



Nr C 384
Mars 2019

Jämförelse av tekniker för klimatsmarta tunga godstransporter

Henrik Kloo, Mats-Ola Larsson



I samarbete med Trafikverket, Chalmers och Naturcentrum

Författare: Henrik Kloo, Mats-Ola Larsson

Medel från: Trafikverket

Rapportnummer C 384

ISBN 978-91-7883-030-5

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2019**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Denna studie är gjord på uppdrag av och i samarbete med Magnus Lindgren, Trafikverket. Syftet har varit att ge en överblick över teknikläget för olika lösningar som radikalt kan minska vägburna godstransporters klimatpåverkan, men också att ge en översikt över framtida möjligheter med dessa lösningar. Studien har gjorts som en multiparameterstudie där olika tekniska lösningar har analyserats utifrån ett flertal aspekter, såväl de rent tekniska, som legala aspekter, samverkan och aktörsperspektiv, samt miljö- och socioekonomiska aspekter. Under arbetet har vi samarbetat med experter och vi vill rikta ett varmt tack till Magnus Karlström på Johanneberg Science Park och Chalmers tekniska högskola för initierade diskussioner kring metod, elektromobilitet och helhetsbedömningar, Hans Pohl på RISE för värdefulla bidrag angående bränsleceller, Jonas Stenström, Naturcentrum AB för inspel angående påverkan på landskap, natur- och kulturmiljöer samt Julia Hansson, IVL för analys av biodrivmedel. Ett varmt tack också till deltagarna i styrgruppen: Magnus Henke, Energimyndigheten, Martin Gustavsson, RISE samt Magnus Lindgren, Helene Lindblom och Fredrik Widegren på Trafikverket för värdefulla synpunkter och givande workshops under arbetets gång.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	6
Summary	9
Förkortningar och ordlista	12
Inledning och syfte.....	12
Tekniker och applikationer	13
Metod.....	14
Resultat och bedömningar.....	17
Elvägar 17	
Sammanfattande bedömning	17
Teknik 18	
Legalt och standard.....	18
Aktörer 19	
Miljöpåverkan	20
Socioekonomi.....	20
Eldrift med batterier och laddstationer	21
Sammanfattande bedömning	21
Teknik 22	
Legalt och standard.....	22
Aktörer 22	
Miljöpåverkan	23
Socioekonomi.....	23
Bränsleceller	24
Sammanfattande bedömning	24
Teknik 25	
Legalt och standard.....	25
Aktörer 25	
Miljöpåverkan	26
Socioekonomi.....	26
Biodrivmedel och elektrobränslen.....	27
Sammanfattande bedömning	28
Teknik 29	
Legalt och standard.....	30
Aktörer 31	
Miljöpåverkan	32
Socioekonomi.....	33
Slutsats och diskussion	33

Referenser.....	37
Allmänt 37	
Elvägar 37	
Batterier och laddning	37
Bränsleceller.....	38
Biodrivmedel och elektrobränslen.....	38

Sammanfattning

IVL Svenska Miljöinstitutet har på Trafikverkets uppdrag jämfört olika fordonstekniker och drivmedel som skulle kunna erbjuda klimatsmarta alternativ till dagens fossildrivmedelsberoende godstransporter på väg. Teknikerna har analyserats utifrån ett flertal tekniska, legala, aktörmässiga, miljömässiga, sociala och ekonomiska aspekter (se nedan). Teknikerna jämfördes i tre transporttillämpningar, nämligen lokal, regional och långväga transport. De tekniker som analyseras är följande:

- Elektrifiering av vägen (elväg)
- Elektrisk drift med batteri
- Elektrisk drift med bränsleceller
- Biodrivmedel

Den snabbaste och enklaste vägen mot att minska klimatpåverkan är att öka användningen av biodrivmedel. I ett internationellt perspektiv är det dock ont om hållbara bioråvaror. Det är därför inte lämpligt, eller kanske ens möjligt, att ersätta mer än mindre del av dagens globala användning av fossila drivmedel till transportsektorn med förnybara alternativ från biologiska råvaror.

Det finns dock en möjlighet att klimatneutrala elektrobränslen på sikt skulle kunna komplettera eller ersätta traditionella biodrivmedel. Deras förutsättningar är ännu osäkra och påverkas inte bara av marknaden för fordon och drivmedel utan även av elmarknaden, andelen förnybar el och variationer i tillgången och på den förnybara elen. DME (dimetyleter) är ett bränsle som skulle kunna bli en ny energibärare i transportsektorn på sikt, men framtiden är osäker även där.

I tidsperspektivet 2030 och 2045 kan man förvänta sig flera viktiga teknikgenombrott. Ny batteriteknik, bränslecellsfordon och självkörande fordon kommer att kunna förändra förutsättningarna för minskad klimatpåverkan väsentligt. Även politiska klimatåtgärder på nationell och internationell nivå bör komma att påverka transportmarknaden påtagligt framöver.

En hel del talar för att elektrifierade lastbilar kan ta betydande marknadsandelar i detta tidsperspektiv. Det är dock svårare att förutsäga fördelningen mellan fordon med förbränningsmotor drivna med biodrivmedel, batterifordon, bränslecellsfordon, fordon avpassade för elvägar och kombinationer där t.ex. batteri eller bränslecell agerar räckviddsförlängare. En nyckelfaktor för samtliga alternativ är infrastrukturen för energidistribution. Lågst trösklar har biobränslen. Laddstationer för elfordon har hittills byggts ut i takt med fordonsförsäljningen men kostnadsbildningen för storskalig utbyggnad av publika snabbbladdare för tunga fordon kan bli en bromsande faktor i vissa tillämpningar. Vätgas har idag ett obefintligt distributionsnät. Störst tröskel för energidistribution ser vi hos elvägstekniken, som kommer att kräva tunga investeringar för att fungera i större skala. Flera av teknikerna har tröskeleffekter eftersom det krävs tunga investeringar i ett inledande skede när intäkterna fortfarande är obefintliga eller små.

För att kunna byta energibärare på 10–25 år måste investeringarna påbörjas tämligen snart. Det krävs nya politiska beslut, finansieringslösningar och styrmedel för att komma över trösklar och skicka signaler till industrin att ändra produktion och produkt. Just nu har biobränslen lågst tröskel, på sikt kan däremot flera alternativ bli ekonomiskt bärkraftiga tack vare hög energieffektivitet, framför allt eldriftbaserade lösningar.

För lokal distribution kan redan i ett kort tidsperspektiv batterilösningar börja slå igenom, medan elvägar i tätortsmiljö inte är sannolika som lösning i större skala. För regionala transporter kan

rena batterilösningar ha svårare medan bränslecellsdrivna fordon ofta klarar sådana körsträckor och kan vara intressanta även med ett begränsat utbud av tankställen eftersom rutterna är förutsägbara och fordonen endast behöver tankas på en eller ett fåtal platser. Bränslecellsfordon i regiontrafik kan också samverka med elvägsnät där bränslecellen är räckviddsförlängare. Om samhällsaktörer beslutar att bygga ut elvägssystem i flera länder kan fordonstillverkarna förväntas ta fram elvägslastbilar för en större marknad, vilka kan kompletteras med mindre batterier eller bränsleceller för att kunna köras till och från elvägar, depåer och leveranspunkter.

Biogas kan växa som nischbränsle i lokala och regionala tillämpningar, men har sannolikt svårt att konkurrera med den effektivare eldriften på längre sikt och i bredare fordonstillämpningar.

För de långväga transporterna är valen färre. Där är alternativen för att klara räckvidden dieselliknande biodrivmedel, en ny infrastruktur för vätgas till bränsleceller, konvertering och infrastruktur till andra biodrivmedel eller elvägar. Ett väl utbyggt elvägssystem på stora transportstråk i kombination med bränslecell eller batteri skulle vara den mest energieffektiva lösningen, och kanske också den mest ekonomiska, på lång sikt.

För att bedöma de klimatsmarta teknikernas konkurrenskraft behöver man tänka bortom dagens situation med billiga fossila drivmedel och en redan väl utbyggd infrastruktur för att tillverka och distribuera dessa drivmedel, i kombination med en mogen fordonsteknik. Många av alternativen är i tidiga utvecklingsskedet. Det är svårt att bedöma kostnadsbilden för ägande och drivande av fordon, infrastruktur, behov av styrmedel, energikostnad och så vidare. Eldrift har en potential att ge enklare fordon än dagens förbränningsmotordrivna, och elektricitet har potential att vara klart billigare att driva fordonen med. Vätgas kan växa i en konkurrenskraftig nisch, kanske särskilt om det blir en del av ett framtida elsystem där det kan bli lönsamt att konvertera el till energibärare som gas eller elektrobränslen under tider då utbudet av el är högt, men då behovet är lågt, t.ex. vid massiv utbyggnad av vind- och solenergi.

Sammanfattningsvis presenterar vi i nedanstående tabell en tänkbar bild av hur de olika teknikerna skulle kunna utvecklas ungefär till åren 2030 respektive 2045. Vi utgår då från att nationell och internationell politik tar sikte på att ställa om vägtransporterna till fossilfrihet så snabbt som teknikskiftena medger, och att relevanta aktörer agerar därefter.

	Marknad år 2030			Marknad år 2045		
	Lokala godstransporter	Regionala godstransporter	Långväga godstransporter	Lokala godstransporter	Regionala godstransporter	Långväga godstransporter
Elvägar		x	x?		xx	xx
Biodrivmedel	xx	xx	xx	x	xx	xx
Batterifordon	xx	x		xx	xx	
Bränsleceller	?	x?		?	xx?	x??

x = Upp till 10 % av transportarbetet kan komma att utföras med denna teknik
 xx = Minst 10–20 % av transportarbetet kan komma att utföras med denna teknik
 ? = Mycket osäker utveckling.

Till 2030 är således biodrivmedel den enda teknik som kan få stort genomslag i alla transportapplikationer. Batterifordon kan få genomslag för lokala godstransporter. Elvägar kan börja få betydelse för vissa regionala transporter.

Till 2045 kan elvägar komma att ha en tydlig marknadsandel av långväga godstransporter, men det förutsätter en rad politiska initiativ på nationell och internationell nivå. Biodrivmedel kan fortfarande ha en stor roll, men kanske har de börjat stagnera eller minska när effektivare eltekniker har mognat. Biodrivmedel efterfrågas också allt mer av andra sektorer, t.ex. flyg, vilket



skapar konkurrens om det som produceras och minskar utrymmet för användning i vägtransporter. Elektrobränslen kan finnas men är svårbedömda. En betydande del av lokala och regionala transporter kan utföras med elfordon i varierande kombinationer av batterier och bränsleceller. Vätgas i bränsleceller har kanske tagit en del av el-nischerna där vätgas finns tillgängligt och transportförutsättningarna är de rätta. Det är dock svårt att förutse vilka tekniker som kan tänkas dominera.

Summary

This study has been performed by IVL Swedish Environmental Research Institute on behalf of the Swedish Transport Administration. In this report an analysis of various vehicle technologies and fuels is presented that will offer climate neutral alternatives to the current fossil fuel-dependent transportation of goods on road. The technologies have been analyzed by studying several technical, legal, operational, environmental, social and economic aspects. The non-fossil alternative technologies were compared in three transport applications, namely local, regional and long-haul freight transports. The techniques are as follows:

- Electrified roads (ERT)
- Battery electric vehicles (BEV)
- Fuel cell electric vehicles (FCV)
- Biofuels.

In the very short term the easiest way to reduce greenhouse gas emissions from on road freight transport will be to increase the use of renewable fuels. However, in an international perspective, there will not be enough sustainably produced renewable fuel available for the entire transport sector. Thus, it is not appropriate, or even possible, to replace more than a limited share of the current global use of fossil fuels for the transport sector with renewable alternatives from biological resources.

In a longer perspective however, there is a possibility that climate-neutral electrofuels can gradually substitute or replace traditional biofuels. The prospects for realization of this are still very uncertain. The market for electrofuels is only partially affected by the development of vehicles and fuels. It will also be dependent of the demand on electricity in a future when renewable, but more variable sources, will to a greater extent be utilized for production of electricity, such as wind and solar power.

