. Personer som har disputerat inom t.ex. svartlutsförgasning och går till den privata sektorn får arbeta med icke-relaterade uppgifter. Det har även inneburit att det inte funnits anledning att göra vissa enklare anpassningar i den senare delen av värdekedjan. Infrastrukturen kring drivmedelsdistribution är av naturliga skäl inte tillräckligt utbyggd för att ta emot de mängder av ett specialbränsle som DME eller metan som en kommersiell anläggning skulle producera (om det endast ska användas som fordonsbränsle).¹¹⁹ Samtidigt finns det alternativa avsättningar och andra typer av drivmedel, t.ex. etanol och diesel, som kan blandas med fossila drivmedel.

¹¹⁹ Även om metan matas ut på gasnätet så är det främst som fordonsbränsle som gasen kommer att säljas (Intervju T och U).

Trots stora forskningssatsningar finns det mycket få experter med industriell erfarenhet på området. Detta beror främst på att det finns få bolag som har haft möjlighet att bygga erfarenhet och kompetens genom att konstruera anläggningar i industriell skala samt att bristen på anläggningar medför begränsade möjligheter att arbeta med teknologisk utveckling kring avancerade bioraffinaderier (Intervju B; Workshop 2014).

Slutsatsen är att funktionen *resursmobilisering* är *svag* på grund av en historiskt stark finansiering och mobilisering av humankapital men att området nu står inför ett skifte som innebär att en större och annan typ av finansiell kapital krävs. Vidare forskningsfinansiering och investeringsstöd till demonstrationsanläggningar kommer inte vara tillräckligt.

7.4.4 Utveckling av socialt kapital – medel

I grunden finns det ett starkt förtroende och en samarbetsvilja mellan aktörer som arbetar inom samma teknikspår. Starka aktörsnätverk har vuxit fram över tid kring olika förgasningsspår och kring andra generationens etanolframställning. Det är också tack vare ett starkt *socialt kapital* som nätverk och aktörer har lyckats överleva flera kriser då bolag gått i konkurs, blivit uppköpta, avknoppade och nerlagda (Hellsmark, 2010). Genom att det funnits förtroende mellan individer vid privata företag, myndigheter och högskolan har aktörerna kunnat hjälpas åt att ta sig igenom de värsta kriserna och teknikutvecklingen har kunnat fortgå även om inriktningen har ändrats. På senare tid har även samarbetet längs värdekedjan och mellan branscher som skogs- och kemiindustrin stärkts genom ett antal strategiska satsningar som projektet ”Skogskemi” (Vinnova) och det Vinnovafinansierade Strategiska Innovations Området ”Bioinnovation”. Samt genom samverkansprogrammet f3 och Svenskt förgasningscentrum (SFC) som finansieras genom Energimyndigheten. Genom dessa satsningar knyts olika teknikspår ihop och samarbetet mellan de olika aktörerna stärks. Även EU-projekt som Horizon 2020 har skapat möjligheter för samarbeten och utveckling av vidare förtroende mellan aktörer som inte tidigare har funnits (Workshop 2014).

Den svaga delen av funktionen utgörs av att det historiskt sett funnits begränsad samverkan mellan olika teknikspår längs med hela värdekedjan samt en mycket stark konkurrens om finansiella medel i kombination med att aktörerna upplever att deras olika roller i innovationsprocessen har varit otydliga. Otydligheten har försvårat uppbyggnad av neutrala plattformar där aktörer kan mötas och bygga upp ett förtroende för varandra och har därmed resulterat i onödiga konflikter mellan företrädare för olika spår och aktörsgrupper.

Att bygga förtroende och samarbeten är en stor utmaning. Samtidigt är det nödvändigt för att förverkliga avancerade bioraffinaderier då dessa kräver att synergier och samarbeten skapas mellan aktörer som historiskt sett inte haft mycket att göra med varandra (Workshop 2014; Intervju D och F). Det gäller t.ex. mellan kemi- och skogsindustrin, förbränning- och förgasningsprocesser av biomassa och kemiska katalysprocesser där vissa delar av industrin utvecklats mot användandet av biomassa och andra mot användandet av fossila råvaror, men där samarbeten

mellan de olika aktörerna nu är avgörande för att avancerade bioraffinaderier ska kunna förverkligas. Detta gäller även samarbeten mellan stora och små bolag där dynamiken historiskt sett varit annorlunda än vad som idag troligtvis krävs. Men det gäller även på EU-nivå där nordiska länder som Sverige och Finland har en annan syn på användandet av biomassa än många central- och sydeuropeiska länder (Workshop 2014).

Utvecklingen av socialt kapital försvagas också av att styrmedel och andra incitament ställer olika förnybara alternativ mot varandra snarare än mot fossilbaserade teknologier trots att de har väldigt olika förutsättningar att bli konkurrenskraftiga (Workshop 2014). Styrkan i funktionen dras också ner av att aktörerna känner ett mycket svagt förtroende för staten (Workshop 2014). Flera uttrycker att de inte litar på att staten kommer att hålla sina löften vad gäller utlovade stöd eller att målsättningar och visioner inte kommer att följas upp med konkreta åtgärder. De är även rädda att förutsättningarna ändras radikalt i samband med riksdagsvalet. Det senaste exemplet på detta är lagen om kvotplikt för biodrivmedel (2013:984) som antogs av riksdagen 2013 och som skulle träda i kraft i maj 2014. I april sköts införandet av lagen upp på obestämbar tid och i juni drogs den tillbaka.¹²⁰ Det svaga förtroendet gör att aktörerna inte vågar göra investeringar, särskilt inte när de kommande investeringarna som behöver göras är i mångmiljardklassen.

Slutsatsen är att funktionen *utveckling av socialt kapital* är *medel* på grund av ett allt starkare samarbete och förtroendet mellan aktörerna inom specifika tekniskspår, men det brister när olika tekniskspår ska integreras i en bioraffinaderibaserad värdekedja. Detta kan härledas till konkurrens, men även till brist på förtroende för staten och för aktörer med skilda värderingar.

7.4.5 Legitimering – medel

Styrkan i funktionen ligger dels i de grundläggande värderingar som delas i samhället i stort så som engagemanget kring miljö och klimatmål och hållbar utveckling i största allmänhet. Internationellt sett så har Sverige höga miljö- och klimatambitioner.¹²¹ Dels ligger styrkan i att biobaserade produkter ses som ett av flera lämpade medel för att möta miljö- och klimatmålen. Detta har att göra med ett stort generellt intresse för biobaserade produkter i Sverige, inte minst för att det finns stora biobaserade naturtillgångar och den starka politiska roll som främst skogsindustrin har.

Vidare finns en industristruktur som skulle gynnas av en övergång till produktion av högvärdiga produkter från biomassa och som uppfattar ett ökat skogsuttag och vidare förädling som legitimt så länge det leder till ökad lönsamhet och satsningarna hamnar inom ramen för vad bolagen anser vara ”normala” risknivåer (Workshop 2014). Legitimiteten för en övergång mot bioraffinaderier stärks ytterligare av att den fossilt baserade petrokemiska industrin arbetar för att bli

¹²⁰ http://www.energimyndigheten.se/Foretag/hallbara_branslen/Kvotpliktslagen/

¹²¹ Enligt Environmental Performance Index (EPI) 2014 så rankas Sveriges politiska miljöarbete som nionde bästa av 178 länder (<http://www.epi.yale.edu/epi/country-profile/sweden>).

fossilfria. Även om det i Sverige finns aktörer som är undantagna CO₂-skatter och därför har få incitament att driva utvecklingen, så finns det inga enskilda aktörer som motverkar den och därmed försöker dra ner dess legitimitet. Legitimiteten har stärkts ytterligare på senare tid då man har kunnat visa att tekniken fungerar i praktiken, om än i mindre skala (Workshop 2014). Samtidigt dras legitimiteten ner på grund av att främst massa- och pappersindustrin har varit tveksamma till att investera i den nya tekniken, särskilt i de fall då deras kärnprocesser behöver bytas ut (som sodapannan) och deras affärsmodeller behöver förändras för att rikta sig till nya marknader och kundgrupper (Workshop 2014, Intervju A och D).

Normalt reduceras antal valmöjligheter genom att en dominant design etableras på marknaden, men att det kommer bli någon dominant design inom området avancerade bioraffinaderier är inte självklart. Vilken teknik som passar bäst för att producera vad och i vilket sammanhang är inte givet och kan även komma att förändras drastiskt över tid. Att vara först med att investera kan snabbt förvandlas till en dålig affär, vilket också drar ner legitimiteten jämfört med alternativa investeringar. De höga kostnaderna som är förknippade med de initiala investeringarna riskerar dessutom att snabbt bli ett politiskt hinder då mycket av utvecklingen har kommit att drivas och delvis finansieras genom kommunala energibolag (Workshop 2014).

Även om det på en övergripande och samhällelig nivå finns ett stort stöd för att öka användningen av biomassa och producera förnybara drivmedel och kemikalier, så hörs det, särskilt på EU-nivå, allt fler tveksamma röster om klimatnyttan av att använda biomassa för energiändamål (Haberl m.fl., 2012). Dessa studier visar att biomassa ger större klimatnytta om den används för att producera el och värme än om den används till drivmedel, kemikalier och nya material. Vidare argumenterar deltagarna från Workshop (2014), att det finns en övergripande samhällstrend där småskaliga lösningar (t.ex. landbaserad vind och solceller) är enklare för dagens samhälle att hantera än storskaliga lösningar som avancerade bioraffinaderier.

Slutsatsen är att funktionen *legitimering* är *medelstark* på grund av att det finns en stark allmän och industriell acceptans för användning av biomassa samt förädling till högvärdiga produkter, men att legitimeringen försvagas av att centrala aktörer är tveksamma inför att byta ut nyckelprocesser mot ny och kommersiellt oprövad teknologi.

7.4.6 Vägledning av aktörernas sökprocesser – medel

Den starka delen av funktionen har byggt upp genom att flera kriser, så som oljekriserna under 1970- och 1980-talen, kärnkraftskrisen samt klimatkrisen, motiverat och väglett utvecklingen av plattformsteknologierna som utgör grunden i ett bioraffinaderi (Hellsmark 2010; Ulmanen 2013). Idag är det främst klimatkrisen som påverkar sökriktningen, samtidigt som ökad försörjningstrygghet på grund av rådande geopolitiska oroligheter borde vara ett viktigt argument för investeringar även framgent (Workshop 2014).

Dessutom har en tydlig vision om en fossilfri fordonsflotta till år 2030 skapats av regeringen. Visionen har följts upp av en utredning som tagit fram förslag på hur den ska kunna förverkligas. Förslagen uppfattas av respondenterna ha goda möjligheter att förverkliga visionen om de genomförs (SOU, 2013:84; Workshop 2014).

Den ekonomiska kris som präglat skogs- och kemiindustrin har varit ytterligare en vägledande faktor som stärkt funktionen. Inom skogsindustrin är det främst den mekaniska massa- och pappersindustrin som är i ekonomisk kris då tidningspapperskonsumtionen har minskat internationellt och flera bruk har gått i konkurs de senaste åren (Intervju A, D, och E). Skogsindustrierna har därför utvecklat en gemensam vision om att fördubbla förädlingsvärdet inom industrin och om att minst hälften av förädlingsvärdet ska komma från nya förnybara produkter (Intervju E). Även kemiindustrin ser det som nödvändigt att satsa på nya marknader och utveckla en grön kemigren som baseras på bioraffinaderikoncept för att skapa nya konkurrensfördelar (Intervju F). Detta uttrycks inte minst genom Stenungsundsindustriernas gemensamma vision om en kemiindustri baserad på förnybara råvaror och energi till år 2030.¹²²

Trots höga målsättningar upplever workshopdeltagarna (2014) att det är ett ensidigt fokus på klimatnytta och att andra argument som ökad försörjningstrygghet, sysselsättningseffekter, nya exportintäkter och framväxten av en ny industrigren inte lyfts fram tillräckligt. Det som verkligen drar ner styrkan i funktionen är att respondenterna upplever att höga målsättningar inte följs upp av tillräckligt konkreta åtgärder (se *utveckling av socialt kapital* och *marknadsformering*). Ytterligare en politisk faktor som försvagar vägledningen och hindrar satsningar på området är att styrmedel upplevs saknar långsiktighet och ändras för ofta.

I motsats till flertalet politiska incitament på biodrivmedelssidan så saknas motsvarande helt på kemisidan. Följden blir att bioetanolproducenterna höjer priset på etanolen till samma nivåer som bensinpriset. På grund av nivån på bensinpriserna i dagsläget resulterar detta i bioetanolpriser som är för höga för att kemiindustrin ska kunna köpa och förädla etanolen till andra gröna kemikalier som t.ex. bioeten. Detta försvårar för kemiindustrin att utveckla gröna kemikalier och relaterade produkter (Intervju F).

Ytterligare svagheter är att nationella och internationella mål och visioner upplevs som motstridiga (Workshop 2014). Ett exempel är den misstro mot hållbarheten i skogsråvaran som har kommit upp i diskussionerna kring hållbarhetskriterierna i EU, men även en mer framträdande syn på skogen som en viktig bärare av biodiversitet vilket motarbetar svensk politik som eftersträvar ett effektivare skogsbruk och ett ökat uttag av biomassa från skogen för att kunna nå målen för hållbar utveckling (se *legitimitet*).

¹²² <http://kemiforetagenistenungsund.se/index.php?sida=vision2030>

Sökriktningen påverkas också negativt av att politiken har en förmåga att utforma incitament som gynnar ett alternativ i taget när det i själva verket är en uppsjö av olika teknologiska alternativ som behöver utvecklas parallellt för att förverkliga avancerade bioraffinaderier (Workshop 2014). Samtidigt är det just avsaknaden av en dominant design (se *legitimering*) som gör det svårt för industrin att veta vilka plattformstekniker de ska investera i och vilka produkter som de ska satsa på.

Slutsatsen är att funktionen *vägledning av aktörernas sökprocesser* bedöms som *medel* på grund av att det finns högt ställda målsättningar och visioner men att dessa ännu inte omsatts i konkreta åtgärder.

7.4.7 Marknadsformering – svag

Styrkan i funktionen utgörs av att det finns undantag från CO₂-skatt, investeringsstöd, och att vissa kunder kan tänka sig att betala extra för gröna produkter. De investeringar som gjorts i pilot- och demonstrationsanläggningar i främst Örnsköldsvik, Piteå och Göteborg har resulterat i att små marknader har formrats och att en mycket begränsad mängd drivmedel och kemikalier har kunnat produceras och säljas. Det mesta som produceras är för forskningsändamål, men anläggningen i Örnsköldsvik har t.ex. använts för att göra mindre mängder av specialkemikalier, anläggningen i Piteå har försörjt en mindre fordonsflotta med drivmedel, och i den nuvarande etappen av Gobigas kommer en större mängd biometan att göras tillgänglig på marknaden. Ytterligare medel har gjorts tillgängliga inom ramen för programmet NER 300, där både E.ON, Billerud Korsnäs och etapp II av Gobigas har beviljats medel för att bygga anläggningar. Billerud valde dock tidigt att dra sig ur på grund av dåliga marknadsförutsättningar och etapp II av Gobigas kommer inte att påbörjas förrän resultaten från etapp I har analyserats och marknadsförutsättningarna förbättrats (Intervju B; Intervju U; Workshop 2014).

De generella styrmedel som finns har inte varit tillräckliga för att skapa en marknad för vare sig de plattformsteknologier som kan möjliggöra framtidens bioraffinaderier eller för de produkter de kan producera (biodrivmedel och/eller biobaserade kemikalier). Det har funnits billigare, biobaserade alternativ med lägre klimatnytta tillgängliga på marknaden, men som också gett upphov till en energi- och matdebatt. Workshopdeltagarna (2014) understryker att investeringar i miljardklassen med en avskrivningstid på 20-25 år inte kan genomföras om deras lönsamhet är beroende av en skattelättnad som beslutas årsvis. Att så är fallet blev tydligt när ägarna till Domsjö Fabriker, Aditya Birla, tackade nej till att investera i Chemrecs teknologi trots beviljat statligt investeringsbidrag på 500 MKr. Aditya Birla förklarar sitt beslut först och främst med att produktion av drivmedel inte är deras huvudintresse, men också att det måste finnas långsiktiga och stabila spelregler som minimerar risken för fallande oljepriser och snabba förändringar i skattelagstiftningen innan ett nytt sådant affärsområde utvecklas (Intervju H).

Att använda ett investeringsstöd i nischmarknadsfasen kommer för området bioraffinaderier endast i undantagsfall att vara tillräckligt. Dels begränsas stödets storlek av EU-lagstiftning till 10–15 % av totalsumman och dels hanterar det främst den tekniska risken snarare än marknadsrisken (Hellsmark och Jacobsson, 2012; Kåberger, 2013). I och med att plattformsteknologierna i huvudsak har gått igenom en demonstrationsfas är den tekniska risken relativt liten jämfört med marknadsrisken.

Till skillnad från vissa andra teknikområden kan inte enbart inkrementella investeringar som ger upphov till mindre volymer ensamt förverkliga området avancerade bioraffinaderier utan större investeringar i anläggningar med stordriftsfördelar behövs. Storleken på investeringarna i kombination med den höga marknadsrisken försvårar marknadsformeringen. Stora summor måste investeras i helt nya teknologier och varje investering kommer att ge upphov till stora mängder drivmedel och kemikalier. Detta innebär också att eventuella naturliga nischmarknader som prioriterar klimatnytta behöver vara stora och att det bör finnas kunder som vill vara med och investera eller skriva långsiktiga avtal om att köpa en viss volym till ett bestämt pris. Idag finns inte den typen av nischmarknader tillgängliga och utsikterna för att sådana naturliga nischmarknader ska formas har dessutom försämrats ytterligare på grund av skiffergasens effekt på världsmarknadspriserna (Intervju F). Ytterligare förändringar som kan påverka oljepriset är mycket svåra att förutspå, vilket motverkar investeringar i teknologin.

Slutsatsen är att funktionen *marknadsformering* bedöms som *svag* på grund av att det helt saknas styrmedel som är anpassade efter områdets karaktär och därmed hanterar de risker samt behov av långsiktighet som kommersiella aktörer kräver under nischmarknadsfasen.

7.4.8 Sammanfattning av funktionella styrkor och svagheter

Sammantaget framträder ett mönster där aktörerna i systemet relativt framgångsrikt har stärkt funktionerna *kunskapsutveckling och spridning, entreprenöriellt experimenterande, vägledning av aktörernas sökprocesser, legitimering och utveckling av socialt kapital*. Tidigare i utvecklingen har även *resursmobilisering* varit en stark funktion, men i och med att systemet nu går från en demonstrationsfas till en nischmarknadsfas så har aktörerna svårt för att stärka just *resursmobilisering* och *marknadsformering* för att målsättningen ska kunna nås (se tabell 7:2).

Tabell 7:2. Sammanfattning av funktionella styrkor och svagheter

Kunskapsutveckling och spridning	Bedömning: Stark
<i>Styrkor</i> • Långsiktiga forskningssatsningar • Stark kunskapsbas inom centrala process-teknologier (etanol och förgasning) • Stort engagemang från landets universitet, högskolor och institut • Starka nätverk mellan akademien, vissa delar av industrin och forskningsinfrastrukturen.	<i>Svagheter</i> • Bristande kunskap kring systemintegration, kombinationen av olika kunskapsområden som krävs för att bygga anläggningar samt värdekedjor • Bristfällig kunskap om driftsättning, uppskalning, nya produkter från bioraffinaderier samt dess marknader • Bristande deltagande från viktiga delar av industrin • Avsaknad av nationella aktörer inom t.ex. utrustningstillverkning och katalys. • Svag mottagarkapacitet hos viktiga delar av industrin
Entreprenöriellt experimenterande	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Attraktiv forskningsinfrastruktur • Relativt många experiment med olika tekniska processer i olika skala och längs hela värdekedjan • Starkt deltagande från nationella och internationella aktörer längs stora delar av värdekedjan. • Etablerad industri och fjärrvärmesektor med goda möjligheter för processintegration	<i>Svagheter</i> • "Dyr" forskningsinfrastruktur i förhållande till industriellt intresse • Ett "gap" mellan demonstrationsfasen och den kommersiella fasen • Få (inga) demonstrationer i kommersiell skala • Avsaknad av nyckelaktörer som tar en koordinerande roll • Organisering av forskningsinfrastruktur
Resursmobilisering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Det har funnits god tillgång till forskningsfinansiering och investeringsstöd vid uppskalning av pilot- till demonstrationsanläggningar. • Öppen infrastruktur har möjliggjort EU-finansiering • Erfarenheter från processindustri kan till viss del användas för att driftsätta större demonstrationsprojekt.	<i>Svagheter</i> • Offentlig finansiering hanterar ej marknadsriskerna i en uppskalningsfas, enbart investeringsstöd. • Svårt att få till industriell motfinansiering • "Spretig" offentlig finansiering som är svår att använda för att bygga upp stora forskningsmiljöer kring storskalig forskningsinfrastruktur. • Ingen basfinansiering till forskningsinfrastruktur vilket gör den svår att anpassa och utveckla. • Svårigheter att behålla nyckelkompetenser inom området. • Brist på kemiingenjörer på sikt.
Utveckling av socialt kapital	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Starka nätverk mellan aktörer inom samma teknikspår • Ökad samverkan mellan nyckelaktörer tack vare stora breda forskningssatsningar på området med fokus på branschöverskridande samverkan (både nationellt och på EU-nivå)	<i>Svagheter</i> • Historiskt begränsad samverkan mellan teknikspår och längs med hela värdekedjan. • Olika värdegrund mellan olika aktörer, främst nyckelaktörer inom skogs- och kemiindustrin • Konkurrens mellan alternativa teknikspår om finansiella medel • Lågt förtroende för att staten håller sina löften om incitament för bioraffinaderiutveckling

Legitimering	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Stort engagemang och samsyn i klimat och miljöfrågor • Alternativ användning av skogsråvara anses legitim, betydande och etablerade industristrukturer skulle kunna vinna konkurrensfördelar om framtidens bioraffinaderier förverkligas • Tekniken fungerar i praktiken	<i>Svagheter</i> • Teknik och affärsmodeller som rör förändringar hos massa- och pappersindustrins nyckelverksamhet har haft svårt att vinna acceptans. • Avsaknad av dominant design • Centrala aktörer ifrågasätter användandet av biomassa för energiändamål • Höga kostnader kan snabbt förvandlas till en politisk risk för kommunala bolag • Tekniken är storskalig och det är kanske främst småskalighet som är legitimt just nu.
Vägledning av aktörernas sökprocesser	Bedömning: Medel
<i>Styrkor</i> • Tydliga och överlappande kriser • Potentiellt ökande krav på försörjningstrygghet • Tydlig vision och politisk samsyn kring fossilfri fordonsflotta 2030 • Tydliga industriella mål om en biobaserad ekonomi för att klara konkurrensen	<i>Svagheter</i> • En större bredd av argument för bioraffinaderier saknas som t.ex.: försörjningstrygghet, ökad selsättning, nya exportintäkter och utvecklingen av en ny industrigren • Höga målsättningar har inte följts upp med särskilt konkreta åtgärder • Nationella och internationella (EU) mål och visioner är inte alltid kompatibla • Den nationella spelplanen ändras för snabbt • De incitament och mål som finns ligger på energi- och drivmedelssidan och finns inte på kemisidan, och tenderar till att vara ensidiga • Stor uppsjö av alternativ leder till handlingsförlamning
Marknadsformering	Bedömning: Svag
<i>Styrkor</i> • Finns styrmedel som har gynnat och fortfarande gynnar utveckling av (främst första generationens) biodrivmedel och relaterad fordonsmarknad. • Skapandet av marknader för bulkprodukter (t.ex. drivmedel) kan bana väg för specialprodukter	<i>Svagheter</i> • Det finns inga naturligt förekommande nischmarknader för produkterna. • Skifffergasen och andra snabba förändringar på världsmarknaden motverkar investeringar. • Dagens styrmedel hanterar inte marknadsrisken och är inte långsiktiga

7.5 Systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden

I följande avsnitt kommer ett antal systemstyrkor och systemsvagheter analyseras för att sedan föreslå ett antal prioriterade åtaganden baserat på de svagheter som aktörerna själva inte kan åtgärda.

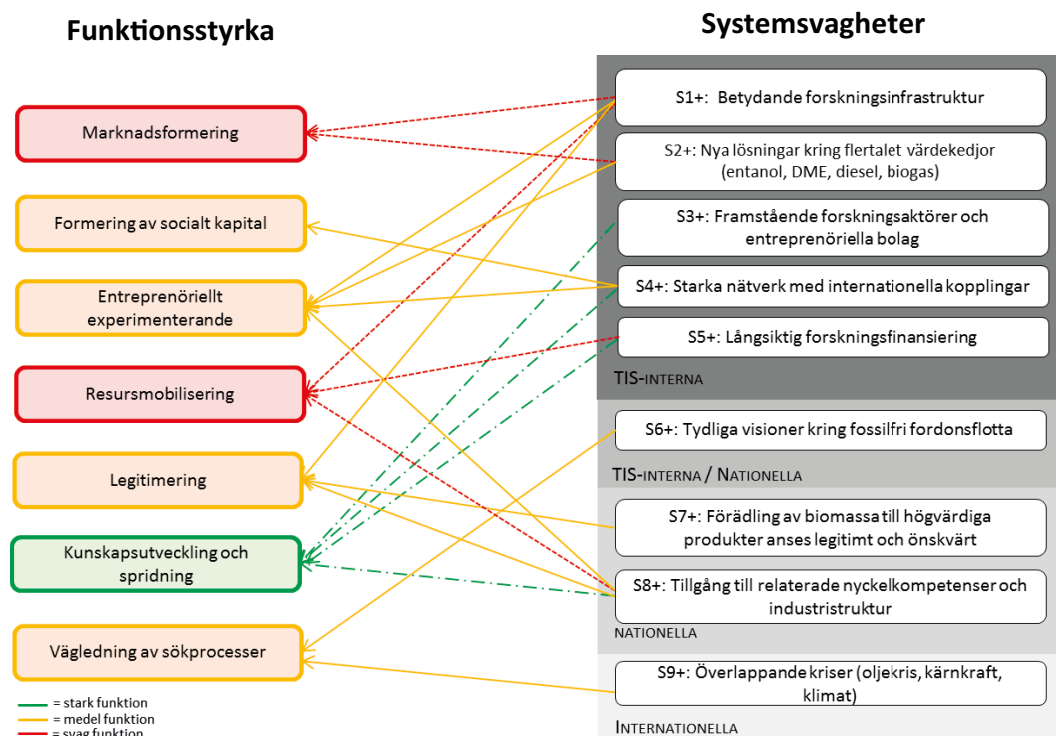
7.5.1 Systemstyrkor

Mycket av förklaringen till varför aktörerna har kunnat bygga upp systemet kring avancerade bioraffinaderier återfinns i att det funnits *överlappande kriser* (S9+) som motiverat satsningar på utveckling av biomassa för att lösa oljekrisen, kärnkraftskrisen och sedermera klimatkrisen. De systembyggande aktörerna har också kunnat dra nytta av *relaterade nyckelkompetenser och industristrukturer*

(S8+) för att stärka de olika funktionerna (se figur 7:9). Det har också gjort att det över tid vuxit fram en stark legitimitet kopplat till *förädling av biomassa till högvärdiga produkter* (S7+) som har gynnat aktörerna. Dessa systemstyrkor (S7+, S8+, S9+) har främst befunnit sig på nationell och internationell nivå och varit viktiga förutsättningar för att aktörerna ska kunna bygga upp och utveckla systemet.

De mer TIS-interna systemstyrkorna som växt fram över tid och som aktörerna haft en direkt påverkan på består främst av framväxten av en *betydande forskningsinfrastruktur* bestående av pilot- och demonstrationsanläggningar (S1+). Dessa har i sin tur möjliggjort ett stort antal experiment samt utveckling av *nya lösningar kring flera värdekedjor* (S2+) (etanol, DME, diesel, biogas).

Aktörerna har också lyckats stärka systemet genom att få fram ett stort antal *framstående forskningsaktörer* som i kombination med ett antal mindre men *entreprenöriella bolag* varit framgångsrika i att bedriva teknikutveckling vid den nationella teknikinfrastrukturen och kommit att bli internationellt ledande inom sina fält. De har därigenom byggt upp *starka nätverk* (S3+) inom respektive teknikområde med betydande *internationella kopplingar* (S4+). När det gäller systemets institutioner så har de återkopplingar mellan systemets institutioner och aktörerna resulterat i att det idag finns tillgång till *långsiktig forskningsfinansiering* (S5+) samt relativt *tydliga visioner kring fossilfrihet* (S6+) både inom industrin och i samhället i stort.

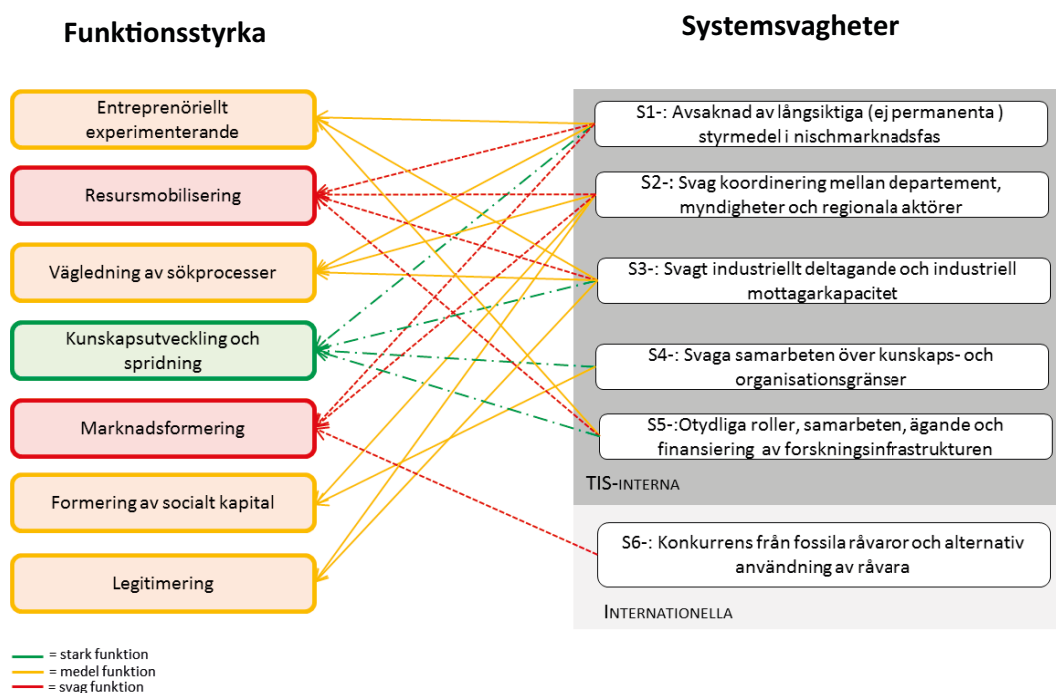


Figur 7:9. Systemstyrkor.

