



LUND UNIVERSITY

Klimatomställningens förenlighet med de svenska miljömålen

Johansson, Bengt

2012

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Johansson, B. (2012). *Klimatomställningens förenlighet med de svenska miljömålen*. (Rapport; Vol. 75). Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lunds universitet

Miljö- och energisystem

Institutionen för teknik och samhälle

Klimatomställningens förenlighet med de svenska miljömålen

Bengt Johansson

Rapport Nr. 75

Januari 2012

ISSN 1102-3651
ISRN LUTFD2 / TFEM--12/3066--SE + (1-41)
ISBN 978-91-86961-01-5

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från	Dokumentnamn
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA	Rapport
vid Lunds universitet	Utgivningsdatum
Institutionen för teknik och samhälle	Januari 2012
Miljö- och energisystem	Författare
Box 118	Bengt Johansson
221 00 Lund	
Telefon: 046-222 00 00	
Telefax: 046-222 86 44	

Dokumenttitel och undertitel

Klimatomställningens förenlighet med de svenska miljömålen

Sammandrag

I denna rapport studeras i vilken grad framtida energi- och transportsystem med låga utsläpp av växthusgaser är förenliga med övriga svenska miljömål. Utgångspunkt tas i de scenarier som tagits fram i forskningsprogrammet LETS. Ibland uppkommer synergier som innebär att minskningar av utsläppen av växthusgaser samtidigt leder till att det blir lättare att uppnå andra miljömål. I andra fall uppkommer konflikter där klimatåtgärden försvårar uppfyllandet av andra miljömål. I många fall beror konsekvenserna på hur i detalj åtgärderna genomförs.

Påverkan på olika miljömål är av olika karaktär. En del påverkan beror av utsläpp vid slutlig användning, en del påverkan på markanvändningen som en följd av direkt utnyttjande av energiresurser. Indirekta effekter följer även av utvinning av material för byggnation av energianläggningar och transportinfrastruktur. Effekterna kan uppkomma nationellt men även i andra länder.

Av de lösningar som studerats är bioenergi det alternativ som ökar mest i scenarierna men också det alternativ som leder till störst potentiella konflikter med övriga miljömål, främst *Levande skogar*, *Ingen övergödning* och *Ett rikt djur och växtliv*. För att det ska vara möjligt med en kraftig ökning av bioenergin är det viktigt hur denna ökning går till i detalj och kompletterande styrmedel som styr markanvändningen specifikt kommer att vara nödvändiga. De kvantiteter av vindkraft som studeras i scenarierna torde vara möjliga att lokalisera utan att miljömålen hotas. Den totala fysiska potentialen är mycket stor och även om flera potentiella områden inte kommer att kunna utnyttjas för vindkraftsproduktion på grund av buller, hot mot fauna (fågel, fladdermöss, fiskar) samt visuella effekter på landskapsbilden, bör det vara möjligt att lokalisera de 15-30 TWh/år som inkluderats i scenarierna utan större problem. Strategier som minskar energianvändning och transportarbete leder generellt till mindre konflikter med andra miljömål och ger ökade förutsättningar för att samtliga mål ska kunna nås samtidigt.

Det är idag omöjligt att säga säkert om de inom LETS presenterade scenarierna är förenliga med övriga miljömål eftersom det beror av vilka metoder som används vid energiutvinning, energiomvandling och energianvändning, hur framgångsrik teknikutvecklingen är och hur utvecklingen inom andra områden såsom livsmedelsförsörjningen ser ut. Av vikt torde därför vara att man skapar styrningssystem som verkar på rätt nivåer (i allmänhet så nära den direkta miljöpåverkan som möjligt) och som sätter ramar för energi- och transportsystemen (och andra systems möjliga utveckling). Dessa styrningssystem behöver vara tillräckligt flexibla för att kunna reagera på ny kunskap och nya prioriteringar i samhället.

Nyckelord		
Klimatomställning, miljömål, målkonflikter, styrningsutmaningar		
Sidomfång	Språk	ISRN
41	Svenska	LUTFD2 / TFEM--12/3066-SE + (1-41)
	Sammandrag på engelska	
ISSN		ISBN
ISSN 1102-3651		ISBN 978-91-86961-01-5
Intern institutionsbeteckning		
Rapport 75		

Organisation, The document can be obtained through LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Box 118 SE - 221 00 Lund, Sweden Telephone: int+46 46-222 00 00 Telefax: int+46 46-222 86 44	Type of document Report Date of issue January 2012 Authors Bengt Johansson
Title and subtitle The impact of climate strategies on other environmental targets in Sweden	
Abstract In this report potential synergies and conflicts between greenhouse gas mitigation and other environmental objectives (EOs) are studied. A starting point is taken in energy scenarios developed within the research programme LETS (www.lets2050.se). Environmental impacts appear in all steps of the energy chain, from land-use effects (both direct and indirect) of renewable energy extraction to emissions at end-use energy conversion. Of the studied energy alternatives, the greatest potential conflicts with other environmental objectives come from the utilisation of bioenergy. The conflict depends, however, on both the magnitude of the future expansion and the methods used for biomass production. Therefore, to allow a large scale expansion of biomass, the development of adequate policy instruments that govern land-use both nationally and globally will be essential. For wind power on the other hand, there seem to be no fundamental obstacles from the EO perspective to allow the amounts assumed in the studied scenarios although conflicts may be significant locally. Strategies for reducing energy use and transportation demand generally leads to less conflict with other EOs and give improved conditions for achieving all of them. It is not possible today to guarantee that the presented mitigation scenarios are compatible with reaching other EOs as it depends on what methods and technologies that are used, the successful development of new technologies and the development in other sectors of society such as the food sector. It seems important that systems of governance are implemented on the adequate level (as close to the environmental impact as possible) in order to keep the development of the transport and energy systems within sustainable borders. These systems of governance have to be flexible enough to be able to react on new knowledge and new priorities within society.	
Keywords Climate strategies, environmental objectives, goal conflicts, governance	
Number of page 41	Language Swedish, English abstract
ISSN ISSN 1102-3651	
ISBN ISBN 978-91-86961-01-5	
Department classification Report 75	

FÖRORD

Denna rapport är en del av arbetet i delprojektet WP0 inom forskningsprogrammet LETS (Governing transitions towards Low carbon Energy and Transport Systems) med hemvist vid Lund universitet. Programmet är samfinansierat av Energimyndigheten, Naturvårdsverket, Trafikverket och Vinnova.

Värdefulla kommentarer på upplägg och tidigare versioner av rapporten har erhållits av Pål Börjesson, Roger Hildingsson, Jamil Khan, Lars J Nilsson, Patrik Söderholm och Fredrik Wilhelmsson

SAMMANFATTNING

Strategier för att minska klimatpåverkan från energi- och transportsektorerna innehåller i allmänhet en palett av tekniska lösningar såsom energieffektivisering, förnybar energi, koldioxidavskiljning och lagring (CCS), kärnkraft men ofta även beteendeförändringar som kan minska såväl transportarbete som energianvändning. Ett stort antal scenarier som redovisar framtider förenliga med låga utsläpp har presenterats under de senaste åren. Inom ramen för forskningsprogrammet LETS, som har som huvudsyfte att analysera styrningsutmaningar inom klimatpolitiken, har också ett par enkla scenarier presenterats.

Åtgärder som påverkar utsläppen av växthusgaser påverkar också i större eller mindre grad övriga miljömål. Ibland uppkommer synergier som innebär att minskningar av utsläppen av växthusgaser samtidigt leder till att det blir lättare att uppnå andra miljömål. I andra fall uppkommer konflikter där klimatåtgärden försvårar uppfyllandet av andra miljömål. I många fall beror konsekvenserna på hur åtgärderna genomförs i detalj. Som ett exempel kan utnyttjande av bioenergi både leda till synergier och till konflikter beroende på vilken form av bioenergi som utnyttjas, vilka metoder som används vid utvinningen, den geografiska lokaliseringen, utnyttjandets omfattning samt vilken teknik som används etc.

I denna rapport ges en kortfattad beskrivning av hur LETS energiframtider kan förväntas påverka de svenska miljömålen. LETS-scenarierna karaktäriseras av kraftig energieffektivisering, en betydande ökning av bioenergi och vindkraft samtidigt som den småskaliga förbränningen minskar. I flera scenarier finns kärnkraft kvar men i betydligt lägre grad än idag. I vissa scenarier ökar transportarbetet och byggnadsytor kraftigt, medan man i andra lyckas begränsa dessa faktorer till dagens per capita nivå.

Påverkan på olika miljömål är av olika karaktär. En del påverkan beror av utsläpp vid slutlig användning, en del av förändrad markanvändning som en följd av direkt utnyttjande av energiresurser. Indirekta effekter följer även av utvinning av material för byggnation av energianläggningar och transportinfrastruktur. Effekterna kan uppkomma nationellt men även i andra länder. Även om de svenska miljömålen primärt rör svenska förhållanden kan även effekter utanför landets gränser vara viktiga att beakta när miljöpåverkan ska värderas.

Av de lösningar som studerats är bioenergi det alternativ som ökar mest i scenarierna men också det alternativ som leder till störst potentiella konflikter med övriga miljömål, främst *Levande skogar*, *Ingen övergödning* och *Ett rikt djur och växtliv*. För att det ska vara möjligt med en kraftig ökning av bioenergin är det en viktig faktor hur denna ökning går till i detalj och kompletterande styrmedel som styr markanvändningen specifikt kommer att vara nödvändiga. Detsamma gäller för målet *Ett rikt odlingslandskap* där bioenergi, jämfört med dagens markanvändning, kan bidra såväl positivt som negativt för måluppfyllelsen beroende bland annat på var biomassodlingarna lokaliseras. Utan styrning finns en risk att lokaliseringen sker på mindre lämpliga platser. Bioenergi är globalt en knapp resurs med många konkurrerande användningsområden och de biologiska systemens roll i produktion av ekosystemtjänster medför att det är ytterst viktigt att bioenergisystemen är effektiva, från utvinning till slutlig användning, för att de ska kunna spela en dominerande roll i energisystemet. Möjligheterna att använda stora mängder bioenergi påverkas också av hur den globala livsmedelskonsumtionen och livsmedelsproduktionen utvecklas.

De kvantiteter av vindkraft som studeras i scenarierna torde vara möjliga att lokalisera utan att miljömålen hotas. Den totala fysiska potentialen är mycket stor och även om flera potentiella områden inte kommer att kunna utnyttjas för vindkraftsproduktion på grund av buller, hot mot fauna (fågel, fladdermöss, fiskar) samt visuella effekter på landskapsbilden, bör det vara möjligt att lokalisera de 15-30 TWh/år som inkluderats i scenarierna utan större problem. Det kan dock innebära en viss ekonomisk kostnad eftersom det ibland kan vara de riktigt bra vindlägena som inte kan utnyttjas fullt ut. Konflikten mellan miljömål kan i och med detta åtminstone delvis omvandlas till ett ekonomiskt avvägningsproblem.

Strategier som minskar energianvändning och transportarbete leder generellt till mindre konflikter med andra miljömål och ger ökade förutsättningar för att samtliga mål ska kunna nås samtidigt.

Det är idag omöjligt att säga säkert om de inom LETS presenterade scenarierna är förenliga med övriga miljömål eftersom det beror av vilka metoder som används, teknikutvecklingen och utvecklingen inom andra områden såsom livsmedelsförsörjningen. Att till exempel bestämma exakt hur mycket bioenergi som kan användas om 40 år torde vara omöjligt. Det finns med de osäkerheter som existerar, goda skäl att följa en försiktighetsprincip för att undvika att irreversibla negativa förändringar sker, för att sedan möjligen kunna släppa på dessa i ett senare skede om ny kunskap visar att det är möjligt utan att miljömålen hotas. Av vikt torde därför vara att man skapar styrningssystem som verkar på rätt nivåer (i allmänhet så nära den direkta miljöpåverkan som möjligt) och som sätter ramar för energi- och transportsystemens (och andra systems möjliga utveckling). Dessa styrsystem behöver då vara tillräckligt flexibla för att kunna reagera på ny kunskap och nya prioriteringar i samhället.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	6
1 INTRODUKTION	10
2 SVERIGES MILJÖMÅL.....	13
3 LETS-SCENARIERNA EN KORT SAMMANFATTNING.....	16
4 HUR PÅVERKAS MILJÖMÅLEN AV OLIKA STRATEGIER FÖR KOLDIOXIDNEUTRALA ENERGI- OCH TRANSPORTSYSTEM.....	19
4.1 Frisk luft.....	20
4.2 Bara naturlig försurning	21
4.3 Giftfri miljö	22
4.4 Skyddande ozonskikt.....	23
4.5 Säker strålmiljö.....	24
4.6 Ingen övergödning.....	24
4.7 Levande sjöar och vattendrag.....	25
4.8 Grundvatten av god kvalitet.....	25
4.9 Hav i balans samt levande kust och skärgård.....	26
4.10 Myllrande våtmarker.....	26
4.11 Levande skogar	27
4.12 Ett rikt odlingslandskap.....	28
4.13 Storslagen fjällmiljö	28
4.14 God bebyggd miljö	29
4.15 Ett rikt växt- och djurliv	30
5 MILJÖMÅLSASPEKTER VID OLIKA VAL AV ENERGIÖSNINGAR FÖR ATT MÖTA SAMHÄLLET EFTERFRÅGAN PÅ ENERGITJÄNSTER	32
5.1 Begränsad energianvändning och minskat transportarbete.....	32
5.2 Bioenergi.....	32
5.3 Vindkraft.....	33
5.4 Vattenkraft.....	34

5.5 Kärnkraft	34
5.6 El- och vätgasdrivna fordon	34
5.7 Koldioxidavskiljning och lagring (CCS)	35
6 MILJÖMÅLEN OCH DERAS STYRNINGsutmaningar – EN AVSLUTANDE DISKUSSION	36
7 REFERENSER	39

1 INTRODUKTION

Miljömålen kan ses som en övergripande beskrivning av inom vilka ramar ett framtida energi- och transportsystem kan utvecklas för att vara långsiktigt hållbart. Miljömålen grundar sig i dagens kunskap och värderingar som kan ändras över tiden men miljömålen kan sägas fungera som en kompass med vilken man kan tydliggöra den huvudsakliga riktning som samhällssystemen behöver utvecklas i. Under senare år har fokus i studier av hållbara energi- och transportsystem till stor del legat på klimatfrågan. Denna fokus på klimatfrågan har kunnat motiveras av de mycket allvarliga och till stor del irreversibla konsekvenser fortsatta utsläpp av växthusgaser förväntas ha på miljön och de speciella styrningsutmaningar som gäller på grund av frågans globala karaktär, frågans speciella tidsdynamik,¹ avsaknaden av enstaka enkla tekniska lösningar för att avhjälpa problemen samt behovet av genomgripande förändringar i centrala produktions- och konsumtionsmönster. Samtidigt är *Begränsad klimatpåverkan* endast ett av Sveriges sexton miljömål som, åtminstone i teorin, ska anses ha samma vikt. Energi- och transportsektorn påverkar flera av dessa miljömål direkt eller indirekt, vilket är något som behöver beaktas när man utvecklar strategier för att minska klimatpåverkan.