In an outlook towards 2030 and 2045, several technological breakthroughs can be expected. New battery technology, cheaper fuel cells and autonomous vehicles will probably change the conditions for reducing climate impact significantly. Political measures at national and international levels will also significantly affect the transport market.

The current trends indicate that battery electric trucks can take a significant market shares until 2030 in some segments. Still, it is difficult to predict the distribution between battery electric vehicles and technologies based on combustion engines with renewable fuels, fuel cell vehicles, electric road systems, and combinations of these. A key factor for all alternatives will be the infrastructure for energy distribution. Biofuels have the lowest thresholds. Charging stations for electric vehicles are so far being established in line with the increasing sales of electric vehicles, but the costs for large-scale expansion of public fast chargers for heavy vehicles may become a decelerating factor. For hydrogen, there is virtually no established distribution network yet in Sweden or Europe. Most of the technologies studied has different thresholds to climb, since heavy investments are required at an initial stage, while revenues are non-existent or small. Electric road systems have the highest threshold, since it will require heavy investments to be introduced on a larger scale.

For making Sweden and Europe successful in changing the transport market to new energy carriers in the 10–25 years scope, many of the required investments have to be initiated soon. New

political decisions, financing solutions and instruments are needed to overcome thresholds and send signals to the industry to change into new production and new products. Although biofuels have the lowest barriers in a short time period, electricity-based solutions can become economically viable in the long run, due to higher energy efficiency compared to combustion engines.

For local distribution, the share of battery electric vehicles will probably increase in a short time perspective, while electric road systems are not likely to be established in urban areas due to the complicated infrastructure.

For regional transports, battery electric vehicle solutions may be more difficult due to limited range, while fuel cell vehicles may be more competitive in medium freight distances. Fuel cell vehicles can also be a favorable solution for regional freights even with a limited amount of fuel stations, since the routes are predictable, and the vehicles are refueled in one single location or at a few places. Fuel cell vehicles in regional traffic can also co-operate with electric road systems, where the fuel cells can operate outside the electric grid. If politics and other important stakeholders decide to expand the electric road systems, for instance in some major European countries, the vehicle manufacturers would be expected to produce vehicles adapted for electric road systems on a larger scale. Electric road vehicles must carry batteries or fuel cells to be able to drive between the electric road, depots and delivery points, however much smaller than batteries needed for full battery electric drive. Biogas may grow as a niche fuel in local and regional applications. But it is not very likely that biogas-fueled vehicles will be able to compete commercially in a larger scale with electric based technologies in the longer term, since electric vehicles are more energy efficient.

For long-haul transports, the choices are fewer. The fossil-free alternatives are restricted to biofuels, fuel cell vehicles in combination with a large-scale establishment of hydrogen filling stations, or to electric road systems. Maybe an extensive network of electric road systems, in combination with fuel cells or batteries as range extender, would be the most energy efficient solution, and could also be the most economically competitive solution, in the long run.

To be able to assess the competitiveness of the climate neutral technologies, it is necessary to think beyond the current situation where cheap fossil fuels are the normal standard, fuel infrastructure already well-established and where vehicle technology is very mature. In contrast many of the climate neutral options are in early stages of development. Future costs for ownership and driving of vehicles, infrastructure development and policy measures on an international level are all difficult to foresee. Electric vehicles offer opportunities to provide efficient vehicle technologies, and electricity has a potential to be a cheap energy carrier. Hydrogen, and possibly also electrofuels, may expand and compete in some niches, especially in a future energy system where a larger proportion of electricity will be produced by wind power and solar energy, electricity that may be profitable to convert into stored energy.

In summary, we present a picture of a possible development for the different technologies studied in this report towards 2030 and 2045 respectively in the table below.

By 2030, biofuels are the only technology that can play a major role in reducing the emissions of climate gases in all road transport applications. Battery electric vehicles may become an important technology in local freight transport. Electric road systems may appear in some regional transports.

	Market ~2030				Market ~2045		
	Local freight transports	Regional freight transports	Long distance freight transports		Local freight transports	Regional freight transports	Long distance freight transports
Electric road systems		x	x?			xx	xx
Renewable fuels	xx	xx	xx	x	x	xx	xx
Battery electric vehicles	xx	x			xx	xx	
Fuel cell vehicles	?	x?			?	xx?	x??

- x Up to 10 % of freight transports can be made with this technology
- xx At least 10–20 % of freight transports can be made with this technology
- ? The development is very difficult to foresee

By 2045, electric road systems may be established as an important technology with a substantial market share for long-haul freight transport, although several political initiatives at international level will be required. Biofuels can still play a major role, but the combustion engine may have stagnated or decreased since the more efficient electric vehicles technologies have grown in importance. Biofuels are likely to increase in other sectors, e.g. flights. Electrofuels may be commercialized, but this is very difficult to predict. A significant part of local and regional transport may be carried out by electric vehicles in varying combinations of batteries and fuel cells. Hydrogen in fuel cells could have taken some of the electricity niches, if hydrogen will be available, and the transport conditions are suitable. The conclusion is that with all these inter-dependent and varying conditions that are at hand, it is very difficult to predict which of these technologies or combination of technologies that might dominate and for which application.

Förkortningar och ordlista

DME= Dimetyleter

FAME= Fettsyrametylester

HEFA = Hydrerade etrar och fettsyror (ett vidare begrepp som innefattar HVO)

HVO = Hydrerad vegetabilisk olja

RE = Range Extender - räckviddsförlängning, t.ex. en förbränningsmotor som driver fordonet när batteriet blivit urladdat)

TCO = Total cost of ownership. Helhetsbild av kostnaden att äga och driva ett fordon inkluderande inköp, underhåll, andrahandsvärde, driftkostnader mm.

LCA-perspektiv = Miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv med tillverkning av råvaror, förädling, användning och avveckling eller återanvändning.

Inledning och syfte

Vägtransporter står idag för ca 30 procent av Sveriges klimatpåverkande utsläpp (TRV 2017) och ca 20 procent av vägtransporternas utsläpp härrör från godstransporter. Medan andra sektorer i samhället kan finna olika sätt att ersätta fossila energikällor med förnyelsebar energi eller finna andra lösningar är lastbilstransporter fortfarande i högsta grad beroende av fossila drivmedel. En orsak till detta är att tunga fordon som rör sig över stora avstånd behöver energitäta drivmedel, som kan lagras ombord på fordonen utan att konkurrera om utrymme och vikt med nyttolasten. Dock finns alternativ, som i framtiden skulle kunna göra även godstransporter i stort sett klimatneutrala.

Syftet med denna studie är att analysera möjligheterna och vilka förutsättningar som krävs för att den några av dessa alternativ ska nå mognad och ett kommersiellt genombrott, och vad som kan vara drivkrafter eller hinder för att detta ska realiseras. Analysen utgår från befintlig kunskap och antaganden om respektive tekniks möjligheter, men då utvecklingen inom området går fort kan förutsättningarna snabbt förändras och dessa bedömningar behöva uppdateras, t.ex. om ett viktigt teknikgenombrott sker, eller politiska eller kommersiella drivkrafter stärks på ett avgörande sätt. Det tidsperspektiv vi använt i analyserna har varit dels ett relativt kort (2030), dels ett längre (2045).

Tekniker och applikationer

De tekniker som analyserats är följande:

- Elektrifiering av vägen (elväg), där elektriskt drivna fordon förses med elektricitet under gång. Tre tekniska metoder har analyserats:
 - luftledning över fordon,
 - konduktiv överföring i kontaktskena i marknivå
 - induktiv överföring från ledning under vägbanan.
- Elektrisk drift med batteri, som laddas intermittent i fasta laddstationer
- Elektrisk drift med bränsleceller med, i första hand, vätgas som energibärare.
- Biodrivmedel baserat på
 - gaser (biometan eller DME),
 - alkoholer (etanol och metanol)
 - dieselliknande flytande bränslen (HVO eller FAME).

Man kan också tänka sig kombinationer av dessa för vissa transportlösningar. T.ex. kan ett fordon anpassat för elväg förses med mindre eller större batterier eller bränsleceller för autonom drift, ett batterifordon kan använda en förbränningsmotor som räckviddsförlängare osv. Traditionellt fossilt dieselbränsle är inte en klimatneutral lösning och teknikerna har inte ställts i relation till detta alternativ. Däremot har vi tagit i beaktande att befintlig infrastruktur kan gynna vissa av alternativen. Genomgående för alternativen är att inget av dem idag står för någon större andel av transportarbetet och med undantag av vissa av biodrivmedlen har de endast förekommit i demonstrations eller för-kommersiell skala. Det innebär bl a att en ekonomisk utvärdering blir ganska spekulativ.

För en mer ingående teknisk beskrivning av alternativen hänvisas den intresserade läsaren till bra rapporter i referenslistan, t.ex. Zhao et al. (2018) "A Comparison of Zero-Emission Highway Trucking Technologies". Elvägstekniker beskrivs också mer i detalj i bilagedelen till rapporten från World Road Association (2018) "Electric road systems-a solution for the future?"

Vi har också sett på olika typer av godstransporter, då förutsättningarna kan skilja sig mycket för de olika alternativen beroende på applikation. Tre typfall har analyserats:

- Lokala transporter där fordonen rör sig inom ett begränsat område, såsom en stad, t.ex. distributionsbilar, sopbilar. Dessa har ofta ganska korta körsträckor och startar och slutar sin arbetsdag på samma plats.
- Regionala transporter, där fordonen kör längre sträckor, men i relativt fasta ruttor och dagligen återkommer till samma plats.
- Långväga transporter, som rör sig över stora områden, har långa körsträckor och är beroende av en väl utbyggd och pålitlig infrastruktur för sin energiförsörjning.

Metod

Kunskapsunderlaget har vi hämtat från en inledande litteraturstudie. Det pågår i dagsläget ett flertal studier både i Sverige och internationellt och många av de studerade rapporterna är mindre än tre år gamla. Vi har haft återkommande diskussioner med experter på de olika tekniska lösningarna under projektet, vidare har vi haft två workshops med referensgruppen.

Resultaten och slutsatserna har vi baserat på en slags multikriterieanalys. Tidigt i projektet listade vi upp aspekter och kriterier som vi ansåg relevanta för att göra en bedömning av teknikernas möjligheter och potential. De kriterier vi bedömde var:

- Teknik
- Legalt och standard
- Aktörer
- Miljöpåverkan
- Socioekonomi

Samma kriterielista har vi använt för samtliga alternativ, även om vissa kriterier inte varit applicerbara på alla, eller sett olika ut. T.ex. avser vi med ”produktionsanläggningar för drivmedel” anläggningar för elproduktion till elvägar och batterier, medan det handlar om produktion av drivmedel i kemisk form för bränsleceller eller biodrivmedel.

Utgångspunkten är ett scenario där teknikerna ska ha introducerats i stor skala och för varje aspekt har vi då bedömt om just denna aspekt i så fall är en drivkraft som kan tala för att tekniken får stort genomslag (t.ex. möjlighet till minskade driftkostnader), är neutral eller får en nackdel. Vissa aspekter kan rent av vara ett så stort hinder att det inte ser ut att vara möjligt att applicera tekniken (”show stopper”). Förutom den bedömningen har vi också bedömt hur säker man kan vara på att bedömningen är riktig på en skala från att vara säker i bedömningen, till något man kan anta eller om det är i praktiken omöjligt att veta i dagsläget (t.ex. för att det är för många osäkra parametrar). Varje aspekt har bedömts utifrån sina egna förutsättningar, d.v.s. om just denna aspekt är till fördel eller nackdel för den bedömda tekniken, detta oavsett om den aspekten är av stor eller liten vikt i den totala bedömningen. Vissa aspekter kan tänkas vara av större betydelse, men ibland kan ju även små tuvor stjälpa stora lass. I den samlade bedömningen har sedan alla aspekter ställts samman till en helhet.