Systemets aktörer har därmed lyckats att stärka i princip alla innovationssystemets funktioner, och systemet har därigenom kommit en bra bit genom demonstrationsfasen och är nu på väg in i en nischmarknadsfas.

7.5.2 Systemsvagheter och prioriterade åtaganden

Trots att fyra av sex funktioner antingen är medelstarka (d.v.s. på god väg att bli tillräckligt starka för att målet ska kunna nås) eller till och med tillräckligt starka för att målet ska kunna nås (stark), så finns det fortfarande ett antal systemsvagheter som begränsar systemet och motiverar särskilda politiska åtaganden. Dessa systemsvagheter påverkar de flesta funktioner men i synnerlighet funktionerna *marknadsformering* och *resursmobilisering* som tidigare bedömdes vara särskilt svaga, se figur 7:10. Nedan beskrivs dessa systemsvagheter samt hur de försvagar de olika funktionerna. Baserat på genomförd studie, presenteras även förslag på övergripande politiska åtaganden som kan leda till att respektive systemsvaghet hanteras.



Figur 7:10. Systemsvagheter som aktörerna själva inte kunnat åtgärda och som motiverar särskilda politiska åtaganden.

Systemsvaghet S1- och S6-: Avsaknad av långsiktiga (ej permanenta) styrmedel i nischmarknadsfas samt konkurrens från fossila råvaror och alternativ användning av råvara

Den absolut viktigaste systemsvagheten att åtgärda är avsaknaden av långsiktiga (ej permanenta) styrmedel i nischmarknadsfas (S1-) som gör att teknikområdet kan ta sig igenom nischmarknadsfasen. Denna systemsvaghet samverkar med svagheten konkurrens från fossila råvaror och alternativ användning av råvara (S6-). Båda dessa svagheter gör funktionen *marknadsformering* mycket svag. Idag finns det få naturligt förekommande nischmarknader för de produkter som produceras inom ramen för avancerade bioraffinaderier. De marknader som finns är varken tillräckligt stora eller ger tillräckliga prispremier för att motivera investeringar i kommersiella anläggningar i miljardklassen. Samtidigt har industrin, som förväntas genomföra investeringarna, andra investeringsalternativ än förnybara drivmedel och kemikalier att tillgå för att höja sin lönsamhet, vilket ytterligare försvagar funktionen *marknadsformering*.

De två systemsvagheterna hindrar därmed utvecklingen av funktionen *marknadsformering*, men försvagar även flera av de andra funktionerna, d.v.s., om systemsvagheterna inte adresseras kommer:

- den existerande forskningsinfrastrukturen att uppfattas som dyr i förhållande till det existerande industriella intresset och ett ”gap” mellan demonstrationsfasen och den kommersiella fasen uppstår (funktionen *entreprenöriellt experimenterande* försvagas).
- den bristfälliga kunskap som finns kring driftsättning, uppskalning, nya produkter från bioraffinaderier samt dess marknader att bestå (funktionen *kunskapsutveckling och spridning* försvagas).
- det vara mycket svårt att få till industriell motfinansiering för kommersiella projekt, och det kommer bli svårt att behålla nyckelkompetenser inom området som byggts upp under lång tid (funktionen *resursmobilisering* försvagas).
- höga målsättningar inte översätts till konkreta åtgärder (funktionen *vägledning av aktörernas sökprocesser* försvagas).

För att åstadkomma en uppskalning och vidare kommersialisering och därigenom förverkliga visionerna om en fossilfri fordonsflotta och delvis biobaserad kemisektor krävs styrmedel som är anpassade för nischmarknadsfasen och som hanterar fossilmarknadsrisken. Det saknas inte uppslag på konkreta åtgärder utan det arbete som gjorts inom FFF-utredningen verkar ha relativt hög legitimitet hos de respondenter som arbetsgruppen för det här teknikområdet har pratat med. Hur styrmedel ska utformas ligger utanför detta uppdrag, men en ”prispriummodell” (eller liknande) där producenten av förnybara drivmedel och kemikalier av en viss typ är garanterande premium i förhållande till fossila alternativ eller ett fast pris som gör att anläggningen garanterat kan drivas med vinst under en längre tidsperiod kan vara lämplig för att skapa långsiktig lönsamhet och vidare förutsättningar för en uppskalning utan att det riskerar att bli ett permanent stöd.

Troligtvis skulle en prispremiummodell för förnybara drivmedel behöva kompletteras med incitament för utvecklingen av gröna kemikalier. Tekniken som utvecklas är samma, så incitament för att ta fram förnybara drivmedel baserat på plattformsteknologierna för avancerade bioraffinaderier gynnar teknikutvecklingen för förnybara kemikalier, men betalningsviljan för förnybara produkter skiljer sig åt mellan de olika sektorerna. Incitament som riktar sig mot utvecklingen av gröna kemikalier skulle kunna innefatta offentlig upphandling, t.ex. där offentliga aktörer sluter långsiktiga avtal för att köpa biobaserad plast etc.

Oavsett vilka styrmedel och incitament som utformas så är det viktigt att dessa tar hänsyn till områdets karaktär. Det handlar om stora investeringar i helt ny teknik med långa avskrivningstider som behöver göras i en konservativ bransch som lider av lönsamhetsproblem och har andra alternativ att tillgå för att öka lönsamheten. För att målet ska nås till år 2030 behöver investeringsbesluten dessutom tas i närtid då ledtiderna från investeringsbeslut till faktisk produktion är långa. Det är av avgörande betydelse att de nischmarknader som skapas kan erbjuda möjligheter till lönsamhet för den enskilda investeraren och att inte spelreglerna ändras för dem som har genomfört investeringar.

Systemsvaghet S2-: Svag koordinering mellan departement, myndigheter och regionala aktörer

Den andra systemsvagheten som motiverar särskilda prioriterade åtaganden är den svaga koordineringen mellan departement, myndigheter och regionala aktörer som har präglat skiftet från demonstrationsfasen till nischmarknadsfasen. Under konceptutvecklings- och demonstrationsfaserna har policyinstrument så som FoU-stöd etc. funnits hos olika regionala aktörer och myndigheter. Dessa instrument tycks ha fungerat väl och har varit en bidragande orsak till den stora mängd systemstyrkor som nämndes tidigare.

När nu teknikområdet går in i en nischmarknadsfas så ställs ökade krav på koordinering och teknisk specifik kunskap hos berörda myndigheter och departement, särskilt då alla instrument för att stimulera en vidare utveckling inte finns inom en enskild myndighet. Systemsvagheten hindrar därmed utvecklingen av en lång rad funktioner. En svag koordinering riskerar därmed att leda till:

- att åtgärder sätts in vid fel tillfällen, utformas på ett ineffektivt sätt och ett gap mellan demonstrationsfasen och nischmarknadsfasen uppstår (funktionen *marknadsformering* och *resursmobilisering* försvagas).
- att entreprenörer som försöker skala upp tekniken i brist på styrmedel och koordinering får problem, inte av tekniska orsaker, utan p.g.a. av dåligt utformade styrmedel och stöd (funktionen *legitimering* försvagas).
- att aktörernas förtroende för att staten verkligen agerar för att förverkliga högt ställda visioner och målsättningar skadas (funktionen *utveckling av socialt kapital* försvagas).
- att aktörerna får otillräcklig vägledning för att vilja investera i teknikområdet då spelregler förändras för snabbt, eller på grund av konflikter mellan olika mål och målsättningar samt för att konkreta åtgärder saknas (funktionen *vägledning av aktörernas sökprocesser* försvagas).

Det som lyfts fram av respondenterna som ett viktigt politiskt åtagande är bättre kunskap hos myndigheter och berörda departement kring ”timing”, d.v.s. när vilka åtgärder behöver sättas in och var samt hur risk i olika faser av teknikutvecklingen bör hanteras. Det kan inkludera hur olika typer av subventioner och incitament påverkar och hur lång tid olika moment i innovationsprocessen tar. För små aktörer som ofta är drivande i ny teknikutveckling är just timing mellan olika incitament och åtgärder helt avgörande för att de ska överleva och kunskapsutvecklingen ska kunna fortskrida.

För att åstadkomma en bra timing krävs inte bara kunskap om innovationsprocesser utan även att förmågan att koordinera insatser mellan olika myndigheter och departement stärks. När utlysningar om nya demonstrationsprogram görs eller när incitament skapas för att ta teknikområdet genom en nischmarknadsfas behöver de som formulerar utlysningar och incitament ha specifik kunskap om teknikområdet, men också om lagstiftning på andra områden, som t.ex. hur lång tid det tar att söka miljötillstånd, för att öka chansen att utlysningarna kan genomföras i sin helhet.

Det kan därför vara viktigt att följa framväxande teknikområden för att identifiera systemstyrkor och systemsvagheter, vilken teknikutvecklingsfas området befinner sig i, när olika typer av åtgärder kan komma att behöva sättas in och när samordning av olika insatser kan tänkas behöva intensiveras. Det kan också vara viktigt att den generella kunskapen kring ”timing” och incitament kring nischmarknadsfasen stärks.

Systemsvaghet S3-: Svagt industriellt deltagande och industriell mottagarkapacitet

Den tredje systemsvagheten som motiverar särskilda politiska åtaganden är det svaga industriella deltagandet och den bristande industriella mottagarkapaciteten.

Även om existerande industristruktur tidigare beskrevs som en viktig tillgång, inte minst för att få tillgång till relaterade kompetenser, så finns det hål i värdekedjan där det helt enkelt saknas svenska aktörer (t.ex. inom storskalig utrustningstillverkning och katalys). Att kunna attrahera internationella aktörer till nationella utvecklingsprojekt blir därför av avgörande betydelse för nationella aktörer.

Dessutom är fortfarande viktiga etablerade aktörers bristande deltagande i utvecklingsprojekt ett problem, liksom aktörernas förmåga att ta till sig ny kunskap och omvandla kunskapen kring nya affärsområden. Detta är ett problem inte minst för att det är de etablerade aktörerna som i slutänden behöver integrera de framväxande plattformsteknologierna i sina existerande verksamheter.

Systemsvagheten hindrar därmed utvecklingen av en lång rad funktioner och riskerar därmed att leda till:

- att viktiga nyckelaktörer som kan ta en koordinerande roll inte skaffar sig kunskap och agerar för att förverkliga kunskapsområdet (funktionerna *kunskapsutveckling* och *entreprenöriellt experimenterande* försvagas).

- att det blir svårt att få till en industriell motfinansiering i projekt (funktionen *resursmobilisering* försvagas).
- att ny teknik och affärsmodeller som rör förändringar hos t.ex. massa- och pappersindustrins nyckelverksamhet får svårt att vinna acceptans (funktionen *legitimering* försvagas).

Det svaga industriella deltagandet kan förstås utifrån att industrin generellt sett är effektivt organiserad för att vara konkurrenskraftig på existerande marknader och har få resurser att utveckla nya innovationer och affärsområden. Det är därmed hård konkurrens om existerande utvecklingsresurser samtidigt som det finns en stor mängd investeringsalternativ och utvecklingen kring avancerade bioraffinaderier ifrågasätts av vissa aktörer.

Systemsvagheten kan hanteras genom de åtgärder som förslås för att hantera systemsvagheterna (*S1-*) samt (*S6-*) med syfte att skapa starkare incitament för industrin att delta i forskning och utvecklingssamarbeten samt reducera osäkerheter kring vilka alternativ de bör satsa på. Men det skulle även kunna vara aktuellt att utarbeta särskilda incitament för att företagen ska investera i FoU i Sverige och därigenom öka sitt deltagande i forskningsprogram och existerande forskningsinfrastruktur. Ett exempel kan vara att skapa incitament för att den infrastruktur som finns inom industrin ska kunna utvecklas och utnyttjas även för forskningsändamål (delvis utanför företaget). Detta skulle kunna bidra till tydligare samarbeten mellan etablerad industri och kunskapsutveckling vid högskola och akademi.

Systemsvaghet S4-: Svaga samarbeten över kunskaps- och organisationsgränser

Den fjärde systemsvagheten som motiverar särskilda politiska åtaganden är *svaga samarbeten över kunskaps- och organisationsgränser*. Det räcker alltså inte att enbart fokusera på att öka det industriella deltagandet då förverkligandet av avancerade bioraffinaderier kräver att aktörer från olika sektorer samarbetar i en ökad utsträckning.

Mycket av den kunskap och kompetens som krävs för att förverkliga avancerade bioraffinaderier finns i olika typer av bolag (stora som små) som tillhör olika branscher (skogsindustrin, kemiindustrin). Deras kunskap och kompetens behöver komma till användning genom att olika kompetensområden integreras i både forskningsprojekt och i kommersiella projekt. Svaga samarbeten över kunskaps- och organisationsgränser riskerar därmed att leda till:

- att bristande kunskap kring systemintegration och kunskap kring kombinationer av kunskapsområden som krävs kvarstår (funktionen *kunskapsutveckling och spridning* försvagas).
- att begränsad samverkan mellan teknikspår och längs med hela värdekedjan kvarstår. Denna bristande samverkan har sin grund i att olika aktörer, främst nyckelaktörer inom skogs- och kemiindustrin, har relativt olika värdegrund vilket försvårar samarbete (funktionen *utveckling av socialt kapital* försvagas).

Redan i dagsläget har vissa åtgärder genomförts för att hantera systemsvagheten genom att nya forskningsprogram har formulerats med syfte att stärka samarbeten över organisationsgränser. Några sådana program har lyfts fram tidigare i texten, som t.ex. Bioinnovation och f3. Den typen eller nya typer av innovativa industriella samarbeten mellan olika branscher och mellan tillverkare och dess kunder behöver troligtvis förstärkas för att hantera systemsvagheten i kombination med att övriga svagheter hanteras.

Systemsvaghet S5-: Otydliga roller, samarbeten, ägande och finansiering av forskningsinfrastrukturen

Den femte systemsvagheten som motiverar särskilda politiska åtaganden är otydliga roller, samarbeten, ägande och finansiering av forskningsinfrastrukturen. När det gäller aktörs- och nätverksstrukturen så är forskningsmiljöerna kring infrastrukturen, enligt systemstyrkorna ovan, starka och internationellt konkurrenskraftiga. Samtidigt anses de fortfarande underkritiska i relation till målsättningen (Workshop 2014).

Systemsvagheten riskerar därmed att leda till att:

- forskningsmiljöer av kritisk storlek inte byggs upp. Att sådana finns är nödvändigt inom detta teknikområde för att knyta internationella forskningsavtal med de fåtal internationella storbolag som finns inom vissa kritiska områden (som t.ex. utrustningstillverkning och specialister inom katalys), samt kompensera för de eventuella ”hål” som finns i aktörsstrukturen (se systemsvaghet (S3-)), (funktionerna *kunskapsutveckling*, *entreprenöriellt experimenterande* och *resursmobilisering* försvagas).
- samarbetsklimatet kring anläggningarna inte stärks, det skapas en obalans mellan kommersiella intressen och forskningsintressen och utvecklingen av flera alternativa spår, samt konkurrerande nätverk vid samma infrastruktur hämmas (funktionerna *kunskapsutveckling* och *entreprenöriellt experimenterande* försvagas).
- infrastrukturen snabbt blir omodern, inte kan anpassas efter industrins skiftande behov och att anläggningarna tappar sin internationella konkurrenskraft på sikt (funktionen *resursmobilisering* försvagas).

För att hantera denna systemsvaghet behöver finansieringsformer, roller kring och organiseringen av den nationella forskningsinfrastrukturen utvecklas.

Respondenterna lyfter fram att det är viktigt att myndigheterna satsar på infrastruktur som är kostnadseffektiv. Kostnadseffektivitet uppnås genom energiintegration, intäkter från sidoströmmar samt att den befinner sig i en miljö som genomför relaterade experiment. Några goda exempel är Chalmersspannan, LtU Green Fuels, Biorefinery Demo Plant i Örnsköldsvik, Gussinganläggningen i Österrike, Skiveanläggningen i Danmark, och Väröförgasaren (innan den lades ner). Om sådana anläggningar tilldelas viss basfinansiering kan de vidareutvecklas och hållas internationellt attraktiva samtidigt som kompetensen bevaras hos anställda operatörer och genomförandet av experiment vid anläggningarna stimuleras.

Ytterligare en viktig faktor som lyfts fram för att hantera systemsvagheter är behovet av forskningsmiljöer av kritisk storlek som kan experimentera längs hela värdekedjan och kombinera nya teknologier, istället för att sprida ut forskningsmedel mellan för många underkritiska miljöer. Att ha stora och internationellt starka miljöer i anslutning till forskningsinfrastrukturen är viktigt då stora internationella bolag beslutar om var de ska lägga sina forskningssatsningar och för att knyta internationella avtal etc.

Organisationsutvecklingen kring anläggningarna bör också prioriteras så att en neutral och aktiv aktör äger, organiserar och marknadsför arbetet vid infrastrukturen. Syftet med att utveckla organisationerna är att underlätta samarbete mellan olika typer av aktörer och för att balansera kommersiella intressen och forskningsintressen, för att attrahera internationella samarbetspartners samt EU-projekt.

7.5.3 Slutsats

Rapporten pekar ut sex stycken systemsvagheter som motiverar särskilda politiska åtaganden: (1) avsaknad av långsiktiga (ej permanenta) styrmedel i nischmarknadsfas, (2) svag koordinering mellan departement, myndigheter och regionala aktörer, (3) svagt industriellt deltagande och bristande industriell mottagar-kapacitet, (4) svaga samarbeten över kunskaps- och organisationsgränser, (5) otydlighet i roller, samarbeten, ägande och finansiering av forskningsinfrastruktur, (6) konkurrens med fossila råvaror och med alternativa användningsområden av bioråvara.

Sammantaget krävs det en kombination av åtgärder som hanterar dessa sex systemsvagheter för att förutsättningar för en lyckad uppskalning och kommersialisering ska skapas och för att det uppsatta målet om 20 TWh biobaserade kemikalier och/eller biodrivmedel därigenom ska kunna nås till år 2030.

Utan att peka ut explicita åtgärder är slutsatsen att det behövs tydliga och stabila styrmedel som syftar till att skapa en tillräcklig hemmamarknad för biobaserade kemikalier och förnybara drivmedel under en nischmarknadsfas. De styrmedel som utformas behöver ta hänsyn till att det handlar om stora investeringar i ny teknik som ska göras av en konservativ bransch som lider av lönsamhetsproblem och som samtidigt har andra investeringsalternativ att tillgå. Allt pekar också på att det inte finns ett ”optimalt” styrmedel för att ta utvecklingen från demonstration- till nischmarknadsfas utan att det krävs en styrmedelsportfölj där flera styrmedel och incitament kompletterar varandra.

Vidare behövs det ökad kunskap om ”timing” samt förmåga att koordinera insatser, styrmedel och incitament hos berörda myndigheter och departement. Som det är nu uppstår onödiga ”hål” mellan demonstrations- och nischmarknadsfasen. ”Hålen” leder till att teknikutvecklingen stannar av, centrala kunskapsutvecklande företag riskerar att gå i konkurs och strategiskt viktiga tillgångar riskerar att gå förlorade.

Ytterligare en slutsats är att den etablerade industrins incitament att investera i FoU samt dess mottagarkapacitet för FoU behöver stärkas. Att mogna industrier är strömlinjeformade och att mer och mer av utveckling sker av och hos externa konsulter är känt sedan tidigare, samtidigt är en omställning mot avancerade bioraffinaderier beroende av industrins förmåga att ta till sig och integrera ny teknik. Detta gör att riktade satsningar för att stärka industrins mottagarkapacitet och deltagande i forskningsprogram och utvecklingsprojekt är motiverade. Ett alternativ för att främja en sådan utveckling kan vara att skapa incitament för att den infrastruktur som finns inom industrin ska kunna utvecklas och utnyttjas även för forskningsändamål. Vidare behöver samarbeten över kunskaps- och organisationsgränser både öka och stärkas, detta kan delvis ske genom skapandet av gränsöverskridande forskningsprogram i kombination med kommersiella projekt.

Slutligen behöver organiseringen och finansiering av befintlig forskningsinfrastruktur stärkas. I rapporten har det beskrivits hur finansieringsformer, aktörers roller kring och organiseringen av den nationella forskningsinfrastrukturen behöver utvecklas för att öka dess internationella konkurrenskraft. Förbättrad organisering och finansiering av forskningsinfrastrukturen är i sin tur viktigt dels för att attrahera internationellt kapital och samarbeten och dels för att forskningsmiljöer av kritisk storlek ska kunna byggas upp.

7.6 Referenser

Axelsson Linder, J., 2012. Main system weaknesses and strengths for speeding up the development, use and diffusion of biomass based conversion technologies in China. Department of Management and Engineering, Linköpings University, Sweden.

Bacovsky, D., 2014. Overview of advanced biofuels technologies, European Biofuels Technology Platform 6th Stakeholder Plenary Meeting SPM6: Biofuels for low carbon transport & Energy Security, 14–15 October 2014, Diamant Conference Centre, Brussels.

Bergman, P.C.A., Prins, M.J., Boersma, A.R., Kiel, J.H.A., Ptasinski, K.J., Janssen, F.J.J.G., 2005. Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass. Energy Research Centre of the Netherlands, Petten.

Billerudkorsnäs, 2013. Press release: BillerudKorsnäs discontinues pre-study on production of green oil, further focuses on smarter packaging solutions, <http://www.billerud.se/>.

BP, 2014. Statistical Review of World Energy 2014. BP Statistical Review of World Energy, London.

Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., Nyström, I., 2013. Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel: Underlagsrapport från f3 till utredningen om FossilFri Fordonstrafik. f3, 2013:13.

EC, 2009/28. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.

Ecotrafic, 2010. Förädling av skogens biprodukter till pellets, torrefierat bränsle och pyrolysolja: Vad är mest lönsamt?, Rapport 100701. Ecotrafic, Sundsvall.

Energimyndigheten, 2013. Press release: Full pott för svensk energiteknik, 2012-12-18, Eskilstuna.

Energimyndigheten, 2014. Energiläget i siffror 2014. Energimyndigheten, Eskilstuna.

Eurostat, 2014a. Share of energy from renewable sources, 2014-04-14 ed.

Eurostat, 2014b. Share of energy from renewable sources: Share of renewable energy in transport, 2014-10-15 ed.

Finansdepartementet, 2014. Pressmedelande (2014-04-10): Kvotplikt för biodrivmedel kommer inte träda ikraft 1 maj 2014.

Haberl, H., Sprinz, D., Bonazountas, M., Cocco, P., Desaubies, Y., Henze, M., Hertel, O., Johnson, R.K., Kastrup, U., Laconte, P., Lange, E., Novak, P., Paavola, J., Reenberg, A., van den Hove, S., Vermeire, T., Wadhams, P., Searchinger, T., 2012. Correcting a fundamental error in greenhouse gas accounting related to bioenergy. *Energy Policy* 45, 18–23.

Hackl, R., Harvey, S., Andersson, E., 2010. Total Site Analysis (TSA) Stenungsund. Department of Energy and Environment, Division of Heat and Power Technology, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Hedberg, P., Holmberg, S., 2014. Svenska folkets åsikter om olika energikällor 1999–2013, Forskningsprojektet Energiopinionen i Sverige, SOM-Institutet, Göteborgs Universitet, Göteborg, Sverige.

Hellsmark, H., 2010. Unfolding of the formative phase of gasified biomass in the European Union: The role of system builders in relaising the potential of second-generation transportation fuels from biomass, Department of Energy and Environment. Chalmers University of Technology, Göteborg.

Hellsmark, H., Jacobsson, S., 2012. Realising the potential of gasified biomass in the European Union—Policy challenges in moving from demonstration plants to a larger scale diffusion. *Energy Policy* 41, 507–518.

IEA, 2009. Biorefineries: adding value to the sustainable utilisation of biomass. IEA Bioenergy: task 42, 2009:01.

IEA, 2011. Technology Roadmap Biofuels for Transport. IEA.

IEA, 2013. Status of Advanced Biofuels Demonstration Facilities in 2012. IEA, Task 39.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, 2011. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.

- Jacobsson, S., Perez Vico, E., Hellsmark, H., 2014. The many ways of academic researchers: How science is made useful. *Science and Public Policy*, 1–17.
- Joelsson, J., Tuuttila, T., 2012. The history and current development of forest biorefineries in Finland and Sweden. *Forest Refine*, <http://www.biofuelregion.se/>.
- Johansson, B., Salonen, P., 2007. *Bioenergi : till vad och hur mycket?* Formas, Stockholm.
- Johnson, F.X., Seebaluck, V., 2012. *Bioenergy for sustainable development and international competitiveness : the role of sugarcane in Africa*. Earthscan, New York, NY.
- Kåberger, T., 2013. Underlagsrapport 24 – Stöd till inhemsk produktion av andra generationens biodrivmedel, in: *SOU N 2012:05 Utredningen om fossiloberoende fordonsflotta* (Ed.). Statens Offentliga Utredningar, www.sou.go.se.
- Leimkuhler, H.-J., 2010. *Managing CO2 Emissions in the Chemical Industry* [Elektronisk resurs]. Wiley-VCH, Hoboken.
- Näringsdepartementet, 2013. Lagrådsremiss (2013-05-30): Kvotplikt för biodrivmedel.
- Pandey, A., 2011. *Biofuels : alternative feedstocks and conversion processes*. Academic Press, Kidlington, Oxford ;.
- Sandén, B. (Ed.), 2012. *Systems perspectives on biorefineries*, 1 ed. Chalmers University of Technology, Göteborg.
- Sandén, B.A., Jonasson, K.M., 2005. Variety Creation, Growth and Selection Dynamics in the Early Phase of a Technological Transition. *Environmental System Analysis*, Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- SOU, 2013:84. Fossilfrihet på väg, in: *Statens offentliga utredningar* (Ed.), Stockholm.
- Söderholm, P., Frishammar, J., Hellsmark, H., Ylinenpää, H., 2014. Pilot- och demonstrationsanläggningars betydelse inom bioraffinaderiområdet: Resultat från en förstudie. *SP Rapport 2014:10*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- Tetrapak, 2009. Pressmeddelande (2009-11-25): Tetrapak och Braskem under-tecknad överenskommelse om att gå i spetsen för grön plast i kartongförpackningar.
- Ulmanen, J., 2013. *Exploring policy protection in biofuel niche development*, School of Innovation Sciences. Eindhoven University of Technology, Eindhoven.

7.7 Appendix

Genomförda intervjuer

Alias	Organisation
A	Representant för bolaget Chemrecs nuvarande utveckling.
B	Professor vid avdelningen för Energiteknik på Chalmers och representant för utveckling av förgasning.
C	Representant för demonstrationsverksamheten i Örnsköldsvik, anställd av SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.
D	Representant för forskningsinstitutet Innventia.
E	Representant för medlemsorganisationen Skogsindustrierna.
F	Representant för kemiföretaget AksoNobel i Stenungsund.
G	Representant för kemiklustret, Business Region Göteborg.
H	Representant för innovation och utveckling av nya produkter vid Domsjö Fabriker Aditya Birla
I	Representant för SP Processum i Örnsköldsvik.
J	Professor vid Luleå tekniska universitet och representant för utvecklingen av svartlutsförgasning.
K	Professor i kemi vid Umeå universitet och representant för utvecklingen av bioteknik.
L	Representant för bolaget Sekabs nuvarande utveckling.
M	Representant för bolaget Sekabs tidiga utveckling.
N	Professor vid Umeå universitet och representant för utvecklingen kring torrifisering och för bolaget Bioendev.
O	Representant för affärsområdet Energi vid SP Sveriges tekniska forskningsinstitut.
P	Representant för bolaget Chemrecs tidiga utveckling.
Q	Representant för Volvo Technology och tillika expert på nya bränslen.
R	Representant för bolaget EPAB.
S	Representant för forskning och utvecklingsbolaget More Research.
T	Representant för Göteborg Energi och projektet Gobigas.
U	Representant för Göteborg Energi och projektet Gobigas.
V	Professor Emeritus vid avdelningen för Energiteknik på Chalmers och representant för den tidiga utvecklingen av forskningsspannan
X	Professor vid avdelningen för Energiteknik på Chalmers och representant för den nuvarande utvecklingen av forskningsspannan.

Workshopdeltagare Bioraffinaderiworkshop, 18 juni 2014, Stockholm

Namn	Organisation
Patrik Löwnerts, Chemrec	Guido Zacchi, LTH
Rikard Gebart, LTU, ETC	Leif Jönssson, Umeå Universitet
Ulf Westerberg, Solander	Ebba Tam, SPBI
Henrik Wiinikka, ETC	Jonas Joelsson, SP Processum
Erik Persson, ETC	Maria del Pilar Castillo, JTI
Lars Andersson, Billerud Korsnäs	Anders Persson, Billerud Korsnäs
Karin Pettersson, Chalmers	Martin Wimby, Valmet
Per Hanarp, Volvo	Tobias Richards, Högskolan i Borås
Poul Erik Højlund Nielsen, Haldor Topsoe	Martin Hedberg, SPPD
Jens Renberg, Smurfit Kappa	Olov Öhrman LTU, ETC
Henrik Thunman, Chalmers	Christer Gustavsson, Pöyry
Thore Berntsson, Chalmers	Lars Stigsson, Kiram
Ingemar Gunnarsson, Göteborg Energi	Sören Eriksson, Preem
Claes Breitholtz, Valmet	Joseph Samec Renfuel, Uppsala Universitet
Björn Fredriksson Möller, Eon energi	Hans Theliander, Chalmers
Elisabeth Wetterlund, LTU	Peter Axegård, Innventia
Lars Waldheim, Waldheim Consulting	Hans Grundberg, Domsjö Aditya Birla
Joakim Lundgren, LTU	Lars Winter, Domsjö Aditya Birla
Sune Wännström, SP Processum	Weihong Yang, KTH
Thore Lindgren, SEKAB	Christofer Lindgren, Cleanflow Black AB
Niklas Berglin, Innventia	
Pelle Fridström, Övik Energi/Bioendev	
Stefan Svensson, MoRe Research	

8 Empiriska mönster och slutsatser för analytiker

*Anna Bergek, Linköpings universitet,
Hans Hellsmark, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut,
Staffan Jacobsson, Chalmers tekniska högskola*

8.1 Introduktion

Det är mycket ovanligt att fem TIS-analyser görs parallellt och fokuserar på tekniker i samma land och i samma tidsperiod. Det kan omedelbart konstateras att de fem fallstudierna visar på tre gemensamma drag i fram- och tillväxten av ett TIS. För det första är den en mångdimensionell process. Det finns många funktioner, de samspelar på olika sätt och samspelet drivs både av intern dynamik i TIS:et och av kontextens påverkan. Mångdimensionaliteten innebär att det är krävande att förstå dynamiken, eller bristen på dynamik, samt att enkla lösningar oftast inte finns för att stärka den. För det andra kan tidsskalan räknas i årtionden, vilket inte är unikt för dessa fall utan är allmänt förekommande i teknisk och industriell utveckling (Jacobsson och Bergek, 2011). För det tredje befinner sig alla de fem TIS:en ur ett svenskt perspektiv i någon av de tre tidigaste utvecklingsfaserna: konceptutvecklingsfas/tidig demonstrationsfas (marin energi), demonstrationsfas (havsbaserad vindkraft, solceller (komponenttillverkning), laddhybrider och helelektriska fordon samt avancerade bioraffinaderier) eller nischmarknadsfas (solceller (installation) och hybridfordon)^{123, 124}

Materialet ger därför möjlighet att genomföra ett syntesarbete som gör att lärdomar kan dras som inte enbart bygger på enskilda fall utan har en bredare relevans. I detta kapitel identifieras först empiriska mönster i funktionella styrkor och svagheter. Därefter diskuteras systemsvagheter i de fem fallen, med fokus på (i) antal, (ii) deras mångdimensionella drag, (iii) vilka systemnivåer de befinner sig på, (iv) systemsvagheter som är gemensamma för flera av de studerade TIS:en samt (v) vilken eller vilka aktörer som kan åtgärda dem. Analysen övergår därefter till att dra lärdomar från de fem fallstudierna för analytiker som bedriver TIS-studier. Lärdomarna berör analytiska och metodologiska frågor samt vad dessa innebär för analytikernas kompetens och organisationen av deras verksamhet. Syntesen har ett värde i sig, men bidrar även genom att ge underlag till policy-diskussionen i kapitel 9.