Klimatproblematiken kommer att erfordra stora förändringar av energi- och transportsektorerna under de närmaste decennierna och det kommer att krävas att ett stort antal lösningar för att minska utsläppen av växthusgaser, såväl tekniska som beteendemässiga. Det är denna typ av lösningar och den styrning som krävs för att de ska genomföras som står i centrum för arbetet inom forskningsprogrammet LETS.² Syftet med denna rapport är att analysera vilka effekter olika lösningar för att minska klimatpåverkan kan ha på övriga miljömål, vilken betydelse dessa effekter kan ha för valet av klimatstrategier samt översiktligt diskutera vilka styrningsutmaningar som uppkommer. Utgångspunkt tas i de övergripande scenarier som tagits fram i tidigare skeden av LETS-programmet (se kapitel 3). Två scenarier har utvecklats som ska spegla olika sätt att nå det så kallade tvågradersmålet som i flera sammanhang har använts som en övergripande konkretisering av klimatkonventionens grundläggande utgångspunkter. Det ena, *Ny teknik i fokus*, utgår från att klimatmålen huvudsakligen ska nås genom forcerad utveckling och snabbare införande av nya tekniska lösningar medan det andra, *Nya beteendemönster*, utgår från att förändringar som i större grad griper in i individers och företags konsumtions- och beteendemönster kommer att krävas för att nå uppsatta klimatmål.

Det bör i sammanhanget noteras att klimatförändringen i sig kan bidra direkt till en försämring av förutsättningarna för att nå andra miljömål. Exempelvis kan klimatförändringarna förväntas ha effekt på de biologiska systemen med påverkan på mål som rör den biologiska mångfalden och naturmiljön både till lands och i t ex Östersjön. Det finns dock fortfarande stora kunskapsluckor om exakt hur dessa aspekter kommer att påverkas (Klimat- och sårbarhetsutredningen, 2007).

Miljöeffekten av att utnyttja ett energislag beror av ett flertal parametrar vilket kan exemplifieras med fallet bioenergi. Omfattningen av användningen är naturligtvis av betydelse. Ju större kvantitet som utnyttjas ju större risk finns det för att konflikt med andra miljömål ska uppkomma. Valet av energibärare påverkar förutsättningarna för att minska utsläppen av luftföroreningar. Bioenergi kan utnyttjas i förädlad respektive oförädlad form. Den förädlade bioenergin kan förekomma i gasformig (t ex biogas), flytande (t ex etanol och metanol) eller i

¹ De allvarigaste effekterna uppkommer långt fram i tiden medan utsläppen sker redan idag.

² Governing transitions towards Low carbon Energy and Transport Systems.

fast form (t ex träpellets). Påverkar gör även valet av teknisk lösning t.ex. vad gäller förbränningsteknik, annan teknik som gynnar goda förbränningsförhållanden såsom ackumulatortank och utnyttjande av reningsutrustning. Miljöeffekten varierar utifrån vilken energiresurs som används t ex industriella biprodukter, avverkningsrester, stamved, olika jordbruksgrödor etc. Metoden för utvinning av resursen påverkar miljöeffekten, exempelvis i vilken grad askåterföring utnyttjas. Den geografiska lokaliseringen är av betydelse. Inverkan av till exempel en energiskogsodling skiljer sig åt om den lokaliseras i helåkersbygd eller i skogsbygden och var i det specifika landskapet den infogas. Slutligen är det av betydelse hur den alternativa markanvändningen skulle ha sett ut. Med andra ord hänger miljöeffekten av att öka mängden bioenergi samman med i vilken grad olika miljöhänsyn tas längs hela bioenergikedjan.

För bioenergi beror dessutom klimateffekten på hur koldioxidbalansen ser ut för det enskilda systemet från utvinning till slutanvändningen. Denna varierar för olika bioenergisystem beroende på bland annat ersatta bränslen val av biomasseråvara, bruksmetoder och alternativ användning av mark. Det finns också i vissa fall en risk för indirekta utsläpp som uppkommer genom att undanträngd livsmedelsproduktion leder till intensivare markanvändning med negativ inverkan på koldioxidbalansen eller till och med avskogning.³ I denna studie ligger inte fokus på dessa koldioxidbalanser, men många av de styrningsaspekter som kopplas till markanvändningens påverkan på de olika miljömålen har relevans även för att säkerställa bioenergens potentiella klimatfördelar.

Det finns såväl målkonflikter som synergier mellan klimatmålet och övriga miljömål där åtgärdsförslag kan bidra till att målen tillsammans utvecklas i önskvärd riktning medan i andra fall avvägningar måste göras mellan målen. Motsvarande konflikter kan finnas även mot andra samhällsmål (se t ex Wandén, 2007). Det kan också uppkomma konflikter mellan olika miljömål när valet står mellan olika strategier som kan leda till att klimatmålet nås. Medan en ökad satsning på kärnkraft ökar svårigheterna att uppnå miljömålet säker strålmiljö kan det vara gynnsamt jämfört med till exempel bioenergi när det rör aspekter som frisk luft och levande skogar.⁴

I vissa fall när målkonflikter identifieras mellan två miljömål kan de lika gärna tolkas som en konflikt mellan miljömål och ekonomiska intressen. Till exempel anses idag ibland en storskalig utbyggnad av vindkraften stå i konflikt med miljömålen *Storlagen fjällmiljö* och *Levande kust och skärgård*. Dock finns det goda möjligheter att producera el från vindkraft i andra miljöer där konflikterna är mindre, men det kan då ske till en högre kostnad eftersom man i dessa fall kan tvingas undanta blåsiga områden med särskilt goda förutsättningar för billig produktion eller välja mer kostsamma lösningar som vindkraft i skogsmiljö.⁵ Konflikter mellan miljömål och ekonomi uppkommer i många sammanhang t.ex. kring det svårlösta problemet att reglera industrins utsläpp utan att äventyra samhällsekonomiskt viktiga sektorers konkurrenskraft. Socioekonomiska effekter av klimatstrategier behandlas dock inte särskilt i denna rapport men i flera andra studier inom ramen för LETS-programmet.

Rapporten är strukturerad enligt följande: I avsnitt 2 ges en kortfattad beskrivning av de svenska miljömålen vilket i avsnitt 3 följs av en karaktärisering av de scenarier som har använts som analysverktyg inom LETS. I avsnitt 4 redovisas miljömålsvis hur olika energi- och

³ För en aktuell diskussion kring kopplingen mellan biodrivmedel och indirekt markanvändning se till exempel Ahlgren och Börjesson (2011).

⁴ Beroende på hur de potentiellt mycket svåra och spridda effekterna av en kärnkraftsolycka (bl a på målet levande skogar) ska värderas.

⁵ Hur olika vindkraftspotentialer kan realiseras till olika kostnader diskuteras bl a i Blomqvist m.fl. (2008).

transportlösningar påverkar miljömålen. I avsnitt 5 sammanfattas effekterna sorterade efter energilösningar. Slutligen, i avsnitt 6, förs en mer övergripande diskussion hur minskningar av utsläppen av växthusgaser inom energi- och transportsektorerna kan förenas med liten påverkan på övriga miljömål och vilka styrningsutmaningar detta skapar.

2 SVERIGES MILJÖMÅL

Utgångspunkten för de svenska miljömålen, när de beslutades av Sveriges riksdag år 1999, var att samhället skulle lämnas över till nästa generation med de stora miljöproblemen omhändertagna.⁶ Miljömålen beskriver den kvalitet och det tillstånd för Sveriges miljö som riksdagen anser hållbart på lång sikt. Initialt var antalet mål femton, men ett sextonde, som rör biologisk mångfald (Ett rikt växt- och djurliv), infördes 2005. Målen, som specificerades med ett antal delmål, utgick från fem grundläggande värden (Miljömålsrådet, 2008):

- Människors hälsa
- Den biologiska mångfalden och naturmiljön
- Kulturmiljön och de kulturhistoriska värdena
- Ekosystemens långsiktiga produktionsförmåga
- En god hushållning med naturresurserna

I och med riksdagsbeslut om miljömålen 2010⁷ har miljömålsstrukturen justerats. De fem grundläggande värdena har utgått och integrerats i ett antal preciseringar av det generationsmål som nu är övergripande för hela miljömålsstrukturen. Detta generationsmål säger att:

Det övergripande målet för miljöpolitiken är att till nästa generation lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen i Sverige är lösta, utan att orsaka ökade miljö- och hälsoproblem utanför Sveriges gränser.

De nu aktuella preciseringarna som pekar ut miljöpolitikens inriktning är att:

- ekosystemen har återhämtat sig, eller är på väg att återhämta sig, och att deras förmåga att långsiktigt generera ekosystemtjänster är säkrad,
- den biologiska mångfalden och natur- och kulturmiljön bevaras, främjas och nyttjas hållbart,
- människors hälsa utsätts för minimal negativ miljöpåverkan samtidigt som miljöns positiva inverkan på människors hälsa främjas,
- kretsloppen är resurseffektiva och så långt som möjligt fria från farliga ämnen,
- en god hushållning sker med naturresurserna,
- andelen förnybar energi ökar och att energianvändningen är effektiv med minimal påverkan på miljön,
- konsumtionsmönstren av varor och tjänster orsakar så små miljö- och hälsoproblem som möjligt

⁶ Prop. 1997/98:145, bet. 1998/99: MJU6, rskr. 1998/99:183).

⁷ Prop 2009/2010:155, bet 2009/2010:155 MJU, rskr 2009/10:377.

Kopplat till detta övergripande mål finns 16 miljökvalitetsmål, se Tabell 1. Dessa kompletteras med ett antal preciseringar kring vad dessa miljökvalitetsmål innebär. Slutligen ska etappmål införas men dessa har ännu inte beslutats. I det tidigare systemet fanns delmål som ofta fungerade som både en form av precisering och som etappmål. Delmålen har nu avvecklats och i Naturvårdsverket (2011) återfinns en avslutande utvärdering av dessa mål.

Värt att notera är att det inom ramen för miljömålet *God bebyggd miljö* finns preciseringar som specifikt pekar ut energianvändningen i sig som en faktor som ska påverkas. Detta skiljer sig från hur övriga miljömål relateras till energi- och transportsystemen där det är konsekvenserna av till exempel energianvändning och transportarbetet man lägger fokus på.

Utvärdering av utvecklingen av de olika målen genomförs regelbundet. Tidigare skedde det av Miljömålsrådet men sedan 2010 svarar Naturvårdsverket för uppföljningen medan Miljömålsberedningen har i uppgift att föreslå etappmål och utveckla de åtgärdsstrategier som bedöms nödvändiga för att nå miljökvalitetsmålen. En första rapport med förslag om etappmål inom områdena luftföroreningar, farliga ämnen, avfall och biologisk mångfald lämnades i mars 2011 (Miljömålsberedningen, 2011).

Miljömålsrådet gjorde 2008 bedömningen att utvecklingen för flertalet miljömål går åt rätt håll men att det är långt kvar. Man bedömde i 2008 års utvärdering att 9 av 16 mål var mycket svåra eller inte möjliga att nå till det uppsatta måldatumet (2020 för samtliga mål förutom klimatmålet). De mål som klassificerats på detta sätt var:

- Begränsad klimatpåverkan
- Frisk luft
- Bara naturlig försurning
- Giftfri miljö
- Ingen övergödning
- Hav i balans samt levande kust och skärgård
- Levande skogar
- God bebyggd miljö
- Ett rikt djur och växtliv

Samtliga dessa mål har en koppling till utvecklingen inom energi- och transportområdet om än i olika grad. Samtidigt är möjligheten att uppnå flera av dem beroende av utvecklingen i andra länder. Det gäller inte minst de som är kopplade till utsläpp av luftföroreningar som har en global (*Begränsad klimatpåverkan*) eller regional spridning (*Bara naturligt försurning*, *Ingen övergödning* och delvis *Frisk luft*). Samtidigt påverkas miljön utanför Sveriges gränser av utvecklingen i Sverige men denna aspekt är inte integrerad i de svenska miljökvalitetsmålen men aspekten hanteras dock i beskrivningen av generationsmålet inom ramen för den senaste miljöpropositionen där det står att de svenska målen inte får nås så att miljö- och hälsoproblem ökar utanför Sveriges gränser.

Tabell 1. Sveriges sexton miljömål samt ett urval preciseringar och områden som omfattas av preciseringar av miljö kvalitetsmålen. Urvalet är gjort av författaren för att illustrera vilken typ av frågor som behandlas inom respektive miljö kvalitetsmål.

<i>Sveriges miljömål</i>	
1. Begränsad klimatpåverkan	Mål för maximal temperaturökning. Mål för koncentrationen av växthusgaser, utsläppsminskning till 2020
2. Frisk luft	Koncentration av svaveldioxid, kvävedioxid, marknära ozon, flyktiga organiska ämnen, partiklar, bens[a]pyren
3. Bara naturlig försurning	Försurning av sjöar och vattendrag, försurning av skogsmark, utsläpp av svaveldioxid och kväveoxider
4. Giftfri miljö	Fortlöpande minskning av hälso- och miljöriskerna av kemikalier, riktvärden för miljö kvalitet, efterbehandling av förorenade områden, dioxiner i livsmedel, kadmium
5. Skyddande ozonskikt	Utsläpp av ozonbrytande ämnen
6. Säker strålmiljö	Radioaktiva ämnen, hudcancer, elektromagnetiska fält
7. Ingen övergödning	Utsläpp av fosforföroreningar och kväveföroreningar till vatten, Utsläpp av ammoniak och kväveoxider till luft
8. Levande sjöar och vattendrag	Skydd av natur- och kulturmiljöer, Restaurering av vattendrag
9. Grundvatten av god kvalitet	Skydd av grundvattenförande geologiska formationer, undvikande att använda naturgrus, grundvattennivåer, rent vatten för dricksvattenförsörjning
10. Hav i balans, levande kust och skärgård	Kust- och skärgårdslandskapets naturskönhet, naturvärden etc., Buller och andra störningar, Utsläpp av olja och kemikalier
11. Myllrande våtmarker	Viktiga ekosystemtjänster vidmakthålls, torvbrytning sker inte på platser med höga natur- eller kulturvärden eller på ett sådant sätt så att det leder till stora negativa effekter på den biologiska mångfalden
12. Levande skogar	Bevarande av skogens produktionsförmåga. skogsekosystemets naturliga funktioner och processer upprätthålls, skogens betydelse för upplevelser och friluftsliv tas till vara, hotade arter och naturtyper skyddas
13. Ett rikt odlingslandskap	Bevarande av näringstillstånd, mullhalt, markstruktur, biologisk mångfald, biologiska och kulturella värden, naturupplevelser och friluftsliv
14. Storslagen fjällmiljö	Bevarande av storslaget landskap, biologisk mångfald, och kulturella värden. Arealen områden med stora upplevelsevärden eller höga natur- och kulturmiljö värden som är fria från buller och andra störningar ökar
15. God bebyggd miljö	Kulturhistorisk bebyggelse, buller, uttag av naturgrus, avfall, energianvändning i bebyggelse, god inomhusmiljö
16. Ett rikt växt- och djurliv	Hejdad förlust av biologisk mångfald, minskad andel hotade arter, hållbart nyttjande

3 LETS-SCENARIERNA EN KORT SAMMANFATTNING

Inom ramen för LETS har två principiellt olika scenarier⁸ utvecklats som båda leder till mycket låga utsläpp av koldioxid och därmed bedöms vara förenliga med det så kallade två-gradersmålet,⁹ ett mål som bland annat antagits både i Sverige och inom EU. Även i det så kallade Köpenhamn-ackordet och sedermera Cancun-överenskommelsen noterades behovet att minska utsläppen så att temperaturändringen hölls under 2 grader Celsius. Syftet med LETS-scenarierna har främst varit att de ska fungera som ett ramverk för de olika analyser kring styrningsutmaningar som genomförs i programmet olika arbetspaket.