De bedömda aspekterna för respektive kriterium var:

- Teknik:
 - Produktionsanläggningar för drivmedel
 - Fordonsteknik
 - Transportapplikation (lokal, regional, långväga)
 - Energilager ombord på fordon (tankar eller batteri)
 - Distribution av energi
 - Infrastruktur för lokal lagring och överföring till fordon (Tankstationer eller kontaktledningar)
 - Energieffektivitet
 - Installation i vägmiljö
 - Drift och underhåll av väganläggning
 - Råvarubas
- Legalt och standard

- Översyn av befintlig lagstiftning
- Styrmedel
- Kemikaliefrågor och säkerhetsaspekter
- Återvinning / Avfall
- Standarder
- Produktionsanläggningar och miljötillstånd
- Anläggningar för överföring, miljötillstånd
- Risk för inlåsningseffekter
- Aktörer
 - Energibärrarproducenter (producenter av el, vätgas eller biodrivmedel)
 - Fordonstillverkare
 - Användare (t.ex. åkerier och chaufförer)
 - Transportköpare (t.ex. logistikföretag, speditörer etc.)
 - Leverantörer till fordonsindustri (inkl. elkomponenter etc.)
 - Distribution av energi
 - Laddinfrastruktur
 - Väganläggning
 - Infrastruktursleverantörer
 - Politiska aktörer
- Miljöpåverkan
 - Fordon och emissioner
 - Anläggning för överföring till fordon
 - Anläggning för energiproduktion
 - Återvinning / Avfall
 - Landskapsupplevelse: påverkan av anläggning för överföring av energi till fordon
 - Landskapsupplevelse: produktionsanläggningar för energi
 - Kulturmiljövärden: påverkan av anläggning för överföring av energi till fordon
 - Kulturmiljövärden: påverkan av produktionsanläggningar för energi
 - Naturmiljö och biologisk mångfald: påverkan av anläggning för överföring av energi till fordon
 - Naturmiljö och biologisk mångfald – påverkan av produktionsanläggningar för energi
- Socioekonomi
 - Mänskliga rättigheter
 - Ekonomisk hållbarhet

Baserat på analysen dessa aspekter gör vi sedan en samlad helhetsbedömning av varje teknisk lösning. Bedömningarna har i stort sett utgått från svenska förhållanden, men vi är väl medvetna om att internationella ställningstaganden och utveckling kommer att påverka stort. Fordonsmarknaden är internationell. Om nya klimatsmarta tekniker ska kunna få stor betydelse i Sverige behöver de även vara framgångsrika på flera större marknader. Tanken är sedan att detta underlag och analysmetod ska kunna uppdateras framöver i takt med att utveckling sker av de olika teknikspåren.

Bedömningen av elvägar

Vid bedömningen av tekniska aspekter enligt ovan avses för "Produktionsanläggningar för drivmedel" produktionen av elektricitet. "Energilager på fordon" avser batterier eller bränsle till annan utrustning för att tillfälligt kunna köra autonomt. "Infrastruktur för lokal lagring och överföring till fordon" avser överföringen av el i anslutning till vägen t.ex. i kontaktledning. "Råvarubas" inkluderar även material till hela anläggningen.

Bland aktörer som berörs av elvägar har vi även beaktat stödladdning av ombordsbatterier.

Miljöbedömningen inkluderar produktion och produktionsanläggningar av elenergi och all utrustning för installationerna utmed vägarna.

Bedömningen av eldrift med batterier

Vid bedömningen av tekniska aspekter avses för "Produktionsanläggningar för drivmedel" produktionen av elektricitet. "Energilager på fordon" avser batterier. "Infrastruktur för lokal lagring och överföring till fordon" avser laddstationer. "Distribution av energi" eldistributionen till laddplatser "Installation i vägmiljö" avser laddplatser (eller snarare i anslutning till denna). "Råvarubas" avser råvara till såväl elproduktion som material till batterier och laddinfrastruktur.

För de aktörer som har beaktats har batteriproducenter och laddinfrastruktur större betydelse i detta fall, medan väghållning etc. berörs i liten mån.

Miljöbedömningen inkluderar produktion och produktionsanläggningar av elenergi och batterier, samt all utrustning för installationerna av laddinfrastruktur.

Bedömningen av bränsleceller

Vid bedömningen av tekniska aspekter avses för "Produktionsanläggningar för drivmedel" produktionen av vätgas, vilket även kan innefatta elektricitet till vätgasproduktionen. "Energilager på fordon" avser framför allt vätgaslagring men också batterier. "Infrastruktur för lokal lagring och överföring till fordon" avser främst vätgashantering. "Råvarubas" avser råvara till såväl elproduktion som också material till vätgasproduktion och distributionssystemet.

För de aktörer som har beaktats tillkommer utöver dem som nämns ovan även producenter av vätgas, vilket kan vara såväl kemiindustri som elproducenter. Distribution och tankinfrastruktur blir också speciell med vätgas, men kan även innefatta samma aktörer som idag är aktiva på bränslemarknaden.

I miljöbedömningen ingår också en potentiell möjlighet att lagra energi i form av vätgas vid förnybar elproduktion.

Bedömningen av biodrivmedel och elektrobränslen

Vid bedömningen av tekniska aspekter tas vid "Energieffektivitet" hänsyn till verkningsgraden i förbränningsmotorn och i tillverkningsledet från råvara till drivmedel. I "Råvarubas" inkluderas behovet av råvaror till drivmedel, infrastruktur och fordon. Begreppen "Installation i vägmiljö" och "Drift och underhåll av väganläggning" är inte aktuella för biodrivmedel.

För de aktörer som har beaktats har batteriproducenter och laddinfrastruktur mindre betydelse i detta fall, medan väghållning etc. berörs i liten mån.

Miljöbedömningen inkluderar produktion och produktionsanläggningar av drivmedel samt utrustning för distribution. Dessutom beaktas utsläpp från förbränning i fordonet.

Resultat och bedömningar

Nedan redovisas våra samlade bedömningar för respektive teknik. Först en sammanfattande helhetsbedömning följt på ett resonemang kring respektive kriterium

Elvägar

Vi har beaktat tre varianter av elvägsteknik:

- konduktiv överföring i kontaktledning över fordon (nedan kallad "luftledning")
- konduktiv överföring via kontaktledning i eller i direkt anslutning till vägbana (nedan benämnd "kontaktskena")
- induktiv överföring från ledning i vägbana (nedan benämnd "induktiv")

I detta dokument har vi använt benämningarna "luftledning", "kontaktskena" respektive "induktiv". Först ges en bedömning som gäller elvägar generellt. Därefter kommer en text som beskriver specifika aspekter för de tre olika tekniska lösningarna.

Sammanfattande bedömning

Som långsiktig lösning att uppnå en koldioxidneutral godstransportlösning har elvägstekniker stor potential, både vad avser emissioner och energieffektivitet. Med överföring av el direkt till fordonen under färd minskas behovet av energilagring på fordonet högst avsevärt, d v s stora batterier eller annan utrustning för räckviddsförlängning såsom förbränningsmotorer eller bränsleceller. Den tekniska lösningen för fordonet kan därmed möjligen förenklas, samtidigt som en ekonomisk potential finns i och med att kostnaden för "bränslet", dvs elen förväntas vara lägre än för kemiska bränslen.

Största utmaningen ligger i utbyggnaden av eldistributionen till fordonen, som innebär en hög investeringskostnad (ca 15 - 30 miljoner SEK/motorvägs km beroende på hur stor andel av sträckan som behöver elektrifieras), samtidigt som det kommer att krävas högt utnyttjande för att ge lönsamhet. Kopplat till detta ligger en annan utmaning i att det är många aktörer involverade och det kan krävas nya affärsmodeller både för inköp och ägande av fordon (som blir mindre flexibla), kostnadstäckning av investeringarna och debitering av el, men kan också innebära möjlighet till nya lösningar. Regelverk och lagstiftning kommer också att behöva ses över, då dessa inte är anpassade för denna typ av system.

Luftledning: Denna teknik är i dagsläget den mest utvecklade och ett antal demonstrationssträckor har byggts. Påverkan på vägbanan blir liten, men tillgängligheten till vägen för underhåll och snöröjning etc. kan försämrats av all kringutrustning. Tekniken är i princip endast tillämpbar för stora fordon. Uppförandet av luftledningarna kommer också att påverka landskapsbilden.

Konduktiv: Jämfört med andra lösningar för elvägar har denna fördel i att den också potentiellt kan utnyttjas av andra fordon än lastbilar, detta förutsatt att det går att enas om standardfrågor. I och med att el hanteras i marknivå i kontaktskenor gör att säkerheten måste beaktas så att ingen (människa eller djur) under några omständigheter kommer i kontakt med strömförande utrustning.

Induktiv: Denna teknik har lägst teknikmognad och förekommer endast i kortare demonstrationssträckor. Fördelarna är främst att påverkan på vägbanan efter installation är minimal, ingen risk för kontakt med strömförande ledning samt att det är en lösning som skulle kunna användas av flera typer av fordon. Det finns risk att vissa trafikanter kan uppleva oro för höga magnetfält

Teknik

Elvägar bedöms ha stor potential att ge energieffektiva och klimatanpassade transporter. Tekniska utmaningar finns, men kan ses som "ingenjörproblem". Tekniskt sett är elvägstekniken ännu inte klart för fullskalig implementering, utan befinner sig fortfarande på demonstrationsstadiet. Fordonstekniskt finns möjligheter till enklare lösning om stora batterier eller kompletterande teknik, såsom förbränningsmotorer eller bränsleceller kan undvikas. Kombinationstekniker (hybrider) är dock möjliga för tillämpningar där detta bedöms vara en fördel.

Störst möjligheter att införa tekniken finns för geografiskt begränsade applikationer (t.ex. logistikcentra) följt av regionala transportlösningar, t.ex. standardtransporter såsom skytteltrafik till samma destination från samma utgångspunkt (t.ex. inom industriområden och godsterminaler, mellan två orter, eller mellan lager och slutkund). Dock krävs viss volym (antal transporter) för att få lönsamhet, vilket kan vara svårt om man bara har mindre, lokala eller regionala utbyggnader.

En stor utmaning ligger i att det blir en kostsam utbyggnad och stor påverkan på offentliga aktörer. Ökat effektbehov hos elsystemet kan behöva åtgärdas, men man kan också förvänta sig att effektbehovet är relativt väl fördelat över dygnet och belastningen är ganska låg under tider då effektbehovet annars är högt. Lönsamhet kräver högt utnyttjande av anläggningen (tröskeleffekt).

Luftledning: Denna teknik är i dagsläget den mest utvecklade och ett antal demonstrationssträckor har byggts. Påverkan på vägbanan blir liten, men tillgängligheten till vägen för underhåll och snöröjning etc. kan försämrats av all kringutrustning. Tekniken är i princip endast tillämpbar för stora fordon, vilket begränsar kundunderlaget och kan bli ett hinder för storskalig utbyggnad.

Konduktiv: En fördel med denna teknislösning är att den också potentiellt kan utnyttjas av andra fordon än lastbilar, detta förutsatt att det går att enas om standardfrågor. I dagsläget har olika leverantörer olika förslag på teknislösning. Vägunderhållet kompliceras av att kontaktledningen ligger i vägbanan och måste vara tillgänglig för vinterväghållning och beläggningsarbeten mm. I och med att el hanteras i marknivå i kontaktskenor gör att säkerheten måste beaktas så att ingen (människa eller djur) under några omständigheter kommer i kontakt med strömförande utrustning.

Induktiv: Denna teknik har lägst teknikmognad och förekommer endast i kortare teststräckor. Fördelarna är främst att påverkan på vägbanan efter installationen är minimal vilket ger enklare väghållning och mindre risker för omgivning med induktiv teknik i jämförelse med kontaktledning eller skena, samt att det är en lösning som skulle kunna användas av flera typer av fordon. Dock är det i dagsläget svårare att överföra tillräckligt med energi för att driva stora fordon i hög hastighet. Vissa trafikanter kan uppleva oro för höga magnetfält.

Legalt och standard

Mycket återstår att göras på detta område. Regelverk kan ta tid att få på plats och vara juridiskt komplext, t.ex. har elnätsramlagstiftning och vägnätsramlagstiftning utvecklats utan samordning.