¹²³ Fasbestämningen för elektrifierade tunga fordon skiljer sig åt mellan olika slags fordon, där hybridbussar har nått längst.

¹²⁴ Ur ett globalt perspektiv har två av teknikerna (solceller och havsbaserad vindkraft) gått in i en kommersiell tillväxtfas.

8.2 Funktionella mönster i de fem fallen

I detta avsnitt identifieras och kommenteras funktionella mönster som är framträdande i flera eller alla fem TIS. Det bör noteras att det genomgående i detta avsnitt är funktionernas styrka i förhållande till vad som krävs för att nå de uppsatta målen i respektive fall som diskuteras. Det innebär att en del av de slutsatser som dras utgår från att de mål som har satts upp är rimliga och önskvärda. Därför bör det noteras att målsättningarna som används inte är politiskt förankrade utan har formulerats av analytikerna. I vissa fall har det funnits befintliga mål för spridning och industriell utveckling att utgå från, medan det i andra fall har varit nödvändigt att istället formulera egna mål baserat på övergripande (politiska) visioner för områdenas utveckling (se kapitel 2 för en mer utförlig diskussion och en sammanställning av vilka mål som har satts upp i de olika fallen).

Tabell 8:1 sammanfattar bedömningarna av funktionernas styrka. Som synes finns det betydande likheter mellan bedömningarna av de olika fallen. Särskilt tydligt är att *entreprenöriellt experimenterande* genomgående bedöms som medel eller stark medan *marknadsformering* bedöms som svag. En enkel sammanvägning av bedömningarna, där en svag funktion erhåller noll poäng, en medel funktion en poäng och en stark funktion två poäng, visar ett tankeväckande mönster, där de starkaste funktionerna är *entreprenöriellt experimenterade* samt *kunskapsutveckling och spridning*, medan *vägledning av aktörernas sökprocesser*, *legitimering*, *resursmobilisering* och *utveckling av socialt kapital* bedöms som svaga-medel och *marknadsformering* är svag. I vad som följer kommer detta mönster att diskuteras.

Tabell 8:1. Funktionernas styrka i de fem fallen (från kapitel 3–7).

Funktioner		Havsbaserad vindkraft	Marin energi	Solceller Installation /komponenttill- verkning	Elektrifierade tunga fordon	Avancerade bioraffinaderier	Summa	Styrka
Entreprenöriellt experimenterande	Medel		Medel	Medel /Svag	Stark	Medel	6 /5	Medel-
Stark								
Kunskapsutveckling och spridning	Medel		Medel	Medel /Medel	Medel	Stark	6	
Vägledning av sökprocessen	Medel		Svag	Stark /Svag	Svag	Medel	4 /2	Svag- Medel
Legitimering	Svag		Medel	Medel /Medel	Medel	Medel	4	
Utveckling av socialt kapital	Svag		Svag	Stark /Medel	–	Medel	3a /2a	
Resursmobilisering	Svag		Svag	Stark /Svag	Medel	Svag	3 /1	
Marknadsformering	Svag		Svag	Svag /Medelb	Svag	Svag	0 /1	Svag

^a Observera att den maximala poängen är 8 och inte 10 eftersom funktionen endast är bedömd i fyra av fem fall.

^b Bedömningen baseras på den globala marknadsformeringen – inte på den svenska.

8.2.1 Relativa starka funktioner: entreprenöriellt experimenterande samt kunskapsutveckling och spridning

Sammantaget bedöms *entreprenöriellt experimenterande* och *kunskapsutveckling samt spridning* utgöra relativa styrkor i den fem TIS:en. Ett genomgående mönster är att alla de fem teknikområdena sedan årtionden har varit föremål för statliga forsknings-, utvecklings- och demonstrationssatsningar samt i viss mån även privata investeringar. Dessa tidiga satsningar har möjliggjort en långsiktig kunskapsuppbyggnad och medverkat till att lärandenätverk med nationella och internationella kopplingar har byggts upp. Såväl inom centrumbildningar som i andra delar av systemet har ett brett experimenterande skett längs stora delar av de värdekedjor som finns representerade inom varje område, där olika tekniska lösningar har testats. Till exempel har Volvo utvecklat och erbjuder olika typer av elektrifierade bussar – både hybrider och laddhybrider.¹²⁵ Sverige är också ledande på flertalet konverteringstekniker av biomassa till drivmedel och kemikalier och har inom detta område en internationellt erkänd för sin forskningsinfrastruktur och har genomfört experiment längs ett flertal värdekedjor.

Samtidigt bör det observeras att orsakerna till att de två funktionerna är starka skiljer sig något mellan de olika TIS:en. I flera av fallen står en eller flera högskolor och universitet i centrum för satsningarna. Inom marin energi är Uppsala universitet en viktig nod, med världsledande forskningsverksamhet, betydande internationell publicering, starka internationella kopplingar och ett antal mindre bolag kopplade till sin verksamhet. Även inom området avancerade bioraffinaderier är ett stort antal universitet och högskolor med och driver kunskapsutvecklingen tillsammans med både stora och små bolag. Inom marin energi och avancerade bioraffinaderier är det därmed främst forskningsaktörer i kombination med små entreprenöriella bolag som varit drivande i kunskapsutvecklingen kring olika teknikspår, nationellt och internationellt. Inom området elektrifierade tunga fordon är det snarare fordonstillverkarna med Volvo i spetsen som har varit drivande i kunskapsutvecklingen än universitet och högskolor, även om de stora fordonstillverkarna samverkar med Chalmers, KTH, Lunds universitet, Uppsala universitet och Linköpings universitet inom ramarna för Svenskt hybridfordonscentrum..

8.2.2 Medelstarka funktioner: vägledning av aktörernas sökprocesser, legitimering, resursmobilisering och utveckling av socialt kapital

Den andra gruppen består av funktioner som bedöms vara medelstarka relativt de mål som satts upp för respektive område: *vägledning av aktörernas sökprocesser*, *legitimering*, *resursmobilisering* och *utveckling av socialt kapital*.

Funktionen *vägledning av aktörernas sökprocesser* har stärkts av olika faktorer i de fem TIS:en. I fallen elektrifierade tunga fordon och bioraffinaderier bidrar visionen om en fossilfri fordonsflotta. För de andra områdena (marin energi, havsbaserad vindkraft och solet) finns övergripande politiska mål både inom

¹²⁵ Volvos helelektriska buss kommer att gå i fältprov sommaren 2015.

Sverige och EU som stimulerar till en övergång till förnybar elproduktion samt en successiv utfasning av kolkraft och i viss mån kärnkraft. De övergripande målen har även bidragit till *legitimeringen* inom flera TIS och det finns ett stort stöd och förtroende för förnybara alternativ hos den svenska allmänheten (Hedberg och Holmberg, 2014a). Detta gäller särskilt solceller, där tekniken möjliggör att kunden kan nå en högre grad av självförsörjning. Området elektrifierade tunga fordon beskriver dessutom en stor potential i att öka legitimiteten genom att lyfta fram möjligheter till tystare, vibrations- och utsläppsfria transporter vilka skapar förutsättningar för en samhällsplanering som är bättre anpassad kollektivtrafikanternas behov och önskemål. Till följd av att dessa två funktioner har varit medelstarka har företag etablerat sig längs med stora delar av värdekedjorna och därmed fört med sig resurser av olika slag. *Resursmobiliseringen* har förstärkts ytterligare genom statliga satsningar på FoU och har även underlättats av att aktörer i de fem TIS:en har kunnat dra nytta av att det finns flera relaterade branscher och kunskapsområden att rekrytera från och samordna resurser med. Sådana relationer har i vissa fall, t.ex. solceller, även bidragit till *utvecklingen av socialt kapital* genom att existerande relationer har kunnat utnyttjas. I andra fall, t.ex. avancerade bioraffinaderier, har forskningssatsningar med fokus på branschöverskridande samverkan resulterat i ökat förtroende mellan aktörerna.

Samtidigt påverkas systemen av olika slags systemsvagheter. *Vägledningen av aktörernas sökprocesser* påverkas negativt av att den övergripande målbilden sällan översätts till målbilder för enskilda teknikområden och att teknikområden ställs mot varandra istället för mot de fossilbaserade tekniker de ska ersätta. Marknadsincitamenten är också till övervägande del svaga. *Legitimeringen* försvagas t.ex. av konkurrerande intressen (havsbaserad vindkraft), låg nivå på engagemanget hos den etablerade industrin (solceller och avancerade bioraffinaderier), hög investeringskostnad jämfört med etablerad teknik (elektrifierade tunga fordon) och tids- och resurskrävande test- och demonstrationsaktiviteter (marin energi). *Resursmobiliseringen* hindras bl.a. av att det saknas modeller för finansiering och ägande av stora anläggningar samtidigt som de tekniska, marknadsmässiga och politiska riskerna är stora och kapitalet därför blir tillgängligt enbart med en hög riskpremie (jfr havsbaserad vindkraft och solceller (komponenterproduktion)). Inom vissa områden behöver utbildningar utvecklas (jfr havsbaserad vindkraft och avancerade bioraffinaderier) eller så saknas kompetens hos industriella och offentliga aktörer (jfr avancerade bioraffinaderier och marin energi). Den fysiska infrastrukturen och regelverket för den behöver utvecklas inom alla områden – möjligen med undantag för solceller –¹²⁶ för att kunna hantera en storskalig spridning. *Utvecklingen av socialt kapital* påverkas negativt av att olika aktörer har olika värdegrunder och av att det finns bristande förståelse mellan aktörer med avseende på förutsättningar, behov och roller. Dessutom finns i vissa fall en brist på förtroende för att staten ska hålla sina löften om ekonomiska incitament (jfr avancerade bioraffinaderier).

¹²⁶ Vid en mycket omfattande spridning av vindkraft och solceller måste dock intermittensfrågan hanteras vilket leder till behov av infrastruktursatsningar även i detta fall (se kapitel 3 Havsbaserad vindkraft).

8.2.3 Svag funktion: marknadsformering

Gemensamt för alla de fem teknikområdena är att marknadsformeringen bedöms vara en svag funktion, d.v.s. den är mycket otillräcklig för att de uppsatta målen ska kunna nås. Det har funnits demonstrations- och investeringsstöd på såväl nationell som lokal nivå, och det finns ett antal generella styrmedel som skapar goda förutsättningar för spridning av tekniker som nästan är konkurrenskraftiga med etablerad teknik (t.ex. CO₂-skatt, undantag från energiskatter, elcertifikat och kvotsystem för förnybara bränslen). Däremot saknas tidiga hemmamarknader för mer omogna teknikområden. Orsakerna till detta varierar mellan fallen (se vidare i nästa avsnitt), men till exempel skapar befintliga, generella ekonomiska styrmedel i många fall inte tillräckliga incitament för investeringar i tekniker som är längre ifrån att vara konkurrenskraftiga. Det finns även osäkerhet kring regelverk och svårigheter att gradvis fasa in ny teknik i befintliga system (jfr elbussar i kollektivtrafiken).

8.3 Observationer rörande systemsvagheter

Ett antal observationer kan göras med avseende på de identifierade systemsvagheter. Den första är att det finns ett stort antal systemsvagheter. För t.ex. havsbaserad vindkraft identifierades åtta systemsvagheter och för marin energi var antalet sex (se tabell 8:2). Förståelsen för vad som blockerar dynamiken i ett givet TIS måste därför inkludera många fler aspekter än dem som oftast förs fram i analyser av marknadsmisslyckanden (framförallt positiva kunskapsexternaliteter och negativa miljöexternaliteter).¹²⁷ Denna observation leder i sin tur till lärdomar för krav på kompetens hos analytikern, för organisation av analysarbetet samt för utformning av policyinstrument och koordinering av policyinsatser mellan olika myndigheter.

Tabell 8:2. Antal strukturella svagheter i respektive fall.

Område	Antal
Havsbaserad vindkraft	8
Marin energi	6
Solceller	8
Elektrifierade tunga fordon	8
Avancerade bioraffinaderier	6

Den andra observationen är de mångdimensionella dragen i systemsvagheter. De härrör från många olika typer av systemkomponenter och kontextuella strukturer och vilka som är viktiga skiljer sig åt mellan olika fall. Detta skapar ytterligare utmaningar för både analytiker och policy. För analytikern är det en utmaning

¹²⁷ Den neoklassiska analysen identifierar fler marknadsmisslyckanden än dessa två, vilket diskuteras i kapitel 9.

att spännvidden mellan olika fall är stor och att varje fall har sin egen logik. I fallet marin energi dominerar samverkansproblem mellan branschens aktörer och mellan offentliga aktörer i kombination med brist på marknadsincitament. Det kan jämföras med fallet havsbaserad vindkraft, där svagheter till övervägande del är av institutionell karaktär och inte enbart rör marknadsincitament utan också faktorer som t.ex. avsaknad av regelverk för koordinering av investeringar i parker och elnät. För policy är utmaningen snarare att hantera spännvidden inom ett visst TIS. I fallet elektrifierade tunga fordon finns vissa av systemsvagheter på en lokal policynivå i form av t.ex. kommunala och regionala upphandlingskrav, kontraktbundna avtal för kollektivtrafiken och brist på samverkan mellan olika lokala/regionala verksamhetsområden (stadsplanering, trafikplanering och elkraft-distribution), medan andra finns på en nationell policynivå, t.ex. ekonomiska styrmedel som inte gör åtskillnad mellan ny och mogen teknik.

Den tredje observationen är just att systemsvagheter finns på olika nivåer: inom TIS:ets egen struktur, inom olika nationella systemstrukturer samt internationellt (se tabell 8:3).¹²⁸ En lärdom för analytiker är således att det är av stor vikt att gå utanför det fokala TIS:et för att förstå vad som hindrar dess dynamik och för att hitta medel för att stärka de berörda funktionerna (se vidare avsnitt 8.3).

Tabell 8:3. Antal systemsvagheter som härrör från respektive systemstruktur.

Område \ Nivå (#)	TIS-intern struktur	Nationella kontext-strukturer*	Internationella kontextstrukturer
Havsbaserad vindkraft	3	3	2
Marin energi	3–4	2–3	0
Solceller	5	2	1
Elektrifierade tunga fordon	3	2	3
Bioraffinaderier	5	0	1

* Inkluderar sektoriella kontextstrukturer.

Den fjärde observationen är det inte går att finna något generellt mönster för vilka systemsvagheter som påverkar de olika funktionerna, utan det finns en systemspecifik logik som måste förstås och påverkas. Det finns emellertid några återkommande teman för vissa av funktionerna. För det första blockeras funktionen *kunskapsutveckling och spridning* generellt sett av brister i samverkan inom värdekedjan och mellan myndigheter. Ett exempel på det förstnämnda finns i solcellsfall där underutvecklade nätverk mellan olika aktörer i värdekedjan leder till ett begränsat korslärande. Exempel på det sistnämnda finns inom marin energi och elektrifierade tunga fordon. I fallet marin energi efterlyses koordinering mellan olika politikområden, som t.ex. forskning, innovation, energi och miljö. I fallet elektrifierade tunga fordon saknas, som nämndes ovan, samverkan

¹²⁸ Fördelningen av systemsvagheter mellan de olika nivåerna kan till viss del förklaras av skillnader i analytikerns fokus.

och samordning mellan olika lokala initiativ (t.ex. demonstrationsprogram i olika städer), men även mellan olika ansvarsområden i samma stad (t.ex. elkraftdistribution och stadsplanering).

För det andra lider funktionen *resursmobilisering* generellt sett av brister i samverkan och koordinering mellan offentliga aktörer. De tar sig t.ex. uttryck i avsaknad av regelverk för att koordinera investeringar i havsbaserade vindkraftsparker med investeringar i elnät, brist på samordning av enskilda forskningsanslag inom marin energi och fragmentering av resurstillförseln mellan kommuner och landsting inom elektrifiering av tunga fordon. Gemensamt för flera av fallen är att bristerna i koordinering har tydliggjorts när ett teknikområde har varit på väg att röra sig från en fas till en annan, särskilt från en demonstrationsfas till en nischmarknadsfas.

För det tredje påverkas såväl *vägledningen av aktörernas sökprocesser* som *marknadsformeringen* av svaga ekonomiska marknadsincitament. Gemensamt för alla TIS:en är att de primära styrmedel som används är teknikneutrala instrument, som fokuserar på lägsta möjliga kortsiktiga kostnad och spridning av redan etablerade teknologier. Elcertifikatsystemet ger inte tillräckligt höga ersättningsnivåer för att stimulera investeringar i solceller, havsbaserad vindkraft och marin energi. I fallet bioraffinaderier leder ett undantag från CO₂-skatt och en eventuell kvotplikt för inblandning av förnybara drivmedel till att leveranser från avancerade bioraffinaderier prioriteras ned. I fallet elektrifierade tunga fordon innebär teknikneutrala mål om fossilfrihet i realiteten att stöd endast utgår till mogen teknik (d.v.s. olika slags biodrivmedel). I solcellsfall finns dessutom betydande osäkerheter om de ekonomiska styrmedlen (t.ex. investeringsstödet) och regelverken för ersättning av inmatning av el på nätet (t.ex. regler för skattereduktion och nettodebitering).

Den femte observationen rör vilka systemsvagheter som privata aktörer kan bearbeta – enskilt eller i grupp – och vilka som faller på olika myndigheter att åtgärda. Av de gemensamma systemsvagheter är det främst samverkan och koordinering mellan aktörerna i ett visst system som de själva kan påverka. Myndigheterna kan emellertid underlätta samordning och formering av nätverk mellan systemets aktörer på olika sätt. De satsningar på kompetens- och forskningscentrum som beskrevs ovan är några exempel. Samordning och koordinering mellan olika myndigheter är i första hand myndigheternas egen uppgift att få till stånd. Enskilda aktörer kan dock bidra till att koppla samman olika myndigheter, t.ex. genom att påtala behov av samordning. Regelverk för marknadens funktion och ekonomiska incitament är även de primärt ett ansvar för myndigheterna. Övriga aktörer kan påverka indirekt, via legitimering, vilket dock oftast kräver en hög grad av samordning och formering av politiska nätverk.

Dessa fem observationer om de svagheter som blockerar dynamiken i de studerade innovationssystemen belyser de utmaningar som analytiker och policy måste hantera för att förstå dynamiken, precisera policyutmaningar och finna lösningar till dessa. I nästa avsnitt behandlas utmaningar och lärdomar för analytiker som bedriver TIS-studier medan policyutmaningarna diskuteras i kapitel 9.

8.4 Lärdomar för analytiker som bedriver TIS-studier

TIS ansatsen utvecklades på begäran av STU (VINNOVA), som hade uppfattat att det fanns en brist på analytiska verktyg som kunde användas för att ta fram förslag på olika teknikpolitiska insatser (Carlsson m.fl., 2010). Ansatsen är fortfarande stadd i utveckling och en syntes av de fem fallstudierna bidrar inte bara till att specificera lärdomar och utmaningar utan även till att utveckla analysverktyget. Syntesen börjar med att formulera analytiska lärdomar för att sedan övergå till lärdomar av metodkaraktär och avslutar med en diskussion om vad dessa innebär för analytikernas kompetens och organisation av analysarbetet.

8.4.1 Vikten av genomtänkta systemavgränsningar

En första lärdom för analytiker rör vikten av genomtänkta systemavgränsningar. De empiriska kapitlen ger exempel på olika slags systemdefinitioner och systemavgränsningar (se även kapitel 2). Framförallt skiljer de sig åt med avseende på hur omfattande systemdefinitionen är, d.v.s. hur stor del av den svenska värdekedjan som täcks in. I fallen marin energi och elektrifierade tunga fordon är systemen definierade med utgångspunkt i de aktörer som utvecklar olika marina energiproduktionssystem respektive elektrifierade tunga fordon för specifika applikationer. I fallen havsbaserad vindkraft och solceller omfattar systemdefinitionen mycket större delar av värdekedjan för respektive teknik. I fallet avancerade bioraffinaderier omfattar systemet utvecklingen av ett antal plattformsteknologier som därigenom definierar området avancerade bioraffinaderier. Dessa kan i sin tur användas för att skapa en stor mängd olika produkter, som förnybara drivmedel och kemikalier, vilka var och en har sin egen marknadslogik. I rapporten avgränsas alla system till Sverige, även om de faktorer som påverkar systemen i flera av fallen finns utanför Sveriges gränser (se även avsnitt 8.2).

Som nämndes i kapitel 2 måste utgångspunkten för en systemavgränsning alltid vara syftet med analysen. Det kan alltså vara lika motiverat att använda en mycket snäv definition som en mycket bred. Givet ett visst syfte har båda alternativen emellertid för- och nackdelar som analytikern måste vara medveten om och försöka hantera. En viktig fördel med en snäv definition är att det på ett helt annat sätt än med en bredare definition blir möjligt att gå på djupet i analysen. Ju mer omfattande systemet är, desto mer arbete krävs för att uppnå samma förståelse för detaljerna i dynamiken. Med en systemavgränsning som täcker in en komplett värdekedja behöver analytikern t.ex. fånga in kunskapsutveckling i alla delar av kedjan, studera vägledning av en bred uppsättning aktörers sökprocesser och ta hänsyn till formering av marknader i flera led. Om tillräckliga resurser inte allokeras kan en bred systemavgränsning därmed leda till att analysen blir ganska ytlig.

En snäv definition är dessutom ofta lättare att hantera än en bred, eftersom det blir tydligare vilken teknik eller produkt det är som systemet ur analytisk synvinkel syftar till att utveckla och sprida. Med en bred definition kompliceras analysen – och kanske särskilt presentationen av den – av att det som är en indikator på en viss funktion när fokus ligger på en del av värdekedjan kan vara en indikator på en annan funktion när fokus ligger på nästa del av värdekedjan. Ett exempel på detta

ges i tabell 8:4, som visar att antalet vindkraftverk (eller installerad vindkraftseffekt) kan vara en indikator antingen på marknadsformering eller på resursmobilisering beroende på vilken del av värdekedjan som står i fokus. För den erfarna analytikern är denna komplexitet oftast hanterbar, men för en oerfaren analytiker kan det – om syftet kräver att analysen täcker in hela värdekedjan – vara mer lätthanterligt att analysera flera närliggande, mer snävt definierade system och sedan studera interaktionen mellan dem än att direkt försöka hantera en komplett värdekedja. Inspiration kan här fås av solcellskapitlet, även om orsaken till att två analyser görs i detta fall är att författarna arbetar med två olika målsättningar för det svenska TIS:et – ett industrialiseringsmål och ett installationsmål – som ställer olika krav på systemets funktionalitet och därmed inte kan analyseras ihop.

Tabell 8.4. Exempel på hur olika fokus i analysen kräver olika funktionsindikatorer

Indikator \ Del av värdekedjan	Tillverkare av vindkraftverk	Producenter av vindkraftsel
Indikator på marknadsformering	Antal sålda/byggda vindkraftverk (eller såld/installerad effekt) Kunder: elproducenter (+mellanled, t.ex. projekteringsbolag)	Mängd producerad (eller såld) vindel Kunder: elkonsumenter (+mellanled, t.ex. elhandelsbolag)
Indikator på mobilisering av fysiska resurser (produktionsutrustning)	Antal fabriker, kranar etc. för att tillverka och installera vindkraftverk (eller total tillverknings-/installationskapacitet)	Antal byggda vindkraftverk (eller installerad effekt)

Nackdelen med en snäv definition, med avseende på avgränsningar till vissa delar av värdekedjan eller till vissa geografiska områden, är dock att viktig systemdynamik riskerar gå förlorad. Om det finns starka beroenden mellan olika delar av värdekedjan eller om TIS:et påverkas mycket av händelser och processer på sektorsnivå eller utanför de geografiska gränser som har satts kan en snäv systemdefinition leda till att mycket av det som påverkar TIS:ets funktionalitet hamnar utanför analysen. Risken blir då att analytikern endast kommer att kunna identifiera en delmängd av de systemsvagheter som finns – och kanske inte ens de viktigaste. Beroende på syftet med analysen kan analytikern därför behöva se till att hantera inverkan från olika slags kontextuella strukturer på andra sätt (se vidare nästa avsnitt). Detta behov finns dock oavsett hur brett systemgränserna sätts och det bör alltså inte användas som ett argument för att ta in så mycket som möjligt i systemdefinitionen.

Sammanfattningsvis måste en analytiker noga tänka över systemavgränsningen och ta hänsyn till såväl sin egen analyserfarenhet som det övergripande syftet med analysen och vilka krav det ställer på förståelsen för beroenden inom värdekedjan och mellan systemet och den externa kontexten.

8.4.2 Kontextens inverkan på systemets dynamik

En andra lärdom för analytiker är att olika slags omgivande faktorer starkt kan inverka på TIS:ets dynamik (se även tabell 8:3 ovan). Som berördes i föregående avsnitt och i kapitel 2 är frågan om kontext kopplad till systemavgränsningsproblematiken. Genom att definiera och avgränsa ett TIS skiljer analytikern mellan det TIS som står i fokus för analysen och systemets omgivning, som här kallas kontext. I kontexten finns därmed alla de teknologier, aktörer, nätverk och institutioner som inte ingår i det fokala TIS:et. En del av dem bildar mer sammanhängande kontextuella systemstrukturer, t.ex. andra TIS, sektoriella strukturer och nationella strukturer som utbildnings-, finans- och rättssystemen (Bergek m.fl., 2014; Sandén och Hillman, 2011).

I de empiriska kapitlen finns många exempel på hur sådana kontextuella strukturer påverkar det fokala TIS:ets funktionalitet. Till att börja med har alla de TIS som analyseras i denna rapport påverkats av ett eller flera *andra framväxande TIS inom samma övergripande sektor*. I analyserna av marin energi och havsbaserad vindkraft betonas den negativa inverkan som konkurrensen med landbaserad vindkraft och biokraftvärme inom ramen för elcertifikatsystemet har på marknadsformeringen. Såväl marin energi som havsbaserad vindkraft upplever dessutom direkt motstånd från förespråkare för landbaserad vind (och kärnkraft), vilket påverkar legitimeringen negativt. I fallet elektrifiering av fordon påverkas marknadsformeringen för el- och hybridbussar negativt av att biogasbussar har erövrat en viktig potentiell nischmarknad (stadsbussar).

De analyserade TIS:en har också påverkats av mer *övergripande strukturer i den primära sektorn* (d.v.s. strukturer som inte kan ses som tillhörande enskilda TIS utan snarare spänner över flera TIS). På den positiva sidan har en generellt positiv inställning till förnybar energi i samhället gynnat utvecklingen av marin energi; visionen om en fossiloberoende fordonsflotta har, som nämndes ovan, gynnat funktionaliteten i bioraffinaderi-TIS:et; bioraffinaderier kan utnyttja positiva synergier med pappers-/massaindustrin (t.ex. kompetens); och satsningar på forskning om miljöfordon av olika slag har gynnat TIS:et runt elektrifierade tunga fordon. På den negativa sidan är etablerade företag tveksamma till att investera i bioraffinaderier; brister i elnätets utbredning och regelverk hindrar utvecklingen av havsbaserad vindkraft och marin energi; och befintlig infrastruktur måste avvecklas eller ställas om för att möjliggöra spridning av elektrifierade tunga fordon och nya drivmedel från bioraffinaderier.

Ett TIS kan även påverkas av *systemstrukturer utanför den primära sektorn*. De fall som analyseras i denna rapport visar tydligt hur nya TIS ofta växer fram i gränslandet mellan befintliga branscher och sektorer och att deras utveckling och funktionalitet därmed kan komma att påverkas av flera olika kontextuella systemstrukturer än de närmast relaterade (sektoriella). Till exempel ses solceller kanske primärt som en del av energisektorn, men placeras samtidigt ofta på byggnader och blir därmed en del av bostads- och byggsektorn (särskilt när det handlar om nya koncept som nollenergihus). Marin energi och havsbaserad vindkraft växer fram i gränslandet mellan energi- och offshoresektorerna. Bioraffinaderier är

nästan per definition kopplade till olika sektorer genom att de genererar produkter som används i olika sektorer: drivmedel, kemikalier, el och värme men även genom att råvaran kan komma från olika håll (t.ex. skogssektorn, massa- och pappersindustrin och jordbrukssektorn).

Denna typ av intersektoriella beroenden innebär att funktionaliteten i ett TIS kan påverkas av vad som händer i en helt annan sektor än den primära. I vissa fall kan resurser som mobiliseras i en relaterad sektor komma det fokala TIS:et till nytta. Till exempel kan havsbaserad vindkraft och marin energi dra nytta av investeringar i sjöfart (t.ex. hamnar) och i olja- och gasindustrin (teknik för flytande kroppar); TIS:et för elektrifierade tunga fordon har behov av den kompetens inom elkraft och laddutrustningar som finns inom energisektorn; bioraffinaderier kan utnyttja den befintliga infrastrukturen för fossila bränslen vid inblandning av biodrivmedel och även rekrytera kompetenta personer från petrokemisk industri; och solceller kan dra nytta av det finns en mycket stor mängd byggnader i samhället som kan utnyttjas som ”ställningar”. I flera av kapitlen nämns även att den svenska industrins breda kompetens är en generell fördel för nya teknikområden. Samtidigt kan det finnas en konkurrens om resurser över sektorsgränser. Till exempel konkurrerar marin energi och havsbaserad vindkraft med fiskesektorn om vattenresursen och det finns en konkurrens om biomassa mellan bl.a. energi-, pappers-/massaindustrin och transportsektorn.