Valet av scenarioriktningar grundar sig inte på en bedömning att de skulle vara mer sannolika än andra möjliga utvecklingar utan att de ska spegla utvecklingar av olika karaktär. I det ena scenariot – *Ny teknik i fokus* – ligger fokus på en snabb och forcerad teknikutveckling medan frågor om beteendeförändringar ges mindre vikt. I det andra scenariot – *Nya beteendemönster* – antas teknikutvecklingen fortfarande vara viktig men inte lika framgångsrik, varför relativt genomgripande brott mot pågående trender inom livsstil och beteendemönster krävs för att nå tillräckliga utsläppsminskningar.

I båda scenarierna antas kraftig energieffektivisering i samtliga sektorer, men i än högre grad i scenariot *Ny teknik i fokus*. I detta scenario antas exempelvis att nya byggnader i princip kommer att hålla passivhusstandard och att befintlig bebyggelse renoveras enligt liknande principer. Effektiviseringen inom industrin accelereras jämfört med idag samtidigt som den specifika energianvändningen i personbilsflottan mer än halveras. Vätgas och el antas komma in som nya energibärare i transportsektorn¹⁰ vilket kan minska den press på biomassetillförseln som koldioxidneutrala transporter kan innebära. I teknikscenariot antas även CCS-teknik få en betydande spridning vilket gör att industrin kan gå från att vara en nettoutsläppskälla till att fungera som en sänka.

I scenariot *Nya beteendemönster* antas att den tekniska utvecklingen är mindre framgångsrik vilket behöver kompenseras med att andra beteende- och konsumtionsmönster utvecklas för att nå målet om radikalt minskade utsläpp. Här antas fortfarande en kraftig energieffektivisering i samtliga sektorer men till exempel antas inte byggnadssektorn klara av att nå fullt så långt som till passivhusstandard. I transportsektorn antas varken eldrift eller vätgas få någon nämnvärd spridning. För att hantera denna brist i teknikgenombrott läggs ökad vikt vid åtgärder som begränsar transportarbetet och bostads- och lokalytor till en nivå som motsvarar dagens nivå per capita.

Utifrån dessa inriktningar har ett antal varianter skapats där antaganden om kärnkraftens omfattning varierar liksom hur ett eventuellt överskott av el kommer att utnyttjas, se Tabell 2.

I samtliga scenarier sker en kraftig ökning av utvinningen av värme och el från avfall till en nivå om ca 20 TWh/år. Denna förbränning antas ske i stora anläggningar kopplade till fjärrvärmesystemen och med avancerad rökgasrening.

⁸ Se beskrivning i Khan m.fl (2011).

⁹ Att den globala medeltemperaturen inte ska överstiga den förindustriella nivån med mer än två grader Celsius.

¹⁰ Den roll de olika energibärarna kan få beror bland annat på hur väl de olika teknikerna utvecklas och i vilken mån infrastruktursystem för vätgas kan utvecklas. Vätgas får en stor roll i den kvantifierade konkretiseringen av scenariot *Ny teknik i fokus* med det innebär ingen värdering av att vätgas skulle vara bättre än eldrift eller att införandet av vätgas skulle vara mer sannolik än en expansion av elfordon. Även alternativet, en ännu mer omfattande expansion av elfordon, är kompatibel med teknikscenariot.

Tabell 2. Förklaring av scenariobeteckningar som studerats inom ramen för LETS

	Huvudscenario	Kärnkraftsproduktion	Prioritering av användning "elöverskott"
Teknik 30e	Ny teknik i fokus	30 TWh/år	Export/vätgasproduktion
Teknik 30b	Ny teknik i fokus	30 TWh/år	Biomasseersättning
Beteende 30e	Nya beteendemönster	30 TWh/år	Export/vätgasproduktion
Beteende 30b	Nya beteendemönster	30 TWh/år	Biomasseersättning
Teknik 0	Ny teknik i fokus	0 TWh/år	Export/vätgasproduktion
Beteende 0	Nya beteendemönster	0 TWh/år	Export/vätgasproduktion

Mellan scenarierna uppstår ett flertal skillnader som kan leda till att möjligheterna att uppnå miljömålen kan skilja sig åt. Exempel på detta är bland annat:¹¹

– *Energianvändningsnivåer*. Dessa kan ha direkt betydelse för målet god bebyggd miljö där energieffektivitet i byggnader är ett explicit utpekat delmål. Mellan förbränning av fossila bränslen och biobränslen finns också en koppling till utsläpp av luftföroreningar även om den specifika teknik (t.ex. med avseende på rening) som används är av minst lika stor betydelse. Minskad användning av energi leder också till minskade miljöeffekter vid energiutvinning, där de positiva effekterna i vissa fall kommer att uppstå utanför Sveriges gränser. Vissa energieffektiviseringsåtgärder kan dock vara materialintensiva såsom värmeisolering. Störst skillnad i energianvändningsnivåer uppkommer i transportsektorn med betydligt lägre energianvändning i scenariot *Nya beteendemönster* jämfört med scenariot *Ny teknik i fokus*.

– *Transportarbete och byggnadsytor*. Ökade transportmängder förväntas leda till behov av mer transportinfrastruktur. Såväl transportinfrastruktur som byggnadsytor kan påverka miljöaspekter som kopplas till olika former av markintrång. Inom ramen för god bebyggd miljö kan bullermålet påverkas av ökat transportarbete och andra materialrelaterade mål kan påverkas negativt av en större åtgång av fysiska resurser och material. Luftföroreningar pga. vägslitage kan också förväntas vara högre vid större transportarbetsnivåer. I scenariot *Nya beteendemönster* är såväl transportarbetet som byggnadsytorna avsevärt lägre än i scenariot *Ny teknik i Fokus*.¹²

– *Användning av biobränslen*. Utnyttjandet av biobränslen som strategi för att minska utsläppen av växthusgaser innebär för många av biobränsleslagen en nära interaktion med mer eller mindre naturliga ekosystem. Utvinning och eventuell odling av biomassa kan i vissa fall konkurrera med skydd av biologisk mångfald och målen om levande skogar men om odling av biomassa sker på i lämpliga områden kan förbättrade förutsättningar för att nå vissa miljömål (t.ex. ingen övergödning, levande jordbrukslandskap) nås jämfört med befintliga ekosystem. Med småskalig biobränsleanvändning finns också risk för höga utsläpp av luftföroreningar med som i så fall kan ge lokalt försämrad luftkvalitet. I scenarierna med elöverskott och där biobränslen substitueras med bland annat värmepumpar är den småskaliga vedeldningen avsevärt lägre än i scenarierna när överskottet används för andra ändamål. I samtliga scenarier är biobränsleanvändningen betydligt högre än idag, 170-225 TWh/år.¹³ Den övre nivån är i samma storleksordning som den potential som angavs av oljekommissionen (Kommissionen mot oljeberoende, 2006). I scenarierna har ingen specifikation gjorts kring varifrån biomasseresur-

¹¹ Mer detaljerade beskrivningar av kopplingar mellan olika energilösningar och miljömålen redovisas i avsnitt 4 och 5.

¹² I scenariot *Ny teknik i Fokus* mer än fördubblas t.ex. transportarbetet medan det i *Nya beteendemönster* endast sker en ökning med 15%. Motsvarande för byggnadsytor är en ökning med ca 35% i scenariot *Ny teknik i Fokus* mot en ökning med cirka 15% i scenariot *Nya beteendemönster*.

¹³ Detta kan jämföras med biobränsleanvändningen i Sverige 2010 som var ca 125 TWh. Därutöver utnyttjades cirka 12 TWh avfall och 4 TWh torv (Energimyndigheten, 2011; SCB, 2011).

serna ska komma men om man utgår från oljekommissionens tillförselantaganden sker kraftiga ökningar såväl från konventionellt uttag av avverkningsrester, intensivskogsodling på delar av skogsarealen och ökad bioenergiproduktion från jordbruksmark (Kommissionen mot oljeberoende, 2006). Vilken biomassa som kommer att nyttjas kommer att, utöver övriga miljömål, även påverka kolbalansen i skog och mark (se t ex Zetterberg, 2011) och därmed också påverka uppfyllandet av Sveriges framtida klimatåtaganden där markanvändningen kan förväntas ingå som en viktig del.

– *Vindkraft*. En utbyggd vindkraft kan framför allt hamna i motståndsförhållande till mål som rör skydd av värdefulla natur- och kulturmiljöer och mål som har med rekreation att göra. Genom att inga bränslen förbränns vid utvinningen kan vindkraft dock ha fördelar jämfört med förbränningsbaserad elproduktion. I scenariot Ny teknik i fokus antas att utbyggnaden av vindkraft är dubbelt så stor (30 TWh/år) jämfört med i scenariot *Nya beteendemönster* (15 TWh/år). Dessa utbyggnadsnivåer understiger avsevärt uppskattade potentialer för vindkraft i Sverige.

– *Kärnkraft*. De miljöaspekter som är närmast kopplade till kärnkraft är säker strålmiljö. Det gäller såväl utsläpp av radioaktiva ämnen vid normal drift som vid olyckor. Kärnkraften skiljer sig från andra energislag, genom att de potentiellt största skadorna kan förväntas uppkomma som ett resultat av olyckor eller antagonistiska angrepp, vilket kan ge upphov till stora tillfälliga punktutsläpp (se t.ex. Johansson m fl., 2010). Långtidsförvaring av kärnavfall är också en faktor som ofta lyfts fram i debatten kring kärnkraften. Miljöpåverkan sker också kopplat till utvinning av uran som i dag inte sker i Sverige. Prospektering sker dock för närvarande även i Sverige vilket skulle kunna leda till att dessa miljöeffekter återförs till Sverige. I övrigt svarar produktionen av el i kärnkraftsverk för mycket små mängder av luftföroreningar jämfört med exempelvis kol och naturgas.

LETS-scenarierna är bara några möjliga inriktningar av det framtida energi- och transportsystemet och det har på senare tid producerats ett flertal scenariestudier för att identifiera hållbara energi- och transportsystem både inom och utom landet. De flesta av dem (se t ex Gode m.fl., 2010 och den inom LETS genomförda genomgången i Söderholm m.fl., 2011) innehåller samma pusselbitar som LETS-scenarierna även om de kan lägga olika vikt på beteendeförändringar, tekniska effektiviseringar och de olika lösningarnas relativa vikt. De skillnader som finns kan bero på bland annat olika antaganden om teknikutvecklingens hastighet och uppsatta begränsningar för olika energislag.

4 HUR PÅVERKAS MILJÖMÅLEN AV OLIKA STRATEGIER FÖR KOLDIOXIDNEUTRALA ENERGI- OCH TRANSPORTSYSTEM

I detta avsnitt redovisas hur de olika miljömålen kan påverkas av de olika energilösningar som återfinns i de olika scenarierna. För vissa miljömål är dessa bara i begränsad grad beroende av hur energi- och transportsystem utvecklas eftersom påverkan till huvudsak beror av utvecklingen i andra sektorer. I andra fall kan energi- och transportsektorerna ha en betydande negativ inverkan på miljömålen samtidigt som det finns tekniska lösningar som kan förväntas minska påverkan avsevärt oavsett typ av energisystem. Ett typexempel på detta är appliceringen av utsläppsreducerande teknologier, så kallade end-of-pipe lösningar. Slutligen finns det miljömål som är intimt kopplade till val av energisystem och där såväl konflikter som synergier kan förväntas. I detta fall kan lösningar av de miljöproblem som kan uppkomma som en följd av klimatstrategin vara svåra att finna.

Värt att notera är att de flesta scenariostudier som studera framtida energi- och transportsystem från ett klimatperspektiv lägger lite vikt på exakt vara de aktiviteter som ger upphov till utsläpp eller de åtgärder som genomförs för att minska utsläppen äger rum rent geografiskt. Detta beror på att lokaliseringen av utsläppen av växthusgaser inte har någon betydelse för klimatmålet i sig. För många av de övriga miljömålen är dock lokaliseringen av till exempel ett system för energiutvinning av stor betydelse för utfallet. Denna brist på geografisk upplösning minskar möjligheten att med säkerhet säga vilka effekter på ett visst miljömål ett föreslaget energi- och transportsenario kommer att ha. Det kommer att bero på detaljer i systemets utseende som i allmänhet inte kunnat beaktas i scenariernas aggregerade nivå.

Beskrivningarna av de olika miljömålen kommer att vara olika omfattande beroende på 1) hur svårlösta miljöproblemen är och 2) vilken betydelse energi- och transportsektorn har för att lösa dessa miljömål. Några generella aspekter kan vara värda att notera innan de enskilda målen beskrivs.

Resursaspekter kopplade till materialutvinning för energi- och transportinfrastruktur och olika tekniska system (t ex solceller, vindkraftsanläggningar, kärnkraftsanläggningar) ingår som en del av målet *God bebyggd miljö*. Utvinning av material kräver också i allmänhet stora mängder energi och kommer som följd av detta att orsaka indirekta miljöeffekter. Miljöeffekter i form av intrång i olika naturmiljöer av sådan utvinning kan också förekomma men vilka mål som påverkas beror på lokaliseringen av resursen som ska utvinnas. Generellt kan sägas att ju mindre material som erfordras genom lägre energianvändning och transportbehov, ju mindre risk för att dessa intrångsaspekter blir betydande.