Det finns förslag på standarder, men det är svårbedömt var man landar och många aspekter, allt från elsystem (t.ex. överenskommen spänning i nätet) till tekniska lösningar i fordon är ännu osäkra. Risk finns för inlåsningseffekter, som påverkar teknikval och möjligheter till mer effektiva framtida teknislösningar. I dagsläget sker utveckling parallellt hos flera leverantörer, med delvis olika lösningar. Styrmedel är troligen en förutsättning för att få till stånd en utbyggnad och få upp volymen av användandet, men på sikt finns potential till sänkta transportkostnader, då el kan förväntas bli billigare och effektivare än bränslen och eventuellt även ge tekniska fördelar i fordonen. Översyn av frågor kring mark och tillgänglighet utmed vägnätet krävs och vissa säkerhetsfrågor behöver behandlas. Internationella samarbeten och standarder krävs inför storskalig utbyggnad i framtiden och för att slippa omlastningar eller byten av dragfordon.

Luftledning: Specifika aspekter är att denna teknik ger större påverkan på landskapsbild, vilket kan innebära frågor kring tillstånd och liknande. Säkerhetsfrågor bör vara lättare att hantera då ledningarna är långt ifrån övriga användare av transportsystemet och all erfarenhet från tåg kan användas. Många frågor har redan behandlats i anslutning till demonstrationsprojekten.

Konduktiv: Säkerhetsfrågor blir viktiga, då kontaktskenan kan vara exponerad för människor och djur. Fördelen är att en utbyggd infrastruktur potentiellt kan samutnyttjas för flera fordonstyper, men detta gäller endast om gemensamma standarder och tekniska lösningar kan användas.

Induktiv: Säkerhetsfrågor blir mindre kritiska, då elledningar inte blir exponerad för människor och djur, men en diskussion om de starkare magnetfält som denna tekniken ger har några hälsoaspekter. Fördelen med att en utbyggd infrastruktur potentiellt kan samutnyttjas för flera fordonstyper gäller endast om gemensamma standarder och tekniska lösningar kan användas.

Aktörer

Elvägar kommer att innebära att många fler aktörer involveras i transportlösningen och att de blir beroende av varandra, vilket innebär utmaningar. Även nya aktörer kommer att involveras. Vissa av dessa har dock kapacitet att bära stora utvecklingskostnader.

Elvägstekniken har låg mognad, men hög potential. Det behöver utvecklas modeller för samverkan, gränsdragningar och kostnadsallokeringar. Det finns förslag till modeller (se t.ex. Andersson et al., 2018), men mycket nytänkande behövs för att finna affärsmodeller för elvägar. Det kan vara svårslutligt just för att stora investeringar behövs innan man kan debitera kunder. Vem investerar i infrastruktur och elkapacitet? Hur mycket ska bäras av offentliga medel? Hur ska beskattningen utformas? Förslag finns, men det är svårbedömt var man landar. Det är också svårt att i dagsläget bedöma TCO (total cost of ownership) för transportutförarna och därmed kundacceptans.

Ur ett användarperspektiv är tillgänglighet, andrahandsvärde och räckvidd viktiga aspekter, samtidigt som förarna ofta upplever att eldrift ger en bättre arbetsmiljö. På sikt finns hög potential för elvägar att vara en kostnadseffektiv lösning på klimatpåverkan från godstransporter. Ny teknik som utmanar etablerad teknik ger möjligheter för nya "hungriga" aktörer. Det krävs dock aktiv offentlig och internationell medverkan kring styrmedel och finansiering om marknaden ska etableras brett.

Luftledning: Tekniken har kommit längre vad avser demonstrationssträckor etc. men fortfarande kan det finnas behov av aktörer som är villiga att satsa på ytterligare försöksprojekt. I och med att tekniken endast är tillämpbar för större fordon kan man tänka sig att investerare och andra aktörer är mindre intresserade av att delta i en utbyggnad.

Konduktiv: Tekniken är mindre utvecklad och de demonstrationssträckor som byggts är kortare, så det finns fortfarande behov av aktörer som är villiga att satsa på ytterligare försöksprojekt. I och med att tekniken är tillämpbar för andra fordon kan man tänka sig att investerare och andra aktörer är mer intresserade av att delta i en utbyggnad, men olika aktörer har olika tekniklösningar de fokuserar på, så det är oklart om man kan landa i en gemensam lösning och standard.

Induktiv: Denna teknik är minst utvecklad och de demonstrationssträckor som byggts är få och korta, så det finns fortfarande stort behov av aktörer som är villiga att satsa på ytterligare försöksprojekt. I och med att också denna tekniken är tillämpbar för andra fordon kan man tänka sig att investerare och andra aktörer är mer intresserade av att delta i en utbyggnad, men olika aktörer har olika tekniklösningar de fokuserar på, så det är oklart om man kan landa i en gemensam lösning och standard. Väghållarna ser en fördel i att elöverföringen har mindre påverkan på vägbanan.

Miljöpåverkan

Elvägar visar stor potential att nå en koldioxidneutral lösning på godstransporter, förutsatt elproduktion sker förnybart. Detta samtidigt som andra emissioner från fordonen reduceras till noll. De olika teknikerna för elvägar skiljer sig med avseende på påverkan av landskapsbild, undantaget viss utrustning som krävs för eldistribution utmed vägen som kan behöva inhägnas i samtliga fall. Däremot kan elproduktionsanläggningarna påverka landskapsbilden mer påtagligt. Sammantaget är elvägslösningar troligen en av de mest lovande lösningarna ur ren miljösynpunkt, särskilt vad avser trafik på landsväg och leder. Mark utanför vägområdet kan behövas för likriktarstationer längs med elvägen.

Luftledning: Denna teknik kommer att påverka landskapsbilden mer påtagligt än de andra och därmed potentiellt utmana natur- och kultur-värden. Ur resurssynpunkt i ett livscykelperspektiv kan en nackdel vara att den kräver mer material för utbyggnad.

Konduktiv: Denna teknik kommer att ge mindre påverkan på landskapsbilden då kontaktskenor och annan utrustning ligger nära vägmiljön. Ur resurssynpunkt i ett livscykelperspektiv krävs en hel del material för utbyggnad och underhåll, men mindre än luftledningsalternativet.

Induktiv: Denna teknik kommer att ge minst påverkan på landskapsbilden då elledningar är helt dolda och annan utrustning ligger nära vägmiljön. En hel del material krävs för utbyggnad, men mindre än luftledningsalternativet. Induktiv överföring är något mindre energieffektiv.

Socioekonomi

Om viss mark behöver lösas in p g a elanläggningen utmed vägen, kan detta ses som en social aspekt. Detta gäller för kringutrustning till samtliga alternativ. Likaså finns markaspekter vid anläggning för elproduktion.

Eldrift är ofta en fördel för chaufförernas arbetsmiljö, p g a lägre buller och vibrationer, samt mindre störande för omgivningen.

Ur ekonomisk synvinkel har tekniken stor potential, främst i och med att kostnaden för "bränslet" d.v.s. elektriciteten kan förväntas vara lägre än för förnybara bränslen och vätgas, och energieffektiviteten är hög. Man kan också förvänta sig att fordonskostnad kan reduceras när stora batterier eller förbränningsmotorer kan undvikas. Dock finns frågetecken kring total ägarkostnad

(total cost of ownership, TCO) vad gäller t.ex. andrahandsvärde och utfallet vad avser servicekostnader.

På minussidan kan man notera att höga tröskeeffekter uppstår p.g.a. stort investeringsbehov, som måste finansieras innan man kan få intäkter från användarna. Det krävs också stora volymer för att nå lönsamhet och detta blir ett särskilt problem under den tidiga utbyggnaden (i perspektivet 2030). Dessa tröskeeffekter kan göra att implementeringen av elvägar tar lång tid, beroende på hur finansiering kan lösas eller vilken strategi man väljer under utbyggnad.

Eldrift med batterier och laddstationer

Här bedöms tekniska lösningar där fordonen drivs med el, som lagrats i batterier ombord och laddas intermittent i laddstationer.

Sammanfattande bedömning

Denna teknik är beprövad för personbilar och stadsbussapplikationer och teknikmognaden är hög. Fordonen blir emissionsfria och tystare, och den totala energieffektiviteten är god. Driftkostnader kan hållas nere då elektricitet är billigare än traditionella (eller biobaserade) bränslen och energieffektiviteten minskar dessutom behovet.

Dock finns begränsningen ligger i batteriernas kapacitet, som innebär kortare räckvidd och kräver tid för laddning, vilket gör att tekniken är mindre lämplig för applikationer där detta är kritiskt. På sikt kan batteritekniken, och därmed räckvidd och laddningstid, förbättras genom ett större teknikgenombrott och då ökas antalet möjliga applikationer. Batterier har i dagsläget också en hög kostnad, vilken dock sjunker i takt med att fler elfordon produceras.

Bäst lämpar sig tekniken för godstransporter som körs inom begränsade områden och med många stopp, t.ex. i städer. Detta eftersom det är vid start och stopp (höga effektuttag) som traditionella motorer är minst effektiva och bromsenergi kan återvinnas genom att ladda upp batterier. För fordon som idag dessutom använder dieselmotorns kraftuttag för andra ändamål (t.ex. kompaktering av sopor) har batteridrift stora fördelar. Däremot blir kostnad och utrymme problematiskt för fordon som kräver längre räckvidder eftersom det då krävs mycket stora batterier. Eldrift med batteri kan kombineras med andra metoder, t.ex. elvägar för vissa sträckor eller räckviddsförlängare såsom bränsleceller eller förbränningsmotorer. Fordonen blir då mer komplexa och kostnaden ökar, men kan ändå löna sig för vissa tillämpningar.

Nya affärsmodeller för att finansiera utbyggnad av laddinfrastruktur och för att hantera höga batterikostnader kan behöva utvecklas vidare och standarder behövs, som är teknikneutrala och därmed undviker inlåsningseffekter.

Produktion och återvinning av batterier är en aspekt som blir allt mer kritisk ju större genomslag tekniken har. Tillgång till kritiska material, resursineffektiv batteriproduktion och outvecklade återvinningsmöjligheter kan bromsa utvecklingen.

Teknik

Denna tekniklösning har potential att ge energieffektiva och klimatanpassade transporter, förutsatt att elproduktion baseras på förnybara energikällor. För närvarande är kostnad, vikt och volym på batterier främsta tekniska hindret som gör att det är svårt att applicera på fordon för långväga transporter. I första hand är eldrift med batterier tillämpbar för lokala tillämpningar, t.ex. distribution i städer, fordon som opererar i "slutna system" på begränsade ytor, sopbilar och arbetsfordon, där tekniken kan ge många fördelar.

Möjligheter till hybridlösning (med t.ex. förbränningsmotorer eller bränsleceller som räckviddsförlängare) kan utöka användningsområden, men innebär mer komplexa och dyrare fordon. Eldrift med batteri kan också kombineras med laddning i elväg och i sån tillämpning kan det bli en avvägning mellan batterikapacitet för att driva fordonet där elväg saknas och laddning utmed väg.

Tekniska utmaningar finns främst vad gäller batterier, både avseende batteriteknik och batteriproduktion. I övrigt är tekniken tämligen mogen, kommersiellt tillgänglig och beprövad för personbilar och bussar. I ett 2030 - 2045-perspektiv kan man förvänta sig att tekniken utvecklats ytterligare mot högre kapaciteter, lägre vikt och lägre kostnad. Materialfrågor kring batterier och återvinning kan komma att utgöra hinder vid snabb och storskalig utbyggnad. Utbyggnad av laddinfrastruktur krävs och för att få lönsamhet krävs att anläggningen utnyttjas frekvent (tröskeleffekt). Möjlighet till samordning med personbilar och bussar kan gynna införande och är en positiv aspekt. Möjlighet att införa "smarta elsystem" tack vare en stor kapacitet av inkopplade batterier kan gynna utnyttjandet av förnyelsebar elproduktion. Här kan även batterier som inte längre duger till fordonsapplikationen återanvändas (second life) i smarta elsystem.

Legalt och standard

Batteritekniken är den viktigaste aspekten både vad avser tillverkning och återvinning av potentiellt resursknappa material. Här finns både tekniska och legala aspekter. Mycket av erfarenheter vad gäller regelverk mm kan dras från busstillämpningar, som idag finns i kommersiell skala.