Utöver teknik- och sektorsspecifika kontextuella strukturer finns även *institutioner på nationell nivå* som påverkar flera (eller till och med alla) sektorer i ett land. Som nämndes i avsnitt 8.1.3 påverkas alla TIS:en som analyseras i denna rapport negativt av den dominanta föreställningen om att teknikneutrala styrmedel är överlägsna mer tekniks specifika styrmedel. Analyserna visar också hur tillståndsregler och -processer som är generella för flera olika slags verksamheter i ett land (t.ex. tillståndsregler för vattenverksamheter, bygglovslagstiftning och regler för miljötillståndsprövning) påverkar enskilda TIS som t.ex. marin energi, havsbaserad vindkraft och solceller. På samma sätt kan miljölagstiftning (t.ex. utsläppskrav) ha en sektorsövergripande inverkan. Dessutom påverkas resursmobiliseringen i enskilda TIS av övergripande nationella strukturer som det finansiella systemet och utbildningssystemet. Till exempel har bristen på riskvilligt kapital till större investeringar lyfts fram i fallen havsbaserad vindkraft, avancerade bioraffinaderier och solceller (leverantörsindustrin) och vikten av att utbildningssystemet kan möta efterfrågan på nya kompetenser betonas i samma tre fall.

Slutligen sker en inverkan på TIS i Sverige från två övergripande typer av kontextuella systemstrukturer utanför landets gränser:

- 1 *Inverkan av innovationssystem för samma teknik som finns i andra länder.* Exempel på sådan inverkan finns i flera av de fall som analyseras i denna rapport. I fallet havsbaserad vindkraft vägleds sökprocesser och stimuleras entreprenöriella experiment av marknadsutvecklingen och policy i främst England, Tyskland och Danmark. I fallen havsbaserad vindkraft och solceller finns stora delar av värdekedjan utanför Sverige och kunskapsutvecklingen drivs därmed till stor del av utländska aktörer. Det innebär

bland annat att tillgången på teknik och aktörer i olika led påverkas av stödsystem och lagstiftning i andra länder och på EU-nivå. För havsbaserad vindkraft har detta lett till att tekniken utvecklas för Nordsjöns fysiska förutsättningar och att en systemsvaghet finns i form av en avsaknad av teknikutveckling som är anpassad till Östersjöns fysiska förutsättningar. Fallet elektrifierade tunga fordon ser annorlunda ut i och med att två av de sex största fordonstillverkarna hör hemma i Sverige. Samtidigt är fordonsbranschen mycket internationell; svenska aktörer är beroende av utvecklingen på internationella marknader och utländska företag är aktiva på den svenska marknaden och bidrar på så sätt till utvecklingen av det svenska TIS:et (samtidigt som de konkurrerar med de svenska aktörerna om marknadsandelar).

- 2 *Inverkan av övergripande strukturer i andra länder.* Vissa strukturer påverkar ett flertal av de fem fallen. Till exempel har i princip alla förnybara energitekniker, drivmedel och alternativa drivlinor gynnats av internationella olje- och klimatkriser, som har väglett aktörernas sökprocesser och legitimerat nya teknikspår. Andra strukturer är i princip generella, men får större betydelse för vissa TIS. Till exempel torde debatten om ”Energiwende” i Tyskland och inom EU påverka alla förnybara energitekniker negativt, men den framhålls bara i analyserna av havsbaserad vindkraft och solceller. Skiffergasboomen ökar konkurrensen från naturgas generellt, men har i Sverige främst påverkat TIS:et för elektrifierade tunga fordon genom att naturgasen blir ett konkurrenskraftigt drivmedel. Ytterligare andra strukturer är specifika för en viss teknik eller grupp av tekniker. Till exempel har Europeiska kommissionens strategi för blå tillväxt, som syftar till att stödja hållbar tillväxt generellt i havs- och sjöfartssektorerna, skapat intresse för marin energi och havsbaserad vindkraft och utsläppskrav i EU och USA stödjer utvecklingen av förnybara drivmedel och kemikalier från avancerade bioraffinaderier.

Fallen som analyseras i denna rapport visar alltså att relationen mellan ett fokalt TIS och dess kontext ofta är ganska komplicerad. För analytikern innebär det att analysen måste ta ett flertal saker i beaktande. *För det första* kan två eller flera TIS konkurrera om marknadsandelar, resurser och legitimitet samtidigt som de drar nytta av varandras framgångar.¹²⁹ Ett snävt fokus på enskilda TIS kan därför resultera i slutsatser och policyåtgärder som leder till suboptimering ur ett mer övergripande perspektiv. Det talar för att arbeta med flera olika systemgränser parallellt.

För det andra kan det finnas gemensamma hinder och drivkrafter för flera (eller alla) framväxande TIS i en viss sektor (se avsnitt 8.2). Det innebär att det kan vara meningsfullt att analysera flera TIS i en sektor parallellt för att hitta de

¹²⁹ Påverkan behöver inte vara symmetrisk – ett av TIS:en kan gynnas medan det andra missgynnas (Sandén and Hillman, 2011). Exempel på det är hur en negativ inställning till vindkraft (på grund av dess visuella föroreningar) och tidigare misslyckanden att skapa en svensk vindkraftsindustri bidrar till legitimering av marin energi.

sektoriella systemsvagheter som inverkar negativt på flera TIS samtidigt, och där politiska åtgärder därmed kan göra extra stor nytta. En analytiker måste även vara uppmärksam på att sektoriella strukturer kan påverka olika TIS på olika sätt. Ett exempel är visionen om en fossilfri fordonsflotta, som ur avancerade bioraffinaderiers perspektiv vägleder aktörernas sökprocesser och skapar legitimitet och därmed antas få positiva effekter på utveckling och spridning av biodrivmedel. Samtidigt visar analysen i kapitel 6 att den just därför kan komma att få negativa effekter för TIS:et för elektrifierade tunga fordon eftersom biodrivmedlen hotar att erövra de nischer som i första hand är lämpliga för elektrifierade bussar.

För det tredje kan kopplingar finnas mellan ett TIS och andra sektorer än den primära. För analytikern innebär det att olika beroenden mellan sektorer kan behöva kartläggas. Ett exempel är kopplingen mellan elektrifierade tunga fordon, avancerade bioraffinaderier och havsbaserad vindkraft samt solceller genom att elfordon kan ersätta biogasfordon vilket frigör biogasen till balanskraft. Lärdomer är igen att se brett och identifiera kopplingar mellan olika TIS, även över sektoriella gränser.

För det fjärde kan geografiskt avgränsade TIS (eller grupper av TIS) påverkas av och påverka händelser och skeenden utanför landets gränser. Särskilt tydligt blir det kanske i fallet elektrifierade tunga fordon, där det i huvudsak är multinationella företag som är aktiva och där internationella lagar och regleringar samt internationell konkurrens är viktiga drivkrafter bakom utvecklingen. I ett sådant fall blir det svårt för analytikerna att dra en skarp gräns mellan ett svenskt TIS och det globala TIS:et – de svenska aktörerna är verksamma i flera länder och på flera marknader, påverkas av internationella institutioner och konkurrerar direkt med utländska tillverkare som säljer sina elektrifierade fordon på den svenska marknaden och därmed påverkar det svenska TIS:et även om de inte bedriver någon utveckling eller produktion här. Fallen havsbaserad vindkraft och solceller är andra exempel på områden där stora delar av teknikutvecklingen sker utanför Sverige i och med att de marknadsledande utrustningsleverantörerna är baserade i andra länder. För att förstå förutsättningarna för ett svenskt TIS i en sådan kontext behöver analytikern ta hänsyn till det som händer utanför Sverige och hur det påverkar det nationellt avgränsade TIS:et. Även om internationella systemstrukturer endast i begränsad utsträckning kan påverkas av den myndighet eller det departement som beställt analysen är det viktigt att de inte exkluderas från analysen bara för att en geografisk avgränsning har gjorts initialt – inte minst för att de kan begränsa effekten av andra åtgärder som kan vidtas av de nationella aktörerna. I vissa fall kan det också vara motiverat att göra en mer utförlig analys av motsvarande TIS i andra länder – särskilt av dem som är ledande i världen.

8.4.3 Krav på analytikerns kompetens och organisation av det långsiktiga analysarbetet

Att skapa en genuin förståelse för den mångdimensionella funktionella dynamiken, för systemsvagheter på olika nivåer och för hur enskilda privata aktörer respektive policy kan påverka dynamiken i ett TIS är en stor utmaning.

Omfattande datamängder måste inhämtas, värderas och analyseras, vilket ställer höga krav på den enskilde analytikerns kompetens och på organisatoriska lösningar för att bedriva analysarbetet.

För att kunna inhämta och värdera olika data krävs att analytikern inte bara är inläst på teknikområdet utan även utvecklar en djup förståelse för det. Detta är nödvändigt av olika skäl. För det första behöver analytikern ha god insikt i verksamheten inom TIS:et för att kunna ha en dialog med olika nyckelpersoner. För det andra är en god insikt i teknikområdet av vikt för att undvika att analytikern blir manipulerad i en intervjusituation eller av olika publikationer. Detta är av särskild betydelse inom det energitekniska området som är mycket politiserat med organiserat lobbyarbete från olika parter. För det tredje krävs insikter i teknikområdet för att kunna bedöma styrkan i de olika funktionerna. Ett exempel kommer från fallet elektrifierade tunga fordon (avsnitt 6.4.2) där författarnas kunskap om de olika teknikvarianterna möjliggjorde en bedömning av kunskapsutvecklingen hos Volvo och Scania.

”Med sin fokuserade satsning på parallellhybrider skiljer sig Volvo och Scania från sina konkurrenter, t.ex. tyska MAN, som erbjuder en seriehybridbuss baserad på drivsystem från fristående leverantörer ... Parallellhybriden är en mer integrerad konfiguration än seriehybriden, och kräver att fordonstillverkaren utvecklar en betydligt högre grad av integrationskompetens. Här behövs djup kunskap både inom nya teknikområden såsom elmaskiner, kraftelektronik, energilager, och om mer etablerade områden såsom styrsystem, förbränningsmotorer och mekanik. Det faktum att företagen har lanserat väl fungerande fordon med denna teknik tyder därför på att det finns en mycket god integrationskompetens hos de svenska fordonstillverkarna.”

Utöver tekniskspecifik kompetens krävs insikt i olika kontextuella strukturer, eftersom de påverkar dynamiken i ett TIS. Som diskuterades ovan omfattar kontexten andra framväxande TIS, etablerade sektoriella och nationella strukturer samt utvecklingen av teknikområdet i andra länder. Till exempel kan det krävas goda insikter i hur det finansiella systemet och utbildningssystemet fungerar i förhållande till resursmobilisering i det fokala TIS:et (jfr fallet havsbaserad vindkraft).

Den tekniskspecifika kompetensen och den bredare områdeskompetensen bör dessutom ”giftas ihop” med en väl utvecklad analytisk kompetens som inriktas på att förstå förutsättningar för industriell dynamik snarare än statisk jämvikt. En ingrediens i denna analytiska kompetens är en förståelse för hur enskilda aktörer, särskilt företag, kan påverka denna dynamik, vilket innebär att insikter i företagsstrategi är värdefulla.

Den enskilde analytikerns kompetens kan rimligtvis bäst utvecklas i en organisation som präglas av långsiktighet med avseende på ansvarsområden. För att utveckla den djupa, tekniskspecifika kompetens som beskrivs ovan behöver analytikerna arbeta en längre tid inom ett och samma teknikområde. Det innebär att organisationen bör utformas på ett sådant sätt att frekventa arbetsrotationer

undviks och personalomsättningen reduceras. För att stärka den analytiska kompetensen hos enskilda analytiker och i organisationen som helhet behövs även möjligheter till lärande och erfarenhetsutbyte mellan analytiker inom olika teknikområden. Det kräver i sin tur ett gemensamt språkbruk, vilket underlättas om alla analytiker använder en gemensam analysram.

Utöver teknikspecifika och analytiska kompetenser kan analysarbetet effektiviseras med hjälp av generiska stödsystem med gemensamma metoder för datainsamling, datastrukturerings och datanalys (t.ex. patentanalys, databaser, statistiska analysmetoder). Analytikern kan inte förväntas vara både teknikspecialist och specialist på t.ex. olika databaser inom flera olika områden och det kan därför vara fruktbart att bygga upp specialistkunskaper inom sådana områden i en organisationsgemensam enhet.

Slutligen torde en förståelse av den mångdimensionella TIS-dynamiken underlättas av en nära dialog och koordinering av utredningsarbete mellan myndigheter med olika ansvar.

Det finns således ett stort antal lärdomar från tillämpningen av TIS-ramverket på dessa fem fallstudier. Alla dessa lärdomar syftar till att förbättra förutsättningarna för att bedriva en politik som har rimliga chanser att påverka den industriella dynamiken på ett sätt som möjliggör att samhällets målsättningar uppfylls. I nästa kapitel diskuteras därför olika lärdomar för användningen av teknikspecifika styrmedel som kompletterar generella styrmedel som CO₂-skatter.

8.5 Referenser

Bergek, A., Hekkert, M.P., Jacobsson, S., Markard, J., Truffer, B., 2014. TIS interactions with technological, sectorial, political and geographical contexts: some lessons for analysts, IST 2014, Utrecht.

Carlsson, B., Elg, L., Jacobsson, S., 2010. Reflections on the co-evolution of innovation theory, policy and practice: The Emergence of the Swedish Agency for Innovation Systems, in: Smits, R., Kuhlmann, S., Shapira, P. (Eds.), *Innovation policy, theory and practice: An International handbook*. Elgar Publishers.

Hedberg, P., Holmberg, S., 2014. Svenska folkets åsikter om olika energikällor 1999–2013. SOM-institutet, Göteborgs universitet, Göteborg.

Jacobsson, S., Bergek, A., 2011. Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1, 41–57.

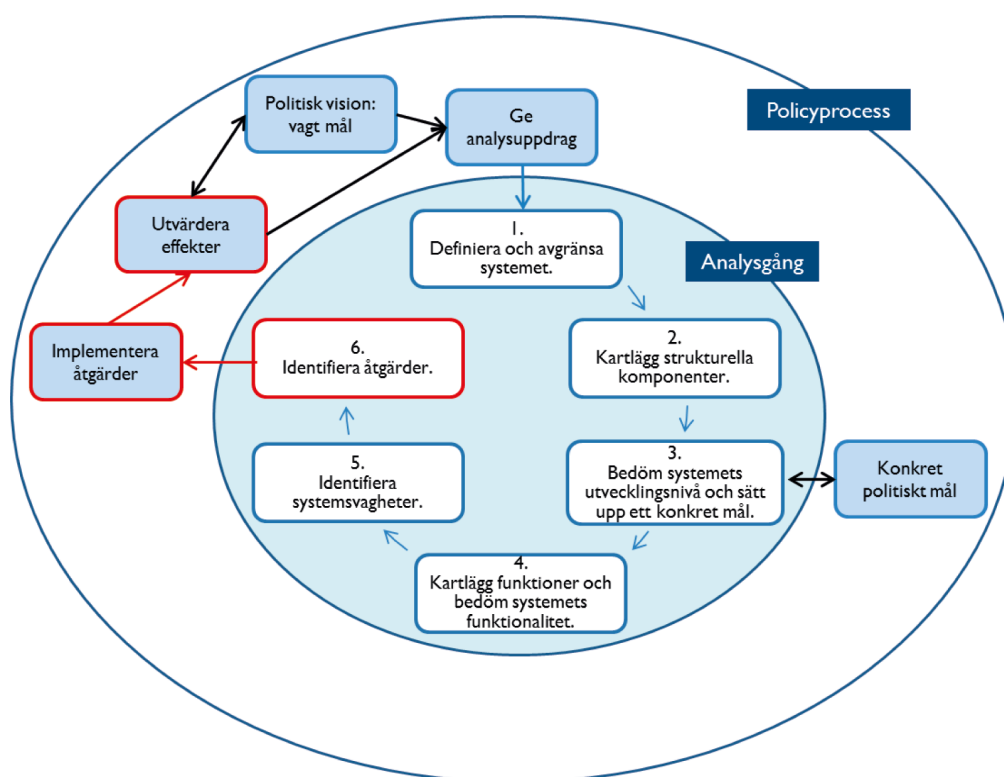
Sandén, B.A., Hillman, K.M., 2011. A framework for analysis of multi-mode interaction among technologies with examples from the history of alternative transport fuels in Sweden. *Research Policy* 40, 403–414.

9 Teknikpolitiska lärdomar

Björn Sandén och Staffan Jacobsson, Chalmers Tekniska Högskola i samarbete med Mats Bladh, Energimyndigheten

9.1 Från identifiering av systemsvaghet till politisk intervention

Som visas i figur 9:1 är steget efter identifieringen av systemsvagheter att finna åtgärder som kan förväntas stärka systemets dynamik. Olika aktörer har i varierande grad möjlighet att påverka olika systemsvagheter. Enskilda företag, eller grupper av företag, kan exempelvis öka kunskapen genom eget utvecklingsarbete, påverka legitimiteten för en teknik genom informationskampanjer och underlätta koordineringen av investeringar i värdekedjan genom att bilda nätverk. Forskare kan påverka dynamiken på olika sätt. Det är, till exempel, vanligt att forskare inte bara tar fram kunskap utan även bidrar till vägledning av sökprocessen (Jacobsson m.fl., 2014). Även enskilda medborgare och olika typer av organisationer kan påverka dynamiken. Staten och andra offentliga aktörer har, emellertid, ett särskilt ansvar och en unik uppsättning redskap, som ofta kallas ”styrmedel”.



Figur 9:1. Efter identifiering av systemsvagheter och möjliga åtgärder tas processen över av myndigheter och lagstiftare för implementering av åtgärder och utvärdering av effekter

I föregående kapitel illustrerades den mångfald av faktorer som kan blockera dynamiken i ett TIS och som kan bli föremål för åtgärder med hjälp av dessa styrmedel. Antalet systemsvagheter är ofta stort och av starkt skiftande karaktär samt befinner sig på olika systemnivåer. Även om det finns gemensamma teman har varje TIS en egen, teknik-specifik, logik och beroende på i vilken utvecklingsfas en teknik befinner sig passar dessutom olika styrmedel olika bra. Eftersom det oftast finns ett antal systemsvagheter kan det behövas flera styrmedel som kompletterar varandra. Detta betyder att en interventionspolitik behöver vara flerdimensionell, koordinerad och anpassad till varje systems specifika logik och utvecklingsfas. Att utforma en välfungerande politik är därför en stor utmaning för myndigheter och politiker.

Detta kapitel syftar till att ge en vägledning till hur man kan tänka kring teknikpolitik och styrmedel samt lyfta fram ett antal lärdomar från fallstudierna och, i viss mån, från litteraturen.¹³⁰ I avsnitt 9.2 diskuteras hur politikens roll i teknologiska innovationssystem kan betraktas och varför identifiering av systemsvagheter utgör en legitim och användbar grund för identifiering av de problem som behöver åtgärdas med hjälp av olika styrmedel. Därefter följer fyra avsnitt där olika aspekter på val av styrmedel diskuteras. Avsnitt 9.3 avdramatiserar den skarpa uppdelningen mellan ”teknikspecifika” och ”teknikneutrala” styrmedel som ibland görs och argumenterar för att det snarare finns en skala mellan mer och mindre teknikspecifikt, samt pekar på att varken mer teknikspecifikt eller mer teknikneutralt är bättre i sig utan lämpligheten beror på det politiska målet och den systemsvaghet som ska åtgärdas. Avsnitt 9.4 diskuteras hur uppsättningen lämpliga styrmedel beror på TIS:ets utvecklingsfas medan avsnitt 9.5 diskuteras andra överväganden rörande innehållet i en styrmedelsportfölj. Slutligen tar avsnitt 9.6 upp några politiska begränsningar för styrmedelsportföljens utformning och uppmärksammar att styrmedelsutvecklingen i sig är en del av innovationssystemet och beroende av utveckling av legitimitet och kunskap.

9.2 Systemsvagheter och samhällets roll

En intervention från offentliga aktörer på olika nivåer, inklusive kommunal, regional, statlig och överstatlig, kan rättfärdigas på olika sätt beroende på världsbild och samhällssyn. Här diskuteras kort två perspektiv där det första utgår ifrån att teknikutvecklingen är en väsentlig del av samhällsbygget och därför är ett självklart ansvarsområde för det demokratiska systemet. Det andra tar sin utgångspunkt i tanken att det offentliga normalt sett inte bör delta i utvecklingen av ny teknik men att det i undantagsfall är nödvändigt.

Det går att se framväxten av ny teknik som en central del av samhällsbygget och det kan därför argumenteras för att det är ett politikområde av många (Azar och Sandén, 2011). De senaste två hundra årens utveckling av det moderna industri- och välfärdsamhället är tätt sammanflätat med tekniker som ångmaskinen, elnätet och bilen (Freeman and Loucã, 2002). Teknikens betydelse för utvecklingen är

¹³⁰ I uppdraget ingår inte att föreslå vilka exakta styrmedel som behövs för att främja dynamiken av TIS:en i de olika fallstudierna.

uppenbar. Blickar man sedan framåt och funderar på lösningar på stora samhällsfrågor som klimatfrågan framstår teknikens roll som central för framtida generationers välfärd. Det handlar inte bara om mer och bättre lösningar utan om en utveckling som går tillräckligt snabbt åt rätt håll. Dessutom handlar valet mellan olika tekniska lösningar som solenergi, bioenergi och kärnkraft inte bara om prestanda och konkurrenskraft i en snäv bemärkelse utan påverkar brett, och på helt olika sätt, inom områden som säkerhetspolitik, matförsörjning och förhållandet mellan individ och stat. Att mot en sådan bakgrund hävda att samhällets teknikval inte är ett legitimt område för den demokratiska processen framstår som en ganska extrem hållning.

I realiteten är naturligtvis teknik ett politikområde och statliga interventioner i teknikutvecklingen är oundvikliga (se till exempel tabell 9:1 nedan). För att bredda underlaget och undvika ett oproportionerligt stort inflytande för ett fåtal aktörer med goda nätverk och insikter i den realpolitiska verkligheten kan det vara klokt inte förneka detta utan att i stället medvetandegöra, synliggöra och motivera de interventioner som faktiskt görs, och utforska vad som skulle kunna göras i stället. Innovationssystemanalysen och identifieringen av systemsvagheter kan vara ett redskap i det arbetet.

En annan argumentationsgång utgår från Adam Smiths osynliga hand och dess senare utveckling i den ”neoklassiska” jämviktsekonomin. Här är utgångspunkten att staten (det demokratiska systemet) normalt sett inte bör ingripa i ekonomin, där teknikutvecklingen utgör en del. En intervention är bara rättfärdigad i de fall då marknaden är oförmögen att åstadkomma en ”optimal” resursfördelning. Dessa fall benämns ”marknadsmislyckanden”. De marknadsmislyckanden som oftast nämns är negativa miljö-externaliteter och positiva kunskaps-externaliteter. De förstnämnda innebär att de som orsakar miljöproblem inte åtgärdar dem i tillräcklig omfattning därför att de inte är fullt betalningsansvariga. De sistnämnda innebär att företag utvecklar mindre kunskap än de borde (ur ett samhällsperspektiv) eftersom den utvecklade kunskapen ofta kan användas utan kostnad av andra aktörer.

Det finns dock ytterligare marknadsmislyckanden av relevans för teknisk och industriell utveckling. Ett exempel är koordineringsproblem vilka uppstår när ett enskilt företags framgång beror på andra företags existens och beteende, t.ex. att fordonsföretag utvecklar motorer för olika biodrivmedel så att en marknad för dessa har möjlighet att formas. Ett annat exempel är kapitalmarknadsmislyckanden vilka medför att företag inte får tillgång till kapital till en ränta som speglar den samhälleliga diskonterings-satsen (hur framtida kostnader och intäkter värderas i förhållande till dagens). Skillnader i privat och samhällelig diskonterings-sats kan vara av stor relevans när samhället ser behov av en strukturell omvandling som tar årtionden att genomföra och som präglas av betydande tekniska och marknadsmässiga osäkerheter. Under sådana förutsättningar kan den samhälleliga diskonterings-satsen förväntas vara betydligt lägre än den privata vilket leder till alltför kortsiktigt investeringsbeteende bland privata aktörer (Corden, 1974 och 1980).¹³¹

¹³¹ Andra marknadsmislyckanden som nämns i litteraturen inkluderar monopolistisk makt, avsaknad av framtida marknader så att prissignaler inte finns och asymmetrisk information (Dodgson, med flera, 2010).

Marknadsmisslyckande är dock ett alltför snävt perspektiv, både analytiskt och empiriskt, för att kunna ge ett tillräckligt underlag för teknikpolitiken. Själva utgångspunkten för analysen leder tanken åt fel håll. Den neoklassiska analysen utgår ifrån att det finns ett tänkt statiskt jämviktsläge på marknaden och att det är avvikelser från detta läge som behöver korrigeras. En alternativ utgångspunkt, som ligger till grund för analysen i denna rapport, är en värld stadd i ständig förändring, präglad av både stora outnyttjade möjligheter och stora osäkerheter. I en sådan värld är det marknadens förmåga att stimulera till experiment, lärande och nyskapande som är de centrala dimensionerna, dvs. funktionen *entreprenöriellt experimenterande*. I ett dynamiskt och långsiktigt perspektiv är därför de ineffektiviteter som förknippas med företeelser som neoklassiska ekonomer kallar marknadsmisslyckande i huvudsak svagheter i denna process (Carlsson och Jacobsson, 1996). Dessa entreprenöriella experiment bedrivs under stor osäkerhet, baserat på förväntningar om framtiden, och statens roll blir att stärka denna process, både direkt och indirekt, genom att åtgärda olika systemsvagheter. En aktiv stat som bedriver en mångdimensionell teknikpolitik är emellertid inte liktydigt med att den "utser vinnare". En bättre metafor är att den bidrar till att skapa medtävlare (Carlsson och Jacobsson, 1996).

Samtidigt innebär stora osäkerheter att kortsiktig ineffektivitet är en del av läroprocessen, för både företag och stat. Till exempel är det vanligt att en bred flora tekniskspår utvecklas i en tidig fas och att de flesta av dessa senare slås ut av en design som blir den dominanta. Det är emellertid omöjligt att på förhand avgöra vilken teknislösning som kommer att visa sig mest duglig. Ett brett experimenterande är därför nödvändigt för att möta tekniska och marknadsmässiga osäkerheter och för att ett lärande ska ske.¹³² Det är alltså inte bara normalt utan även nödvändigt att "misstag" begås och som Metcalfe (1992) skrev "statisk ineffektivitet är den nödvändiga kostnad som måste tas för att ekonomiska system ska utvecklas".¹³³ Som diskuteras mer i avsnitt 9.6 leder därför den "experimentella" karaktären på den industriella dynamiken, till skillnad från analysen av "perfekta" tillstånd i jämviktsteori, till att "misstag" och "brister" är en del av en normal läroprocess, inom industrin såväl som hos myndigheter.

Oavsett om man utgår från perspektivet att teknik utgör ett legitimt politikområde eller från teknikpolitik som ett nödvändigt stöd till marknadens egen förmåga till förnyelse ger identifiering av "systemsvagheter" ett mer komplett empiriskt underlag än "marknadsmisslyckanden". Det finns åtminstone tre anledningar till detta.

För det första berör systemsvagheter orsaker till att *specifika* nyckelprocesser i ett teknologiskt innovationssystem är svagare än vad som bedöms vara nödvändigt för att möjliggöra en *dynamik* som leder till att det politiska målet uppnås. En identifiering av systemsvagheter skapar därför en precision i de utmaningar

¹³² I fallet bioraffinaderier noteras dock följande: "... politiken har en förmåga att utforma incitament som gynnar ett alternativ i taget när det i själva verket är en uppsjö av olika teknologiska alternativ som behöver utvecklas parallellt för att förverkliga avancerade bioraffinaderier".

¹³³ "...static inefficiencies are the necessary cost which must be incurred if economic systems are to develop and evolve".

som en intervention har att hantera. Då marknadsmisslyckanden är alltså närvarande i innovationsprocesser möjliggör det analytiska verktyget därför att analytikern kan fånga in de avgörande hindren av detta slag för en önskvärd dynamik.

För det andra uppvisar systemsvagheter en ”bredd”, dvs. en mångdimensionalitet, som överstiger den som framstår när marknadsmisslyckanden används som analysverktyg. Systemsvagheter kan identifieras inom alla de fyra strukturella elementen: aktörer, teknik, nätverk och institutioner vilket är en fördel då de avgörande hindren inte nödvändigtvis fångas in genom att studera enbart aktörer på en marknad (Carlsson och Jacobsson, 1997, Bergek med flera, 2010). Med det analytiska verktyget systemsvagheter kan analytikern därför skapa en mer fullständig förklaring till en bristfällig dynamik.

Med avseende på teknik är det, exempelvis, svårt att förstå hur Nordsjöteknikens dominans inom havsbaserad vindkraft och svagheter i teknikspåret ”innanhavsteknik” skulle kunna identifieras inom ramen för en jämviktsansats. En allmän jämviktsansats skulle inte heller fånga in svagheter i nätverk av olika slag vilka kan leda till att innovationsprocessen inte utvecklas till en kollektiv process med starka ömsesidiga positiva externa effekter (Carlsson och Jacobsson, 1997). Ett exempel på institutionella systemsvagheter är att det skulle vara svårt att i en jämviktsanalys identifiera ”en dominant föreställning om teknikneutralitet som överordnat värde” som ett hinder då jämviktsanalyser i sig är starkt förknippade med kortsiktig effektivitet snarare än långsiktig måluppfyllelse. Vidare gör det faktum att institutioner i TIS-ansatsen betraktas som en del av systemet att brister i statligt agerande kan identifieras som en systemsvaghet.¹³⁴ Till exempel, i kapitel 8 betonades att det ofta finns brister i koordinering mellan myndigheter både på nationell och lokal nivå. Ett annat exempel är fallet bioraffinaderier där bristen på långsiktighet och stabilitet i politiken skapar politiska risker och svagheter i mobiliseringen av finansiella resurser (se även avsnitt 9.6).