De fossila energikällor som används i dag utvinns i princip helt och hållet utanför Sveriges gränser, i vissa fall med betydande miljöeffekter som följd av energiåtgång och markintrång. Dessa behandlas inte specifikt i denna rapport men är naturligtvis av stor betydelse när energi- och transportsystemens totala inverkan ska bedömas. Dessa har dock hittills legat utanför det svenska miljömålssystemet även om ökat intresse visats internationella aspekter i senare miljömålsrapporter. Även om de förnybara energikällorna hittills mest utvunnits inom landet sker en betydande import från exempelvis Brasilien, Baltikum och Ryssland vilket leder till att miljöeffekter kan uppkomma i dessa länder. Dessa behandlas inte heller under respektive miljömål nedan men de globala aspekterna diskuteras under de beskrivningar energislagsvis som återfinns i avsnitt 5.

4.1 Frisk luft

Målet *Frisk Luft* innebär konkret att luften ska vara så ren att människors hälsa samt djur, växter och kulturvärden inte ska skadas. Miljömålsrådets bedömning var i 2008 års rapport mer pessimistisk än tidigare vad gäller möjligheterna att uppnå målet till 2020 främst beroende på att kunskaperna om hälsoriskerna med partiklar, marknära ozon och bens[a]pyren hade ökat (Miljömålsrådet, 2008, s 95). Trenderna för partiklar, kvävedioxid och svaveldioxid var enligt Miljömålsrådet otydliga. Nya data pekar på att halterna av cancerframkallande ämnen i tätortsluften har minskat sedan början av 2000-talet.¹⁴

Miljömålet har en tydlig koppling till energi- och transportsystemet. Småskalig vedeldning och transportsektorn är viktiga delkällor till utsläppen. Utsläppen av bland annat kvävedioxid, NMVOC, svavel och partiklar kommer till största delen från förbränning av fossila och förnybara bränslen men vad gäller partiklar är även utsläppen som härrör från vägslitage av stor betydelse.¹⁵ Införandet av reningsutrustning på personbilar har historiskt haft stor betydelse för att minska utsläppen av bland annat bensen, kolväten och kväveoxider.

Sjöfarten är en viktig källa till luftföroreningar eftersom fartygen släpper ut stora mängder svaveldioxid, kvävedioxid och partiklar. Sjöfartens utsläpp har under senare år vuxit relativt i betydelse eftersom kraven på bränslen och reningsutrustning ofta är väsentligt lägre för sjöfarten än för trafiken på land.¹⁶

Utsläppsnivåerna vid förbränning beror av valt bränsle såväl som använd teknik. De tekniska lösningarna består såväl av förbränningsteknik som av möjligheten att tillämpa reningsteknik. Det innebär att man inte entydigt kan uttala sig om hur effekten på frisk-luft målet påverkas av användningen av ett visst bränsle.

En viktig aspekt som ofta påverkar utsläppen är skalan på de teknologier där förbränningen sker. Generellt ger förbränning av bränslen i storskaliga anläggningar bättre förutsättningar för låga utsläpp per energimängd. Detta beror både på att det är enklare att ha en kontrollerad förbränning och att det blir relativt sett billigare att installera effektiv rening. NO_x som påverkas av förbränningstemperatur kan i vissa fall vara högre vid storskalig förbränning.

Fasta bränslen, inte minst fasta bibränslen, är viktiga källor till utsläpp av kolväten och partiklar eftersom det är svårare att skapa en stabil förbränningssituation. I fordonsanvändning har också utsläppen historiskt varit relativt höga som en följd av ojämn förbränning som i sin tur beror på varierande belastning av motorn. Numera har för vägtrafik regleringskrav drivit på utvecklingen av bättre förbrännings- och reningsteknik.

Småskalig bibränsleeldning skulle kunna vara ett potentiellt hot mot frisk luft-målet om det skulle ske en expansion och de existerande tekniska lösningar som finns för minskade utsläpp inte utnyttjas. Utsläppen vid dålig förbränning i en vedpanna utan ackumulatortank kan vara uppemot en faktor 1000 högre än för förbränning av pellets i en modern pelletsbrännare (Naturvårdsverket, 2009). Sett på 40 års sikt kan man förvänta sig att modern teknik får genomslag och inte i något av scenarierna ser vi någon ökning av den småskaliga vedeldningen. I stället minskar den småskaliga vedeldningen i samtliga scenarier. Det gäller i synnerhet i de

¹⁴ Naturvårdsverket (2010).

¹⁵ Johansson och Hansson (2007).

¹⁶ <http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Tillstandet-i-miljon/Luft/Si/> Besökt 2011-07-05

varianter där överskottsel antas komma till användning för att ersätta biobränslen bland annat genom ökad användning av värmepumpar för uppvärmning.

En mindre mängd förbränning av bränslen ger, allt annat lika, lägre utsläpp och renare luft. Detsamma gäller minskat transportarbete som innebär minskade utsläpp både från förbränning och från vägslitage. Det skulle tala för att scenariot *Nya beteendemönster* genom sina lägre transportnivåer skulle kunna leda till lägre utsläpp. Samtidigt kan genombrott för el och vätgas vara fördelaktigt för den lokala luftmiljön vilket gör att skillnaden är mindre än vad annars skulle vara fallet.¹⁷ Vilken betydelse de minskade transportnivåerna skulle ha för målet *Frisk luft* beror på var dessa minskningar sker, vilket inte har analyserats i detalj. Utsläpp i glesbygd innebär mindre exponering för människor än utsläpp i städer allt annat lika.

Med elfordon elimineras det lokala bidraget av luftföroreningar i gaturummet helt och förutsättningarna för låga utsläpp är goda eftersom 1) en stor del av elproduktionen sker utan förbränning samtidigt som 2) förutsättningarna för att begränsa utsläppen är goda i storskaliga förbränningsanläggningar. Eftersom inte heller vätgas innehåller kolväten kan de utsläpp som har sitt ursprung i dessa minimeras. Nivåerna på kväveoxidutsläppen beror av slutanvändningsteknik och ökat utnyttjande av bränsleceller kan vara att föredra framför fortsatt användning av förbränningsmotorer.

En nyckelfaktor för att klara målet *Frisk luft* är en fortsatt implementering av ett effektivt regelverk för att minska utsläpp från transportsektorn och småskalig vedeldning. Regelverket behöver vara så konstruerat att det leder både till goda reningsegenskaper vid installation och att anläggningens låga utsläpp bibehålls under anläggningarnas eller fordonens livstid.

För luftföroreningar har det gjorts aktuella skattningar kring hur en klimatstrategi skulle kunna samverka med reduktioner av luftföroreningar. Riekkola m.fl. (2011) visar på att de fördelar med avseende på luftföroreningar som följer av en strategi för att minska utsläppen av koldioxid är långt ifrån obetydliga. Bland de scenarier som studeras av Riekkola m.fl. erhålles störst fördelar i de scenarier där störst andel av utsläppen sker nationellt. Viktiga aspekter som leder till minskade utsläpp är expansion av vindkraft och biodrivmedel och elfordon i transportsektorn. Slutsatserna som dras i Riekkola m.fl. (2011) har betydelse såväl för målet *Frisk Luft* som för målen *Bara naturligt försurning* och *Ingen övergödning*.

4.2 Bara naturligt försurning

Luftutsläpp av försurande ämnen, huvudsakligen svavel och kvävedioxider, kommer huvudsakligen från energisystemet. Under de senaste decennierna har utsläppen minskat kraftigt från källor inom landets gränser. Minskningar av svavelhalt i bränslen och införande av reningsteknik har bidragit till dessa reduktioner. Styrmedel som tillståndsprövning, svavelskatt och kväveoxidavgifter för större stationära anläggningar har bidragit till att sådana tekniska lösningar har införts liksom den reglering som införts av utsläppen från såväl lätta som tunga vägfordon. Med andra ord har tekniska lösningar bidragit till att utsläppen kunnat minskas. Svårigheter att uppnå miljömålen består idag till stor del av påverkan från andra länder och internationella transporter.

¹⁷ Jämför t ex Johansson och Åhman (2002). Även för konventionella fordon med förbränningsmotor kan dock utsläppen förväntas minska i framtiden.

En orsak är att sjöfartens utsläpp av försurande ämnen inte minskat. I stället har sjöfartens utsläpp av svaveldioxid utanför Sveriges kuster fördubblats sedan 1990 (Bernes och Lundgren, 2009). Enligt miljömålsrådet förväntas utsläppen inom EU från sjöfart öka med 45 % mellan 2000 och 2020. Det skulle inte vara särskilt svårt att applicera tekniska lösningar på internationell sjöfart utan orsaken till den negativa utvecklingen är snarare svårigheten att reglera sjöfarten på internationellt vatten eller belasta den med ekonomiska styrmedel.¹⁸

I LETS- scenarierna minskar användningen av svavelhaltiga bränslen i Sverige kraftigt jämfört med idag. Om motsvarande trender sker i övriga grannländer talar det för att nedfallet av svavel kommer att vara begränsat i framtiden.

Utsläppen av kväveoxider beror såväl av total förbränning, förbränningsteknik och reningsutrustning. Den totala mängden bränslen som förbränns är i scenarierna är betydligt lägre än idag varför förutsättningarna att minska utsläppen av kväveoxider torde vara mycket goda jämfört med idag.

Jämfört med varandra har de två scenarierna både för och nackdelar med avseende på utsläpp av kväveoxider. I scenariot *Ny teknik i fokus* är den totala energianvändningen relativt sett högre vilket talar för högre utsläpp av kväveoxider. Samtidigt sker mindre förbränning i rörliga källor och i större grad i stationära anläggningar som idag producerar mindre utsläpp per energienhet vilket skulle tala för lägre utsläpp.

Ett potentiellt problem som kan uppkomma relaterat till en väldigt kraftig ökning av bio-bränsleanvändningen är en ökad risk för skogsförurning. Enligt Miljömålsrådet (2008, s. 108) kan ett ökat uttag av avverkningsrester inom skogsbruket på sikt försämra möjligheten för skogsmarken att återhämta sig från förurning. Skogsbrukets förurningspåverkan är enligt Miljömålsrådet störst i områden med helträdsuttag. För nettoeffekten är det viktigt skogsbränsleuttag kompenseras med tillförsel av basiska ämnen helst träaska (Dahlberg m. fl., 2006). Enligt Börjesson (2000) innebär ett system med uttag av avverkningsrester kombinerat med askåterföring ett minskat bidrag till förurningen.

4.3 Giftfri miljö

Miljömålsrådet (2008) lyfter inte upp energi och transporter som ett viktigt hot mot målet *Giftfri miljö*. Historiskt sett har dock energisystemet varit en viktig utsläppskälla för tungmetaller. Dessa har främst kommit från fasta fossila bränslen och globalt sett är förbränning av kol den viktigaste utsläppskällan för kvicksilver.¹⁹ Utsläpp från avfallsförbränning, som förväntas öka kraftigt i båda scenarierna har också varit en viktig källa för såväl dioxiner och tungmetaller. Utveckling av reningsteknik kombinerat med ökad avfallssortering har dock inneburit kraftiga reduktioner av utsläppen av denna typ av ämnen från avfallsförbränning under senare decennier.²⁰ En förutsättning för att avfallsförbränningen ska kunna öka utan att målet *Giftfri miljö* hotas är att effektiv reningsteknik fortsatt kommer att utnyttjas. Utsläppen av koppar som tidigare dominerats av metallverk domineras i dag i stället av transportsektorn där utsläppen kommer från fordonens bromsbelägg.

¹⁸ För fartyg som anlöper svensk hamn regleras utsläppen av svavel och kväveoxidutsläpp genom rabatterade farledsavgifter. Även hamnavgiftens storlek brukar idag vara beroende av fartygens miljöpåverkan (Bernes och Lundgren, 2009).

¹⁹ Källa: Naturvårdsverket. <http://utslappsisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmetaller/Kvicksilver/> 2011-07-05.

²⁰ Naturvårdsverket (2005), Bernes och Lundgren (2009).

I en aktuell rapport som getts ut av Kemikalieinspektionen identifieras ett antal möjliga målkonflikter och synergier mellan klimatstrategier och målet Giftfri miljö (Rosander, 2010). Bland de potentiella konflikter som lyfts fram är:

- Ökad mängd kemiska bekämpningsmedel om efterfrågan av biobränslen leder till mer intensiv odling av jordbruksgrödor. Enligt Utredningen om jordbruket som bioenergiproducent (2007) är dock användningen av bekämpningsmedel lägre vid till exempel energiskogsodling än vid odling av vete och oljeväxter.
- Bränsletillsatser och ökade utsläpp av formaldehyd kan öka med större mängd etanolbaserade drivmedel.
- Kvicksilver i lågenergibelysning.
- Sällsynta jordartsmetaller i lågenergilampor, solceller, batterier och elmotorer kan leda till betydande arbetsmiljöproblem och miljöeffekter.
- Solcellsteknik är relaterat till flera toxiska problem.²¹

Det görs dock i rapporten ingen fördjupad genomgång hur stora dessa potentiella problem är. I rapporten lyfts även synergier med klimatåtgärder fram som bland annat innefattar energi- och materialeffektivisering, övergång från petroleumbaserade till biomassebaserade kemikalier, ökad återvinning mm vilka både gynnar klimatmålet och målet giftfri miljö. Man noterar också att bensin, som i stort sett försvinner i LETS-scenarierna, år 1993 utsågs till det mest toxiska multiflödet.

Ett särskilt delmål under området Giftfri miljö behandlar exponeringen av kadmium via föda och arbete. Även om en allt större andel av födan importeras idag skulle en minskad kadmiumhalt i jordbruksmark vara eftersträvänsvärd. I detta sammanhang kan odling av Salix vara fördelaktig eftersom den har förmåga att selektivt ta upp stora mängder kadmium från jorden (Berndes m.fl., 2004). Kadmiumet kan sedan tas bort från kretsloppet genom rening i storskaliga energianläggningar. Fördelarna med salixodling bedöms i detta sammanhang vara särskilt stora i de fall det övre jordlagret har höga kadmiumhalter medan de nedre lagren naturligt innehåller låga halter (Berndes m.fl., 2004).

4.4 Skyddande ozonskikt

Delmål om utsläpp av ozonnedbrytande ämnen i Sverige är redan uppfyllt och målet om skyddande ozonskikt är ett av de få som anses kunna nås med befintliga åtgärder och strategier (Naturvårdsverket, 2011). Tidigare användes CFC som köldmedium i värmepumpar som får en stor spridning i flera av de studerade scenarierna men dessa har nu bytts framför allt mot HFC som inte påverkar ozonskiktet negativt. Däremot har de en betydande klimatpåverkan varför det fortfarande är av stor vikt att begränsa läckaget till atmosfären.²²

²¹ Karaktären hos dessa problem beror dock stort på vilken typ av teknik som utnyttjas.