Styrmedel för att gynna återvinning är nödvändiga och kräver internationell samverkan. Teknikstandarder finns, men viss risk finns för inlåsningseffekter, som påverkar teknikval och möjligheter till mer effektiva framtida tekniklösningar. T.ex. kan det förekomma att vissa tillverkare kräver egna standarder. Precis som för elvägar är internationellt samarbete viktigt och gemensamma lösningar kan minska kostnader för produktion och teknikutveckling. Styrmedel är troligen en förutsättning för att få till stånd en utbyggnad och få upp volymen av användandet, men på sikt finns potential till sänkta transportkostnader, då el kan förväntas bli billigare och effektivare än bränslen och även ge tekniska fördelar i fordon när förbränningsmotorer kan undvikas.

Aktörer

Det finns vissa utmaningar kring att det är många aktörer som är beroende av varandra, dock färre än vid elvägar. Även nya aktörer kommer att involveras. System för personbilar och bussar ligger längre fram i utvecklingen och samordning med andra fordonsslag är en möjlighet till att involvera nya aktörer. Ny teknik som utmanar etablerad teknik ger möjligheter för nya "hungriga" aktörer. Det är oklart hur utbyggnad av infrastruktur ska finansieras och vilken roll offentliga och privata

aktörer kan tänkas ta på sig för olika typer av laddtjänster. Intäktsmodeller och betalsystem behöver utvecklas mellan aktörer.

Den främsta osäkerheten ligger i hur man finansierar batterilösningen, då det blir en dyr och känslig komponent med osäker livslängd. Det har föreslagits olika leasingssystem, antingen av batterier eller hela fordon. Ett sådant skulle också möjliggöra att kunden kan få tillgång till senaste tekniken under fordonets livslängd. Frågor kring återvinning och återanvändning (second life) återstår att klara ut.

Tillämpning för personbilar och bussar ligger idag ganska långt framme, så det finns modeller att ta efter. För en riktigt storskalig utbyggnad kan liknande frågor som för elvägar bli aktuella, dvs: Vem investerar i infrastruktur och elkapacitet? Hur mycket ska bäras av offentliga medel? Hur ska beskattningen utformas? Denna lösning kan underlättas av att det är lättare att införa smarta elsystem, men kan det påverka affärsmodellerna om fordonsbatterier också används för att stabilisera elinfrastruktur?

På sikt finns potential för eldrift med batterier att vara en kostnadseffektiv lösning på klimatpåverkan från vissa typer av godstransporter. Ur ett användarperspektiv är tillgänglighet, andrahandsvärde och räckvidd viktiga aspekter, samtidigt som förarna ofta upplever att eldrift ger en bättre arbetsmiljö.

Miljöpåverkan

Stor potential att minska emissioner och klimatpåverkan från framför allt lokala transporter, där detta kan vara den mest lovande lösningen ur ren miljösynpunkt. Låga (inga) avgas-emissioner, minskade bullernivåer och hög energieffektivitet ger stora fördelar. Frågor kring resursknappa material och återvinning av batterier är den största svårigheten och osäkerheten som kan ge betydande miljöpåverkan under de närmaste decennierna. Laddinfrastrukturen kommer att ta en del mark i anspråk, särskilt om den byggs i stor skala för alla typer av transporter. Största påverkan på mark, landskap etc. ger emellertid utbyggnaden anläggningar för elproduktion.

Socioekonomi

Utvinning och hantering av nya material kan potentiellt vara problematisk, beroende på hur man hanterar råvaruutvinning, produktion av batterier och elkomponenter. När behoven ökar, ökar också risken att det blir brist på kritiska råvaror (något som redan idag ses som ett problem). De blir då antingen kostsammare, utvinns under undermåliga förhållanden, eller stöder konflikter.

Eldrift är ofta en fördel för chaufförernas arbetsmiljö, på grund av lägre buller och vibrationer, samt mindre störande för omgivningen.

Tekniken har god potential för vissa tillämpningar, där energikostnaden kan hållas lägre genom att elektricitet är billigare än bränslen och att energieffektiviteten är hög. Dock kan den med dagens batteriteknik bli orimligt kostsamt för längre godstransporter, i och med att stora batteripaket blir kostsamma och konkurrerar med utrymmet för nyttolasten, vilket påverkar lönsamheten i transporten. Med teknikutveckling på batterisidan eller snabbare och effektivare laddteknik kan möjligheter till beredare tillämpningar öppnas på längre sikt (beakta t.ex. var batteritekniken stod för 10 år sedan då Li-jon var på väg att introduceras och marknaden var liten för transportapplikationer).

Eldrift med batteri kan kompletteras med räckviddsförlängningsteknik, vilket ökar användbarhet, men också komplexiteten och därmed kostnaden för fordonen. Nya affärsmodeller för att hantera batterikostnaden kan bli aktuella. Batterikostnaden kan alltså förväntas minska på sikt, men ökat behov av dyra och allt mer resursknappa material kan verka i motsatt riktning. System för återanvändning och återvinning av batterier kommer också att påverka kalkylen genom ökade kostnader för hantering, men också vissa intäkter från återvinningen.

Bränsleceller

Här ges en översikt över olika aspekter på att använda bränsleceller för att uppnå klimatneutrala godstransporter, dvs en teknisk lösning där fordonen drivs med el, som förses av bränsleceller drivna på huvudsakligen vätgas.

Bränsleceller kan användas dels som huvudsaklig energikälla, med endast ett mindre batteri som stöd (s.k. bränslecellsdominerad teknik), eller som komplement till ett större batteri för att utöka räckvidden (range extender). Bränsleceller kan också användas för att ge energi till andra applikationer på fordonet, t.ex. kompaktorer på sopbilar, eller klimatanläggningar.

Sammanfattande bedömning

Bränslecellsteknik har potential att bli en attraktiv lösning att uppnå en koldioxidneutral godstransport, både vad avser emissioner och energieffektivitet. Elektrisk framdrivning har många fördelar, inte minst ur arbetsmiljö och bullersynpunkt. Bränsleceller kan användas som huvudsaklig energilösning (bränslecellsdominerad) och har en energieffektivitet (från vätgas till hjul) som är högre än förbränningsmotorteknik, men klart lägre än rena ellösningar, såsom elvägar eller batterier med laddning. Bränsleceller kan också vara ett intressant alternativ i kombination med t.ex. batterier med laddning, alltså som räckviddsförlängare, och då minska behovet av stora batterier på fordonet.

Störst potential för genomslag har tekniken för lokala och regionala godstransporter, där det kan vara enklare att arrangera vätgasdistributionen. Den ekonomiska potentialen finns i och med att kostnaden för vätgas eventuellt kan vara lägre än för andra bränslen (t.ex. om tillfälligt överskotts av el används för att producera vätgasen), men utrustning för vätgaslagring och bränslecellerna på fordonen kan fördyra.

Trots att tekniken utvecklats mycket vill den inte riktigt ta fart i kommersiell skala. Det är därför svårbedömt vilken roll bränsleceller kan spela i ett 2030 - 2045-perspektiv. Största utmaningen ligger i utbyggnaden av hela kedjan för vätgasanvändning; produktion, distribution och fordonsapplikation, som innebär en mycket hög investeringskostnad, samtidigt som det kommer att krävas högt utnyttjande för att ge lönsamhet.

Kopplat till detta ligger en annan utmaning i att det är många aktörer involverade och det kan krävas nya affärsmodeller både för inköp och ägande av fordon (som blir mindre flexibla för olika typer av transportuppdrag) och för kostnadstäckning av investeringarna av vätgasinfrastruktur. I övrigt kan traditionell debitering vid tankning fortsatt fungera som affärsmodell. Å andra sidan finns aktörer som gynnas av denna lösning, såsom elleverantörer och bränsledistributörer, där de senare kan utnyttja befintlig infrastruktur.

Teknik

Bränslecellstekniken har potential att ge energieffektiva och klimatanpassade transporter. Kostnad, tillgänglighet av bränsle (vätgas), och bränslelagring på fordon är faktorer som kan utgöra tekniska hinder och kan göra det särskilt svårt att applicera på fordon för långväga transporter. Typisk räckvidd för de demonstrationsfordon som presenterats är runt 400 km. I första hand tillämpbart vid lokala till regionala tillämpningar där bränsledistribution kan arrangeras på effektivt sätt, t.ex. distribution i städer, mellan städer eller, fordon som opererar inom begränsade områden, sopbilar och arbetsfordon.

Tekniska utmaningar finns främst vad avser effektivitet i själva bränslecellen, i övrigt är tekniken tämligen mogen, men finns i stort sett endast i demonstrationsskala när det gäller godstransporter. Inomhustransporter, t.ex. gaffeltruckar finns kommersiellt tillgängliga. För att utbyggnad av bränsleinfrastruktur i hela kedjan från produktion till användare ska vara lönsam krävs att anläggningen utnyttjas frekvent (tröskeleffekt). Möjlighet till samordning med truckar, personbilar och bussar kan gynna införande och är en positiv aspekt. Tekniken har lägre energieffektivitet än elektriska drivlinor, men i samma nivå, eller något bättre, som förbränningsmotor-tekniker (ca 50 procent räknat från vätgas till hjulen).

Bränsleceller ger möjligheter att utnyttja vätgas som produceras vid ojämn elproduktion som exempelvis vindkraft. Systemverkningsgraden från omvandling av el via elektrolys till hjulen kommer då i samma nivå som förbränningsmotorfordon, knappt 40 procent¹. Bränsleceller kan också bli aktuella som komplement till annan eldrift (räckviddsförlängare), t.ex. som alternativ till batteri för elvägsfordon. Bränslecellers livslängd ökar med teknikutveckling (nu ca 20 000 timmar), samtidigt som kombinationer med batteri och bränslecell gynnar livslängd och effektivitet. På sikt kan teknikutveckling leda till bättre prestanda och lägre kostnader.

Legalt och standard

Bränsledistribution är den viktigaste aspekten vad avser utbyggnad i större skala. Även återvinning av potentiellt resursknappa material i cellerna är en avgörande aspekt. Här måste både teknisk och legala aspekter hanteras, därtill kan styrmedel behövas för att gynna utbyggnad och återvinning. Standarder finns, men också viss risk finns för att de inte är helt teknikoberoende, vilket kan påverka teknikval och möjligheter till mer effektiva framtida tekniklösningar. Tekniken är relativt mogen, men förekommer ännu endast i blygsam skala i fordonsapplikationer, så fortsatt teknikutveckling kan förväntas, vilket också kräver forskningsstöd och kan påverka val av standarder.

Aktörer

Det finns vissa utmaningar kring att det är många aktörer som är beroende av varandra, samtidigt som det också finns aktörer som gynnas av tekniken och kan vara drivande. T.ex. kan det vara attraktivt för elleverantörer och för bränsleleverantörer, som hittar en ny nisch till sitt befintliga distributionssystem om fossil diesel fasas ut. Även nya aktörer kommer att involveras, främst leverantörer av själva bränslecellerna (om inte dessa är samma som idag producerar förbränningsmotorer) och utrustning för vätgastankning. Samordning med andra fordonsslag är

¹ Enligt Vätgas Sverige har bränslecellen 50–60 % verkningsgrad och elektrolysoren 60–70 %. Detta blir 30–40% verkningsgrad över båda stegen.

ett annat exempel på där aktörer blir beroende av varandra. Ny teknik som utmanar etablerad teknik ger möjligheter för nya "hungriga" aktörer.

Den främsta osäkerheten ligger i hur man arrangerar bränslehanteringen. Utbyggnad kan förväntas ske i tre steg; distribution av trycksatt gas i tankbil, distribution av flytande gas eller distribution i pipeline. Även lokal produktion kan vara aktuellt, t.ex. från omvandling av biogas eller överskottsel från förnybar elproduktion. Driftaspekter på bränsleceller, såsom livslängd, räckvidd och underhållsbehov genomgår just nu en positiv utveckling, som lär fortsätta, eftersom billigare och mindre känsligt celler är en förutsättning för hög efterfrågan.