För det tredje, en systemansats kan bidra till större ”djup” i analysen genom att identifiera bakomliggande svagheter som förklarar förekomsten av företeelser som klassas som marknadsmisslyckanden. Till exempel kan brist på koordinering mellan företag i en värdekedja bero på avsaknad av nätverk med starkt socialt kapital. En svaghet i systemkomponenten teknik, som i fallet havsbaserad vindkraft, kan bidra till ett kapitalmarknadsmisslyckande då kapitalmarknaden lägger till en riskpremie som gör att räntan inte speglar den samhällsliga diskonterings-satsen. Detta marknadsmisslyckande kan även påverkas av konkurrerande aktörer som blockerar legitimeringsfunktionen vilket, i sin tur, försvårar för införandet av institutioner (t.ex. regelverk) som minskar marknadsrisken (och riskpremien) för investerare. En identifiering av dessa bakomliggande faktorer underlättar därför en förståelse av de djupare problem som en intervention bör hantera.

¹³⁴ Krueger (1986) benämner dessa ”government failures”.

Avsnitt 9.2 kan sammanfattas med följande lärdomar:

- Det finns många legitima skäl för en medveten, aktiv och transparent teknikpolitik, oavsett om man utgår från ett bredare samhällsvetenskapligt och historiskt perspektiv på teknikens roll i samhället eller från brister i marknadens förmåga att hantera teknikutvecklingen.
- En värld stadd i ständig förändring, präglad av både stora outnyttjade möjligheter och stora osäkerheter är en mer fruktbar utgångspunkt för teknikpolitiken än tankefiguren om marknader i balans och jämviktslägen som behöver korrigeras.
- Systemsvagheter tillför en bredare, djupare och mer precis problembeskrivning i jämförelse med begreppet marknadsmisslyckande.

9.3 En skala från mer teknikspecifika till mer generella styrmedel

Baserat på synen att det politiska systemet i huvudsak inte bör lägga sig i framväxten av nya innovationssystem (avsnitt 9.2) framförs ofta tanken att det är bättre med ”teknikneutrala” styrmedel än med ”teknikspecifika” (t.ex. Azar och Sandén 2011, 2012). Som illustrerats i flera fallstudier i denna rapport är det emellertid ofta mer teknikspecifika statliga insatser som möjliggjort att nya innovationssystem kunnat utvecklas och frånvaron av sådana utgör i flera fall systemsvagheter vilka blivit en bromsande faktor för utvecklingen (exempelvis havsbaserad vindkraft, elektrifierade tunga fordon och avancerade bioraffinaderier). Eftersom diskursen kring teknikneutrala styrmedel dessutom fått en stor betydelse i den svenska politiska debatten ägnas detta avsnitt åt begreppsparet teknikneutralt – teknikspecifikt.

Observationen att mer teknikspecifika styrmedel ibland behövs innebär inte att de i alla lägen är bättre än mer generella. Styrmedel som är mer teknikneutrala, t.ex. koldioxidskatter, har ibland haft stor betydelse och vissa systemsvagheter ligger på en sociotekniskt generell nivå utanför det individuella TIS:ets systemgräns och bör därför angripas med generella styrmedel.¹³⁵ Det är således inte så att teknikneutrala eller mer teknikspecifika styrmedel är bättre eller sämre a priori och det är därför lämpligt att avdramatisera uppdelningen.

¹³⁵ Ytterligare andra blockerande, eller pådrivande, faktorer ligger helt utanför den geografiska systemgränsen och kan inte påverkas med några styrmedel i Sverige.

Ett led i en sådan avdramatisering är att konstatera att det inte finns någon strikt uppdelning mellan ”neutralt” och ”specifikt”. Det rör sig snarare om en skala från mer generellt till mer specifikt. ”Elcertifikat” som tilldelas förnybar elproduktion är t.ex. tekniskspecifika i så motto att de avgränsas till en uppsättning tekniker som definierats som ”förnybara” och som producerar ”el”, men ”neutrala” i den meningen att flera olika förnybara tekniker innefattas. En investeringssubvention till solceller är mer specifikt och ett stöd till ”tunnfilmssolceller för installation i anläggningar med en effekt under 5 kW” skulle vara ännu mer specifikt. En skatt på koldioxid är mer neutralt än elcertifikat om det politiska målet är minskad klimatpåverkan, eftersom alla samhällssektorer och inte bara elproduktionen påverkas.

Vanligtvis lyfts diskussionen om teknikneutralitet i samband med marknadsformering men eftersom systemet är mångdimensionellt kan samma diskussion föras kring andra funktioner. Tabell 9:1 sorterar en mängd styrmedel efter hur de griper in i olika systemfunktioner och i vilken mån de är mer eller mindre tekniskspecifika. Visioner kan vara breda eller smala och innehålla bredare begrepp som hållbar utveckling och klimat, eller mer specifika som bioraffinaderier och elfordon. Forskningsmedel kan allokeras till mycket avgränsade teknikområden eller som fria medel till breda kunskapsfält. Demonstrationsprojekt kan utformas så att man får mer specifika eller mer generiska erfarenheter. Experimentplattformar kan vara mer riktade eller öppna för olika designlösningar. Investeringar i fysisk infrastruktur kan vara riktade, som en elkabel till en specifik havsbaserad vindkraftspark, eller handla om kapacitetsförstärkningar för överföring mellan många punkter. Handelsavtal kan peka ut tekniker eller måla med breda penseldrag. Universiteten kan utbilda ingenjörer som är specialiserade på elfordon eller kunniga om fordonsteknik eller elkraftteknik i allmänhet. Listan kan göras lång, och i varje dimension kan man hitta statliga interventioner av mer tekniskspecifik och mer generell karaktär.¹³⁶

¹³⁶ Det är inte lätt att bestämma exakt hur specifikt ett styrmedel bör vara. Som exempel kan nämnas Sydkoreas system för ersättning till solcellerproducenter. 2005 började man med en tariff för solceller; 2006 delades tariffen upp i två beroende på storleken på installationen; 2008 differentierade man ytterligare till tio olika tariffer, som 2010 blev 18 (IEA 2014). Nu har kostnadsreduktionerna lett till att flertalet stöd har tagits tas bort. Det är inget konstigt med att styrmedelsinstrumenten utvecklas och förfinas över tid men frågan om hur specifika styrmedlen skall vara är en fråga man aldrig kommer undan.

Tabell 9:1. Det finns en skala av styrmedel från de mer tekniskspecifika till de mer generella i alla dimensioner av ett TIS.

Funktion	Styrmedel			
	Mer tekniskspecifika	Exempel från fallen	Mer generella	Exempel från fallen
Legitimering & Vägledning av sökprocesser	Uttalade tekniskspecifika visioner, informations-kampanjer och stöd till teknikbedömningsstudier.	Planeringsmål för vindkraft, utredningen fossilfri fordonsflotta, stöd till systemanalys av biodrivmedel, (avsaknad av visioner diskuteras bl.a. i kapitel 3 och 5).	Breda visioner, skapandet av informationsfunktioner.	Breda visioner om hållbarhet och klimatneutralitet, 2020-målen, informationsfunktioner som kommunala energirådgivare.
Kunskapsutveckling och spridning	Riktad forskningsfinansiering till ibland mycket specifika teknikområden.	Riktat stöd till forskning och centrumbildningar kring hybridfordon, biomas-saförgasning, tunnfilmssolcellsteknik, vågkraftgeneratorer, vindkraft etc.	Fakultets- och grundforskningsmedel som stödjer en mer allmän kunskapsutveckling. Forsknings-program inom brett definierade teknikområden utgör en mellanform.	Mångåriga investeringar i kunskapsbas inom fysik, kemi, elkraft, mekanik och marin teknik.
Entreprenöriellt experimenterande	Stöd till demonstrationsprojekt, mjuka lån Energimyndigheten till nystartade teknikföretag.	Statlig finansiering av demonstrationer av elbussar och vågkraft, tillväxtlån till små solcellsutvecklare.	Stöd till öppna testanläggningar och laboratorier, skapandet av statliga riskkapitalbolag, patentlagstiftning samt allmänna innovationsstödjande insatser (t.ex. inkubatorer, företags- och innovationsrådgivning).	Försök att göra demonstrationsanläggningar inom bioraffinaderiområdet till mer generella experimentplattformar.
Resursmobilisering	Direktinvesteringar i anläggningar, tillståndprocesser, importregler, specialiserade utbildningsprogram.	Planerat mastersprogram i projektledning för havsbaserad vindkraft, planerad förstärkning av elnätet till Blekinge Offshores vindkraftspark, finansiella stöd (se Entreprenöriellt exp. och Kunskapsutveckling).	Direktinvesteringar i mer generell infrastruktur som vägar, elnät, etc., fysisk planering, frihandelsavtal, stöd till hela utbildningssystemet, reglering av det finansiella systemet.	Investeringar i vägar som gynnar lastbilstransporter i allmänhet, i elnät som gynnar i sol- och vindel, frihandelsavtal som gynnar import av billiga solcellsmoduler, utbildning inom elkraft som gynnar både elektrifierade tunga fordon och ny elproduktion, regler kring finansiellt stöd av FoU.
Marknadsformering	Offentlig upphandling, krav och standarder samt subventioner, tariffier och kvoter.	Subventioner av solcellsinstallationer, (avsaknad av stöd till tekniskspecifika marknader diskuteras bl.a. i kapitel 3 och 7).	Skattesystemet, konkurrenslagstiftning, skatter på utsläpp	Koldioxidskatt, handel med utsläppsrätter, energiskatt, moms-lagstiftning, elcertifikat (som delvis är mer tekniskspecifika).
Utveckling av socialt kapital	Krav på samfinansiering, arrang-erande av möten.	Match-making-möten, t.ex. Solforum, centrumbildningar med akademiska och industriella parter (t.ex. SHC och SWPTC).	Generella signaler som ger legitimitet till samarbeten mellan företag och mellan industri och akademi (korporativism).	Instruktioner till myndigheter om att utforma FoU-program i samverkan mellan industri och akademi.

Tanken att styrmedel kan placeras ut på en skala från mindre till mer tekniks-specifika styrmedel även den en förenkling. För det första kan ett styrmedel samtidigt vara både mer och mindre specifikt än ett annat. Ett stöd till bioenergi skulle vara mer specifikt än elcertifikat eftersom endast bioenergi skulle omfattas (och inte vind, sol och marin energi), men det är samtidigt mer generellt eftersom det skulle innefatta fler energibärare och användningsområden (inte bara el). För det andra kan man inte avgöra om ett styrmedel är mer eller mindre specifikt om man inte relaterar det till ett politiskt mål. En skatt på koldioxid är ett mycket generellt styrmedel om målet är reducerade koldioxidutsläpp men det är inte i sig ett teknikneutralt styrmedel. Om det politiska målet är minskad energianvändning i transportsektorn är en koldioxidskatt en mer tekniskspecifik intervention än en reglering av fordonens energianvändning eftersom koldioxidskatten bara omfattar vissa bränslen och inte energianvändningen generellt.

Om man uppfattar något som neutralt eller specifikt beror även på vilken teknik som är mogen och använd i stor skala i den tid och på den plats man råkar befinna sig. Satsningar som idag betraktas som mer generella gör ofta det på grund av att ett sociotekniskt system över tid vuxit fram och blivit en integrerad del av samhället. I tabell 9:1 kategoriseras till exempel satsningar på elnät och vägar som investeringar i generell fysisk infrastruktur. För hundra år sedan, när bilvägar och elnät var omdebatterade nyheter, skulle sådana satsningar säkert betraktats som tekniks-specifika investeringar. På samma sätt kan investeringar i elvägar idag ses som specifika men i morgon som självklart generella (eller om elvägar aldrig utvecklas i stor skala, som intressanta historiska snedsteg); ett styrmedel som underlättar handel med el från mikroproducenter (t.ex. solceller) ses idag som en specifik insats medan det imorgon kanske utgör grunden för elsystemets funktion, och som då sjunkit in och blivit en närmast osynlig del av det institutionella ramverket.

En sista fråga rör relationen mellan hur ett styrmedel formuleras och vilken effekt det får. Ett styrmedel som formulerats i generella (teknikneutrala) termer, och som därför i princip skulle kunna gynna många tekniker, får ofta den motsatta effekten i det att bara det för tillfället mest konkurrenskraftiga alternativet gynnas. Det får därför i praktiken karaktären av ett riktat stöd. Ett exempel på detta ges i kapitel 6 och 7. Den så kallade ”pumplagen”, lagen om att varje bensinstation måste tillhandahålla minst ett biodrivmedel ledde till att i stort sett bara etanolfpumpar installerades. Likaså har elcertifikatslagen, som bland annat diskuteras i kapitel 3 och 5, hittills endast gynnat ett fåtal elproduktionstekniker, medan de tyska inmatningstarifferna som är mer tekniks-specifika har kunnat stimulera framväxten av flera tekniker parallellt. Å andra sidan kan ett mer teknikneutralt styrmedel få oväntade konsekvenser och gynna nya alternativ som inte var kända eller framstod som intressanta då styrmedlet infördes. Framväxten av biogas som fordonsbränsle i Sverige ett exempel på detta (Sandén och Hillman 2011).

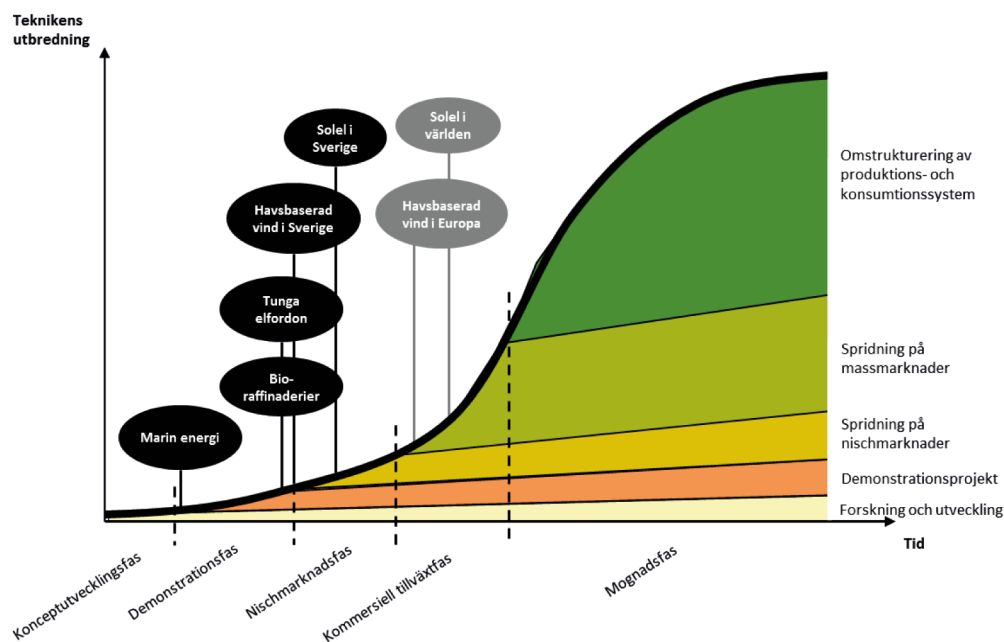
Avsnitt 9.3 kan sammanfattas med följande lärdomar:

- Det går inte att göra en strikt uppdelning på ”teknikspecifika” och ”teknikneutrala” styrmedel. Det rör sig snarare om en skala från mer generellt till mer specifikt.
- Teknikneutralitet handlar inte bara om marknadsformering utan det finns mer och mindre teknikspecifika styrmedel i alla innovationssystemets dimensioner.
- Inga styrmedel är specifika eller neutrala i sig utan graden av neutralitet beror på det politiska målet för interventionen och på vilka tekniker som betraktas som en självklar del av samhället i den tid och på den plats där man befinner sig.
- Ett mer teknikneutralt formulerat styrmedel blir i praktiken ofta ett riktat stöd till ett eller ett fåtal tekniker.
- Varken mer generella eller mer specifika styrmedel är bättre i sig. Vad som är lämpligt beror på vilka systemsvagheter som behöver åtgärdas för att uppnå ett givet mål.

9.4 Utvecklingsfasens betydelse

Vad som behöver åtgärdas för att stärka dynamiken i ett TIS beror ofta på i vilken utvecklingsfas tekniken befinner sig. Till grund för denna studie ligger föreställningen om att nya innovationssystem utvecklas från ett tidigt konceptutvecklingsstadium till stora mogna sociotekniska system. I grova drag följer de en S-kurva och genomgår olika faser. Figur 9:2 återger kurvan i figur 2:4 med en ungefärlig positionering av tekniksystemen i fallstudierna.

Beroende på vilken fas en teknik befinner sig förändras vikten av olika styrmedel. För vågkraft som befinner sig i en tidig utvecklingsfas behövs delvis andra styrmedel än för solceller som befinner sig i en senare fas. Det finns här en likhet med den ”linjära innovationsmodellen” där idén är att satsningar på FoU i en sekvens leder, via teknikdemonstration, till kommersiell spridning. Men det finns också en väsentlig skillnad som illustreras i figuren. Forskning och utveckling, demonstration och spridning på (nya) nischmarknader fortsätter under hela förloppet. Det innebär att man inte har forskat färdigt när tekniken börjar spridas på en marknad. För att nå större spridning krävs fortsatt forskning, utveckling och demonstration. Figur 5:5 visade att den akademiska solcellsforskningen i världen ökade när industrin gick in i en tillväxtfas. På samma sätt har forskningen kring förbränningsmotorer varit mycket mer omfattande än den om elmotorer i Sverige trots att tekniken måste betraktas mogen. Samma resonemang, fast åt andra hållet, gäller för marknad och användning (se avsnitt 9.5.2). Nischmarknader måste ofta skapas i en tidig fas, långt innan tekniken är tillräckligt färdigutvecklad för att i stor skala konkurrera med etablerad teknik.



Figur 9:2: Positionering av de studerade teknikerna på en utvecklingskurva (baserad på figur 2:4).

Idén om utvecklingsfaser innebär dock att det finns en sorts sekvens. När ett system nått en viss mognad krävs det nya typer av styrmedel för att systemet inte ska stagnera. Inom områdena bioraffinaderier och havsbaserad vind i Sverige har en mängd teknikdemonstrationer genomförts och för att komma vidare krävs styrmedel som skapar tydliga tekniks specifika nischmarknader. För solceller i Sverige, som är närmare ett kommersiellt genombrott, har ett läge nåtts då det kan vara viktigare med en anpassning av mer generella styrmedel som elcertifikat och regler för elhandel. Utvecklingsfasidén innebär även att vissa styrmedel kan komma för tidigt. I fallet marin energi gjordes observationen att en alltför stor demonstration finansierades innan tekniken var prövad i mindre skala.

Generellt kan man säga att styrmedel som stöd till forskning har en särställning i konceptutvecklingsfasen. I demonstrationsfasen blir finansiellt stöd till *entreprenöriellt experimenterande* av stor vikt men också stöd till nätverksbyggande och *utveckling av socialt kapital*. I nischmarknadsfasen, som ibland förbises (se avsnitt 9.5.2), behövs stöd till en initial *marknadsformering*. Det handlar ofta om investeringssubventioner, teknikupphandling eller, som i fallen med vindkraft och solceller i Tyskland, om inmatningslagar med fasta tariffer (Jacobsson och Bergek, 2004). När en teknik närmar sig den kommersiella spridningsfasen kan mer generella marknadsstödjande regelverk som handel med utsläppsrätter, elcertifikat och miljöskatter få större betydelse. Här får även infrastrukturinvesteringar, utbildningssystem och kapitalförsörjningssystem större betydelse. Politiska visioner och information är viktiga för att skapa legitimitet i tidiga faser men också för att vägleda storskaliga privata investeringar i senare faser.

Som antytts ovan finns det en koppling mellan utvecklingsfas och hur tekniskspecifika styrmedlen behöver vara. Om man enbart tänker på marknadsstöd och inte tar in fler dimensioner (jämför tabell 9.1) kan man förledas att tro att styrmedlen alltid bör vara mer specifika i tidiga faser. Det är inte fallet. När det gäller stöd till forskning och utveckling är det ofta ganska öppna och ospecificerade stöd som ges till teknikområden i tidiga faser. Sökningen sker brett. I den mogna fasen bidrar staten ofta med mycket tekniskspecifika forskningsstöd för att tillfredsställa den mogna industrins specifika behov. Här kan Energimyndighetens stöd till svensk fordonsindustri tjäna som ett gott exempel där flera kompetenscentra med väl avgränsade forskningsområden finansieras. Detsamma gäller utbildningssystemet. Etablerade mogna tekniksystem behöver en stor mängd mycket specialiserad arbetskraft som den som utbildas inom etablerade ingenjörsprogram. Nya teknikområden får av naturliga skäl nöja sig med en arbetsstyrka med mer generiska kunskaper.

Som nämndes i kapitel 8 är ett generellt drag i teknisk och industriell utveckling att tidsaxeln sträcker sig över flera årtionden i rörelsen från konceptutvecklingsfasen till kommersiell spridningsfas och mognadsfas. Det är därför nödvändigt att myndigheter har ett långsiktigt perspektiv som tar hänsyn till långa ledtider. Att tänka i utvecklingsfaser kan ge den framförhållning som behövs. Långa ledtider finns till exempel i utveckling och expansion av nya specialistutbildningar. Det innebär att myndigheter bör utvärdera risker för att flaskhalsar av olika slag kan uppstå i en senare fas (som i fallet elektronik- och dataingenjörer på 1990-talet, se Jacobsson, 1996) och uppmuntra ett proaktivt beteende hos universiteten. Det är inte bara utbildningssektorn som präglas av långa ledtider. I kapitel 6 ges ett exempel från fallet med elektrifierade tunga fordon som problematiserar en hög målsättning i ett system med långa ledtider på marknadssidan och vad detta betyder för utformningen av styrmedel de närmaste åren:

”Kollektivtrafiken i Sverige styrs genom omfattande upphandlingar med detaljerade funktionskrav, och därefter avtal med löptider på 6–8 år. Själva bussarna har vanligen en livstid om minst 10 år. Om 83 % av stadsbussarnas trafikarbete skall ske med eldrift 2030 innebär det i princip att endast el- och laddhybridbussar får vara i drift vid denna tidpunkt. Senast från 2022–2024 måste då samtliga stora upphandlingar vara specificerade så att enbart sådana bussar kvalar in. I nuläget är inga elbussar i reguljär kommersiell trafik i Sverige och laddhybrider har endast prövats under ett år i en stad. Målet 83 % elektrifiering innebär att gå från <1% till 100 % av fordonen, inklusive omfattande investeringar i laddinfrastruktur, på en historiskt mycket kort tid.”

En ytterligare aspekt som bör tas i beaktande är att en nation kan befinna sig i en annan fas än resten av världen (vilket illustreras av solceller och havsbaserad vind i figur 9:2 där det internationella TIS:et ligger före det svenska). I fallet solceller blir effekterna av detta särskilt tydliga då den starka internationella utvecklingen gör det lätt för installatörer nedströms i värdekedjan av importera billiga komponenter av god kvalitet, medan samma utveckling gör att möjligheten att konkurrera försvåras för inhemska komponentutvecklare. Förutsättningarna för olika delar av det svenska systemet har förändrats radikalt på bara några år, vilket leder till att

subventionerna till installation behöver sänkas medan en starkt lokal tillväxtmiljö för teknikutvecklingsföretagen kan behöva skapas.¹³⁷ Den generella slutsatsen är att styrmedel inte bara behöver anpassas efter vilken fas det svenska systemet befinner sig i utan även efter hur det globala systemet utvecklas.

Avsnitt 9.4 kan sammanfattas med följande lärdomar:

- Olika utvecklingsfaser kräver olika uppsättningar av styrmedel.
- Många styrmedel behövs i flera faser men inriktningen kan ändra karaktär, t.ex. från mer specifikt till mer generellt formulerade styrmedel, eller det omvända.
- Fastänkandet erbjuder en möjlighet att undvika framtida flaskhalsar, t.ex. genom att i god tid börja utveckla resurser som behövs i en senare fas.
- Teknikens mognadsfas kan skilja sig mellan olika länder vilket innebär att styrmedel inte bara behöver anpassas till den fas tekniken befinner sig inom landet utan även till den globala utvecklingen.

9.5 Styrmedelsportföljen

Oberoende av i vilken fas teknikerna i fallstudierna befinner sig identifierades flera systemsvagheter. En central fråga vid utformningen av styrmedel är därför hur olika systemsvagheter och möjliga åtgärder förhåller sig till varandra och hur en verksam styrmedelsportfölj kan utformas. I detta avsnitt behandlas olika aspekter på denna fråga.

I vissa fall kan en åtgärd lösa flera problem samtidigt genom kopplingar i systemet. I andra fall blockerar en systemsvaghet dynamiken vilket gör att de förväntade effekterna av andra åtgärder uteblir (9.5.1). Till exempel visar fallstudierna att systemsvagheter som blockerar *marknadsformering* (9.5.2) och *resursmobilisering* (9.5.4) behöver åtgärdas för att gjorda satsningar på *kunskapsutveckling* och *entreprenöriellt experimenterande* ska få någon verklig effekt. Det finns således ett behov av en portfölj som balanserar olika satsningar. Ett argument som ofta reses mot tekniks specifika marknadsformering styrmedel är att kostnaden blir orimligt hög. Det går emellertid att argumentera för att kostnaden kan vara begränsad jämfört med de vinster som kan uppnås (9.5.3). Slutligen skapar styrmedelsportföljen ett behov av koordination eftersom olika myndigheter och departement kontrollerar olika styrmedel (9.5.5).

¹³⁷ I de länder som haft fasta inmatningstariffer för solel har man snabbt behövt sänka tarifferna i takt med att modulpriset på den globala marknaden sjunkit. I några länder som Tyskland och Sydkorea sänktes tariffnivåerna med viss eftersläpning, medan i en del andra länder som Kanada och Schweiz höjdes faktiskt tarifferna samtidigt som priserna steg. Det visar på behovet av en lyhörd, kunskapsbaserad och flexibel teknikpolitik vilket dock behöver vägas mot värdet av stabilitet (se avsnitt 9.6).

9.5.1 Dynamiska effekter och låsningar

Teknologiska innovationssystem är dynamiska system med en mängd interna kopplingar. Det innebär att ett styrmedel kan få långtgående effekter men också att varje styrmedel är beroende av andra styrmedel. Tre observationer kan göras från fallstudierna.

För det första, genom att koppla systemsvagheter till funktioner är det möjligt att identifiera svagheter som påverkar mer än en funktion vilket innebär att införandet av ett styrmedel som hanterar denna svaghet kan få stora dynamiska effekter. Till exempel påverkar systemsvagheten ”bristande kunskap om solenergens potential” fyra funktioner i solcellfallet, och i havsvindfallet påverkar systemsvagheten ”elcertifikatssystemets funktionssätt” fem funktioner.

För det andra påverkas effekten av ett givet styrmedel av ömsesidiga beroenden mellan funktioner, d.v.s. om en funktion förstärks (försvagas) kan detta leda till att andra funktioner påverkas då de olika processerna griper in i varandra. Till exempel kan en förstärkt *legitimeringsprocess* leda till att regelverk ändras vilket kan *vägleda företagens sökprocess* så att de etablerar sig i TIS:et vilket i sin tur leder till att *resursmobiliseringen* stärks och, kanske, att *legitimeringsfunktionen* stärks ytterligare. Detta innebär att ett styrmedel som åtgärdar en avgörande systemsvaghet kan lösa flera problem genom kopplingar i systemet. Fallet havsba-serad vindkraft (kapitel 3) kan vara ett exempel:

”Systemsvagheter 5,6 och 8 blockerar legitimeringsfunktionen vars svaghet bedöms utgöra det största hindret för dynamiken – utan en förstärkt legitimitet kommer regelverken inte att justeras för att möjliggöra a) starkt marknadsfor-mering, b) ökad vägledning av sökprocessen, c) främjande av entreprenöriella experiment.”

För det tredje, av ovanstående citat framgår även att det ömsesidiga beroendet kan skapa låsningar vilket kan innebära att en svag funktion kan påverka andra funk-tioner negativt och att, därför, insatser som görs för att stärka andra delar av sys-temet får ingen eller starkt begränsad effekt. Detta illustreras i fallet elektrifierade tunga fordon där marknadsutvecklingen under de närmaste 5–10 åren förväntas spela en stor roll för om en tidig satsning på teknikutveckling kommer att få någon effekt – och politiska styrmedel kommer att ha stor betydelse för utgången. En representant för Volvo uttrycker det som att de nu befinner sig i ett vänteläge:

”Kort kan jag säga att med den teknologin som finns idag, och dom kostnader som är förknippade med den teknologin, med avsaknad av policyliknande instrument så dröjer det innan det är kommersiellt gångbart... Därför står vi och väntar nu. Strategin är helt klar, att det är åt det här hållet vi måste gå. Men nu är vi i ett vänteläge, och nu är den intressanta frågan: vill samhället förkorta den här tiden?”

9.5.2 Marknadsformeringens roll i styrmedelsportföljen

Volvo är inte det enda företaget som har bedrivit *entreprenöriella experiment* och utvecklat ny teknik och nya produkter men som saknar en stödjande marknad och därför befinner sig i ett ”vänteläge”. Ett tydligt mönster i tabell 8:1 var att styrkan i flera system ligger i *entreprenöriella experiment* och *kunskapsutveckling och kunskapsspridning* medan *marknadsformering* bedöms vara mycket otillräcklig för att de uppsatta målen ska kunna uppnås.

Denna otillräckliga marknadsformering beror till stor del på den strävan efter teknikneutralitet (se 9.3) som dominerar styrmedlen. Detta är uppenbart för de elproducerande teknikerna men gäller även för bioraffinaderier och elektrifiering av tunga fordon. Sålunda argumenteras i kapitel 7 att de

”... generella styrmedel som finns har inte varit tillräckliga för att skapa en marknad för de plattformsteknologier som kan möjliggöra framtidens bioraffinaderier.”

För elektrifierade tunga fordon (kapitel 6) framhålls att:

”...i linje med den övergripande retoriken om ”fossolfritt” föreslår den att s.k. fossiloberoende distributionslastbilar skall stödjas med premier på 250 000 kr; oavsett om det handlar om hybrider/elfordon eller fordon som drivs av gas eller etanol. Denna och liknande utredningar uttrycker ett betydande problem för vägledningsfunktionen i det svenska systemet, där förment teknikneutrala förslag till marknadsstöd i praktiken innebär ett stöd till mogen teknik utan väsentliga utvecklingsmöjligheter. Detta riskerar att tränga ut de lovande tekniker som nu finns inom elektrifieringsområdet.”

Medan den positiva bedömningen av *entreprenöriella experiment* och *kunskapsutveckling/spridning* tydligt pekar på att statliga insatser har medverkat till att skapa väsentliga styrkor i en tidig fas i utvecklingen av de olika TIS:en, innebär teknikneutraliteten i regelverk för marknadsformering att det har uppstått ett ”hål” mellan dessa tidiga insatser, i form av FoU, pilot och demonstrationsanläggningar, och de mer massmarknadsinriktade styrmedlen för marknadsformering (Bergek och Jacobsson, 2010). Det skulle kunna uttryckas som om nischmarknadsfasen i figur 9:2 antingen ignoreras eller försöker hoppas över.