²² <http://www.energimyndigheten.se/sv/Foretag/Energieffektivisering-i-foretag/Lokaler-och-flerbostadshus/Forvalta/Uppvarmning/Varmepump/> Besökt 2011-09-16.

Ett potentiellt hot som lyfts upp i tidigare miljömålsredovisningar är konsekvenserna av ökad flygtrafik i stratosfären (Naturvårdsverket, 1999). En sådan utveckling skulle enligt dessa redovisningar inte vara utesluten med hänsyn taget till den snabba ökningen av interkontinentalt flyg. Skillnaden i flygtrafik i de båda scenarierna är avsevärd och ett minskat transportarbete torde reducera risken för att ozonskiktet hotas av högtflygande flygtrafik.

4.5 Säker strålmiljö

Miljömålsrådet bedömer att miljökvalitetsmålet *Säker strålmiljö* är möjligt att nå till 2020 om ytterligare åtgärder sätts in. Man gör bedömningen att utsläpp av radioaktiva ämnen är begränsade. Den dominerande miljöaspekten är i stället kopplat till hudcancerfall som i stor utsträckning beror av exponeringen för sol. Här är med andra ord inte miljöpåverkan antropogen utan miljöeffekten beror på att människan utsätter sig för en naturlig påverkan.

Miljömålsrådet gör en bedömning att stråldoserna till allmänheten från utsläpp av radioaktiva ämnen är försumbara. En faktor som dock skiljer detta mål från de övriga är dess beroende av att mycket osannolika händelser med stora konsekvenser inte inträffar (genom till exempel en kärnkraftsolycka, antagonistiska attacker mot kärnkraftsanläggningar eller utnyttjande av radioaktiva ämnen för att genomföra andra typer av attacker mm). Detta är en typ av miljökonsekvenser som till naturen skiljer sig kraftigt från övriga för vilka det är kontinuerlig påverkan vid normal drift som svarar för den huvudsakliga miljöpåverkan.

Ett av delmålen berör elektromagnetiska fält. Här bedömer miljömålsrådet att det i dag finns vissa vetenskapligt grundade misstankar om att långtidsexponering för magnetiska fält från kraftledningar kan orsaka skadliga hälsoeffekter.

I samtliga scenarier minskar kärnkraftens roll i det svenska energisystemet vilket talar för att riskerna för radioaktiv strålning minskar jämfört med idag under förutsättning att man kan bibehålla samma säkerhetsstandard när kärnkraftens omfattning minskar.

I scenarierna minskar visserligen elkonsumtionen jämfört med idag men produktionen minskar inte i samma grad utan i flera av scenarierna uppkommer överskott som kan användas för export eller för vätgasproduktion. Hur det framtida systemet med kraftledningar kommer att se ut beror på lokalisering av produktionsanläggningar och elkonsumtionen. Inom ramen för LETS görs ingen sådan geografisk studie som möjliggör djupare analyser av dragningar av elledningar med mera. Det är rimligt att tro att tillräckliga regelverk redan finns på plats för att säkerställa att påverkan på strålmiljön kommer att vara begränsad för nya ledningar.

4.6 Ingen övergödning

I preciseringarna av målet *Ingen övergödning* ingår utsläpp både till vatten och luft och båda dessa aspekter kan påverkas direkt och indirekt av transport- och energiområdets utveckling. Liksom för målet förurning har utsläppen av kväveoxider stor betydelse vilka redan har diskuterats ovan.

Utsläpp av ammoniak till atmosfären kommer huvudsakligen från jordbruket men det finns en tydlig koppling till energisektorn via biogasen. Exempelvis förväntas utsläppen av NH_3 vid lagring av gödsel kunna minskas betydligt om gödseln används för biogasproduktion. Samtidigt finns en risk att ammoniakutsläppen ökar vid spridning om man använder av rötad gödsel i stället för orötad (men mängden N_2O förväntas minska) då en större del av kvävet föreligger som ammonium (Börjesson och Berglund, 2007). Denna effekt kan dock motverkas genom att man utnyttjar effektiv teknik för spridning av gödsel samt att man sprider vid rätt tidpunkt

med bra väderförhållanden mm. I LETS-scenarierna specificeras inte hur stora mängder biogas som utnyttjas i energisektorn men det finns skäl att utgå från att biogas från restprodukter (inklusive gödsel) behöver utnyttjas så mycket som möjligt för att avlasta pressen på övriga tillgängliga biomasseresurser.

Jordbruket är en viktig källa för tillförsel av näringsämnen till vatten. Dock visar miljömålsrådet att tillförseln från jordbruksmark har minskat och prognoserna pekar på fortsatta minskningar. Bedömningar pekar på att odling av fleråriga energigrödor på jordbruksmark kan minska läckaget av näringsämnen jämfört med odling av ettåriga grödor (se t ex Börjesson och Tufvesson, 2011). Särskilda fördelar kan uppnås vid odling av dessa grödor i form av buffertstråk (Börjesson, 1999). I samtliga scenarier är biobränsleanvändningen betydligt större än idag. Ur ett övergödningssperspektiv skulle det kunna finnas fördelar om en stor andel av dessa kommer att produceras från jordbruksmark.

Börjesson (2000) gör bedömningen att uttag av avverkningsrester efter slutavverkning kommer att leda till mindre risk för kväveläckage än om avverkningsrester lämnas kvar för att brytas ned på plats. Vid återföring av aska är det enligt samme författare av vikt att återföringen sker i växande skog snarare än vid avverkningsplatser för att minska risken för kväveläckage.

Om biobränslena kommer från skogsmark genom så kallad intensivskogsodling finns en risk för ökad övergödning. Till exempel bedöms kväveläckaget öka med motsvarande 2 % av dagens läckagenivå från skogsmark om behovsanpassad gödsling praktiseras på 5 % av skogsmarken (Larsson m fl., 2009).

4.7 Levande sjöar och vattendrag

Miljömålet handlar om skydd av naturlig produktionsförmåga, biologisk mångfald, kultur- miljövärden samt landskapets ekologiska och vattenhushållande funktion samt skydd av förutsättningarna för friluftsliv (Miljömålsrådet, 2008). Miljökvalitetsmålets koppling till energisektorn är särskilt relevant med avseende på vattenkraft (som noteras särskilt av miljömålsrådet) men koppling finns även till vindkraft och bioenergi inte minst med avseende på kultur- miljövärden och förutsättningarna för friluftsliv.

I de studerade scenarierna ökar vattenkraften något jämfört med dagens produktion vilket till stor del kan ske genom effekthöjningar i befintliga anläggningar. Eftersom det finns ett överskott med el i de flesta scenarierna skulle denna ökning kunna undvikas om det krävs för att målet *Levande sjöar och vattendrag* ska nås. Vindkraften ökar kraftigt i scenarierna men även här tillåter energibalansen i många fall att produktionen anpassas till restriktionerna.

Inom transporsektorn lyfte Vägverket i sin miljömålsrapport år 2008 upp vissa specifika konfliktpunkter mellan vägar och känsliga vattenområden t ex genom risk för förorening genom olyckor, påverkan av vägdagvatten och genom fragmentering av vattendrag (Vägverket, 2008). I detta fall torde potentiella konflikter vara större i scenarier med större transportarbete.

4.8 Grundvatten av god kvalitet

Miljömålsrådet bedömer att miljökvalitetsmålet i huvudsak kommer att nås till år 2020 men noterar samtidigt att kunskapsluckorna är stora. Utvecklingen går bland annat i rätt riktning genom att vägsaltning och gödsling är mer anpassad till grundvattnets krav, att större försiktighet visas vid användning av bekämpningsmedel, samt att förurningsbelastningen är betydligt lägre. Samtliga dessa faktorer har direkt eller indirekt koppling till transport- och energi-

sektorn. Vägsaltningen är direkt kopplat till vägtransporter medan användningen av bekämpningsmedel och gödsling potentiellt är relaterat till användningen av bioenergi, där effekterna kan vara positiva om fleråriga grödor odlas på jordbruksmark jämfört med dagens markanvändning, jämför ovan. Dock lyfter man fram risken för att ökad kvävegödsling i skogsmark kan ge negativ påverkan på grundvattnet.

Relaterat till energi- och transportsektorerna noterar miljömålsrådet betydelsen av att säkerställa att borrning för vatten- och energiutvinning inte leder till skadliga grundvattenförändringar.

Brytningen av kalksten och naturgrus kan påverka grundvattenförekomster (Molander et al., 2010) och miljömålsrådet lyfter upp vikten av att uttaget av naturgrus kan minskas (jämför målet God bebyggd miljö) och att behovet av ballast i stället kan täckas av krossat berg.²³ Här finns en potentiell koppling till hur mycket trafikinfrastruktur som byggs men betydelsen beror på hur valet av material till infrastrukturbyggnation anpassas.

4.9 Hav i balans samt levande kust och skärgård

Detta miljö kvalitetsmål innehåller ett stort antal aspekter av olika karaktär. Dels ingår frågor som rör biologisk mångfald och långsiktig produktionsförmåga, dels sådana som handlar om att skydda upplevelsevärden samt natur- och kulturvärden. Frågor inom energi- och transportområdet som kan vara särskilt kopplade till detta mål är sådana som rör lokalisering av vindkraft, utsläpp av olja och kemikalier samt möjliga effekter av dragning av undervattensledningar för el, gas m.m.

En viktig förändring i LETS-scenarierna med potentiell betydelse för miljö kvalitetsmålet är den betydande ökning av vindkraft som sker i båda scenarierna. Kustnära områden är särskilt attraktiva för vindkraft på grund av goda vindförhållanden. Potentiella konflikter finns med såväl natur-, kultur- som upplevelsevärden. I scenarierna har vi inte utgått från specifika lokaliseringar av vindkraftverken men de 15-30 TWh/år som antas torde med stor säkerhet kunna lokaliseras i andra områden än de mest värdefulla kustnära områdena.

Utsläppen av olja kommer att minska radikalt när de oljebaserade bränslena kommer att fasas ut. I stället kommer dock nya bränslen att fasas in som biodrivmedel och vätgas. Även för dessa kommer såväl medvetna som ofrivilliga utsläpp kunna ske med potentiella miljökonsekvenser. I scenarierna har vi inte definierat exakt vilken roll olika biodrivmedel kommer att få och de miljökonsekvenser som kan förväntas kan därför inte specificeras i sig. Generellt har dock såväl t ex metanol som etanol bedömts vara mindre skadliga om de hamnar i naturmiljön (se till exempel Johansson, 1995).

4.10 Myllrande våtmarker

Den huvudsakliga kopplingen mellan målet *Myllrande våtmarker* och energisystemet är genom utnyttjandet av torv. I inget av LETS-scenarierna antas torven få någon synbar roll i energibalanserna på grund av dess stora klimatpåverkan. Det torde innebära att hotet mot miljömålet myllrande våtmarker minskar ytterligare.

²³ Ballast ger en ökad energianvändning men denna ökning är begränsad i förhållande till den totala energianvändningen i Sverige. SGU uppskattar att uppfyllande av miljömålet för naturgrus leder till en årlig skattad extra energiåtgång för krossning mm om cirka 50 GWh (Arell, 2011). Hur en sådan övergång påverkar behovet av transporter beror på hur bergstäkterna lokaliseras.

4.11 Levande skogar

Miljökvalitetsmålet *Levande skogar* innehåller flera viktiga aspekter. Dels ska skogsmarkens värde för biologisk produktion skyddas samtidigt som den biologiska mångfalden bevaras. Samtidigt ska kulturmiljövärden och sociala värden värnas. I Miljömålsrådets rapport 2008 gjordes bedömningen att målet *Levande skogar* är mycket svårt eller inte möjligt att nå till målåret 2020 även om ytterligare åtgärder sätts in.

Den tydligaste kopplingen mellan målet levande skogar och energisektorn rör bioenergin. Avverkningsrester från skogsbruket är en av de viktigaste posterna i den framtida bioenergiförsörjningen. Denna kan potentiellt stå i konflikt med målsättningar om att öka mängden död ved i skogen. Dessutom finns inom målet levande skogar en ambition att undanta ytterligare arealer skyddsvärd skogsmark från skogsbruk vilket skulle innebära att tillförseln av avverkningsrester kan komma att begränsas.²⁴ Tillförseln kommer dock inte minska i alls så stor grad som arealerna kunde indikera eftersom det ofta inte är rena produktionsskogar som avsätts och de skogar som är mest intressanta ur biodiversitetssynpunkt ofta ligger i områden där kostnadseffektivt skogsbränsleuttag är begränsat (lång transportavstånd, olämplig terräng mm.).

Uttag av bioenergi kan påverka kvävebalansen i skogsekosystemen. I södra Sverige där kvävebelastningen är hög kan utvinningen leda till en förbättrad situation medan den positiva effekten saknas i norra Sverige. Enligt Börjesson (2000) är påverkan av uttag av avverkningsrester på mängden giftiga ämnen i skogen liksom biologisk mångfald begränsad. Detta förutsätter dock att dagens hänsynsregler följs. För att minska risken för effekter bör även delar av avverkningsresterna lämnas i skogen.

Ett önskemål att öka utnyttjandet av intensivskogsodling kommer också kunna påverka detta miljömål. Det gäller även uttag av stubbar som hittills endast skett i begränsad grad i form av storskalig försöksverksamhet. Enligt Larsson m.fl. (2009) förväntas intensivskogsodling på beståndsnivå medföra tämligen stora negativa effekter på biologisk mångfald. Effekterna på landskapsnivå blir mindre under förutsättning att intensivskog inte utgör mer än 10 % av skogsarealen. Konsekvenserna för kulturarv, friluftsliv och landskapsbild bedöms också bli negativa som en följd av intensivodling (Larsson m.fl., 2009). Med en kraftigt ökad mängd vindkraft kan vindkraft i skog bli mer attraktivt eftersom man bedömer att konflikterna vid lokalisering är mindre. En sådan expansion skulle kunna påverka kulturmiljövärden och sociala värden negativt.

Den potentiella konflikten mellan bioenergi och målet levande skogar kan vara den som kan bli svårast att hantera vid en så kraftig ökning av bioenergin som antas i scenarierna. Det är en av orsakerna till att vi i några scenarier inom LETS har antagit att det finns särskilda skäl att minska ökningen i efterfrågan på bioenergi genom ökad användning av värmepumpar och minskad mängd biomassebaserad elproduktion.