Det har föreslagits olika leasingssystem, som inkluderar utrustning för vätgasframställning, tankning och bränslecellen eller leasing av hela fordon. Ett leasing-upplägg skulle också möjliggöra att kunden kan få tillgång till senaste tekniken under fordonets livslängd.

Frågor kring återvinning av värdefulla komponenter i bränslecellen återstår att klara ut, även om det rör sig numer om relativt små mängder. Tillämpning för truckar, personbilar och bussar ligger idag längre framme, så det finns modeller att utgå från. För en riktigt storskalig utbyggnad kan liknande frågor som för elvägar bli aktuella, dvs: Vem investerar i infrastruktur och hur framställs vätgas (t.ex. om överskottsel från förnybara källor kan utnyttjas)? Hur mycket ska bäras av offentliga medel? Hur ska beskattningen utformas?

Införandet av bränsleceller som lösning kan underlättas av att det är lättare att använda överskottsel som del av vätgasproduktion, men det är högst oklart hur mycket detta skulle kunna röra sig om. På sikt finns potential att vara en kostnadseffektiv lösning på klimatpåverkan från vissa typer av godstransporter.

Miljöpåverkan

Det finns en stor potential att minska emissioner och klimatpåverkan från framför allt lokala och regionala transporter, men lägre energieffektivitet gör att mer resurser behövs, jämfört med rena ellösningar. Intressant som del i ett energisystem där elektrobränslen används som energilagring, där detta kan vara en lovande lösning ur ren miljösynpunkt.

Metoder för vätgasframställningen är alltså avgörande för hur en samlad bedömning faller ut. Det är idag vanligt med reformering av naturgas, men då tappas klimatnyttan, då naturgasen är fossil. Reformering av biogas kan dock ses som en klimatmässigt mer acceptabel lösning. Som en "mellanlösning" framhålls ibland "blå vätgas", d.v.s. vätgas framställd ur naturgas, men med koldioxidlagring (CCS), vilket kan ordnas relativt enkelt vid ångreformering. Bränsleceller kan fylla en viktig funktion i en totallösning där de används i hybridsystem som räckviddsförlängare. Frågor ring resursknappa material och återvinning av bränsleceller ger en viss osäkerhet. Påverkan av natur och landskap lär inte vara mer än dagens tankstationer. Däremot kan produktionen av förnybar el påverka landskapsbilden.

Socioekonomi

Sociala aspekter: Utvinning och hantering av nya materiel kan potentiellt vara problematisk, beroende på hur man hanterar produktion av bränsleceller och el-komponenter under hela livscykeln.

Även denna teknik innebär att fordonet framförs på elektricitet, vilket gynnar förarnas arbetsmiljö.

Bränsleceller kan vara gynnsam för vissa tillämpningar och har något högre energieffektivitet än t.ex. ICT. Kostnad för vätgas är svårbedömd på lång sikt. Om t.ex. överskottsel kan användas kan kostnaden förväntas minska, men elektrolysörer innebär också höga investeringar och driftkostnader.

Stora kostnadsbarriären ligger i infrastrukturen för vätgashantering och för längre godstransporter som förutsätter en utbyggd infrastruktur för bränslet innebär detta ett större hinder, samtidigt som bränslecellernas relativt låga energieffektivitet inte ger samma drivkraft, som för elväg och batterilösningar. En möjlighet för bränsleceller är som komplement till andra tekniker, såsom räckviddsförlängning, eller drift av annan utrustning på fordonet, t.ex. klimatanläggning. Här kan bränslecellslösningen i vissa fall vara enklare att applicera än t.ex. batterier eller förbränningsmotorer. Samordning med andra fordonsslag kan framöver sänka tröskeln för kommersialisering.

Biodrivmedel och elektrobränslen

Biodrivmedel produceras på många olika sätt. De produkter som finns tillgängliga idag har högst varierande utsläpp av växthusgaser. Med olämpliga produktionsmetoder kan klimatpåverkan i ett livscykelperspektiv rentav vara högre än det fossila alternativ som ersätts. Klimatpåverkan bestäms av råvaror, odlingsmetoder, insatsvaror, produktionsmetoder, effekter av landanvändning och så vidare.

I denna jämförelse har vi utgått från biodrivmedel som ger låga eller försumbara utsläpp av växthusgaser i ett livscykelperspektiv. Det förutsätter fungerande internationella avtal och myndighetskrav, oberoende standarder och upphandlingar som ställer miljö- och hållbarhetskrav på de aktörer som har inflytande över produktionen av drivmedel.

Vi har beaktat tre typer av drivmedel:

- **Dieselbränslen** från bioråvaror (FAME, HEFA/HVO). Används i kompressionstända motorer för tung trafik.
- **Alkoholer**. Används i modifierade kompressionsmotorer för tung trafik.
- **Biogas och dimetyleter** (CBG/LBG, DME). Lagras på fordonet i gasfas eller vätskefas. Kan användas i både kompressionstända och gnisttända motorer.

Vätgas hanteras som en energibärare för bränsleceller. **Elektricitet** hanteras på motsvarande sätt som en energibärare för batteri-elfordon och elvägar. De beskrivs därför inte som "drivmedel" här.

Elektrobränslen: Utöver att produceras från biomassa kan drivmedelstyperna ovan produceras från vatten och eventuellt med tillsats CO₂ och med el som huvudsaklig energikälla. Detta kallas då för elektrobränslen. De hanteras därför inte som ett särskilt "drivmedel", utan som en möjlig framställningsmetod för de biodrivmedel som beskrivs.

Vi utgår från att drivmedlen används som på samma vis som renbränslen, eventuellt med tillsatser i form av tändförbättrare eller liknande. Det är en förutsättning för att drivmedlen ska kunna ge tillräckligt låg klimatpåverkan för att vara ett klimatsmart alternativ till övriga tekniker som beskrivs. Vi har bortsett från olika blandningar och kombinationer av t.ex. metan och HVO.

Vi använder termen "höginblandad" för att beskriva drivmedel som i allt väsentligt har producerats från förnybar råvara. Detta för att skilja dem från de "låginblandade" biodrivmedel, t.ex. dagens diesel, som har varierande grad av inblandning av förnybar RME och HVO men minst 30–50 procent fossil råvara.

Sammanfattande bedömning

Flera biodrivmedel produceras idag i stor skala och används internationellt. HVO-baserad diesel kan användas i konventionella dieselmotorer utan nämnvärd modifiering. Även RME kan användas i många dieselmotorer. Alkoholer och gaser kräver speciella anpassningar men även där finns tekniker framtagna för flera alternativ och några används kommersiellt. Det gör biodrivmedel till enklaste och snabbaste sättet att öka användningen av klimatsmarta energibärare för godstransporter på väg.

Biodrivmedel erbjuder en enklare klimatomställning på kort sikt (kommande 10 - 20 år) jämfört med att introducera elvägar, batterifordon och bränsleceller. För att öka användningen av biodrivmedel kraftigt behövs dock investeringar i nya produktionsanläggningar, distributionsnät för nya drivmedel och tankställen för höginblandade drivmedel. Det förutsätter kraftigare incitament för att styra fordonstillverkare, användare och transportköpare mot en eller flera av dessa alternativ. Vissa regelverk och lagstiftning kommer att behöva ses över. För att säkerställa en hög klimat- och miljönytta behövs också betydligt mer långtgående krav på miljöhänsyn i produktionsleden än idag. Många av dagens biodrivmedel ger inte den höga klimatreduktion som är nödvändig.

På längre sikt kan biodrivmedel delvis komma att konkurreras ut av andra tekniker. I jämförelse med elektriska drivlinor har förbränningsmotorn lägre energieffektivitet. Konkurrensen om bioresurser och råvaror kan också förväntas öka även från andra transportslag, såsom flyget.

Till skillnad från eldrivna system släpper fordon med förbränningsmotor ut hälsoskadliga och miljöpåverkande luftföroreningar och de bullrar mer i låga hastigheter. Det blir också utsläpp vid odling och produktion av biobaserade bränslen. Ökad användning av biodrivmedel bidrar till ett ökat nyttjande av bioresurser och naturmiljöer.

Biodrivmedlens roll för att nå koldioxidneutrala godstransporter är viktig, men begränsad. I ett internationellt perspektiv gör man bedömningen att endast en mindre del av dagens energianvändning i transportsektorn kan ersättas av drivmedel som produceras från bioråvaror på ett hållbart sätt. I ett miljöperspektiv bör sådana drivmedel på längre sikt användas främst för att minska växthusgasutsläppen från transporttillämpningar som är svåra att elektrifiera. Lokalt/nationellt kan det dock vara möjligt med högre andel bioenergi.

Det finns möjligheter att framställa flytande eller gasformiga drivmedel med elektrobränsleteknik. Elektrobränslen kan bli ett alternativ till biobaserade drivmedel som kan ge bättre prestanda från miljö- och resurssynpunkt. I dagsläget är det svårt att bedöma vilka tekniska och marknadsmässiga förutsättningar som krävs för att elektrobränslen ska bli ett konkurrenskraftigt sätt att producera biodrivmedel. Mycket teknikutveckling återstår och en kedja av nya aktörer och drivkrafter behöver samverka. Elektrobränslen kan troligen inte bli ett storskaligt alternativ inom den tidsperiod som Sverige har mål om att kraftigt minska klimatpåverkan från vägtrafik. En kommersialisering av elektrobränslen i framtiden förutsätter att biodrivmedel inte samtidigt konkurreras ut av el-drivlinor.

Dieselbränslen: Bland biodrivmedlen har på kort sikt dieselbränslena störst potential för godstransporter. De har flera stora fördelar eftersom de kan användas utan större förändringar i dagens dieselbaserade motorer, tankar och distributionsnät. De är enkla att introducera och skala upp med gradvis högre inblandning i dagens fossilbaserade drivmedel. Tillverkningen är idag kommersiell och görs till viss del med olika tekniker från flera råvarubaser. För att växa till ett storskaligt och hållbart alternativ behöver fler drivmedelsaktörer komma in, många nya produktionsanläggningar byggas och råvarubasen breddas och förskjutas mot olika typer av avfallsprodukter, cellulosa och andra råvaror som inte baseras på grödor. På längre sikt skulle även elektrobränsle-diesel kunna få betydelse.

Alkoholer: Merparten av dagens biodrivmedel i transportsektorn globalt är etanol. Tillverkningen är storskalig och görs med olika tekniker från flera råvarubaser, främst grödebaserad. Höginblandade alkoholer kräver viss modifikation av dagens dieselbaserade motorer och distributionsnät. Metanol tillverkas endast från fossil råvara och används inte höginblandat i kommersiella fordon, så där krävs viss teknikutveckling av produktionen och av fordon. Om alkoholer ska utgöra ett storskaligt alternativ behövs många nya produktionsanläggningar och råvarubasen behöver förskjutas mot annat än grödebaserade råvaror. På längre sikt kanske även elektrobränsle-alkoholer kan spela roll.

Biogas, DME: Biogas i gasform (CBG) kräver viss modifikation av dagens motorer för tunga fordon. CBG i gnisttända motorer har lägre verkningsgrad, vilket minskar miljönyttan och ger sämre konkurrensförutsättningar än andra alternativ. För dieseldrivna fordon finns tekniker där dieselcykeln fortfarande kan användas, vilket ger energieffektivitet i nivå med traditionella bränslen. Flytande biogas (LBG) kräver å andra sidan dyrare teknik för distribution och lagring vid pump och i fordon.

Distribution av CBG kan ske i naturgasnät, men där orter och transportleder saknar gasnät krävs distribution med lastbil, och i kombination med låg energitäthet ger det ett dyrare distributionssystem än för andra biodrivmedel. LBG har högre energitäthet per volym och kräver därmed färre tankställen och kan distribueras effektivt till viktiga noder längs större transportleder, men kräver å andra sidan dyrare tankar och system i fordonet.