I en linjär innovationsmodell skulle detta vara problemfritt för i en sådan följs forskningsfasen av utveckling som sedan leder till produktion och försäljning. FoU är tillräckligt för att driva innovationer och kostnadsminskningar och statens roll blir då att stödja forskning, utveckling och demonstration, där detta stöd motiveras av de positiva externa effekter som forskning leder till (avsnitt 9.2). I denna modell växer således marknaden fram *efter* det att tekniken är fullt utvecklad.

Den linjära modellen har dock dödförklarats av ett otal forskare som istället betonar samspel och återkopplingar mellan utveckling och användning, t.ex. Kline och Rosenberg (1986). Särskilt betydelsefullt är det att ha tidiga och kunniga kunder (Carlsson och Jacobsson, 1994). Återkoppling från sådana tidiga användare skapar förutsättningar för lärande som inte är möjligt i laboratoriemiljö. Tidiga kunder är naturligtvis även viktiga för att stimulera skapandet av nya industriella

verksamheter – genom nya företag eller diversifiering av existerande företag – i olika delar av värdekedjan. Genom en tidig marknad skapas både de incitament och intäktsströmmar som gör det möjligt för dessa nya etablerare att bedriva FoU och produktutveckling och genomföra andra åtgärder för att minska kostnader, t.ex. genom standardisering. En tidig marknad ger dessutom möjlighet att börja exploatera skalfördelar vilket sänker kostnaderna och möjliggör ytterligare spridning. Allt detta innebär att nischmarknader måste finnas för en teknik långt innan den är mogen att konkurrera med etablerad teknik på massmarknader. Till skillnad från i den linjära modellen utvecklas således tekniken och marknaden *i ett samspel*. En verkningsfull styrmedelsportfölj behöver ta detta samspel i beaktande.

Inom många teknikområden formas nischmarknader utan statlig intervention. Detta är fallet när en ny teknik är överlägsen i en eller flera prestandadimensioner vilka är av särskild vikt för vissa kunder, t.ex. solcellens möjlighet att producera el i rymden eller på andra ställen utan uppkoppling till elnätet, en telefon som är bärbar eller en halvledare som är så liten att den möjliggör utvecklingen av hörapparater som får plats i ett öra. Med andra ord kan nischmarknader skapas när produkten är differentierad och marknaden heterogen. För homogena produkter, som elektricitet, drivmedel eller värme,¹³⁸ är det dock mycket svårare för ”naturliga” nischmarknader att uppstå – det extra värdet i form av miljöfördelar skapar ingen direkt och omedelbar nytta för den enskilde konsumenten (till skillnad från en bärbar telefon eller en i örat placerad hörapparat) utan nyttan tillfaller samhället i stort. För att nischmarknader ska formas behövs i dylika fall politisk intervention.

Behovet av marknadsskapande åtgärder betonas därför i flera kapitel. I fallet bioraffinaderier förutsätter en uppskalning av teknologin att eventuella ”naturliga” nischmarknader är stora (då ett bioraffinaderi är storskaligt) och att det finns kunder som vill vara med och investera eller skriva långsiktiga avtal om att köpa en viss volym till ett bestämt pris. Idag finns emellertid inte den typen av nischmarknader tillgängliga vilken blockerar dynamiken:

”... området som helhet behöver gå över i en nischmarknadsfas för att kunskapsutvecklingen skall kunna stärkas ytterligare... ingen aktör ser det som sin roll att driva teknikutvecklingen och uppskalning av tekniken utan att spelreglerna på marknaden stärks avsevärt.”

Ett andra exempel är tunga elektriska fordon där marknadsutvecklingen på *hemmamarknaden*, i Sverige, sägs kunna spela en mycket viktig roll för de svenska företagen genom att den skulle möjliggöra uppskalning av teknikutprovningen och volymerna. Volvo AB har:

”... gått förbi alla europeiska konkurrenter och tagit en ledarroll för introduktionen av elektrifierade fordon. Den svenska marknadsutvecklingen under de närmaste 5–10 åren kommer att spela en stor roll om denna i branschen ovanliga satsning leder till en bredare spridning och politiska styrmedel kommer att ha stor betydelse för utgången.”

¹³⁸ Dessa är homogena förutom i produktionsprocessen. I vissa fall som för solceller på satelliter och i andra småskaliga tillämpningar finns det en heterogenitet kopplad till tillgänglighet långt från elnät och i vissa sammanhang relaterad till extra värden som byggnadsestetik.

Ett tredje exempel, där även den *svenska* marknaden betonas är fallet solceller (kapitel 5) där svaga lärandesätverk i värdekedjan mellan teknikutvecklare och potentiella kunder identifieras som en viktig systemsvaghet. Det argumenteras att mer utvecklade nätverk till aktörer nedströms i värdekedjan skulle kunna leda till ett mer varierat och behovsanpassat experimenterande och att i ”... *tidiga osäkra skeden kan det vara en fördel att samarbeta med aktörer som är geografiskt och kulturellt näralliggande*”. En större svensk hemmamarknad skulle därför förmodligen erbjuda de svenska teknikföretagen ett enklare första insteg på marknaden.

De mer teknikneutrala styrmedlen erbjuder emellertid inte ett marknadsutrymme som kan bidra till detta samspel mer än marginellt. Det ger därför inte svenska företag ett marknadsutrymme på hemmaplan för ett tidigt samspel och lärande med kompetenta kunder, för att hantera barnsjukdomar, för skapandet av referensinstallationer bortom mer forskningsrelaterade pilot- och demonstrationsanläggningar och för en försäljning som kan finansiera ny produktutveckling och möjliggöra olika skalfördelar, på företagsnivå såväl som på TIS-nivå (t.ex. framväxt av specialiserade underleverantörer). Det innebär att innovativa svenska företag blir hänvisade till utländska marknader med högre etableringskostnader i en fas som redan domineras av mycket stora osäkerheter och där det kan skada företagets trovärdighet om inte det kan påvisa ett intresse från en hemmamarknad.

En avsaknad av ett läroutrymme på hemmamarknaden är särskilt hämmande för mindre och medelstora företag men även större företag, som ABB, har tidigare gynnats i sin utveckling av en tidig och avancerad hemmamarknad.¹³⁹ En svag *marknadsformering* riskerar därför, genom ömsesidiga beroende mellan funktionerna, att medföra att en tidig styrka i form av *entreprenöriella experiment* inte leder till en fortsatt utveckling av tekniken och framväxt av en svensk industri. ”Hålet” i styrmedlen innebär således att industrialiseringsmålet i energipolitiken (se kapitel 1) får svårt att uppfyllas.

9.5.3 Kostnader för tidig marknadsformering

Teknikspecifika marknadsskapande regelverk innebär att en del av kostnaden för den nya tekniken delas av en större grupp, t.ex. alla skattebetalare om det rör sig om en subvention genom statsbudgeten, eller av alla (eller åtminstone flertalet) elkonsumenter om det handlar om inmatningstariffer eller elcertifikat. Även om kostnaderna inte får negligeras kan de emellertid lätt överdrivas.

Som nämns i kapitel 3 om havsbaserad vindkraft, uppmärksammas konsumentkostnader mycket i debatten i Europa. Inom det energitekniska området är det emellertid av särskild betydelse att inte enbart se till konsumentkostnader utan att även uppskatta samhällsekonomiska kostnader och intäkter. Dessa inkluderar negativa externa (miljö-)effekter och en rad positiva externa effekter som skapas genom lärande och innovation (avsnitt 9.2). Om man utgår från att det är möjligt

¹³⁹ Som nämns i fallet tunga elektrifierade fordon har de stora internationella framgångar som svenska företag haft inom komplexa teknikområden, som t.ex. elkraftöverföring och mobiltelefoni, ofta grundats i att en stark och pådrivande hemmamarknad.

att beräkna sådana samhällsekonomiska kostnader och intäkter (vilket inte är självklart) finns det tre argument för att styrmedel som skapar tekniskspecifika marknader kan vara samhällsekonomiskt lönsamma.

För det första, vilket diskuterades i föregående avsnitt, kan en tidig hemmamarknad ge stöd till näringslivet på olika sätt vilket för landet kan generera en framtida intäktspost.

För det andra, ända sedan Adam Smith skrev Nationernas Väststånd 1776 har det funnits en insikt om att olika typer av lärandeeffekter och skalfördelar driver ner kostnaden för ny teknik när volymerna ökar. Ofta sägs att tekniken följer en "erfarenhetskurva". Man kan därför förvänta sig att det krävs en viss investering för att, så att säga, "köpa ner" kostnaden för den nya tekniken så att den blir konkurrenskraftig. Denna investering innebär visserligen en kostnad men genom att den bidrar till att kostnaderna går ner på sikt finns det även långsiktiga intäkter som bör inräknas i en kalkyl (och inte diskonteras med ett överdrivet värde). Om potentialen för den nya tekniken är avsevärt större än den volym som behövs för att köpa ner kostnaden, finns det goda samhällsekonomiska skäl att med hjälp av styrmedel möjliggöra att dessa tidiga investeringar görs.¹⁴⁰

Solceller utgör ett illustrativt exempel. 2005 publicerades en studie som visade att om kostnaden för att "köpa ner" priset på solcellssystem till en konkurrenskraftig nivå fördelades på alla elkonsumenter i OECD-länderna skulle merkostnaden aldrig överstiga ett öre per kWh (Sandén 2005).¹⁴¹ Den totala mängden solcellssystem som behövde subventioneras beräknades till mindre än en promille av den framtida potentialen. Fallet solceller är kanske särskilt intressant för att förutsägelseerna från 2005 har slagit in. Kostnadsminskningen har följt den tänkta erfarenhetskurvan och nu är solceller konkurrenskraftiga på många marknader (kapitel 5).¹⁴²

Presenterat på detta sätt verkar kostnaden ytterst rimlig och hanterbar trots att den initiala subventionen per watt behövde vara mycket hög. Om samma effekt istället hade försökt uppnås med ett mer teknikneutralt styrmedel som en koldioxidskatt hade det krävts en mycket hög skattenivå, och därmed ett mycket högt energipris. Eftersom denna skatt hade omfattat alla områden hade den fått en mycket stor, och delvis negativ, inverkan på hela samhällsekonomin. Styrmedel som skapar tekniskspecifika marknader är därför precisionsinstrument som, om de utformas rätt, kan vara mycket kostnadseffektiva ur ett konsumentperspektiv.

¹⁴⁰ Om det finns naturliga nischmarknader minskar behovet av att skapa marknader med hjälp av styrmedel.

¹⁴¹ I studien antogs en minskning av kostnaden med 20 % för varje fördubbling av den ackumulerade produktionen.

¹⁴² I några länder har kostnaden dock överskridit den beräknade. Det gäller framförallt Tyskland. Det finns två skäl till detta. För det första spreds kostnaden för teknikinvesteringen inte ut på hela OECD utan togs till stor del av de tyska elkonsumenterna. För det andra sänktes subventionen (i det här fallet en inmatningstax) inte tillräckligt snabbt under ett par år då kostnaden sjönk snabbt. Den kraftiga minskningen i kostnad har emellertid inneburit att även i Tyskland är den samhällsekonomiska kostnaden för solceller nu lägre än den för kolkraft, enligt beräkningar med tyska data (Lauber och Jacobsson, 2014).

Som nämndes i avsnitt 9.3 så står inte mer tekniskspecifika styrmedel i motsatsställning till mer neutrala utan de kan med fördel kombineras. En koldioxidskatt skulle innebära att solcellerna i fallet ovan blev konkurrenskraftiga tidigare, och en styrmedelskombination skulle därför kunna vara den effektivaste lösningen (Sandén och Azar 2005). Idealet vore att införa en global kostnad för utsläpp som motsvarar storleksordningen på de negativa externa effekterna. Dessa är dock svåra, och i vissa fall omöjliga, att beräkna, men det innebär inte att de inte finns, eller att de är små.¹⁴³ För kolkraft finns det beräkningar som pekar på kostnader kring 10 eurocents/kWh (Alberici, m.fl., 2014; UBA, 2012). Den tröga processen kring de globala klimatavtalen visar dock att det är mycket svårt att införa miljöskatter eller motsvarande styrmedel av den storleken. Därför är ett tredje ekonomiskt argument för tekniskspecifika marknader att de delvis kan utgöra en ersättning för bredare styrmedel som politiker inte haft mod och kompetens att införa.

Sammanfattningsvis finns det all anledning att på ett nyanserat sätt närma sig frågan om kostnader för en initial marknadsformering. I många fall är det en samhällsekonomiskt klok investering. De initiala kostnaderna är emellertid normalt högre för ny teknik vilket gör att det finns anledning att fördela ”bördan” över många konsumenter. Således kan det vara motiverat att koordinera marknadsformering med närliggande länder som har intresse av att ta en viss strategisk teknik till marknaden, t.ex. Finland i fallet bioraffinaderier och havsbaserad vindkraft.

9.5.4 Styrmedel relaterade till resursmobilisering

Styrmedel för marknadsformering är inte det enda som behövs för att balansera portföljen. För att nå målen krävs även *mobilisering av kapital och kompetent arbetskraft*. Tillgången till kapital, på rimliga villkor, påverkas av de politiska, tekniska och marknadsmässiga risker som möter investerare, där de marknadsmässiga riskerna har en tydlig politisk komponent. Kapitaltillgången påverkas även av den tidshorisont som kapitalplacerare har samt deras kompetens inom området.

Den politiska risken betonas i fallet bioraffinaderier där:

”... flertalet uttrycker att de inte litar på att staten håller sina löften vad gäller utlovade stöd... Det senaste exemplet på detta är lagen om kvotplikt för biodrivmedel (2013:984) som antogs av riksdagen 2013 och som skulle träda i kraft i maj 2014. I april sköts inträdet av lagen upp på obestämbar tid och i juni drogs den tillbaka.”

Den politiska risken gör att aktörerna inom bioraffinaderiområdet inte vågar göra investeringar. Investeringar i miljardklassen med en avskrivningstid på 20–25 år genomförs inte om dess lönsamhet är beroende av en skattelättnad som beslutas årsvis. Företagen behöver istället möta ”normala” risknivåer för att genomföra sådana investeringarna.

¹⁴³ För potentiellt omvälvande miljöeffekter som växthuseffekten är de särskilt svåra att beräkna dels eftersom de fullständiga miljöeffekterna inte är kända och dels därför att en fullständig samhällsekonomisk kollaps är en möjlig effekt vilket innebär att begreppet kostnad inte längre kan sägas vara väldefinierat.

Med avseende på externt kapital understryks i fallet marin energi att det finns betydande tekniska och politiska osäkerheter som innebär att investeringar bedöms ha en mycket hög finansiell risk (vilket fördyrar kapitalet). I solcells-fallet, där mångåriga FoU-satsningar lett till *entreprenöriella experiment* och bildandet av små företag, bedöms tillgången till kapital som ett hinder vid uppskalning för komponenttillverkare. Även för havsbaserad vindkraft betonas betydelsen av säkerställande av tillgång till kapital, till en rimlig ränta. I båda dessa senare kapitel pekas på behovet av en särskild lösning inom finanssektorn för att frigöra kapital till industriell utveckling som gagnar långsiktig hållbarhet, bland annat genom att lyfta över en del av de tekniska och marknadsmässiga riskerna till samhället i stort.

Även tillgången till kompetent arbetskraft behöver säkerställas. Detta gäller t.ex. elektroingenjörer, ingenjörer som är specialiserade på havsbaserad vindkraft, personal som ska driftsätta och driva bioraffinaderier samt högspecialiserad arbetskraft, ofta med doktorsgrad, som kan utveckla nya solcellsmaterial och produktionsprocesser. I portföljen behöver det således även finnas styrmedel som syftar till att säkra tillgång till humankapital (i rätt tid).

Utan *mobilisering* av dessa två resurser kan effekten av satsningar på tidig *kunskapsutveckling* och *entreprenöriella experiment* kraftigt reduceras. Även effekten av *marknadsformande styrmedel* på framväxten av en svensk industri kan hämmas. Detta pekar på vikten av att koordinera de politiska instrumenten så att utvecklingen av olika delar i det sociotekniska systemet går i takt.

9.5.5 Koordinering av styrmedel

Att koordinering av styrmedel, med hänsyn taget till olika ledtider, är väsentligt framstår med tydlighet genom de många funktionerna i ett TIS och det stora antalet systemsvagheter som identifieras i de fem fallen. Koordinering är dock kanske extra betydelsefullt för teknik där mycket stora investeringar behöver göras av enstaka aktörer. I de studerade fallen blir detta tydligt när bioraffinaderier och havsbaserad vindkraft jämförs med solceller. Medan solcellssystem växer fram genom tusentals små beslut av lika många aktörer, beslutar ett fåtal aktörer om bioraffinaderiernas framtid:

”Det är just storleken på investeringarna i kombination med den höga marknadsrisken som försvårar marknadsformeringen och därmed ställer särskilda krav på hur styrmedel behöver utformas. Det är stora summor som måste investeras i helt ny teknologi, och varje investering kommer ge upphov till stora mängder drivmedel och kemikalier.”

Koordinering kan behöva göras mellan myndigheter i en rad områden, av vilka flera behandlades ovan (marknadsformering och i två av resursmobiliseringens olika domäner). Två ytterligare exempel kommer att ges på koordineringsutmaningar som inte uppmärksammas så ofta.

Det första rör koordinering mellan teknikstödande myndigheter och tillståndsmyndigheter. I fallet marin energi påpekas att den politiska osäkerheten förstärks av svagheter i direktiv för tillsynsmyndigheter i tillståndsprövningsprocessen för anläggningar. Exempelvis saknar Havs- och vattenmyndigheten riktlinjer för hur framtida climateffekter ska vägas mot lokal miljöpåverkan. En genomgång av myndighetens yttranden gällande havsbaserad vindkraft visade att myndigheten under tillståndsprövning hittills endast tagit hänsyn till lokal miljöpåverkan och, därför, inkluderat lokala samhällsekonomiska miljökostnader men exkluderat globala samhällekonomiska intäkter i form av minskad klimatpåverkan. Direktiven för tillsynsmyndigheter behöver därför koordineras med, och inte motverka, Energimyndighetens satsningar på marin energi och havsbaserad vindkraft. Åt andra hållet behöver Energimyndigheten koordinera tekniksatsningar med andra myndigheter som Havs- och vattenmyndigheten och Naturvårdsverket inom områden som marin energi, vindkraft och bioenergi, för att stärka *legitimiteten* och undvika senare bakslag i form av oönskade miljökonsekvenser och resurskonflikter. I fallet bioraffinaderier har kritik riktats mot utformningen av nuvarande offentlig finansiering (på både nationell och EU-nivå) där vissa menar att tiden från det att stödet beviljas till det att byggandet ska vara igång är så kort att nödvändiga miljötillstånd inte hinner fås. Det gör att seriösa aktörer med goda chanser att lyckas avstår från att söka. Återigen behövs en koordinering mellan teknikstödande och tillståndsgivande myndigheter.

Det andra exemplet är tunga elektriska fordon där steget mot laddhybrider och helelektriska bussar innebär att myndigheter och företag måste koordinera sina verksamheter. Trafikbolagen måste acceptera en viss stilleståndstid för laddning, vilket får konsekvenser både för linje- och tidsplaneringen och för det samlade fordonsbehovet. Beställarna behöver bygga och utbyta erfarenheter kring olika tekniska aspekter rörande fordonsutformning, batteristorlek och laddningssystem. Eldistributionsbolagen som levererar kraften behöver beräkna kapacitet och projektera eventuell förstärkning av det lokala eldistributionsnätet samt samverka med stadsplaneringen för bästa möjliga placering och utformning av laddstationer. Sammantaget innebär detta att koordineringsfrågan är av central betydelse.

Som antytts ovan kan en koordinering förväntas vara av särskild vikt vid övergången från en fas till en annan eftersom förutsättningar då ändras och en rad förändringar i TIS:et måste till. Detta betonas särskilt i fallet bioraffinaderier där det argumenteras att när teknikområdet går in i en nischmarknadsfas ställs ökade krav på koordinering och tekniskspecifik kunskap hos berörda myndigheter och departement eftersom alla instrument för att stimulera en vidare utveckling inte finns inom en enskild myndighet.

En generell observation är att nya teknikområden ofta utvecklas i gränslandet mellan gamla sektorer och av det skälet kräver samarbeten över myndighetsgränser. Således behöver Energimyndigheten arbeta tillsammans med Trafikverket i utvecklingen av elektrifierade vägar och med Boverket när solceller utmanar definitionen av lågenergihus. Till viss del sker sådana samarbeten redan idag. En större utmaning kan vara koordinering mellan olika departement. Ovan diskuterades behovet av att koordinera

satsningar på *kunskapsutveckling* och *entreprenöriellt experimenterande* med *marknadsformering*. Det pekar på ett behov att koordinera Näringsdepartementets och Finansdepartementets olika instrument så att departementens instrument kan samverka och stödja varandra på ett effektivt sätt.

Avsnitt 9.5 kan sammanfattas med följande lärdomar:

- I vissa fall kan en åtgärd lösa flera problem samtidigt, men ofta krävs en portfölj av flera styrmedel för att dynamiken ska stärkas.
- Systemsvagheter som blockerar *marknadsformering* och *resursmobilisering* behöver åtgärdas för att gjorda satsningar på *kunskapsutveckling* och *entreprenöriellt experimenterande* ska få önskvärd effekt.
- Frågan om kostnader för en initial marknadsformering bör hanteras på ett nyanserat sätt. Kostnaden för att skapa teknikspecifika marknader med hjälp av styrmedel kan vara låg i förhållande till den samhällsekonomiska vinsten.
- Eftersom olika myndigheter, på skilda nivåer, och departement kontrollerar olika styrmedel finns ett stort behov av koordination, särskilt i övergången till en ny fas.

9.6 Politiska begränsningar och möjligheter

Detta kapitel har diskuterat styrmedel som kontrolleras av det svenska politiska systemet. Det svenska politiska systemet påverkas i sin tur av mer strukturella faktorer som valperioder och EU:s direktiv och mer dynamiska faktorer som opinionsläget, styrkan hos olika lobbygrupper och kunskapen om olika teknikpolitiska alternativ. Detta ger vissa begränsningar för utformningen av styrmedel varav en del förändras i takt med utvecklingen av olika TIS.

EU:s direktiv utgör en begränsning. Även om man i Sverige skulle vilja gynna utvecklingen av en teknik eller en svensk industri begränsar EU:s konkurrenslagstiftning vilka åtgärder som är möjliga. När svenska staten satsade extra medel på storskalig demonstration av bioraffinaderier och vågkraft gjorde statsstödsprövningen i EU att alla projekt kraftfullt fördröjdes vilket bidrog till att flera projekt i slutändan inte kunde genomföras. I fallet solceller har EU:s lagstiftning i ett fall fördröjt en föreslagen skattereduktion. Dessutom tycks svenska aktörer ha använt EU:s lagstiftning som argument för att inte lägga fram förslag om nettodebitering av solcellsel, trots att det redan finns i andra EU-länder. Exemplet visar att en aktiv teknikpolitik kräver att det finns en god juridisk kompetens hos svenska myndigheter som är tränad att se både hinder och möjligheter.

En annan politisk begränsning av stor betydelse rör möjligheten att skapa styrmedel som är stabila och förutsägbara över tid. Industrin efterfrågar ofta stabila spelregler där bioraffinaderifallet kan tjäna som exempel:

”Workshoppedeltagarna (2014) understryker att investeringar i miljardklassen och som har en avskrivningstid på 20–25 år inte kan genomföras om dess lönsamhet är beroende av en skattelättnad som beslutas årsvis. Att så är fallet blev tydligt när ägarna till Domsjö Fabriker, Aditya Birla, tackade nej till att investera i Chemrecs teknologi trots beviljat statligt investeringsbidrag på 500 MKr. Aditya Birla förklarar sitt beslut först och främst med att produktion av drivmedel inte är deras huvudintresse, men också att det måste finnas långsiktiga och stabila spelregler som minimerar risken mot fallande oljepriser ... ”

Det är dock svårt att skapa styrmedel som är befriade från politisk risk. Nya budgetförhandlingar och nya val leder per automatik till risken att styrmedelsportföljen byts ut. Det finns också en risk att stabilitet leder till inlåsning. Ett exempel är de tidiga satsningarna på biogas som drivmedel i stadsbussar vilka var ett framsynt steg på 1990-talet och tidigt 2000-tal när det saknades andra alternativ till konventionell diesel. Nu riskerar de emellertid att leda till inlåsnings- och motverka satsningar på elektrifiering (kapitel 6).

Detta leder till en central utmaning för myndigheter: att hantera investerarens behov av stabila långsiktiga villkor och behovet av flexibilitet som härrör från de stora osäkerheter som präglar industriell utveckling. Att det är svårt att bedriva aktiv teknikpolitik är emellertid inte ett argument för att låta bli. Alternativet till en tydlig strategi är ad hoc-beslut och ett oproportionerligt stort inflytande för de skickligaste lobbyisterna. En möjlighet är istället att skapa långsiktiga teknikpolitiska visioner som skapar en stadigare kurs¹⁴⁴ och kombinera dessa med styrmedel som utvärderas och omvärderas periodvis.

Vid sidan om de strukturella begränsningar för teknikpolitiken som skapas av EU:s konkurrenslagstiftning och återkommande skiften av politiska majoriter finns det även mer dynamiska begränsningar som förändras i takt med teknikområdenas utveckling. Det politiska beslutsfattandet står inte vid sidan om och skapar styrmedel baserade på en högre insikt; det politiskt möjliga påverkas av den sociotekniska utvecklingen. Den teknikpolitiska processen är i viss mån en del av TIS:et och förutsättningen för att fatta teknikpolitiska beslut beror på faktorer som ändras när innovationssystemet utvecklas. Politiker och myndigheter är på detta sätt aktörer som delvis befinner sig i systemet. Styrmedelutformningen både påverkar och påverkas av resten av innovationssystemet.

När ett teknologiskt innovationssystem växer förändras maktbalansen vilket kan stärka dess legitimitet och förändra förutsättningarna, inte bara för industrin utan även för den reella möjligheten att införa kraftfulla styrmedel (Johnson and Jacobsson 2003; Bergek m.fl. 2008b, Jacobsson och Lauber 2006, Sandén och Azar 2005). Kraftfullare styrmedel kan i sin tur leda till ytterligare tillväxt, och därmed mer legitimitet och starkare förespråkare, samt ytterligare förändringar av maktbalansen mellan den nya teknikens förespråkare och dess motståndare.

¹⁴⁴ Visioner av detta slag saknas emellertid, som påpekas bland annat i kapitlen om solceller och marin energi.

Parallellt med den ekonomiska förändringsspiralen baserad på positiv återkoppling mellan kostnadsreduktion och marknadstillväxt (se avsnitt 9.5) uppstår det således en politisk förändringsspiral baserad på positiv återkoppling mellan styrmedel och legitimitet (Sandén 2005). Ett exempel från fallstudierna är de tidigare subventionsprogrammen för solceller som skapat (i) en växande industri som argumenterar för fortsatta stöd; (ii) större kännedom om och legitimitet för solceller och (iii) en lång kö av presumtiva stödmottagare som tydligt manifesterar ett samhällsintresse. Tillsammans med den ökade legitimitet som skapats av den internationella utvecklingen har denna endogena TIS-utveckling nu lett till en proposition med förslag till fortsatta subventioner och skattereduktion för försäljning av solceller. Ett tidigt försiktigt styrmedel förändrar alltså möjligheterna att gå vidare i senare skede.¹⁴⁵ En negativ konsekvens av detta, som man bör vara vaksam på, är att den ökade politiska styrkan i det växande TIS:et kan leda till problem när styrmedel ska trappas ner och fasas ut. Slutsatsen är att styrmedelsportföljer, liksom teknisk system, utvecklas och växer fram. De föds inte fullvuxna i komplett rustning som den grekiska gudinnan Athena, utan mognar över tid om de får chansen.

En annan konsekvens av denna dynamiska syn på styrmedel är att lärande är en naturlig del av styrmedelutvecklingen. I kapitel 8 diskuterades kompetenskrav för de myndigheter som har ansvarsområden som faller inom ramen för ett givet TIS. Som framgått av tidigare kapitel är ett TIS ett komplicerat system vilket gör det krävande att identifiera och värdera de faktorer som hindrar dess dynamik. Det är även ett komplext system med många möjliga återkopplingsmekanismer som drivs av både endogena och exogena faktorer. Dessa återkopplingar gör det inte bara svårt att förutsäga systemets dynamik utan även vilka effekter ett styrmedel kommer att få (Jacobsson och Bergek, 2004). Återkopplingarna fångas in av det ömsesidiga beroendet mellan funktionerna i TIS-ramverket. Då det föreligger osäkerhet om hur en dylik ömsesidighet kommer att utvecklas, och den tidsperiod det tar, går det inte att förvänta sig att en fullständig kunskap om olika styrmedels effekter ska kunna införskaffas. Som betonades i avsnitt 9.2, leder därför den ”experimentella” karaktären på dynamiken, till skillnad från analysen av ”perfekta” tillstånd i jämviktsteori, till att misstag och brister är en del av en normal läroprocess, inom industrin såväl som hos myndigheter. Återigen är svårigheten att utforma en perfekt styrmedelsportfölj inte ett argument för att undvika intervention utan istället ett argument för ett kontinuerligt lärande bland myndigheter och politiker och för periodvisa utvärderingar som underlättar lärandet. Lärande och kunskapsutveckling är således en viktig funktion, inte bara i innovationssystemets tekniska och affärsmässiga delar, utan även hos myndigheter och i de politiska församlingar där styrmedlen utformas och uttolkas.

Här sluts cirkeln och inledningens formulering kan återupprepas. Många aktörer kan påverka innovationssystemet, men staten och andra offentliga aktörer har en särskild roll och ett särskilt ansvar. De har tillgång till en unik uppsättning redskap

¹⁴⁵ Ett ännu tydligare exempel är den tyska kostnadstäckande inmatningstariffen för solceller som startade i tre tyska städer 1994, spred sig till ett fyrtiotal städer, för att 2000 antas på federal nivå och sedan spridas internationellt till en mängd länder (Sandén 2008).

som på olika sätt kan stödja eller motverka utvecklingen av olika TIS, antingen strategiskt eller omedvetet och reaktivt. ”Att inte blanda sig i” är ett alternativ som inte står till buds – det politiska systemet är en del av det sociotekniska. Det leder också till att utvecklingen av styrmedel inte bara *påverkar* övriga komponenter i innovationssystemet, det *påverkas* också av det. Styrmedelsutvecklingen är liksom teknikutvecklingen en lärprocess, beroende av kunskapsutveckling och förändrade maktbalanser. I varje givet ögonblick begränsar systemet vad aktörerna kan göra; det gäller företag, konsumenter, myndigheter och politiker men för alla aktörer finns ett handlingsutrymme som de kan utnyttja om de så väljer.