I scenarierna där vi antar endast 15 TWh vindkraft kan utbyggnaden i skogsmark vara klart mer begränsad än det som inkluderar 30 TWh både som en följd av en mindre total produktion men också att andelen som antas bli lokaliserad i skogsmark kan förväntas vara mindre vid lägre produktion, då av kostnadsskäl i första hand områden i bättre vindlägen exploateras.

²⁴ Geijer m.fl.(2011) skattar att undantag av 900 000 ha skogsmark från produktion skulle minska utbudet av bioenergi med ungefär 2 TWh vilket skulle minska potentialen för att utnyttja bioenergi för utsläppsminskningar.

En nyckelfråga för hur förutsättningarna för bioenergi kommer att se ut i framtiden är hur synen på skogsvården utvecklas. Det gäller till exempel om generella hänsynsregler fortsatt ska ligga till grund för produktionen eller om intensivskogsodling kan accepteras inom vissa områden. Detta skulle kunna leda till intensivare produktion i vissa områden mot att större värden kan bevaras i andra områden (Jfr Emanuelsson, 2006).

4.12 Ett rikt odlingslandskap

Målet *Ett rikt odlingslandskap* innebär att jordbrukets värde för biologisk produktion och livsmedelsproduktion ska skyddas samtidigt som den biologiska mångfalden bevaras och kulturmiljövärdena stärks.

I detta sammanhang finns det framför allt tre kopplingar mellan energi- och transportsystemet och miljömålen. Det gäller dels konsekvenserna av ökad bioenergiproduktion, den påverkan av landskapsbilden som vindkraften leder till samt de effekter en ökning av byggnader och vägar i odlingslandskapet kan leda till.

Bioenergi bidrar till att bibehålla markens värde för biologisk produktion och möjliggör återgång till livsmedelsproduktion om sådan efterfrågas. Påverkan på den biologiska mångfalden beror dels på vilka slags bioenergi som är aktuell, hur dessa odlingar lokaliseras och vilken typ av markanvändning som ersätts. Med rätt lokalisering av odling av bioenergi för energändamål så finns goda förutsättningar att den biologiska mångfalden ökar. Konflikter kan eventuellt uppstå mellan en företagsmässig odling och en kultur/landskapsmässig odling.²⁵ Jämfört med ettåriga grödor bedöms jordbruksmarkens produktionsförmåga kunna förbättras med en ökad andel fleråriga grödor genom exempelvis minskad erosion, förbättrad mullhalt mm (se t ex Börjesson, 1999).

Till skillnad från odlingen av bioenergi innebär utbyggnad av väginfrastruktur och bostads- och verksamhetsområden ett svårreversibelt ingrepp i landskapet. Bostadsområden, vägar och andra hårdgjorda ytor är svåra att återställa till tidigare skick. De kan också fungera som barriärer och därmed påverka den biologiska mångfalden. Förändringar av kulturmiljön vid utbyggnad av infrastruktur är också oundvikliga men huruvida dessa förändringar är av godo eller ondo kan diskuteras. På liknande sätt innebär vindkraftsetableringar i öppet jordbrukslandskap en tydlig förändring av kulturmiljön.

Den mindre byggnadsytan och det lägre behovet ny vägkapacitet i scenariot *Nya beteendemönster* torde minska riskerna för konflikter med miljömålet ett rikt odlingslandskap.

4.13 Storslagen fjällmiljö

Enligt miljö kvalitetsmålet *Storslagen fjällmiljö* ska fjällen bland annat ha en hög grad av ursprunglighet vad gäller biologisk mångfald, upplevelsevärden och natur- och kulturvärden. De potentiella konflikter som framför allt kan synas kopplat till scenarierna är den antagna expansionen av vindkraft. Denna faktor lyfts också fram i miljömålsrådets rapport som relevant för miljömålet. Under de senare åren har också flera projekt aktualiserats i fjällen främst på grund av de goda vindlägen som finns där.

Förutom den direkta visuella inverkan som vindkraftverken kan ha på upplevelse-, natur- och kulturvärden kan stödjande infrastruktur som elledningar och vägar och andra ingrepp vid byggnation vara av betydelse. Ett delmål som skulle kunna beröra vindkraft handlar om ska-

²⁵ Se t ex Weih (2006) för en diskussion.

der på mark och vegetation även om dessa skador i måldiskussionerna från miljömålsrådet främst handlar om skador från renar och terrängfordon. Även buller från vindkraftverken kan stå i konflikt med miljömålet även om det framför allt är buller från flyg och terrängskotrar som har diskuterats i tidigare miljömålsrapporter.

Fjällen är av olika karaktär och skiftar i exploateringsgrad och övriga värden, varför förutsättningen för utbyggnad på specifika ställen är platsspecifika. För att kunna hantera en ökad vindkraft i fjällen torde därför en väl fungerande planeringsmekanism var central. En avvägning kan också behöva göras mellan den ekonomiska nyttan av att lokalisera vindkraften i de bästa vindlägena och med att lokalisera vindkraftverken i områden med mindre motstående intressen med potentiellt högre produktionskostnader.

Det torde i de av scenarierna med endast 15 TWh/år vindkraft vara lättare att undvika konflikterna mellan motstående intressen än i scenarierna med den dubbla produktionsnivån.

4.14 God bebyggd miljö

Målet fokuserar dels på att städer, tätorter och bebyggd miljö ska utgöra en god och hälsosam livsmiljö dels på frågor som rör god hushållning med mark, vatten och andra resurser. Detta miljö kvalitetsmål har innehållit specifika delmål som behandlar energianvändning i byggnader, hushållning av resurser i form av mål för naturgrus och avfallshantering samt mål för buller. Av relevans för inte minst transportområdet är de delmål som lyfter fram att fysisk planering och samhällsbyggande ska bygga på program och strategier för en miljöanpassad och hälsosam bebyggelsestruktur.

Flera av målen för god bebyggd miljö är inte enbart målsättningar i sig själva utan bidrar till att skapa förutsättningar för att klara klimatmålet. Det gäller inte minst mål för bebyggelsens energianvändning och de krav som är kopplade till avfallshanteringen.

De mål för bebyggelsens energianvändning som redovisas för 2050 under målet *God bebyggd miljö* uppfylls i båda scenarierna. I arbetet med scenarierna har effektivisering setts som en prioriterad åtgärd för att de förnybara energikällorna ska räcka för att ersätta fossila bränslen inom och utom landets gränser. Målsättningen att uppvärmningen ska vara fossilbränslefri bedöms också klaras i båda scenarierna.

En möjlig konflikt är den mellan de kraftiga effektiviseringar som antagits i scenarierna och bevarandet av kulturhistorisk miljö. Till exempel kan okänsliga tilläggsisoleringar skada äldre byggnaders utseende (Boverket, 2007). Det är mycket svårt att med vårt långa perspektiv bedöma hur och på vilket sätt olika kulturhistoriska miljöer värderas framemot 2050 och hur dessa värderingar påverkar möjligheten till energieffektivisering men det är en aspekt som bör beaktas.

Vad gäller avfall angav ett tidigare delmål att den totala mängden avfall skulle minska. Samtidigt antas i de båda scenarierna att avfallsförbränningen ökar jämfört med i dag. Huruvida detta är möjligt med minskande totalmängder avfall beror på hur olika avfallsfraktioner förändras över tiden. Om minskningen av avfallsmängderna beror på att det icke brännbara avfallet minskar skulle det brännbara avfallet kunna öka. I de nya förslagen till etappmål inom avfallsområdet återfinns inga förslag om generellt sett minskade avfallsmängder utan de enda minskningar som pekas ut är koncentrerade till livsmedelskedjan (Miljömålsberedningen, 2011).

Målet för användning av naturgrus är kopplad till infrastruktur mm. Antagandet om en endast begränsad ökning transportarbete och bostadsytor i scenariot *Nya beteendemönster* skulle kunna leda till minskad efterfrågan på naturgrus men betydelsen hänger till stor del samman på i vilken grad man kan finna ersättningsmaterial för naturgrus.

En långsiktigt hållbar bebyggelsestruktur som sätts upp som mål under god bebyggd miljö vara en viktig förutsättning för att scenariot *Nya beteendemönster* ska kunna realiseras. Det innebär att uppfyllandet av detta delmål under God bebyggd miljö bör underlätta uppfyllandet av klimatmålet.

Det delmål som syftar till minskad bullerstörning kommer att påverkas både av de teknikförändringar som sker i scenariot Ny teknik i fokus och de beteendeförändringar som sker i scenariot *Nya beteendemönster*. En ökad användning av elfordon, främst i stadstrafik, kan medföra minskade bullernivåer eftersom ljudnivåerna från denna teknik är lägre än för fordon med förbränningsmotor, åtminstone vid låga hastigheter då motorbullret dominerar. Vid högre hastigheter är det friktionsbuller som dominerar och valet av drivteknik därmed av mindre betydelse. I detta sammanhang torde dock det mindre transportarbetet som antas i scenariot *Nya beteendemönster* leda till lägre bullernivåer. För att minska bullernivåerna är andra åtgärder som bullerplank/vallar och nya fönster också av stor betydelse för hur stor bullerexponeringen blir. Även för vindkraft lyfts buller fram som en viktig negativ miljöaspekt (Naturvårdsverket, 2006)

4.15 Ett rikt växt- och djurliv

Målet *Ett rikt växt och djurliv* handlar om den biologiska mångfalden som enligt målet ska bevaras och nyttjas på ett hållbart sätt, för nuvarande och framtida generationer. Detta mål innebär ett överlapp över flera av de tidigare miljömålen med naturmiljöinriktning. I målet *Ett rikt växt och djurliv* står markanvändningen i centrum.

Inom EU har skydd av den biologiska mångfalden införts bland annat genom habitats- och fågeldirektiven. Kopplat till detta har ett nätverk med särskilt skyddsvärda områden, så kallade Natura 2000 områden, skapats. Dessa motsvarar idag cirka 18 % av EU:s landyta (Jackson, 2011). I Sverige har samtliga av regeringen beslutade områden status av riksintresse (Naturvårdsverket, 2003). Exakt vilken inverkan Natura 2000 områden kan få på möjligheterna för förnybar energi är fortfarande oklar. Det finns till exempel för vindkraft fall där vindkraftverk tillåts nära Natura 2000 områden men också sådana där de inte tillåts.²⁶ På EU-nivå visar Jackson (2011) att regelverket kring Natura 2000 kraftigt kan komma att försvåra utbyggnaden av förnybar energi.

Ett mer intensivt markutnyttjande genom främst kraftig ökning av bioenergi kan stå i motsatsställning till detta mål. Effekterna av ökad bioenergi beror till stor del på vad den förändrad markanvändning sker från för utgångstillstånd. En ökad bioenergiproduktion från jordbruksmark som leder till en minskad intensitet eller ökad variation kan ge ett positivt värde avseende på den biologiska mångfalden medan ett intensifierat utnyttjande av t ex skogen kan få en motsatt effekt.

Vindkraftens negativa miljöpåverkan på djur- och växtliv relateras enligt Molander m.fl. (2010) främst till fragmentering av habitat genom anläggande av vägar samt det roterande fysiska hinder för fåglar och fladdermöss som ett vindkraftverk kan utgöra. Effekterna är

²⁶<http://www.naturvardsverket.se/sv/Start/Verksamheter-med-miljopaverkan/Energi/Vindkraft/Webbvagledning-om-MKB-for-vindkraftprojekt/Natura-2000-omraden/Exempel-fran-arenden-och-domar/> Besökt 2011-10-27.

kraftigt beroende på den specifika lokaliseringen av vindkraftverken, art och tid på året (Naturvårdsverket, 2006) Risken för kollisioner är vanligen liten men med större risk för rovfåglar. Vindkraft till havs kan i vissa fall ha positiv påverkan på marina organismer genom den så kallade reveffekten. Denna effekt innebär att vindkraftsfundamenten fungerar som konstgjorda rev vilka kan ge förutsättningar för lokalt ökad förekomst av rörliga djur som fisk och kräftdjur (Hammar m.fl., 2008; Molander m.fl., 2010). I Eriksson m.fl. (2011) diskuteras potentialen för vindkraft att bidra till en ökad biologisk mångfald i jordbrukslandskapet genom att utnyttja infrastrukturen till att skapand konstgjorda småbiotoper s.k. kreotoper.

Mycket talar för att detta miljömål kommer att vara den faktor som främst begränsar det möjliga utnyttjandet av bioenergi. Detta miljömål intar också en särställning eftersom det är i viss mån irreversibelt genom att en utrotad art eller ett förstört ekosystem i princip är omöjligt att återföra till dess ursprungliga form. Det kan jämföras med till exempel miljö kvalitetsmålet *Frisk luft* vilket skulle kunna uppnås i det närmaste momentant om och när utsläppen av luftföroreningar försvinner.

5 MILJÖMÅLSASPEKTER VID OLIKA VAL AV ENERGILÖSNINGAR FÖR ATT MÖTA SAMHÄLLET'S EFTERFRÅGAN PÅ ENERGITJÄNSTER

I avsnitt 4 har potentiell påverkan på miljön redovisats mål för mål. Många aspekter av miljö-påverkan från olika energislag dyker upp under flera mål och det kan därför vara svårt att få en överblick av effekterna. Därför redovisas i detta avsnitt kortfattat de effekter olika energilösningar kan ha på de övergripande miljöaspekterna.

5.1 Begränsad energianvändning och minskat transportarbete

I båda de studerade scenarierna begränsas energianvändningen kraftigt jämfört med om dagens energiintensitet hade bibehållits till 2050. I scenariot *Nya beteendemönster* reduceras dessutom transportarbetet vilket också medför reducerad energianvändning. Det gäller inte enbart den direkta energianvändningen utan kan även förväntas gälla den indirekta (för produktion av fordon och infrastruktur) vilken svarar för en betydande del av den totala energianvändningen i sektorn (se t ex Jonsson, 2007) en andel som kan komma att öka i framtiden då fordonen förväntas bli allt mer energieffektiva.

En klimatstrategi som grundar sig i begränsningar av energianvändningen genom effektiviseringar, minskad efterfrågan på energiintensiva produkter och tjänster och besparingar innebär generellt sett minskade konflikter med övriga miljömål och om knappa resurser som bioenergi. Det innebär att energieffektivisering kommer att vara väl så viktigt i ett system som baserar sig på förnybara energislag som i dagens system dominerade av fossila bränslen. Vissa energieffektiviseringslösningar, t ex ökad tilläggsisolering, kan leda till ökad materialåtgång vilket kan behöva beaktas i relation till målet *God bebyggd miljö*.

En begränsning av transportarbetet med därtill hörande minskat behov av ny transportinfrastruktur kan förväntas vara gynnsam för de flesta miljömålen genom minskade materialbehov och minskat buller (målet *God bebyggd miljö*), reducerade utsläpp av luftföroreningar (målen *Frisk luft*, *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning*) samt minskade intrångseffekter vilket kan gynna förutsättningarna att uppnå målen *Levande skogar*, *Ett rikt odlingslandskap* m.m.