Tillverkningen av biogas är i huvudsak småskalig och råvarubasen är väsentligen organiska avfall, men även grödebaserad biogas förekommer. För att skala upp produktionen krävs att många aktörer investerar, sannolikt också i större anläggningar med exempelvis förgasning eller annan teknik som kräver utveckling för att kommersialiseras. Fossil DME förekommer som bränsle i Asien, men mycket sällan till fordon. För att utgöra ett storskaligt förnybart alternativ behövs viss utveckling av fordon, och betydande utveckling av drivmedelsproduktion med förnybar råvara, samt utbyggd distribution. På längre sikt kan kanske metan och DME framställas som elektrobränslen.

Teknik

Biodrivmedel har en betydande potential att bidra till mer klimatanpassade transporter. De flesta biodrivmedelsalternativ fungerar oavsett om det är lokal, regional eller långväga transport. Undantaget är biogas i gasform, som inte är lämpligt för långväga transporter eftersom energidensiteten är så låg, vilket begränsar räckvidden.

Tekniska utmaningar finns t.ex. vad gäller nya produktionsprocesser för biodrivmedel, som baseras på andra råvaror än jordbruksgrödor. Betydelsefull är t.ex. framtida produktion av biobaserad bensin och diesel.

Fordonsanpassning behövs för vissa rena biodrivmedel och är mer påtaglig för de gasrelaterade alternativen. För biodrivmedel som kräver egen infrastruktur är förstås uppbyggnad av sådan en viktig faktor. Det finns möjligheter till samordning och synergi med personbilar och bussar för biodrivmedel som även används i dessa applikationer.

Tillverkning genom elektrobränsle-teknik är på under utveckling, men kan i ett långsiktigt resursperspektiv stå för betydande tillskott av klimatneutrala drivmedel, förutsatt att elanvändningen och kolkällan är icke-fossil.

Verkningsgraden kan variera i hög grad från bioråvara till färdigt drivmedel. Det gäller i motsvarande grad även för elproduktion, som baseras på biobränslen, till elektriska drivmedel om den.

Dieselbränslen: Kommersiell produktion finns idag. Det krävs ingen eller måttlig anpassning av motorn, särskilt för syntetisk diesel HVO/HEFA som i princip kan användas i vanliga dieselmotorer. FAME-baserade drivmedel kräver tätare serviceintervall och är känsligare för lagring. Energitäthet och övriga egenskaper motsvarar fossilbaserad diesel. HVO/HEFA ger något lägre utsläpp av reglerade emissioner.

Alkoholer: Storskalig produktion förekommer internationellt. Det krävs viss anpassning av motorn och vissa tändtillsatser. Drivmedlen har 30–50 procent lägre energitäthet än fossilbaserad diesel och kräver därför större tankar och/eller tätare tankningsintervall.

Biogas, DME: Biogas produceras i Sverige idag, och det finns även en produktionsanläggning för LBG. Biogas, LBG och DME kräver anpassade motorer och tankar. Den lägre energitätheten jämfört med fossilbaserad diesel kräver större tankar och tätare tankningsintervall. Komprimerad biogas (CBG) har särskilt låg energitäthet och kan endast användas i lokala-regionala transporter. Flytande biogas (LBG) har utvecklingspotential och fordonstillverkare har satsat mer på denna teknik under senare år. DME i fordon är ett av de mer resurseffektiva alternativen, men få fordonstillverkare kommunicerar detta alternativ för närvarande.

Legalt och standard

Kemikalie- och säkerhetsfrågor behöver hanteras för samtliga biodrivmedel, men de är generellt sett inte svårare än för de fossila drivmedel som dominerar idag. Vid en jämförelse med elvägar, batterifordon och bränsleceller kräver biodrivmedel många regler och tillsyn kring kemikalier, brand, explosion och liknande.

Det är risk för viss inlåsningseffekt eftersom alla biodrivmedelsalternativ utom HVO kräver fordonsanpassningar och kompletterande regelverk, men inlåsningseffekten bedöms vara mindre än för elvägar, och bedöms vara i samma storleksordning som eldrift med batterier.

Dieselbränslen: Standarder för fordon och drivmedel finns.

Alkoholer: Standarder för fordon och drivmedel finns, men är inte lika utvecklade internationellt och det kan vara ett visst hinder för en marknadsmässig utveckling.

Biogas, DME: Omfattande användning av fossil metan som bränsle i fordon gör att det finns standarder för hantering av trycksatt drivmedel och produktion av motorer, både CBG och LBG. Fossil DME används i delar av världen till andra ändamål än som drivmedel, men för fordon och drivmedel är DME inte certifierat i dagsläget.

Aktörer

Det finns etablerade, internationella aktörer i samtliga sektorer som har betydelse för dagens biodrivmedelsproduktion. Biodrivmedelssektorn växer kraftigt och aktörerna har förutsättningar att ta marknadsandelar eftersom marknaderna är mogna i många avseenden. Det finns stora aktörer och fordon är tillgängliga. Låginblandning erbjuder möjligheter att öka användningen i stor skala utan nämnvärda tröskeeffekter. Om biodrivmedel fortsätter att öka i betydelse kan det nya aktörer från branscher som, exempelvis skogsindustrin och kemiindustrin öka i betydelse. Avancerade drivmedel utvecklas på forskningsnivå och i mindre skala av framför allt ett fåtal större industriaktörer. Om biodrivmedel fortsätter öka i betydelse kan det tillkomma nya aktörer från andra branscher än idag, exempelvis skogsindustrin och kemiindustrin. Avancerade drivmedel utvecklas på forskningsnivå och i mindre skala av ett fåtal större industriaktörer.

Fordonstillverkare är mer intresserade av drivmedel som inte kräver så stora förändringar av fordon och infrastruktur. Endast ett urval transportköpare efterfrågar idag något specifikt biodrivmedel. Generellt sett har aktörerna högre acceptans för flytande drivmedel än för gasformiga, möjligen med undantag för metanol som har låg energitäthet och är anses mer problematisk från hälsosynpunkt.

Myndigheter och politiker behöver styra utvecklingen om biodrivmedelsanvändningen ska öka. Nationella och internationella krav i form av kvotplikt, reduktionsplikt och liknande driver marknaden främst mot låginblandning. Många aktörer är beroende av andra om produktionen ska öka.

I EU är höginblandade biodrivmedel inte prioriterade. Regelverk och krav är i huvudsak inriktade på att öka låginblandningen. Ett undantag är tankställen för gas, där det finns krav på att medlemsländerna bygger upp ett tankstationsnät för, främst komprimerad, metan. Även om den marknaden idag försörjs med fossil metan så underlättar EU-reglerna och efterföljande utbyggnad i viss mån ett införande av biogas och tunga gasfordon.

Det behövs särskilda styrmedel för att öka produktionen av biodrivmedel från skogsbaserad råvara, som har störst potential och jämförelsevis god klimatprestanda. Det behövs också nya styrmedel om användningen av biodrivmedel och anpassade fordon ska öka storskaligt. DME kräver betydligt fler incitament och samarbeten än idag om aktörerna ska börja använda detta alternativ.

Dieselbränslen: Krav och incitament för att låginblanda biobaserade dieselbränslen i många länder skapar en efterfrågan som gör att det finns kommersiella aktörer i produktionsleden. Samma produkt kan användas höginblandat men det sker i liten skala idag. Fler aktörer behövs och de behöver arbeta med delvis nya råvarubaser och produktionsmetoder.

Alkoholer: Incitament för låginblandning av etanol i bensin i många länder gör att det finns många producenter knutna till grödebaserad etanol. Samma produktbas kan användas till framställning av höginblandat bränsle, men där behövs fler aktörer om det ska öka och man behöver arbeta med delvis nya råvarubaser och produktionsmetoder. Fordonsaktörer behöver utveckla fler alkoholanpassade motorer.

Biogas, DME: För att få ökad användning av biogas krävs incitament som påverkar köpare, infrastrukturaktörer och drivmedelsproducenter, men tekniken och aktörerna är etablerade i viss skala. Det krävs delvis nya aktörer och produktionsmetoder om användningen av biogas ska växa storskaligt. DME behöver en serie initiativ av många aktörer för att bygga upp produktion, fordonstillverkning och utbyggnad av tankställen.

Miljöpåverkan

Biodrivmedel har betydande potential att minska klimatpåverkan, även om klimatprestandan varierar kraftigt mellan olika produktionsmetoder och förutsättningar för odling. Odling, produktion och användning i förbränningsmotorer ger utsläpp av miljö- och hälsopåverkande ämnen. Tillgång till, och konkurrens om, biomassa är en viktig aspekt där ökad internationell efterfrågan kommer att konkurrera med andra bioresurser. Det finns lagkrav och tredjepartscertifieringar som syftar till att bromsa produktionsmetoder som är negativa för naturmiljöer eller markens förmåga att lagra kol. Biodrivmedelsproduktion kan därför ha god miljöeffekt. Men det finns samtidigt en generell och mer övergripande effekt av det ökande resursutnyttjandet globalt där en ökad efterfrågan driver på ett mer intensivt nyttjande av mark och vatten.

En kraftigt ökande efterfrågan på biodrivmedel skulle ge ökad påverkan på mångfald, landskap och livsmiljöer. Det är en begränsande faktor för möjligheten att introducera biodrivmedel till fordon i stor skala globalt. Framöver kommer tillgången på hållbara råvaror och framtida styrmedel och hållbarhetskrav att vara avgörande för utvecklingen, liksom konkurrens om biomassa från andra sektorer. En bedömning är att endast en mindre del av dagens energianvändning i transportsektorn globalt är möjlig att försörja med hållbara biodrivmedel från biologiska råvaror.

För biodrivmedel är anläggningens miljöpåverkan mera begränsad jämfört med miljöpåverkan när råvara produceras, som kan vara betydande men som beror av vilken råvara som används.

Dieselbränslen: Förnybart producerade dieselbränslen baseras idag mestadels på jordbruksgrödor. Klimatpåverkan varierar kraftigt beroende på tillverkning och gröda. En ökande efterfrågan på drivmedlen riskerar ge negativa effekter genom att ny mark tas i anspråk för odling på biologisk mångfald, landskapsvärden och vattenkvalitet. Markens kolinnehåll kan också minska, vilket ger ökar mängden koldioxid i atmosfären. Drivmedel som produceras från skogsbaserad råvara kan ge bättre drivmedelsutbyte per ytenhet, men även om det är restprodukter som används påverkar de också biologisk mångfald och liknande. Om andra kolkällor än bioråvara används på längre sikt via elektrobränslen skulle flera av de konflikter som förknippas med biobaserade råvaror minska.

Alkoholer: Se dieselbränslen.

Biogas, DME: Produktionen av biogas baseras idag mest på organiskt avfall och det ger små miljöeffekter. Samtidigt är mängden tillgängligt avfall begränsat och det finns många andra aktörer som visar intresse för denna resurs. Största klimatriskerna är läckage av metan från produktion, distribution och metanslip från fordonens tankar. Det finns en potential att producera metan i stor skala från samma bioråvaror som övriga biodrivmedel, med motsvarande effekter som beskrivs ovan under dieselbränslen. På sikt kan metan produceras som elektrobränsle.

Socioekonomi

Socialt: Mycket av dagens produktion av biodrivmedel sker internationellt och har sin bas i jordbrukssektorn och skogsbruket. I vissa delar av världen är arbetsförhållandena svåra i dessa sektorer. En storskalig ökning av biodrivmedelsanvändningen kan öka betalningsviljan för jord- och skogsbruksprodukter. Det ger förutsättningar för en positiv social utveckling då ökade intäkter ger bättre förutsättningar för produktion, effektivisering, tillväxt och förädling, vilket kan gynna verksamma och lokal ekonomi. Samtidigt är det inte givet att det uppstår sådana effekter i regioner med svaga stater eller omfattande korruption. Olika lagkrav och upphandlingsvillkor behövs för att säkerställa rimliga förutsättningar i produktionsleden.

Ekonomisk hållbarhet: Biodrivmedel har en påtaglig nackdel jämfört med elbaserade alternativ eftersom förbränningsmotorn har låg verkningsgrad. Kostnaden för att tillverka och distribuera flytande drivmedel kan vara betydligt högre än för elbaserade alternativ. På plussidan kan man notera att biodrivmedlen har lägre tröskeeffekter eftersom produktionen kan skalas upp genom låginblandning och fordonsteknikerna kräver små eller inga modifikationer jämfört med dagens teknik.