Avsnitt 9.6 kan sammanfattas med följande lärdomar:

- En aktiv teknikpolitik kräver att det finns en god juridisk kompetens hos svenska myndigheter som är tränad att se både hinder och möjligheter i EU:s regelverk.
- Teknikpolitiken behöver balansera investerares behov av stabila långsiktiga villkor och behovet av flexibilitet som härrör från de stora osäkerheter som präglar industriell utveckling samt ta i beaktande den osäkerhet som skapas av föränderliga politiska majoriteter.
- Teknikpolitiken är delvis en del av innovationssystemen, och legitimiteten för olika politiska åtgärder förändras i takt med innovationssystemens utveckling.
- Lärande och experimenterande är en del av styrmedelsutvecklingen och misstag, brister och stegvisa förbättringar är en del av en normal lärprocess.

9.7 Referenser

- Alberici, S. m. fl. (2014): Subsidies and costs of EU energy, interim report, 10 October, Ecofys, commissioned by the European Commission.
- Azar, C. and Sandén, B. A. (2012). Ogenomtänkt teknikneutralitet. I Bergstrand (red), Upplyst eller utfrys, en antologi om elmarknaden, s. 88–99, E-on Sverige.
- Azar, C., Sandén, B.A., 2011. The elusive quest for technology-neutral policies. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1, 135–139.
- Bergek, A, Jacobsson, s., Hekkert, M. och Smith, K. (2010): Functionality of Innovation systems as a Rationale for and Guide to Innovation Policy, i Smits, R., Kuhlmann, S. och Shapira, P. (eds): The theory and practice of innovation policy, an international research handbook, PRIME series of Research and Innovation Policy in Europe, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Sandén, B.A., 2008. ‘Legitimation’ and ‘development of positive externalities’: two key processes in the formation phase of technological innovation systems. *Technology Analysis and Strategic Management* 20, 575–592.
- Carlsson, B. och Jacobsson, S. (1994): Technological Systems and Economic Policy: The Diffusion of Factory Automation in Sweden, in *Research Policy*, 23, 235–248.

- Carlsson, B. och Jacobsson, S. (1996): Technological systems and industrial dynamics – implications for firms and governments, i Helmstädter, Ernst and Perlman, Mark, editors: Behavioral Norms, Technological Progress and Economic Dynamics: Studies in Schumpeterian Economics, The University of Michigan Press.
- Carlsson, B. och Jacobsson, S. (1997): In search of a useful technology policy – general lessons and key issues for policy makers, i Carlsson, B., ed, Technological systems and Industrial Dynamics, Kluwer Press.
- Corden, W.H. (1974): Trade Policies and Economic Welfare, Oxford University Press.
- Corden, W.H. (1980): Trade Policies, in J. Cody, H. Hughes and D. Wall, Policies for Industrial Progress in Developing Countries, Oxford University Press.
- Dodgson, M., Hughes, A., Foster, J. och Metcalfe, J. (2010): Systems thinking, market failure, and the development of innovation policy: The case of Australia, UQ Economics Discussion Paper No. 403: Department of Economics, University of Queensland and Centre for Business Research Working Paper 397, University of Cambridge.
- Freeman, C., Louçã, F. (2002): As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution. Oxford University Press, Oxford.
- Jacobsson, S. och Bergek, A. (2004): Transforming the Energy Sector: The Evolution of Technological Systems in Renewable Energy Technology, Industrial and Corporate Change, Volume 13, Number 5, pp. 815–849.
- Jacobsson, S. och Lauber, V. (2006): The politics and policy of energy system transformation--explaining the German diffusion of renewable energy technology. Energy Policy 34, 256–276.
- Jacobsson, S., Perez-Vico, E. och Hellsmark, H. (2014): The many ways of academic researchers – how science is made useful at a University of Technology, Science and Public Policy.
- Kline, S. and Rosenberg, N. (1986): An Overview of Innovation, in R. Landau and N. Rosenberg (eds), The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth, Washington DC: National Academy Press
- Krueger, A. (1986): Changing Perspectives on Development Economics and World Bank Research, Development Policy Review, 4(3).
- Metcalfe, S. (1992): The Economic Foundation of Technology Policy: Equilibrium and Evolutionary Perspectives, mimeo, University of Manchester.
- Sandén, B.A. (2005): The economic and institutional rationale of PV subsidies. Solar Energy, 78, 137–146.
- Sandén, B.A. (2008): Solar solution: the next industrial revolution. Materials Today 11, 22–24.
- Sandén, B.A. och Azar, C. (2005): Near-term technology policies for long-term climate targets: Economy wide versus technology specific approaches. Energy Policy 33, 1557–1576.
- UBA (2012): Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr. Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau.

10 Ett systemperspektiv på projektbedömning

*Tomas Hellström, Lunds universitet i samarbete med
Mats Bladh, Energimyndigheten*

10.1 Inledning

Detta kapitel syftar till att presentera en metod för projektbedömningar med utgångspunkt i det teoretiska perspektivet Teknologiska innovations-system (TIS), och Energimyndighetens behov och utmaningar inom området. Projektbedömningar bör här förstås brett, och inkluderar bedömningar av myndighetens satsningar på forskning och innovation (FoI) och affärsutveckling (d.v.s. teknikutvecklingsprojekt), större demonstrationsprojekt såväl som projekt där syftet är att utveckla och kommersialisera en teknisk produkt eller process. Vad det däremot inte inkluderar är bedömningar av rena grundforskningsprojekt, för vilka så kallade 'epistemiska kriterier' brukar tillämpas. I detta kapitel tas ett systemperspektiv på projektbedömning. Det betyder att traditionellt fokus på teknik och marknad kompletteras med institutionella, beteendemässiga och politiska faktorer, och deras samspel, i bedömningen av ny teknologi.

Projektbedömning innebär ett brett spektrum av aktiviteter. Bedömningar och urval av projekt för vidare stöd utgör så kallade ex ante-värderingar, och det är dessa som fokuseras på i kapitlet. Utöver det förekommer projektbedömning i hela 'värdekedjan' för FoI, från val av prioriteringsområden (ex ante-värdering av hela teknikområden), till utvärdering av instrument för fördelning av medel, till projekturval, processutvärderingar av pågående projekt, och ex post effektutvärderingar av olika slag, där projektets sociala och ekonomiska avsättningar studeras. I intervjuer och möten med handläggare på Energimyndigheten uppfattades det att det fanns ett stort behov av modeller för projekturval, eller ex ante-värderingar, för teknik- och affärsutvecklingsprojekt. Detta kapitel fokuserar på ex ante-bedömningar, men det ramverk som föreslås med utgångspunkt i TIS kan utan större omarbetning tillämpas i effektutvärdering av teknik- och affärsutvecklingsprojekt (se t.ex. Jacobsson och Perez, 2012). Man vänder helt enkelt på temporaliteten och använder frågorna som presenteras i avsnitt 10.5 för att blicka bakåt snarare än framåt.

Vidare behandlar detta kapitel teknik- och affärsutvecklingsprojekt tillsammans, inom ramen för samma resonemang. Det kan tyckas underligt då kunskapsutveckling och affärsutveckling ofta ses som skilda aktiviteter. I själva verket har de mycket gemensamt, speciellt då teknikutvecklingsprojekt som finansieras av myndigheten ska bidra till samhällsnyttor (inklusive industriell nytta) och affärsutveckling i princip alltid inkluderar utveckling av ny kunskap i form av ny teknik och nya processer. TIS-perspektivet lämpar sig dessutom väl för att täcka

en variation av aktiviteter, då dess kategorier är utformade att täcka så många förutsättningar för teknologiutveckling som möjligt. Typiska utmaningar för teknikutveckling inom energisektorn, t.ex. långa utvecklingstider, dyra produkt- och processtest, infrastrukturella spårberoenden och stora initiala investeringar, är utmaningar som påverkar förutsättningarna och som därmed bör figurera i bedömningarna av projekt i hela utvecklingskedjan, från avancerad teknikutveckling till affärsutveckling.

Detta kapitel utgör en guide för att göra sådana bedömningar. Målet är inte att förmedla en checklista eller ett färdigt beslutssystem, utan att erbjuda ett antal frågor relaterade till det tekniska systemet i bred bemärkelse, som kan vägleda handläggare i nya riktningar vid bedömning av projekt och öppna upp perspektivet på teknologins förutsättningar. Kapitlet är uppbyggt på följande sätt: inledningsvis ges en översikt av projektbedömning från ett systemperspektiv, med nedslag i några tidigare forskningsstudier (avsnitt 10.2). Därefter ges en översikt av Energimyndighetens syn på projektbedömning och dess utmaningar (avsnitt 10.3). Med utgångspunkt i dessa utmaningar presenteras sedan 18 projektbedömningsfrågor, som relaterar dels till dessa utmaningar och dels till TIS-perspektivets olika funktioner. För illustrativa syften åtföljs var och en av dessa frågor med en tillbakablick i de fallstudier som presenteras i kapitel 3–7 i denna rapport. Kapitlet avslutas med en diskussion om ansatsens möjligheter och hur dessa kan utvecklas.

En notering om tillvägagångssättet:

Redogörelsen i avsnitt 10.3 bygger på en intervjustudie med elva handläggare på Energimyndigheten, från affärsutvecklingsenheten och forsknings- och innovationsenheten. Frågorna som ställdes till deltagarna finns i appendixet till detta kapitel. Syftet med denna intervjustudie var att fånga handläggarnas syn på projektbedömning och dess utmaningar. Avsnitt 10.5 utgår ifrån dessa utmaningar samt de fallstudier som presenteras i kapitel 3–7. Denna del är uppbyggd så att de utmaningar för teknikutveckling som identifierats i fallstudierna ligger till grund för ett antal frågor som samlar sig under sex områden (funktioner enligt TIS-perspektivet).

10.2 Systemperspektiv på projektbedömning

Projektbedömning har behandlats under olika rubriker i litteraturen. Sociala konsekvensbeskrivningar, effektvärderingar och teknikvärdering tenderar att fokusera på teknologins eller projektets effekter på sociala och ekonomiska strukturer och värden. I detta kapitel ligger fokus istället på så kallade prospektiva eller framåtblickade bedömningar av projekt och andra satsningar, alltså värdering av teknologier och projekt i dess mycket tidiga faser, och deras möjligheter till framgång. Sådan prospektiv projektbedömning kallas ibland för *ex ante*, till skillnad från *ex post* som fokuserar på utfall och effekter i kölvattnet av ett projekt. Porter (1978) rekommenderade att teknologiprojekt ska bedömas enligt nettonuvärdet, alltså genom att diskontera en serie kassaflöden och dra ifrån dem från projektets kostnad. Problemet med denna metod är dock att den inte tar hänsyn till skillnader

i sannolikheten för projektframgång. Existerande litteratur fokuserar istället till stor grad på teknologiska egenskaper och attribut, t.ex. teknologisk mognad och radikalitet (Christensen m.fl., 1998), portföljrelevans (Kester m.fl., 2009), samt på olika efterfrågeaspekter som undersöks genom marknadsanalys, t.ex. studier av marknadscykeln (Astebro, 2004; Ho m.fl., 2011). Dessa mer traditionella ansatser kan med fördel kompletteras med systemiska projektbedömningsmetoder som fokuserar på t.ex. komplementära resurser, samspel mellan aktörer, och parallella utvecklingsspår i policy som påverkar en ny teknologis framgångsmöjligheter.

Ett tidigt försök till att utveckla en systemmodell för ex ante projektvärdering gjordes av Zaidman och Cevdalli (1987). De menade att dessa bör sträva efter att fånga kvalitativa implikationer av projekt i icke-monetära termer. Speciellt viktigt uppfattades vara hur projektet skulle komma att påverka kunskapsutveckling inom ett teknikområde genom ackumulering av väsentlig kunskap. Ytterligare en viktig dimension identifierades som intressenteffekterna av projekt, och att identifiera möjliga intressentreaktioner av projekt. Intressentrelationer och potentiella utvecklingsallianser betonades även av Brook och Pagnanelli (2014) i sammanhanget utvärdering av hållbara teknologiprojekt.

Sharif (1994) menade att vid sidan om teknologi- och marknadsattribut bör hänsyn även tas till värdekedjan i termer av leverantörsegenskaper, sociala aspekter som påverkar efterfrågan, stödjande och rivaliserande industriintressen, regulativa aspekter i policysfären samt 'teknologisk infrastruktur och klimat'. Det sistnämnda inkluderar sådana aspekter som industrins generella intresse för ett utvecklingsspår, tillgänglighet på riskkapital och myndigheternas intresse. Flera av dessa aspekter återfinns i det teknologiska innovationssystemsperspektivet.

Hsu m.fl. (2003), i en studie om utvärdering av framkantsteknologier, lyfter fram ett antal systemvariabler för teknologi- och projektvärdering. Dessa inbegriper teknologins sammanlänkning med landets innovationspolitik, teknologins sammanlänkning med andra relaterade teknologier och produkter, makrofaktorer som t.ex. hur teknologin relaterar till policys, förordningar och kapitalmarknader, samt komplementära resurser bland företag och myndigheter. Alla dessa variabler är onekligen viktiga, men svåra att fånga i ett enkelt bedömningsförfarande.

Chien (2002) menar att projekturvalsmetoder typiskt lider av ett antal svagheter. Dessa inkluderar systemaspekter av projekten, t.ex. tydliggörande av relationen mellan olika kvalitetskriterier, relationen mellan olika projekt, och begränsningar i möjligheten att tydliggöra icke-monetära aspekter av projekt. Ett så kallat 'synergistiskt portföljtänkande' kan underlätta att fånga dessa systemdimensioner och förstärka dem i bedömningsprocessen.

Markard med flera (2009) har föreslagit en prospektiv analys för innovationssystem, som bygger på en så kallad 'variationsanalys' av dels ett socio-tekniskt delsystem (t.ex. en ny teknologi), dels ett organisatoriskt delsystem (en grupp aktörer som har potentialen att föra teknologin framåt). Om dessa två delsystem samspelar på ett koherent sätt finns goda förutsättningar för utveckling. Flera av de karaktärsdrag man bör leta efter i respektive delsystem och i dess relationer återfinns i fallstudierna i denna rapport och adresseras i avsnitt 10.4.

Modellen för teknologiska innovationssystem som presenteras i denna rapport är mycket kompatibel med projektbedömningar. Jacobsson och Perez Vico (2012) använde sig av det funktionella perspektivet på TIS för att utveckla en typologi för effekter av akademisk forskning. Bergek med flera (2008) använder innovationssystemets funktioner (se kapitel 2) som ett sätt att beskriva de faktorer som har en ”omedelbar effekt på utvecklingen, diffusionen och användandet av nya teknologier [och där] beslutsfattare ibland behöver intervensera” (sid. 409). Här lägger författarna speciell tonvikt vid de förstärkande och blockerande mekanismer som påverkar en teknologisk potential. Detta perspektiv är till dags dato det mest heltäckande och detaljerade sättet att fånga systemkomponenter av relevans för projektbedömning och urval av nya utvecklingsprojekt. Metoden, som illustreras i detalj i kapitel 2, täcker flertalet av dimensionerna som behandlats ovan, inklusive tillgång på kapital, kunskapsförsörjning, intressentrelationer och socialt kapital, regleringar och infrastruktur. I avsnitt 10. kommer perspektivet att illustreras med utgångspunkt i Energimyndighetens nyckelutmaningar vid projektbedömning, och exemplifieras genom återblickar i de fallbeskrivningar som gjorts i rapporten (kapitel 3–7).

10.3 Bedömning av energiprojekt

Förutom ett utdrag från en av myndighetens rapporter är detta avsnitt helt baserat på intervjuer med handläggare vid myndigheten samt på ett antal checklistor som används av myndigheten vid bedömningar.

Projektfinansiering på Energimyndigheten ligger under två övergripande områden: Forskning och innovation (FoI) samt Affärsutveckling. FoI fokuserar på grundläggande och strategisk forskning och utveckling inom energiteknikområdet, samt på demonstrationsprojekt. Affärsutveckling syftar till att stimulera utveckling av kommersiella energirelaterade applikationer från forskning och teknikutveckling. Syftet är i båda fallen att stimulera minskad energianvändning och ny teknik för förnybar energi. Affärsutveckling kommer ur den tekniska FoU-finansierande funktionen på myndigheten, och därför dominerar teknikutvecklande projekt även där, i form av nya produkter, konsumentteknologier och komponenter för redan existerande värdekedjor och tillverkningsprocesser.

Projekt som inkommer till affärsutvecklingsenheten ges efter framgångsrik utvärdering stöd i form av villkorslån, typiskt i syfte att utveckla eller testa en applikation, eller utveckla en förserie eller en provserie av en produkt – alltså teknikutveckling snarare än affärsutveckling. Medan affärsprojekt initieras ad hoc som ett resultat av uppfinnar- och entreprenörskontakter, sker finansiering av teknikutvecklingsprojekt vanligtvis efter programutlysningar som täcker något av myndighetens prioriteringsområden. Projektförslag utvärderas av programråd med experter där kvalitet samt prioriteringar genom t.ex. programtext används i urvalet. För grundforskningsprojekt används internationella bedömare. Denna redogörelse behandlar inte de processer som styr utlysningar och urvalsförfarandet, utan mer specifikt de kvalitets- och relevansdimensioner som spelar in vid utvärdering av nya projekt, samt utmaningar i att realisera dessa dimensioner i urvalsprocessen.

Syftet med Energimyndighetens finansiering av forskning och utveckling följer den s.k. marknadsmisslyckandeprincipen. Projekt som bedöms kunna tillföra energisystemet nytta kan finansieras om det saknas privata incitament att utveckla tekniken. Typiskt är att det inom energiområdet finns olika skäl till bristen på sådana incitament, och att flera av dessa är av systemkaraktär snarare än direkt kopplade till teknik- och marknadsosäkerhet i enskilda produkter eller processer. Detta påverkar myndighetens förutsättningar för projektbedömning.

På samma sätt som vid annan myndighetsdriven utvecklingsverksamhet motiveras Energimyndighetens insats till viss del av bristen på privat kapital i de tidiga faserna. Energiområdet kännetecknas av starka etablerade aktörer och ofta långa utvecklingstider, samt av det faktum att många innovationer måste inplaceras i redan existerande produkt- och systemarkitekturer och testas där till höga kostnader. Utöver det faktum att teknikverifiering kan innebära mycket stora kostnader, så är sådana innovationer ofta underkastade politiska och ekonomiska intressen och inte sällan avsevärd lobbyism från aktörer med mer eller mindre vetenskaplig förankring. Spekulative antaganden om framtida lagstiftning, subventioner, prisutveckling på koldioxid och komplementära teknologier och resurser kan vara helt avgörande för hur en ny oprövad teknologi värderas.

Hur ska nya satsningar bedömas under sådana omständigheter? Myndigheten har ett antal checklistor med bedömningskriterier samt rankingsskalor av olika finhetsgrad kopplade till dessa kriterier. Dessa checklistor täcker tematiska områden såsom energirelevans, slutanvändare och kundnytta, genomförande personal, produkt/teknik inklusive konkurrerande lösningar, utvecklingsskede och uppskalning samt andra utvecklings- och tillverkningsfrågor, distribution och resurskrav. Utöver dessa har Energimyndigheten formulerat ett antal kriterier för prioriteringar av EFUD-insatser, som kan sägas vara styrande för teknik- och projektbedömning på, åtminstone på ett övergripande plan (Energimyndigheten, 2012:60).

Energimyndighetens kriterier för prioritering av EFUD-insatser är:

- 1 Utveckling av energisystemet (energirelevans).** Insatsen ska ha potential att reducera CO₂, energieffektivisera och/eller öka försörjningstryggheten. Området ställer krav på:
 - a. Utveckling av energisystemet i hållbar riktning (ökad andel förnybart)
 - b. Effektivisering av energianvändningen och/eller energitillförseln
 - c. Stor potential för kostnadssänkningar
 - d. Stor potential för genomgripande utveckling av energisystemet
 - e. Förstärkt försörjningstrygghet
 - f. Leveranssäkerhet i el-, gas och/eller fjärrvärmenäten, eller bättre elkvalitet
 - g. Inhemska naturresurser finns som kan utnyttjas eller användas bättre med hjälp av de resultat som ska tas fram
 - h. Infrastrukturer finns som underlättar genomförandet eller implementeringen av resultaten

- 2 Kunskap och kompetens.** Det ska finnas befintlig kompetens inom det aktuella (och prioriterade) området och/eller behov av adekvat kunskap och kompetens för att nå målen (kunskap och kompetens kan behöva förstärkas, upprätthållas och byggas upp). Området ställer krav på:
- a. Hög vetenskaplig kvalitet
 - b. Svenska aktörer som är konkurrenskraftiga om internationell samfinansiering
 - c. Relevant kompetens hos berörda industriföretag, institut och myndigheter
- 3 Kommersialisering och nyttiggörande.** Innebär att det finns goda industriella och marknadsmässiga förutsättningar. Området ställer krav på:
- a. God utväxling av statliga insatser genom samfinansiering och samverkan med andra myndigheter, branscher, företag, institut och/eller universitet och högskolor
 - b. Identifierade mottagare av kunskap och kompetens (kunder)
 - c. Styrmedel verkar i en riktning som stöder nyttiggörande och kommersialisering
 - d. Sverige har befintliga industriella kluster inom området
 - e. Nationellt och internationellt tillväxtområde
 - f. Samverkan med energimarknaderna
 - g. Insatserna genomförs i samverkan med näringslivet
 - h. Goda möjligheter till affärsutveckling för att skapa nya produkter och tjänster

Under samtliga rubriker i listan ovan återfinns kriterier av systemkaraktär. De första avgörande kriterierna rör huruvida projektet kräver statlig inblandning enligt marknadsmisslyckandepincipen samt om det bidrar till att realisera myndighetens politiska mandat i bemärkelsen att bidra till ett långsiktigt hållbart energisystem. Intervjuerna pekar mot att det förstnämnda kriteriet är avhängigt de förutsättningar som beskrivits tidigare, men med tillägget att ett projekt måste vara tillräckligt 'attraktivt' för näringslivet för att motivera statlig inblandning, och samtidigt tillräckligt attraktivt för viss industriell delfinansiering samt för att i ett senare skede kunna industrialiseras och kommersialiseras av näringslivet. Dessutom ska kravet på 'energirelevans' uppfyllas. Detta innebär att påvisbar energieffektivisering kan förväntas som en direkt eller indirekt effekt av projektet. Indirekt energirelevans kan innebära att en komponent i ett system eller en hjälpteknologi utvecklas där tillverkningen av en energisnålare produkt därmed möjliggörs. Här finns en tydlig systemimplikation, där t.ex. energirelevans hos generiska teknologier kan utvärderas först när man förstår på vilket sätt andra energirelevanta produkter och processer kan påverkas av dessa.

Utöver dessa två kriterier tillkommer ett antal standardkriterier som tillämpas vid de flesta projektbedömningar. Inom affärsutvecklingsområdet inbegriper dessa

teknikmognad och skalbarhet i teknologin, affärsmodell, marknadspotential, finansiering och juridiska aspekter inklusive immaterialrättsliga relationer och bolagsstyrning. Teamets sammansättning och kompetens hör till denna standardbedömning, och fokuserar på t.ex. teknik- och marknadskompetens, d.v.s. förståelsen av de tekniska och kommersiella utmaningarna samt erfarenhet från sådana typer av processer och om tidigare erfarenheter av entreprenörskap finns i projektet. På tekniksidan ligger fokus, utöver energirelevans, på teknikpotentialen, tillgång till nödvändiga komponenter och råvaror, hur attraktivt ett projekt kan förväntas bli för industrin, tillgång på kompetens och specifikt komplementär kompetens i nätverk runt projektet, samt om projektet kan genomföras inom rimliga tidsramar.

Två huvudsakliga typer av kriterier återfinns i intervjuerna med handläggande personal. Den ena är av teknisk karaktär och den andra hänför sig mer till sociala och ekonomiska faktorer. De mer tekniskt orienterade kriterierna inkluderar tre huvudtyper som sammanfattas nedan:

Teknisk systemrelevans

Detta kriterium relaterar till teknologins 'generaliserbarhet' till olika tillämpningar och olika värdekedjor. Nyckelfrågan är: vilken potential har denna innovation för energisystemet i stort? Här kommer frågor in såsom teknologins spridningspotential och dess möjlighet att realiseras via alternativa affärsmodeller. Ett annat sätt att beskriva denna dimension är att tala om generisk teknologi, men då med kvalifikationen att generisk potential ofta är beroende av kompletterande värdekedje- och affärsmodellsinnovation.

Teknisk hävstångspotential

Detta handlar om till vilken grad en ny teknologi kan öka energieffektiviteten i ett system genom att erbjuda stora förbättringar i existerande funktionalitet eller ny funktionalitet. I det första fallet kan det röra sig om energibesparingar som görs i ett befintligt system genom att göra en del av systemet, t.ex. ett styrsystem, bättre. I det andra fallet kan det röra sig om teknologi med innovationshöjd tillräcklig att erbjuda ett tekniksprång genom vilket en bransch kan föras framåt, t.ex. genom att inledningsvis utnyttja en nisch.

Kompetensuppbyggnad

Denna kategori handlar om i vilken utsträckning projektet kan leda till uppbyggnad av viktig kunskap och kompetens inom ett område. Ren kunskapsutveckling är vanligtvis ett kriterium av sekundär karaktär, då få projekt är av ren grundforskningstyp. Mer tillämpade projekt som involverar universitet och högskolor kan dock alltid sägas ha kompetensuppbyggnad som kriterium. En relaterad fråga, uttryckt i intervju, handlar om på vilket sätt genomföraren påverkas i sin egen utveckling av projektet och utvecklar egen expertis som ett resultat av finansieringen.

De två första värderingskriterierna figurerar även i TIS-analysens så kallade 'strukturanalys', där ett av elementen är just en analys av teknologin. Den tredje återfinns i funktionen 'resursmobilisering'.

Bland de mer socioekonomiska kriterierna återfinns följande:

Nätverksadekvans

På vilket sätt är projekt och genomförare kopplade till vetenskapliga, tekniska och industriella aktörer som kan föra projektet framåt och bidra till nyttiggörande av resultat? När det gäller kommersiellt orienterade projekt faller blicken på vilka relationer genomförare har till akademien och projekt där, samt relationer till större företag. Det kan också röra relationer till andra finansiärer, både kommersiella och offentliga, branschorganisationer samt affärsutvecklingsaktörer som t.ex. inkubatorer. Ett viktigt kriterium är att det i nätverket finns kunskap om teknologisk och kommersiell verifiering.

Myndighets- och portföljrelevans

Detta har att göra med på vilket sätt projektet ligger i linje med myndighetens prioriteringar, med en programutlysning eller hur det på annat sätt kompletterar redan pågående projekt vid myndigheten. Projekt kan t.ex. bedömas utifrån 'myndighetens behov' och urval balanseras utifrån den övriga verksamheten. Detta är vanligare för teknikprojekt än för affärsprojekt. Affärsprojekt är inte direkt kopplade till existerande projektportfölj utan styrs av tillgången på adekvata affärsfall med energirelevans. Teknikprojekt å andra sidan utgår ifrån ett portföljtänkande där en rimlig blandning mellan grundforskning, tillämpad forskning och utvecklingsprojekt eftersträvas, och myndighetens prioriteringar ligger till grund för utvärdering av projekt via dess programformuleringar.

Industrirelevans

Detta rör projektets koppling till industrin genom olika typer av kontaktytor, där t.ex. forskningssamarbete eller samfinansiering är viktiga bedömningsgrunder. Trots att myndigheten inte kan ge stöd till projekt som innebär en direkt inkomst till företag, är ett kriterium som tillämpas i relevanta fall att projektet utvecklar någonting som företag kan ha kommersiellt intresse av i framtiden. I affärsutvecklingsprojekt är industrirelevans ett uppenbart krav, medan i teknikutvecklingsprojekt är samarbeten med industri ett tecken på relevant kunskaps- och kompetensförsörjning, möjlighet till teknikverifiering och tillgång på infrastruktur.

Utmaningar

Som tidigare nämnts kan myndigheten inte bedriva direkt utveckling av de projekt de finansierar efter finansieringsbeslutet. Det är heller inte deras uppgift, då det saknas stöd för detta i myndighetens förordningar. Detta leder till att den osäkerhet som kvarstår efter den inledande finansieringsbedömningen inte kan reduceras genom kontinuerliga interventioner av olika slag i projekteten, vilket är en vanlig praxis bland riskkapitalbolag. De systemosäkerheter som återstår påverkar

hur innovationssatsningar kan stöttas av myndigheten och i stor mån även hur de värderas. Intervjuerna pekar mot i huvudsak tre typer av utmaningar:

- 1 *Reducera komplexitet och brus i förståelsen av innovationen.* En viktig utmaning är att reducera komplexitet och brus i förståelsen av innovationen som projektet avser. Handläggare uttrycker att bilden av vad en ny teknologi innebär ofta inte är tydlig för sökande eller finansiär, utan måste växa fram i dialog där sökande kan förklara vad de gjort eller avser göra och där potentialen hos teknologin kan sättas i ett sammanhang. Även enkla teknologier kan innebära hög komplexitet när de prövas i olika kontexter. Man måste gå på djupet och beakta marknads- och konkurrensaspekter såväl som teknik- och branschhistoria och omvärld, samt de antaganden som görs i förståelsen av dessa. Ibland använder man sig av gamla case för att utveckla förståelsen för nya projekt.
- 2 *Samordningen av resurser.* Samordningen av resurser utgör ytterligare en viktig utmaning. Detta innebär bl.a. att försäkra sig om att projekt och bolag har de finansiella, personella och infrastrukturella resurser som krävs för att realisera projektet. Myndigheten kan, som ovan nämndes, inte agera affärsutvecklare i bolagen de finansierar, men kan däremot förmedla kontakter till relevant teknisk expertis på myndigheten samt förmedla affärsexpertis utifrån myndighetens kontaktnät. Kapitalbehov kan kompletteras med industrifinansiering och andra kontaktytor kan skapas genom organisering av möten mellan bolag och projekt. Det är inte ovanligt att det är just relevanta ekonomiska och tekniska nätverkskontakter som saknas hos sökande, och en viktig utmaning är att bedöma möjligheterna att de sökande kan utveckla dessa resurser.
- 3 *Nyttiggörande och kommersialisering.* Slutligen utgör nyttiggörande och kommersialisering exempel på viktiga utmaningar. Ofta saknas förståelse av hur spridning av innovation ska gå till, och vilka strategier och resurser som krävs för detta. I affärsutvecklingssammanhang kan det röra frågor om marknadspotential, kundförståelse eller juridiska, immaterialrättsliga frågor där kompetens ofta saknas hos idégivaren. Inom teknikområdet kan det handla om frågor där osäkerheten rör teknologins potential givet det industriella system där den ska införlivas, både avseende utveckling av funktionalitet, tillverkning och andra överväganden som t.ex. utvecklingstider.