5.2 Bioenergi

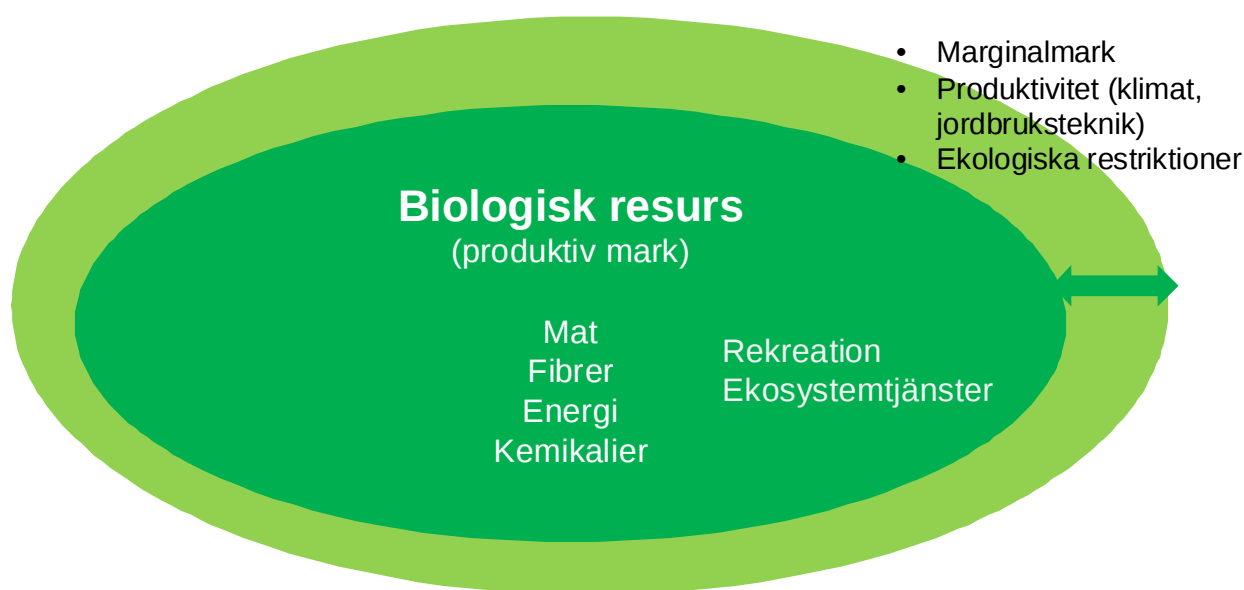
I båda LETS-scenarierna antas bioenergianvändningen öka kraftigt. I scenarierna specificeras dock inte exakt vilka biomasseresurser som utnyttjas eller i exakt vilken form eller med vilken teknologi. Dessa aspekter är dock mycket viktiga när den exakta miljöpåverkan ska värderas. Med utgångspunkt i liknande studier kan det förväntas att det ytterligare tillskottet av biomassa jämfört med i dag kommer att komma såväl från skogsmark som från jordbruksmark samtidigt som industriella biprodukter och organiska avfallsströmmar kommer till ökad användning.

Omvandlingen av biomassa till nyttig energi (kraft, värme, el) kan förväntas ske till största delen genom förbränning. Förbränning av fast biomassa orsakar ungefär samma typ av miljö-påverkan som fossila bränslen men med risk för högre utsläpp av NMVOC och partiklar. För att hantera dessa problem är god förbränningsteknik och reningsteknik centrala, och en utgångspunkt för att en expansion av biomassa ska vara miljömässigt acceptabel är att användningen sker med hjälp av modern teknik.

Det som annars särskiljer biomassa som energislag är dess nära anknytning till naturliga och mänskligt påverkade ekosystem med potentiellt stor påverkan på biologisk mångfald, närings-ämnesbalanser och de biologiska systemens långsiktiga produktionsförmåga. Dessa ekosystem är samtidigt under hård press genom ökad efterfrågan på livsmedel och råvaror som en följd av bland annat global befolkningstillväxt, ekonomisk tillväxt, nya konsumtionsmönster, ohållbara brukningsmetoder och klimatförändringar (se t.ex. Johansson m.fl., 2011).

Effekten av ökad bioenergi på dessa system beror lokalt på vilka grödor och brukningsmetoder som bioenergiutvinningen ersätter. Till exempel varierar konsekvenserna av om man utnyttjar fleråriga eller ettåriga energigrödor liksom om det är spannmål, vallodling, betesmark, träd som ersätts av energigrödan. I de fall bioenergi utvinns på bekostnad av andra globalt efterfrågade produkter som livsmedel eller papper och massa beror den totala miljöeffekten inte enbart av de effekter som sker på plats utan de indirekta effekter som kan uppkomma i andra delar av världen när livsmedelsproduktion flyttas eller skogsbruket intensifieras någon annanstans. Att se kopplingen mellan olika användningar av biologiska resurser är därför av stor betydelse, se Figur 1. Även om de lokala miljöeffekterna av biomassautvinning kan vara fördelaktiga jämfört med dagens användning finns det skäl att prioritera energieffektivisering eftersom ett mindre intensivt utnyttjande i princip alltid är att föredra från ett miljöperspektiv än ett mer intensivt.

Konkurrens om begränsad biologiska resurs



Figur 1. Illustration av hur bioenergin konkurrerar med andra nyttor om en begränsad biologisk resurs. Källa: Karin Ericsson.

5.3 Vindkraft

Vindkraften antas i scenarierna bli kraftigt utbyggd till 15 respektive 30 TWh/år vilket dock är mycket långt från de avsevärt mycket större tekniska potentialer som finns (se till exempel

Blomqvist m. fl., 2008).²⁷ Potentiellt negativa miljöeffekter av vindkraft som särskilt lyfts fram i diskussionen är buller, hot mot fauna (fågel, fladdermöss, fiskar) samt de visuella effekterna på landskapsbilden. Dessa miljöaspekter är i huvudsak lokala till sin karaktär och beror av den exakta lokaliseringen av kraftverken. I avsnitt 4 har potentiella positiva effekter på t.ex. biologiska mångfald beskrivits för jordbrukslandskapet (kreatoper) och i havsmiljön (reveffekter) beskrivits.

Då skillnaden mellan antagen mängd vindkraft och den tekniska potentialen är mycket stor bör en lokalisering av 30 TWh/år i enlighet med scenarierna vara möjlig utan att uppnåendet av övriga mål ska förhindras. Däremot kan lokaliseringsproblematiken påverka produktionskostnaderna eftersom miljöaspekter kan sätta restriktioner på sådana lokaliseringar som har särskilt god ekonomi. Samtidigt visar skattningar att den avgörande delen av den skattade potentialen i Blomqvist m.fl. (2008) kan utnyttjas till en produktionskostnad runt 60 öre/kWh vilket torde vara konkurrenskraftigt med andra alternativ i de tidsperspektiv vi diskuterar inom ramen för LETS.

Hur intrånget av vindkraftsanläggningar uppfattas av närboende beror till stor del av hur involverade de är i planeringsprocessen. Acceptansen är enligt Klintman och Waldo (2008) kopplade till faktorer som organisering, deltagande, beslutsprocess och ekonomi. Flera av miljöeffekterna är också till sin karaktär reversibla eftersom relativt begränsade markområden utnyttjas på ett sådant sätt att de inte kan återställas.

5.4 Vattenkraft

I båda de studerade scenarierna är vattenkraft den viktigaste elproduktionstekniken. Dock är ökningen av produktionen jämfört med idag begränsad, knappt 5 %, och bedöms till största delen ske genom effekthöjningar. I scenarioramarna ligger redan en kraftig miljörestriktion eftersom de grundar sig i dagens stopp mot utbyggnad av de återstående oreglerade älvarna. Eventuellt kan ytterligare restriktioner, grundade i målet *Levande vattendrag*, göra att den produktion som antagits i scenarierna inte fullt ut kan komma till stånd. Eftersom det är ett elöverskott i de flesta av scenarierna torde en sådan begränsning inte vara avgörande i sig för elbalansen.

5.5 Kärnkraft

För kärnkraft är de huvudsakliga inhemska miljöeffekterna kopplade till risker för olyckor och hanteringen av radioaktivt avfall. Effekterna av kärnkraft är till sin karaktär annorlunda jämfört med andra teknologier då miljöpåverkan vid normal drift är mycket liten medan det finns en mycket liten risk för mycket allvarliga händelser. I samtliga scenarier antas en avsevärt lägre elproduktion från kärnkraft än idag.

5.6 El- och vätgasdrivna fordon

I scenariot *Ny Teknik i Fokus* antas teknikutveckling ske så att såväl elfordon som vätgasfordon får en dominerande roll för landbaserade persontransporter. Båda dessa alternativ kan förväntas ge förbättrad luftkvalitet i tätorter eftersom end-of-pipe utsläppen är noll eller mycket låga. Elfordon (batterifordon, bränslecellsfordon eller ledningsbundna fordon) kan även på systemnivå förväntas ha hög energieffektivitet och kan lämpligen basera sig på ener-

²⁷ I de potentialer om flera hundratals TWh/år som skattats av Blomqvist m. fl. har betydande arealer undantagits i anslutning till tätorter, känsliga naturområden mm. En stor teknisk potential hänförs till skogsmark samtidigt som många aktuella projekt lokaliseras i kustlandskapet.

gislag som inte är kolvätebaserade, vilket ger potential för låga utsläpp sett över hela bränslekedjan.

Batterier, bränsleceller och produktionstekniker för solbaserad vätgas m.m. leder till ett ökat beroende av ämnen som litium, platina, kadmium m.m. med förväntade miljökonsekvenser vid utvinning. Effektiva återvinningssystem blir här av avgörande betydelse för att upprätthålla en hög resurseffektivitet.

Introduktion av högeffektiva och rena fordon kommer att minska många av transportsektorns problem som är kopplade till utsläpp och bristande energieffektivitet. Däremot kommer det inte ha någon inverkan på de problem som är kopplade till transporternas fysiska utrymme som intrångseffekter, materialbehov för infrastruktur, trängsel m.m. Viss positiv inverkan kan förväntas inom bullerområdet vid låga hastigheter när motorbullret dominerar men vid högre hastigheter blir skillnaden marginell.

5.7 Koldioxidavskiljning och lagring (CCS)

Konsekvenserna av CCS på övriga miljömål är hittills dåligt utrett. Ett undantag är en aktuell studie från EEA (2011) som analyserar påverkan på övriga luftföroreningar. Enligt studien kan det uppkomma negativa effekter av avskiljningen som en följd av de energiförluster (15-25%) som uppkommer i processen. Dessa förluster leder till ökad energianvändning och potentiellt ökande direkta och indirekta emissioner av t ex kväveoxider. Dessutom förväntas utsläppen av NH₃ öka avsevärt genom nedbrytning av de aminobaserade lösningsmedel som används vid koldioxidavskiljningen. Däremot bedöms utsläppen av svavel minska eftersom svavlet i använda bränslen måste tas bort för att tekniken för koldioxidavskiljning ska fungera. Betydelsen av denna faktor torde bero på huruvida CCS appliceras i anläggningar där svavelrika bränslen används eller inte.

6 MILJÖMÅLEN OCH DERAS STYRNINGSUTMANINGAR – EN AVSLUTANDE DISKUSSION

Utifrån ovanstående redovisning kan bedömningen göras att klimatomställningen är möjlig att förena med att man uppnår övriga miljömål. Klimatomställningen torde till och med vara nödvändig för att flera av miljömålen ska kunna nås. Däremot finns det inget som garanterar att klimatomställningen kommer att ske inom de ramar som sätts upp av övriga miljömål. Det finns därför ett stort behov av styrning och styrmedel som kompletterar klimatstyrmedlen för att säkerställa att klimatomställningen inte leder till oacceptabel påverkan på andra miljömål.

Tydliga målkonflikter kan förväntas mellan lågkostnadsstrategier för att minska utsläppen av växthusgaser och målen *Levande Skogar*, *Hav i balans samt levande kust och skärgård*, och *Ett rikt växt och djurliv*. Med andra miljömål kan man istället i vissa fall förvänta sig synergier som till exempel med målen *Frisk luft* och *Ingen övergödning*. Generellt torde effektivare energianvändning och minskat transportarbete ge bättre förutsättningar för att övriga miljömål ska nås än om en klimatstrategi enbart baserar sig på koldioxidneutrala energislag som bioenergi, och vindkraft. En särskilt stora utmaning är att kunna öka bioenergianvändningen utan att hindra att övriga miljömål nås. Det finns fortfarande ett stort forskningsbehov kring effekterna om konsekvenserna av ökad bioenergianvändning och övriga miljömål, främst kopplat till markanvändningen.

Hur de olika miljömålen påverkas beror bland annat på vilken teknik som används för transporter och energiomvandling och i vilka geografiska områden aktiviteten äger rum. Det är därför ytterst svårt att säga exakt vilka miljöeffekter som kan förväntas uppkomma i ett framtida samhälle enbart utifrån en övergripande kvantifiering av energi- och transportflöden utan det beror på den exakta utformningen av systemen.

Ett exempel på denna betydelse kan tas för exemplet bioenergi. Miljöpåverkan av den framtida bioenergianvändningen beror både av mängden bioenergi, i vilken form den används (ved, pellets, flytande form, gasform), vilken slutanvändningsteknik som utnyttjas (t ex småskalig vedeldning eller förbränning i effektiva fjärrvärmeanläggningar), vilken slags bioenergi som används (avverkningsrester, jordbruksgrödor (fleråriga eller perenna), stubbar, biomassa från intensivskogsodling) och var utvinningen sker.

En salixodling kommer till exempel att ge helt olika miljöpåverkan om den placeras i helåkersbygd med stora monokulturer eller om den planteras i skogsbygd. Här kan den miljömässigt mest fördelaktiga lokaliseringen stå i konflikt med ekonomiska intressen. Miljömässigt kan det vara bäst att lokalisera odlingar i helåkersbygd men det är inte självklart att de placeras där av ekonomiska skäl. Miljöeffekten av andra tekniker, som till exempel vindkraft är också platsberoende. Skillnaden i lokalisering kan vara helt avgörande för effekten på natur- och kulturmiljön. För att få en miljömässigt lämplig expansion av bioenergi och vindkraft behövs styrmedel som tar hänsyn till de förutsättningar som ges i landskapet och av den lokala situationen.