Tabellen nedan beskriver hur dessa nyckelutmaningar relaterar till de bedömningsområden som beskrivits ovan. Man bör förstå dynamiken sådan att projektbedömningsdimensioner representerar de positiva värden som önskas uppnås med projektfinansieringen, och nyckelutmaningarna utgör typ av hinder för att realisera dessa värden inom respektive område.

Tabell 10:2. Projektbedömning och nyckelutmaningar.

Projektbedömningsdimensioner	Nyckelutmaningar
Teknisk systemrelevans	Innovationskomplexitet Resurssamordning Nyttiggörande
Teknisk hävstång	Innovationskomplexitet Nyttiggörande
Kompetensuppbyggnad	Innovationskomplexitet Resurssamordning
Nätverksadekvans	Resurssamordning
Myndighets- och portföljrelevans	Innovationskomplexitet
Industrirelevans	Innovationskomplexitet Nyttiggörande

Dessa nyckelutmaningar är centrala, då de representerar barriärer för projektframgång. Av detta skäl kommer den tillämpning av TIS för projektbedömningar som utvecklas nedan att följa dessa nyckelutmaningar, så att det blir tydligt för handläggare och andra bedömare vilka typer av utmaningar som föranleder ett visst fokus i TIS-analysen. Om vid inledande bedömning ett projekt uppfattas svagt vad gäller t.ex. *nyttiggörande*, så kan bedömaren direkt fokusera på just de uppföljningsfrågor som förordas för denna nyckelutmaning.

10.4 Projektbedömning genom funktionsanalys

I följande avsnitt kommer utmaningarna som beskrivits ovan att användas för att gruppera ett antal projektbedömningsdimensioner som härrör ur funktionsanalys av teknologiska innovationssystem (se kapitel 2 för utförlig beskrivning av dessa). I kapitel 3–7 beskrivs ett antal teknik- och kunskapsområden med hjälp av TIS-ramverket. Dessa analyser pekar mot ett antal aspekter av ett system, så kallade *funktioner*, där svagheter och styrkor påverkar ett teknologiskt systems utveckling och möjligheter till framgång. Analyserna har utgjort ett empiriskt material för att härleda fram projektbedömningsdimensioner och frågor baserade i dessa funktioner. Sammanlagt sex funktioner har använts för att skapa projektbedömningsfrågor, och varje funktion motsvarar tre sådana frågor, ordnade under de nyckelutmaningar som beskrivits ovan.

Frågornas relevans ska ses i sitt sammanhang och hur de viktas måste avgöras från fall till fall. Möjligheten att besvara dessa frågor varierar också givet det specifika projektet och dess komplexitet. De kan därför inte ses (i alla fall inte i dagsläget) som checklistor för en projektbedömning, utan bör snarare användas för att skapa en mer helhetlig bild av en satsnings systemiska förutsättningar, och som utgångspunkter för relevanta frågor i bedömningsprocessen. För att göra det tydligare hur projektbedömningen förhåller sig till de nyckelutmaningar som uttryckts av handläggare, har funktioner och projektbedömning inordnats under rubrikerna *innovationskomplexitet*, *resurssamordning* och *nyttiggörande*, som beskrivits

ovan. Förhoppningen är att detta underlättar för handläggare som snabbt efter att ha identifierat nyckelutmaningarna i ett specifikt fall, vill kunna adressera just de projektbedömningsdimensioner som är relevanta i det fallet.

För enkelhetens skull har denna analys integrerat den så kallade strukturanalysen (se kapitel 2) i de olika funktionerna. Orsaken är att projektbedömning, speciellt ex ante, typiskt tar ett 'här-och-nu'-perspektiv på den tekniska möjligheten, och tonar ner de historiska och bredare kontextuella aspekterna som strukturanalysen ska adressera. Dessa aspekter blir däremot viktiga vid t.ex. en utvärdering av ett helt fält, och vid värdering av hela teknikområden. Vid ex ante projektutvärderingar torde man kunna tillämpa denna mer avskalade ansats. Analysens olika huvudkomponenter och de projektbedömningsfrågor som behandlas nedan finns sammanfattade i tabell 10:2.

Tabell 10:2. Projektbedömning och funktionsanalys

Utmaningar	TIS-funktioner	Projektbedömningsfrågor
Innovationskomplexitet	Kunskapsutveckling och spridning	1. Finns tillgång på kritisk kunskap för utveckling och införande? 2. Finns lärandenätverk och FoU-samarbeten tillgängliga? 3. Hur ser spridning av FoU, expertis och komplementär kunskap för värdekedjans olika delar?
	Entreprenöriellt experimenterande	4. Vilken är tillgången till teknisk och affärsmässig experimentell kunskap? 5. Hur ser riskdelning vid experiment ut? 6. Finns standarder för experiment/test?
	Resursmobilisering	7. Finns tillgång på riskvilligt kapital? 8. Finns variation i riskkapitalet (privat/offentligt)? 9. Vilken är förväntad tillgång på komplementära resurser och kunskap?
Resurssamordning	Vägledning av aktörernas sökprocesser	10. Finns intresse från näringsliv/policyaktörer? 11. Hur ser långsiktighet i satsningar och tillståndskrav? 12. Finns standardiseringsprocesser och harmonisering nationellt/internationellt?
	Legitimering	13. Hur ser opinionsbildning och lobbyverksamhet ut? 14. Finns accepterade fördelar av teknologi relativt alternativ (inkl. etiska aspekter)? 15. Hur ser kostnader för införande ut (inkl. kostnadsdelning)?
Nyttiggörande	Marknadsformering	16. Hur stabila är marknadsstödjande funktioner? 17. Hur ser offentliga satsningar ut (omfattning, spridning, upphandlingsperioder, timing)? 18. Finns nischmarknader tillgängliga?

10.4.1 Innovationskomplexitet

Om teknologin eller affären befinner sig i en tidig fas där dess beroendeförhållanden till och konsekvenser för andra system är otydlig, så utgör innovationskomplexitet en utmaning vid projektbedömning. Det kan också vara så att de specifika kunskapsbehov som föreligger är svårbedömda i dagsläget, eller att aspekter av teknologin är oprövade, t.ex. i termer av olika möjliga tillämpningar. Funktionerna *kunskapsutveckling och spridning*, samt *entreprenöriellt experimenterande* korresponderar till denna nyckelutmaning.

Kunskapsutveckling och spridning

Denna funktion rör bedömningen av om en tillräcklig kunskapsbas existerar och kan användas för att förverkliga satsningen under rimlig tid och med rimliga resurser. Kunskap kan vara av olika slag: vetenskaplig, teknologisk, marknads-mässig etc., och är för nya teknologier ofta beroende forskning, men också av möjligheten till kombinationer av olika kunskapsområden i t.ex. nätverk.

Fråga 1. Finns tillgång på kritisk kunskap för utveckling och införande?

Detta inkluderar tillgång till kunskaper i förkommersiell utveckling som t.ex. Volvos kunskapsutveckling inom hybrider på 1990-talet. Det kan också inkludera kunskap om systemintegration, vilket illustreras i fallet bioraffinaderier, där behovet av att förstå integrationen av produktionsprocesser är stort, likväl som hur teknikleverantörer ska integrera olika kunskaper i förgasningsanläggningar. Viktigt är även tillgängligheten på esoterisk teknisk eller vetenskaplig kunskap som krävs för ett tekniksprång inom området. T.ex. inom elektrifiering av fordon skapar parallellhybrider höga krav på djup kunskap inom centrala delsystem som kraftelektronik och energilager.

Fråga 2. Vilken är tillgänglighet på lärande nätverk och FoU-samarbeten?

En viktig fråga är tillgängligheten på relevanta forskningsmiljöer inom teknikområdet. I fallet havsbaserad vindkraft kunde flera forskningssamarbeten identifieras, vilket sker inom ramen för en lätt identifierad miljö (Svenskt vindkraftstekniskt centrum) och där flera företag är involverade. Andra frågor rör industrins vilja till forskningssamarbeten, och tillgängligheten på kunskapsnätverk. Det första illustreras i fallet bioraffinaderier, där just den faktiska tillämpningen i en tillverkningsindustri är nödvändig i de senare utvecklingsfaserna, och det sistnämnda inom marin energi, där förkommersiella nätverk är starka men relativt koncentrerade geografiskt och aktörmässigt, vilket försvagar tillgängligheten.

Fråga 3. Hur ser spridningen av FoU, expertis och komplementär kunskap ut för värdekedjans olika delar?

I fallet havsbaserad vindkraft illustrerades hur nödvändiga kostnadsminskningar krävde kunskapsutveckling i alla delar av värdekedjan. För varje teknologi kan kunskapsvaga länkar i den aktuella värdekedjan identifieras, och frågan vid projektbedömning är hur centrala dessa begränsningar är och om de kan åtgärdas. I fallet elektrifiering av tunga fordon illustreras detta för en senare del i värdekedjan, med hur fordonstillverkare måste bygga ut sitt servicenät med elkunniga tekniker.

Entreprenöriellt experimenterande

Att pröva nya lösningar i olika tillämpningar, genom experiment av olika slag, utgör en mycket viktig form av osäkerhetsreduktion. Entreprenörer och uppfinnare genomför sådana experiment, av teknologi (t.ex. testprototyper) och mindre marknadstest. En viktig källa till kritisk kunskap för projektbedömning utgörs av tidigare och pågående experiment i föreliggande eller relaterade kunskapsområden, och möjligheten att i det aktuella fallet genomföra sådana experiment.

Detta underlättas av möjligheter att använda sig av tidigare experimenterande som avsatts i olika fysiska anläggningar och kunskap, t.ex. testplattformar och demo-projekt.

Fråga 4. Hur är tillgången på teknisk och affärsmässig experimentell kunskap?

Tidigare eller pågående affärsprojekt, tekniska utvecklingsprojekt och demoprojekt kan reducera osäkerhet av olika slag, och minska teknologiska risker och marknadsrisker. Inom området bioraffinaderier har tidigare FoU-satsningar t.ex. form av test- och pilotanläggningar lett till kunskap om förutsättningarna för vissa teknikspår, speciellt inom teknikspåret suspensionsförgasning. Inom havsbaserad vindkraft utvecklar SP och Swerea IVF testanläggningar för flytande vindkraftverk respektive för kallt klimat. Det är viktigt att experiment kan tillåtas pröva antaganden relevanta längs hela värdekedjan.

Fråga 5. Vilka är möjligheterna till riskdelning vid experiment?

Då experimentell infrastruktur ofta är dyr och kräver egen utveckling kan det, som illustrerades i fallet marin energi, vara önskvärt med möjligheter till samverkan kring utnyttjande av sådana strukturer. Speciellt viktigt är att aktörer med sådana möjligheter engagerar sig i experiment tidigt i värdekedjan, och därmed reducerar teknisk risk för mindre aktörer, vilket t.ex. var fallet där SKF utvecklade mätutrustning för havsbaserad vindkraft.

Fråga 6. Finns standarder för experiment/test av teknologi?

Studien av marin energi pekade på att flera aktörer, inklusive myndigheter och organisationer, uppfattade att de misslyckanden som branschen haft berott på avsaknaden av standardmetoder för bedömning av teknikduglighet. Sådana standarder kan tydliggöra målbilden för entreprenörer och andra aktörer, underlätta hur teknikframgång kommuniceras och accepteras av t.ex. kunder, samt utgöra tydliga stoppsignaler för onödig teknikutveckling.

Resurssamordning

Bärkraften i alla satsningar är beroende av resurstillförsel. Osäkerhet i detta avseende utgör en nyckelutmaning för projektbedömning, inte minst då många projekt kräver kompletterande investeringar i olika former från olika aktörer, under en ofta osäker utvecklingsperiod. Behovet av resurser och resurssamordning är, från ett systemperspektiv, också beroende av hur andra innovationsaktörer närmar sig teknikområdet, med vilka resurser och med vilka avsikter. På detta sätt blir funktionen *vägledning av aktörernas sökprocesser* speciellt viktig för projektbedömning, vid sidan om den mer uppenbara funktionen *resursmobilisering*.

Resursmobilisering

Denna funktion rör möjligheten att mobilisera olika former av finansiellt kapital och komplementära resurser för att stödja satsningen, dels under det att den integreras av en ekonomisk aktör, i deras utvecklings- och tillverkningsprocesser, och dels efteråt då teknologin dissemineras bland brukare med hjälp av stöd i komplementär infrastruktur. Vanligtvis räknas även humankapital in här, och denna kategori har därför visst överlapp med funktionen *kunskapsutveckling och spridning*.

Fråga 7. Finns tillgång på riskvilligt kapital?

Tillgången på riskvilligt kapital är mest uppenbart viktig för utvecklingsfasen. Men vid projektbedömning måste hänsyn också tas till senare faser i värdekedjan. T.ex. i fallen bioraffinaderier och havsbaserad vindkraft visades hur driftsättande av dyra kommersiella anläggningar kan verka avskräckande för etablerade aktörer. Bedömning av tillgång på kapital måste därför täcka hela värdekedjan.

Fråga 8. Vilken variation finns i riskkapital och hur ser möjligheterna till riskspridning ut?

Vid projektbedömning är det en styrka om riskkapital kan sökas hos flera aktörer snarare än bara ett fåtal. Om riskkapitalet, vilket var fallet i marin energi, tenderar att fokusera på mogna teknikkoncept där mindre mogna koncept med potentiellt högre energibesparande potential åsidosätts av finansiärer, är detta viktigt att notera. Fallet marin energi illustrerar också hur resurskoncentration hos ett fåtal aktörer utgör en begränsning för nya satsningar.

Fråga 9. Förväntad tillgång på komplementära resurser

Behovet av kompatibilitet med rådande produktion är viktig, vilket illustreras i utvecklandet av hybridbussar, där avsaknaden av synergier med den mer omfattande lastbilsproduktionen ledde till svårigheter att knyta till sig leverantörer, och därmed begränsade investeringsviljan. I fallet bioraffinaderier visades hur användning av drivmedel med höginblandning av metanol och etanol begränsas av nödvändigheten att modifiera motorkomponenter. Exempel på komplementär infrastruktur återfinns i fallet marin energi och havsbaserad vindkraft där frågor om kompatibilitet med existerande elnät, samt komplementära fysiska resurser i form av hamnar, servicefartyg och verkstäder kommer i fråga. I fallen bioraffinaderier och i elektrifiering av fordon aktualiseras frågan om tankstationer, och möjligheten att utnyttja den existerande fossila infrastrukturen till de infrastrukturkrav som uppkommer vid införande.

Vägledning av aktörernas sökprocesser

Bärkraftigheten i ett teknikområde är i många fall avhängigt hur motiverade aktörer är att ge sig in i området. Detta är avgörande för tillgängligheten på komplementära teknologier och tjänster, leverantörer och kunder i värdekedjan, och positiva skal- och samordningsekonomier. Förekomsten av vissa sociala processer kan användas för att bedöma denna dimension inför en satsning.

Fråga 10. Finns tydliga intressesignaler för området från näringsliv/policyaktörer?

Om teknologin omfattas av en uttrycklig myndighetsprioritering, eller om det finns tydliga signaler från industri att utveckla området, är detta viktigt. I fallet havsbaserad vindkraft ansågs intresset från projektörer och kraftbolag att bygga vindkraftsparker som positivt för sökprocessen. Å andra sidan, inom elektrifiering av tunga fordon, såg man hur konservatism inom branschen lade hinder i vägen för ny teknik.

Fråga 11. Finns klarhet och långsiktighet i komplementära satsningar och tillståndskrav?

Fallet havsbaserad vindkraft visade hur stort inflytande styrmedel som miljöcertifikat och miljöbonusar är för utveckling, t.ex. elcertifikat visade sig t.o.m. kunna blockera sökprocessen. I vissa fall saknas nödvändig långsiktighet och viktiga direktiv för spelreglerna för en ny teknologi. I fallet marin energi saknades direktiv för tillståndprocessen för anläggningar. Detta påverkar naturligtvis projektbedömningen, då man inte klart kan etablera kravbilder och framtida möjligheter att införa teknologin.

Fråga 12. Hur ser standardiseringsprocesser och harmonisering ut nationellt/internationellt?

Det är naturligtvis positivt i termer av osäkerhetsreduktion och långsiktighet om nationella och internationella (t.ex. EU) mål är kompatibla. I fallet bioraffinaderier illustreras denna utmaning med hur internationell misstro mot hållbarhet i skogsråvara och syn på skog som bärare av biodiversitet står i motsättning till teknikområdet som bygger på att ta ut mer biomassa från skogen.

Nyttiggörande

Denna nyckelutmaning utgör en svårighet för ex ante-bedömningar, då myndighetens satsningar ofta ligger tidigt i teknikfas och värdekedja (samt ibland även tidigt i värdekedjeutveckling). I dessa fall är frågor om potentialen för nyttiggörande med nödvändighet spekulativa, men en sådan bedömning ska ändå göras. Funktionsanalys har några användbara kategorier för att greppa förutsättningar för framtida nyttiggörande och kommersialisering. *Legitimering* berör acceptansen av införande och känslighet i detta avseende, och *marknadsformering* samlar frågor bl.a. om sannolikheten att en tidig marknad kan uppstå för teknologin.

Legitimering

Denna funktion sammanför frågor om en teknologis sociala, kulturella och politiska acceptans och kompatibilitet med gällande regelverk och lagar. Det rör även på vilket sätt man kan förvänta sig att forskare som bidrar till den nödvändiga kunskapsbasen och företagsledare kommer att betrakta sin roll som stödjande, motverkande eller neutrala i relation till området. Dessa faktorer påverkas av ett antal omständigheter som kan adresseras vid projektbedömning.

Fråga 13. Hur ser stödjande/motverkande opinionsbildning och lobbyverksamhet ut inom området?

Utöver allmänhetens uppfattning om teknologins önskvärdhet kan det förekomma mer riktad lobbyverksamhet för eller emot teknologin. Inom havsbaserad vindkraft finns organisationer (t.ex. Vindkraftsforum) som arbetar för att öka legitimiteten, inklusive politiker och företag. Inom marin energi har en intresseorganisation ändrat riktning och är nu neutrala till teknologin från att tidigare ha varit skeptiska. Detta introducerar även frågor om den aktuella teknologins känslighet för eventuell politisk blockering.

Fråga 14. Finns accepterade fördelar av teknologin relativt alternativ (inkl. etiska aspekter)?

Fördelar hos teknologin behöver inte direkt ha att göra med lönsamhet eller energirelevans, utan kan som i fallet elektrifiering av fordonstrafik inkludera andra aspekter som gör teknologin attraktiv för en grupp, t.ex. tysta, vibrationsfria transporter i stadsmiljö. Andra fördelar kan ses i relation till alternativa teknologier, så argumenteras t.ex. i fallet marin energi att legitimiteten har ökat i och med diskussionen om den havsbaserade vindkraftens visuella påverkan.

Fråga 15. Vilka är kostnader för införande (inkl. kostnadsdelning) och hur ser aktörsacceptansen ut?

Höga initiala kostnader kan utgöra stora hinder för en ny energiteknologi, och möjligheter till kostnadsspridning blir en central fråga för legitimiteten. T.ex. fallet bioraffinaderier visar att de höga initiala investeringarna riskerar att leda till politisk blockering, då mycket av utvecklingen har finansierats genom kommunala energibolag. Dessutom är tekniska förändringar hos industrins nyckelaktörer förknippade med stor finansiell osäkerhet p.g.a. låga vinstmarginaler. Debatten runt vindkraft har ibland sett denna som en högkostnadsteknologi som orsakar systemkostnader genom sin variabilitet. Osäkerhet kring kostnadsdelning vid införande är en viktig variabel vid projektbedömning.

Marknadsformering

Denna funktion behandlar de aspekter av marknadsformering som rör indirekta effekter av olika typer av marknadsstödjande insatser och förutsättningar för sådana insatser, alltså inte i första hand de mer traditionella frågor som behandlas i marknadsundersökningar och marknadsanalys. Analysen av marknadsformering bör genomföras i ljuset av en fasbestämning av den teknologi som bedöms.

Fråga 16. Marknadsstödjande funktioner – hur stabila och avgörande är dessa?

Finns marknadsstödjande funktioner som undantag från CO₂-skatt, investeringsstöd etc., och är dessa tillräckliga för att skapa tidiga marknader för en ny teknologi? Viktigare är kanske frågan om hur känslig teknologin är för avsaknaden av sådana stöd. I fallet bioraffinaderier avgörs teknologins framtid i högre utsträckning av den typen av stöd, jämfört med t.ex. elektrifiering av bussar. Om en ny teknologi är helt beroende av vad som kan vara mycket tillfälliga skattelättnader och subventioner, så utgör detta en osäkerhet.

Fråga 17. Vilken är karaktären i offentliga satsningar (omfattning, spridning, upphandlingsperioder)?

Offentliga satsningar på teknologin kan sprida resurser för tunt eller, som i fallet marin energi, för tjockt och isolerat för att andra aktörer ska kunna tillgoda sig satsningen. Elcertifikat tenderar att gynna större etablerade aktörer och teknologier, och kan skapa en snedvridning som missgynnar nya teknikspår. Det är viktigt att förstå hur offentliga satsningar påverkar den teknologi som ska värderas. Offentlig upphandling är en viktig innovationsstimulerande faktor. Inom området elektrifiering av tunga fordon framstod t.ex. långa upphandlingsperioder och kontraktbundna avtal för lokaltrafiken som en försvårande omständighet vid införandet av ny teknologi.

Fråga 18. Existerar möjliga nischmarknader för teknologin?

Existensen av naturliga, skalbara nischmarknader är av stor vikt vid projektbedömning. I fallet bioraffinaderier konstaterades att inkrementella investeringar och mindre volymer inte är en möjlig framtid för teknologin, utan utveckling av området kräver stora volymer och långsiktiga avtal om volymer till fast pris, vilket i sin tur kräver riskvilliga kunder. Ytterligare en aspekt av detta är frågan om styrkan på hemmamarknaden. Styrkan på hemmamarknaden tenderar, vilket argumenterade i fallet havsbaserad vindkraft, att påverka företag att diversifiera mot teknologin.

10.5 Slutsatser

Den empiriska kartläggande studien av Energimyndigheten visade att bedömningar av teknik- och affärsprojekt redan idag inbegriper systemanalyser av olika slag. Myndighetens redovisning av kriterier för energiforskning, utveckling och demonstrationsinsatser (EFUD) adresserade systemaspekter under samtliga rubriker (energisystemet, kunskap och kompetens samt kommersialisering och nyttiggörande). Åtminstone åtta av de 19 kriterier som redovisas här är av systemkaraktär (Energimyndigheten, 2013:60). Samtliga checklistor som ingått i materialet täcker systemrelevanta dimensioner, och intervjustudiens resultat pekar mot att majoriteten av de projektbedömningsdimensioner som anses centrala är av systemkaraktär. Förutom dimensionen 'teknisk hävstång' som kan ses som en rent teknologisk värdedimension, är samtliga projektbedömningsdimensioner i tabell 10:1 ovan mer eller mindre av systemkaraktär. Det är därför speciellt tacksamt att förstärka den projektbedömning som redovisades i kapitel 3 med ytterligare systemanalytiska faktorer, inte minst då samtliga utmaningar som myndigheten själv identifierade pekar mot behovet av ett genomarbetat innovationssystemperspektiv. Målet med detta kapitel har varit att visa hur en sådan förstärkning och utveckling kan se ut. Som tidigare betonats måste denna modell och dessa projektbedömningsfrågor ses i sitt sammanhang, och tillämpas utifrån det aktuella projektets förutsättningar och vilka omständigheter som är mest relevanta för det aktuella teknologiska innovationssystemet. Målet är att använda utmaningarna och frågorna för att styra en mer detaljerad undersökning av teknologins eller projektets förutsättningar i sådan riktning som kan ge bäst beslutsunderlag i handlägningsprocessen, samt naturligtvis utgöra grunden för en gynnsam lärandeprocess för myndighet och förslagsställare.

Detta kapitel avslutas med förslag på tre intressanta områden för vidare utveckling av ett systemperspektiv på projektbedömning:

- 1 Projektbedömningsmodellen ovan lämnar till stor del öppet hur analysen ska vikta och tolka frågor givet om projektet är ett rent forskningsprojekt, ett teknikutvecklingsprojekt, ett demonstrationsprojekt eller affärsutvecklingsprojekt. En uppgift för framtida utveckling av ramverket är att anpassa och utvidga frågebatteriet för att ta bättre hänsyn till de specifika utmaningar som uppstår i olika delar av kunskapsutvecklingens 'värdekedja'. Det saknas idag t.ex. bra systemkänsliga utvärderingsinstrument för forskningsprojekt, men även för affärsutvecklingsprojekt, d.v.s. de yttre delarna i värdekedjan för kunskapsutveckling.

- 2 På samma sätt som utmaningar kan variera mellan forskningsprojekt och innovationsprojekt, så kräver troligtvis olika teknologiska innovationssystem också olika tonvikt beroende på teknologisk, industriell och samhällsekonomisk dynamik. Det vore därför av värde att skapa projektbedömningsprofiler för olika TIS-områden. Sådana profiler kan fånga omständigheterna i olika teknikområden med avseende på t.ex. utvecklingstider, upphandlingsstrategier, testkostnader, industri- värdekedjeflexibilitet, infrastrukturella spårberoenden, politisk involvering etc., och på basis av sådan förståelse kan projektbedömningsdimensioner utvecklas med större kontextkänslighet.
- 3 Slutligen, som tidigare nämnts torde ramverket ovan utan större svårighet kunna utvecklas från prospektiv projektbedömning till effektanalyser av projekt. De bedömningar som genomförs av ett projekt för att avgöra huruvida det bör finansieras eller inte, utgör redan ett slags hypotetisk antagande om de effekter projektet kan få om det realiserar. Projektet finansieras om dessa effekter kan göras troliga givet omständigheterna. Dessa antaganden är uppbundna med effekternas önskvärdhet och viktad efter effekternas trolighet givet olika villkor. Det är i princip samma överväganden som görs vid effektstudier av ett avslutat projekt, fast med en annan bakåtblickande metodologi. Utveckling en sådan metodologi vore av värde för projektbedömning generellt.

10.6 Referenser

- Astebro, T. 2004. Key success factors for technology entrepreneurs' R&D projects. *IEEE Transactions on Engineering Management* 51, 314–321.
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., Rickne, A. 2008. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme for analysis. *Research Policy* 37, 407–429.
- Brook, J.W., Pagnanelli, F. 2014. Integrating sustainability into innovation project portfolio management – A strategic perspective. *Journal of Engineering and Technology Management*, under publicering
- Chien, C-F. 2002. A portfolio evaluation framework for selecting R&D projects. *R&D Management* 32, 359–368.
- Christensen, C.M., Suarez, F.F., Utterback, J.M. 1998. Strategies for survival in fast changing industries. *Management Science* 44, 207–220.
- Energimyndigheten 2012. Forskning och innovation för ett hållbart energisystem. Energimyndigheten, Eskilstuna. Dnr 00-11-6104
- Ho, J.C., Heng-Yih, L., Lee, C-S. 2011. Technology evaluation process and its influential strategic factors: Cases in Taiwan's semiconductor sector. *Technology Analysis and Strategic Management* 23, 931–946.
- Hsu, Y-G., Tzeng, G-H., Shyu, J.Z. 2003. Fuzzy multiple criteria selection of government-sponsored frontier technology R&D projects. *R&D Management* 33, 539–551.
- Jacobsson, S., Perez Vico, E. 2012. Identifying, explaining and improving the effects of academic R&D: The case of nanotechnology in Sweden. *Science and Public Policy* 39, 513–529.
- Kester L., Hultink, E-J., Lauche, K. 2009. Portfolio decision-making genres: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management* 26, 327–341.
- Markard, J., Stadelmann, M., Truffer, B. 2009. Prospective analysis of technological innovation systems: Identifying technological and organizational development options for biogas in Switzerland. *Research Policy* 38, 655–667.
- Porter, J. 1978. Post audits and aids to research planning. *Research Management* 11, 28–30.
- Sharif, N. (1994). Project evaluation framework for industrial technology capacity enhancement. *Technology Analysis and Strategic Management*, 6(1), 83–105.
- Zaidman, B., Cevidalli, G. 1987. Project evaluation: Externalities must not be disregarded. *R&D Management* 17, 269–276.

10.7 Appendix: Intervjufrågor och intervjupersoner

Intervjufrågor affärsenheten

- 1 Vilka är de aktiviteter ni typiskt gör inom ramen för affärsutveckling?
- 2 Direkta och indirekta resultat av dessa?
- 3 Vilka förutsättningar strävar ni efter att skapa för era investeringar?
– och för innovation på området generellt?
- 4 Exempel på utfall/innovationer där myndigheten har mest möjligheter att påverka?
- 5 Hur påverkar andra aktörer direkt och indirekt er verksamhet?

Intervjufrågor forskning- och innovationsenheten

- 1 Vilka aktiviteter genomförs typisk inom ramen för enheten?
- 2 Vilka är de direkta och indirekta resultaten av dessa?
- 3 Vilka förutsättningar eftersträvar man ska finnas för nya projekt/andra satsningar?
- 4 Exempel på typ av projekt där myndigheten har mest möjligheter att påverka? Karaktärsdrag?
- 5 Hur påverkar andra aktörer er verksamhet direkt och indirekt?

Intervjupersoner på Energimyndigheten

Markus Berglund

Mikael Fjällström

Andreas Gustavsson

Boris Gyllenhamn

Erik Hedar

Viveka Jansson

Susanne Karlsson

Alice Kempe

Ulf Malmquist

Linus Palmblad

Tobias Walla

Ett hållbart energisystem gynnar samhället

Energimyndigheten arbetar för ett hållbart energisystem, som förenar ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet.

Vi utvecklar och förmedlar kunskap om effektivare energianvändning och andra energifrågor till hushåll, företag och myndigheter.

Förnybara energikällor får utvecklingsstöd, liksom smarta elnät och framtidens fordon och bränslen. Svenskt näringsliv får möjligheter till tillväxt genom att förverkliga sina innovationer och nya affärsidéer.

Vi deltar i internationella samarbeten för att nå klimatmålen, och hanterar olika styrmedel som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Vi tar dessutom fram nationella analyser och prognoser, samt Sveriges officiella statistik på energiområdet.

Alla rapporter från Energimyndigheten finns tillgängliga på myndighetens webbplats www.energimyndigheten.se.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se