Miljöeffekten är ofta beroende på vad den alternativa användningen av till exempel en markresurs är. Till exempel kan ökat biobränsleutnyttjande ge minskad miljöpåverkan om fleråriga grödor ersätter spannmål och oljeväxter men ökad om den ersätter betesmark eller vall. Det kan också vara skillnad på de lokala effekterna av en sådan substitution som kan vara en förbättring och effekterna i andra områden som kan öka om t ex odling av jordbruksgrödor be-

höver intensifieras på annat håll. För bioenergi är en nyckelfråga hur synen på generella hänsynsregler inom skogsbruket kommer att hanteras i framtiden.²⁸ Kommer det att vara möjligt att differentiera skogsbruket i större grad, där intensivare skogsbruk på mindre värdefulla marker kommer att kunna kompenseras med stärkt skydd i andra delar?

Även om det finns starka argument för styrning i direkt anslutning till källan till miljöpåverkan kan alltför mycket fokus på en lokal nivå försvåra en hantering av de storskaliga problemen. De tydligaste miljöeffekterna på objektnivå är ofta lokala (t.ex. effekter av markanvändningen lokalt) medan många viktiga om objekten aggregeras, kan vara globala effekter (t.ex. klimatfrågan). Det kommunala planmonopolet innebär en uppenbar risk för att de miljöaspekter som uppkommer lokalt prioriteras i alltför stor grad jämfört med till exempel klimatfrågan. Det kan till exempel gälla vid lokalisering av vindkraftverk där ett huvudsakligt lokalt intrång ska vägas mot ett globalt problem, klimatpåverkan. Det finns därmed ett stort behov att studera interaktionen mellan styrning på olika samhällsnivåer.

Miljöeffekter från energisystemet uppkommer längs hela energikedjan och inom transportsektorn uppkommer även icke energirelaterad miljöpåverkan. Förutom vid energiutvinning uppkommer miljöpåverkan vid energiomvandling och distribution, vid produktion av väginfrastruktur mm. Dessa kedjor är alltmer internationaliserade och många av de miljöaspekter som kan tänkas följa uppkommer utanför Sveriges gränser. Dessa har traditionellt inte täckts av de svenska miljömålen. I den senaste definitionen av generationsmålet har det dock tydliggjorts att denna aspekt ska beaktas. Exakt hur det ska gå till är inte klart. Styrning kan ske genom begränsningar av energi och andra resurser som kan orsaka skada utanför Sveriges gränser men denna metod är jämförelsevis trubbig då den inte direkt riktar in sig på de aktuella miljöproblemen. Mer effektivt vore att de länder som har rådighet över den direkta miljöpåverkan reglerar densamma. Ett problem kan då vara att dessa länder inte har tillräckliga resurser eller vilja för att genomföra detta. Ett typexempel kan vara behovet av begränsningar i utnyttjandet av olika markresurser för att bibehålla biologisk mångfald och minska utsläppen av växthusgaser, en begränsning som emellertid kan försvåra uppnåendet att andra utvecklingsmål. Styrning som kan gynna såväl utveckling och direkt naturskydd kan vara eftersträvanvärt, samtidigt som direkt överföring av ekonomiska resurser för att säkra sådana regleringar kan vara nödvändig (se t.ex. Schubert m. fl., 2009 och Killeen m.fl., 2011). Ett problem med att enbart förlita sig på globalt riktade styrningssystem kan vara att utvecklingen av dessa går för långsamt i förhållande till hur snabbt utvecklingen på energimarknaden går. Det kan då finnas skäl att använda sig av trubbigare men mer lättinförda styrmedel som steg på vägen innan mer välriktad styrning är på plats.

Definitioner av specifika miljömål speglar dagens syn på vad som är skyddsvärt och hur detta skydd ska vägas mot andra samhällsmål. Dessa aspekter kan komma att ändra sig över tiden och med stor sannolikhet kommer miljömålen se annorlunda ut om fyrtio år både på grund av att kunskapen har ändrats och att värderingen av vissa miljömålsaspekter kan komma att förändra sig. Detta kan leda till skärpning av vissa mål medan andra kan bli mindre strikta.

I en studie som denna är dock enda möjligheten att förhålla sig till dagens mål och lämna framtida prioriteringar till kommande generationer. I sammanhanget kan det vara viktigt att se betydelsen av att hålla sig till en försiktighetsprincip och vara särskilt uppmärksam på mål som är irreversibla. Det är en grundläggande skillnad mellan påverkan på den biologiska mångfalden eller icke återställningsbar åverkan på naturmiljön jämfört med till exempel buller

²⁸ Detta är en frågeställning som också lyfts upp av Miljömålsberedningen (2010) som en del som behöver behandlas vid utvecklingen av en strategi för långsiktig markanvändning med landskapsfokus.

och dålig luftkvalitet vilken i princip kan återställas momentant om påverkan avvecklas. Omfattande radioaktiva utsläpp kan också skada ekosystem på ett sådant sätt att skadorna svårigen går att återställa under en begränsad tidsrymd. Det torde vara just dessa irreversibla effekter som man behöver ha särskild kontroll på när man ställer om energi- och transportsystemen över en 40 års period. Det faktum att kunskapsläget kan förväntas utvecklas över tiden är ett skäl att se miljömålen som verktyg i ett system för adaptiv planering (se t.ex. M. Johansson, 2008), något som även kan motiveras med de stora osäkerheter som finns kring teknikutveckling och utvecklingen av samhället i stort. Kontinuerlig övervakning och utvärdering är därför centrala parametrar för att skapa en rationell styrning över tid (se t ex Lundqvist, 2004).

7 REFERENSER

- Ahlgren S. och Börjesson P. 2011. *Indirekt förändrad markanvändning och biodrivmedel – en kunskapsöversikt*, Rapport nr. 73, Avdelningen för miljö- och energisystem, Lund, Sverige.
- Arell L. 2007. *Fördjupad utvärdering av naturgrusdelmålet inom God bebyggd miljö*. SGU-rapport 2007:21, Sveriges geologiska undersökning, Uppsala.
- Berndes G., Fredriksson F., Börjesson P. 2004. Cadmium accumulation and Salix-based phytoextraction on arable land in Sweden. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **103**, 207-223.
- Bernes C. och Lundgren L. J. 2009. *Bruk och missbruk av naturens resurser. En svensk miljöhistoria*. Monitor 21, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Blomqvist P., Nyborg M., Simonsson D., Sköldbberg H. och Unger T. 2008. *Vindkraft i framtiden. Möjlig utveckling i Sverige till 2020*. Rapport 08:17, Elforsk, Vindforsk, Energimyndigheten.
- Boverket. 2007. *Energianvändning i byggnader. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av God bebyggd miljö 2007*.
- Börjesson P. 1999. Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden – I: Identification and quantification, *Biomass and Bioenergy*, **16**, 137-154.
- Börjesson P. 2000. Economic valuation of the environmental impact of logging residue recovery and nutrient compensation, *Biomass and Bioenergy*, **19**, 137-152.
- Börjesson P. och Berglund M. 2007. Environmental systems analysis of biogas systems—Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass & Bioenergy*, **31**, 326-344.
- Börjesson P. and Tufvesson L.M.. 2011. Agricultural crop-based biofuels – resource efficiency and environmental performance including direct land use changes. *Journal of Cleaner Production*, **19**, 108-120.
- Dahlberg A., Egnell G., Berg J., Rytter L., Westling O. 2006. *Miljöeffekter av skogsbränsleuttag och askåterföring i Sverige. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram 1997 till 2004*, ER 2006:44, Energimyndigheten, Eskilstuna.
- EEA. 2011. *Air pollution impacts from carbon capture and storage (CCS)*. EEA Technical Report No 14/2011. Copenhagen.
- Energimyndigheten. 2011. *Energiläget 2011*, ET 2011:42, Eskilstuna.
- Eriksson A., Nilsson E., Arnesson M. 2011. *Vindkraft – en möjlighet för biologisk mångfald på slätten?* Rapport 2011:27. Jordbruksverket Jönköping.
- Emanuelsson U. 2006. Bioenergi och naturvård i Kommissionen mot oljeberoende, *På väg mot ett oljefritt Sverige*, Statsrådsberedningen, Stockholm.
- Geijer E., Bostedt G., Brännlund R. 2011. Damned if you do, damned if you do not – reduced climate impact vs. sustainable forests in Sweden. *Resource and Energy Economics*, **33**, 94-106.
- Gode J., Särnholm E., Zetterberg L., Arnell J., och Zetterberg T. (2010) *Swedish long-term low carbon scenario. Exploratory study on opportunities and barriers*. IVL, Report B 1955
- Hammar L., Andersson S. och Rosenberg R. 2008. *Miljömässig optimering av fundament för havsbaserad vindkraft*. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Jackson A. L. R. 2011. Renewable energy vs. biodiversity: Policy conflicts and the future of nature conservation. *Global Environmental Change*. Doi:10.1016/j.gloenvcha.2011.07.001.
- Johansson B. 1995. *Biomassebaserade energibärare för transportsektorn*. KFB-rapport 1995:11, Kommunikationsforskningsberedningen, Stockholm.
- Johansson B. och Åhman M. 2002. A comparison of technologies for carbon-neutral passenger transport. *Transportation Research – D*, **7**, 175-196.

- Johansson B., Jonsson D. K., Östensson M. 2010. *Energisäkerhet och energiberoenden på kort och lång sikt. En pilotstudie*. FOI-R—2979—SE. Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm.
- Johansson, B., Carlsson-Kanyama, A. och Lindgren, J. 2011. *Klimatförändringarna och livsmedelsförsörjningen*, FOI Memo 3580. Totalförsvarets forskningsinstitut, Stockholm.
- Johansson C. och Hansson H. C. 2007. *PM10 och sot i Sverige*, Institutionen för tillämpad miljövetenskap, Stockholms universitet, Stockholm.
- Johansson M. 2008. *Barriärer och Broar. Kommunikativa villkor i det svenska miljömålsarbetet*, Linköping Studies in Arts and Science No 469. Linköpings universitet, Institutionen for Tema, Linköping.
- Jonsson D. K. 2007. Indirect energy associated with Swedish road transport, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 7, 183-200
- Khan J. Hildingsson R., Johansson B., Andersson F. N. G.; Nilsson L. J., Karpestam P. 2011. *Att styra mot ett klimatneutralt samhälle*. LETS Working Paper, Lunds universitet, Lund.
- Killeen T. J., Schroth G., Turner W., Harvey C. A., Steininger M. C., Dragisic C. och Mittermeier R. A. 2011. Stabilising the agricultural frontier: Leveraging REDD with biofuels for sustainable development, *Biomass and Bioenergy*, doi:10.1016/j.biombioe.2011.06.027,
- Klimat- och sårbarhetsutredningen. 2007. *Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter*. SOU 2007:60, Fritzes, Stockholm.
- Klintman, M., och Å. Waldo (2008). *Erfarenheter av vindkraftsetablering– Förankring, acceptans och motstånd*, Rapport 5866, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Kommissionen mot oljeberoende. 2006. *På väg mot ett oljefritt Sverige*, Statsrådsberedningen, Stockholm.
- Larsson S., Lundmark T. och Ståhl G. 2009. *Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag Jo 2008/1885*. SLU, Uppsala.
- Lundqvist L. J. 2004. *Sweden and ecological governance. Straddling the fence*. Manchester University Press, Manchester och New York.
- Miljömålsberedningen. 2010. *Handlingsplan för att utveckla strategier i miljömålsarbetet*, SOU 2010:101, Stockholm.
- Miljömålsberedningen. 2011. *Etappmål i miljömålssystemet*, SOU 2011:34.
- Miljömålsrådet. 2008 *Miljömålen – nu är det bråttom. Miljömålsrådets utvärdering av Sveriges miljömål 2008*. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Molander S., Ahlborg H., Arvidsson R., Hammar L., Kushnir D., Wallin A., Westerdahl J. 2010. *Förnybara energikällors inverkan på de svenska miljömålen*, Rapport 6391, Naturvårdsverket, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 1999. *Skyddande ozonskikt*. Rapport 5002., Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2003. *Natura 2000 i Sverige. Handbok med allmänna råd*. Handbok 2003:9, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2005. *Strategi för hållbar avfallshantering. Sveriges avfallsplan*, Rapport 1248, Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2006. *Vindkraft på land*. Branschfakta Utgåva 2., Stockholm.
- Naturvårdsverket. 2009. *Elda rätt. Råd för effektiv, miljöanpassad och säker eldning med ved och andra vedbaserade bränslen, i vedpanna, kamin och dylikt*. ISBN 978-91-620-8392-2
- Naturvårdsverket. 2010. *Hälsorelaterad miljöövervakning – årsrapport 2010*. ISBN 978-91-620-1286-1, Stockholm.

Naturvårdsverket. 2011. *Miljömålen på ny grund. Naturvårdsverkets utökade årliga redovisning av miljökvalitetsmålen 2011*. Rapport 6240, Naturvårdsverket, Stockholm.

Riekkola A. K. Ahlgren E. O. Söderholm P. 2011. Ancillary benefits of climate policy in a small open economy: The case of Sweden, *Energy Policy*, **39**, 4985-4998.

Rosander P. 2010. Kemikalier och klimat. Synergier och målkonflikter mellan miljömålen Giftfri miljö och Begränsad klimatpåverkan. Kemikalieinspektionen, Stockholm.

SCB. 2011. *Torv 2010. Produktion, användning, miljöeffekter*. Statistiska meddelanden MI 25 SM 1101.

Schubert R., Schnellhuber H. J., Buchmann N., Epiney A., Griesshammer R., Kulesa M., Messner D., Rahmstorf R. och Schmid J. 2009. *Future Bioenergy and Sustainable Land Use*. London and Sterling, VA: Earthscan.

Söderholm P., Hildingsson R., Johansson B., Khan J., Wilhelmsson F. 2011. Governing the transition to low-carbon futures: A critical survey of energy scenarios for 2050. *Futures*, doi 10.1016/j.futures.2011.07.009.

Utredningen om jordbruket som bioenergiproducent. 2007. *Bioenergi från jordbruket – en växande resurs*, SOU 2007:36. Fritzes, Stockholm.

Vägverket. 2008. *Vägverkets rapport med underlag till den fördjupade utvärderingen av arbetet för att nå miljökvalitetsmålen (FU08)* SA80A 2007:4268, Borlänge.

Wandén S. 2007. *Miljömål och andra önskemål. En studie av synergier och konflikter*, Rapport 5747, Naturvårdsverket, Stockholm.

Weih S. 2006. *Energiskogsodling på åkermark – möjligheter för biologisk mångfald och kulturmiljö i ett landskapsperspektiv*. Rapport till Naturvårdsverket Dnr- 802-114-04, SLU, Uppsala.

Zetterberg L. 2011. *Instruments for Reaching Climate Objectives – Focusing on Time Aspects of Bioenergy and Allocation Rules in the European Union 's Emission Trading System*, Avhandling, Chalmers Tekniska högskola, Göteborg.