Det finns ingen större potential att sänka kostnaden för biodrivmedel och fordon. Det är svårt att förutsäga hur totalkostnaden för fordon med biodrivmedel kommer att stå sig i jämförelse med övriga alternativ när de har kommit längre i mognad och mot massmarknad.

Möjligheten att elektrobaserade biodrivmedel kan komma att bli konkurrenskraftiga på lång sikt är svåra att bedöma. Det förutsätter teknikutveckling. Elektrobränslen skulle kunna bli kommersiellt intressanta i takt med att energisystemen i högre grad består av sol- och vindkraft som ger mer varierad energitillförsel. Ökad användning av koldioxidavskiljning från förbränningsanläggningar kan också ge bättre förutsättningar. Om elektrobränslen för fordon ska vara klimatneutrala måste dock i så fall koldioxiden som avskiljs ha förnybart ursprung och då mycket av koldioxidavskiljningen sannolikt kommer att ske vid kolkraftverk och liknande blir denna koldioxid del av fossila utsläpp när elektrobränslet används.

På längre sikt har biodrivmedel en tydligare konkurrensfördel i tillämpningar där el inte är lika lämplig, som flyg och sjöfart, vilket kan öka betalningsviljan på ett sätt som minskar attraktiviteten för att använda biodrivmedel till vägfordon.

Slutsats och diskussion

Vägtransporter är idag i stort sett helt beroende av fossila drivmedel. Detta är inte hållbart och utgångspunkten för denna studie är att det inte är ett alternativ att jämföra med. Så då är den stora frågan: Vad kommer istället? Medan de fossila bränslena har kunnat erbjuda en effektiv och praktisk lösning för energiförsörjning för alla typer av lastbilar har de olika alternativen sina begränsningar vad gäller tillgång eller energitäthet. Medan dieselmotorn med dieselbränslet också utvecklats tillsammans under lång tid² är de elektriska drivalternativen i ett tidigare

² Som kuriosita kan nämnas att Rudolf Diesels idé med sin motor var att det skulle vara en robust maskin som kunde utnyttja olika bränslen och först ut var jordnötsolja, följt av andra vegetabiliska oljor – vad vi idag skulle kalla ett "alternativt bränsle". Då fick man köpa bensin på apotek och diesel var fortfarande bara ett namn på dieselmotorns uppfinnare.

utvecklingsstadium. Det innebär att man behöver analysera mer i detalj vilka krav som respektive transport har, acceptabel kostnadsnivå, körsträcka, geografisk täckning och så vidare.

Det ligger då nära till hands att lösa problemet genom att helt enkelt byta ut bränslet mot biodrivmedel och i övrigt behålla infrastrukturen och motorteknik. Detta sker också i viss skala idag, men i ett längre perspektiv är det inte möjligt att tillämpa detta som en universallösning. Även om produktionskapacitet för biobränsleproduktion byggs ut kraftigt, från dagens blygsamma skala, är det också många andra samhällssektorer, som ser detta som en bra lösning på sina koldioxidproblem och det uppstår konkurrens om den mängd som kan produceras på ett hållbart sätt. Vår bedömning är att endast en mindre del av transporterna i ett internationellt perspektiv skulle kunna byta dagens fossila energibehov till biobränslelösningar på sikt. Det är fullt möjligt att ha en väsentligt högre andel i Sverige, men det skulle i så fall delvis vara ett nollsummespel eftersom tillgången då blir lägre i andra länder.

En nyckelfaktor för samtliga alternativ är infrastrukturen för energidistribution. Lägst trösklar har biodrivmedel och särskilt de som är kompatibla med fossil dieselolja (HVO och FAME), där befintlig infrastruktur och fordonsteknik kan användas i stort sett rakt av för såväl hög som låg inblandning. För distribution av gaserna metan och DME och för alkoholer krävs särskild utrustning och fordonsanpassning, men även här kan mycket av det befintliga anpassas. Svårare blir det för vätgas, som idag har ett obefintligt distributionsnät. Laddstationer för batteridrivna elfordon byggs ut i takt med att dessa kommer ut på marknaden. I nuläget är det främst för personbilar, men också bussar, även om vi är ännu bara i början på en utveckling. Störst tröskel för energidistribution ser vi hos elvägstekniken, som kommer att kräva åtskilliga mil av infrastruktur för att fungera i större skala. Vi har alltså att göra med en stor "höna-och-ägget-problematik" och för att eldrift ska kunna utgöra de dominerande energislagen om 10–25 år måste beslut fattas tämligen snart. Med undantag för vissa biodrivmedel (så långt de räcker) kan man inte heller förlita sig på att vanliga marknadskrafter är tillräckligt drivande utan andra finansieringslösningar och styrmedel kommer att krävas för att komma över trösklarna. På sikt kan däremot framför allt eldriftslösningarna bli ekonomiskt bärkraftiga.

Vi har resonerat utifrån tre typer av tillämpningar; lokala transporter, regionala och långväga. Det är tydligt att en optimal lösning ser olika ut för dessa tre. För lokal distribution kan redan i ett ganska kort tidsperspektiv en batterilösning vara energieffektivt och praktiskt, och erfarenheter från bussapplikationer kan användas, medan det vore omständligt att bygga ut en elvägsinfrastruktur i stadsmiljö. Distributionsfordon går ofta relativt korta sträckor och rör sig inom begränsade områden. Å andra sidan ger batterierna en ökad kostnad, som kanske inte tjänas in genom lägre bränslepris i och med att dessa fordon ofta har en kort daglig körsträcka och därmed är bränslekostnaden inte lika avgörande för totalekonomin, som för fordon som kör längre transporter.

För de regionala transporterna kan flera lösningar vara tillämpliga. Dessa kör längre sträckor dagligen, så en ren batterilösning kan kräva alltför stora och tunga batterier³. Men då de kör inom begränsade områden och ofta kommer tillbaka till sin depå är de inte beroende av ett stort nationellt eller internationellt distributionsnätverk för sin energiförsörjning. De demonstrationsfordon och prototyper av bränslecellsdrivna fordon som presenterats klarar ofta en körsträcka som är rimlig för en regional tillämpning. De kan också vara inkörsporten till ett elvägssystem om man tänker sig att elektrifiera de större vägarna. Då kan fordonstillverkare

³ Maxvikt är inte alltid en begränsning för dessa transporter och i sådana fall kan vikten på batterier spela mindre roll, när bränslet är billigt påverkas inte driftkostnaden så mycket av den extra vikten. Däremot blir kostnaden för stora batterier mer avgörande för om detta är ett realistiskt alternativ.

komplettera med ett mindre batteri eller en bränslecell för att klara de sista kilometrarna till destinationen. Elvägar kommer antagligen att etableras längs högt trafikerade vägar och genom att välja strategiskt kan man fånga upp ett relativt stort antal transporter med en mindre utbyggnad i ett initialt skede. För regionala transporter kan man alltså tänka sig ett spektrum av lösningar och kombinationer av tekniker. Även biodrivmedel som kräver särskild infrastruktur är aktuella och det är för dessa tillämpningar t.ex. införandet av metan i flytande form (LNG resp. LBG) riktar sig, när det gäller lastbilsapplikationer. Om det är energieffektivitet som blir avgörande för vad som slutligen "vinner" på denna marknad är elvägarna överlägsna såväl bränsleceller som biodrivmedel i förbränningsfordon.

För de långväga transporterna är valen färre. De kan ge sig in i konkurrensen om dieselliknande biodrivmedel, eller hoppas på en väl utbyggd infrastruktur för vätgas till bränsleceller som snabbt kan tankas på "vanliga" bensinstationer. Ett väl utbyggt elvägssystem på de stora transportstråken i kombination med annan eldrift för autonom körning (bränslecell eller batteri) skulle vara den mest energieffektiva lösningen, och sannolikt den mest ekonomiska, på lång sikt. Hur stort batteri eller vätgastank som behövs blir sedan en avvägning och en parameter för optimering baserat på det fordonets transportuppdrag. 50–60 procent av de tunga långväga transporterna går idag på högtrafikerade leder. På mindre än 5 % av det statliga vägnätet (100 000 km) sker mer än 50 % av utsläpp från den tunga trafiken. Enbart på sträckan Malmö-Göteborg sker 12% av den tunga fordonstrafiken. För att bli stort till år 2045 måste utbyggnad vara pågående under 2030, enligt Trafikverkets bedömning.

I tidsperspektivet 2030 och 2045 kan man förvänta sig flera viktiga teknikgenombrott. Det är värt att betänka att för tio år sedan var det få som pratade om eldrift på allvar. Elon Musk påpekade vid introduktionen av sin senaste elbilmodell nyligen, att man för tio år sedan skrattade åt honom. För 25 år sedan var internet på väg att bli stort, men hade inte kommit till den revolution det blivit idag. GSM-telefoni (2G) introducerades för bara något mer än 25 år sedan och telefonerna kallades i folkmun för "yuppienallar". Så vem som skrattar när och hur mycket om 25 år är verkligen omöjligt att säga⁴. Ny batteriteknik, bränslecellsteknik, självkörande fordon, politiska drivkrafter som blir starkare ju mer akut klimatfrågan blir kommer att kunna förändra kartan högst väsentligt. Hur sker transporter 2030/2045? I en tillbakablick mot 90-talet kan man konstateras att hittills har förändringarna varit mindre omtumlande, men ett är säkert – transporterna har ökat och trots mer bränsleeffektiva och renare fordon, så även klimatpåverkan. Transportökningen är en trend som lär hålla sig ett bra tag framöver.

Det är lätt att man ställer framtida alternativ mot dagens fossila drivmedel när man resonerar om ekonomiska aspekter. I det korta perspektivet är det också fossilt dieselbränsle som alternativen har att konkurrera med. Men om man tänker bort den situation vi har idag blir kartan en annan, och det är den vi bör analysera om vi vill nå klimatsmarta transporter. Då många av alternativen till fossil diesel är i tidiga utvecklingsskeden blir det svårt att bedöma var man hamnar när det gäller kostnadsbilden för ägande och drivande av fordon (TCO), infrastruktur, behov av styrmedel, energikostnad etc. Eldrift har en potential att ge enklare fordon än dagens förbränningsmotorfordon och elektricitet har potential att vara klart billigare att driva fordonen med. Vätgas kan bli en nisch om det blir en del av ett framtida elsystem där tillräckligt mycket av förnybar energi genereras och där det blir lönsamt att producera elektrobränslen för att balansera tillfälliga obalanser i produktion och konsumtion. Så kan bli fallet t.ex. vid massiv utbyggnad av

⁴ Helt säkert kan denna rapport bli en källa till framtida munterhet.

solenergi och i det läget blir bränsleceller intressanta. Kanske kan även klimatneutrala flytande elektrobränslen få ökad konkurrenskraft i en sådan framtid.

Som en sammanfattning och tänkbart scenario presenterar vi avslutningsvis en idé om situationen för de olika teknikerna vid tidpunkterna 2030 respektive 2045 i nedanstående tabell. Vi utgår då från att nationell och internationell politik tar sikte på att ställa om vägtransporterna till fossilfrihet i princip så snabbt som teknikskiftena medger, och att relevanta aktörer agerar därefter.

	Marknad år 2030			Marknad år 2045		
	Lokala godstransporter	Regionala godstransporter	Långväga godstransporter	Lokala godstransporter	Regionala godstransporter	Långväga godstransporter
Elvägar		x	x?		xx	xx
Biodrivmedel	xx	xx	xx	x	xx	xx
Batterifordon	xx	x		xx	xx	
Bränsleceller	?	x?		?	xx?	x??

x = Upp till 10 % av transportarbetet kan komma att utföras med denna teknik
 xx = Minst 10–20 % av transportarbetet kan komma att utföras med denna teknik
 ? = Mycket osäker utveckling.

Till 2030 är biodrivmedel den enda teknik som kan få stort genomslag i alla transportapplikationer. Batterifordon kan få genomslag för lokala godstransporter. Elvägar kan börja få betydelse för regionala transporter, förutsatt att offentliga och privata aktörer förbereder för en massiv utbyggnad av infrastruktur de närmaste åren.

Till 2045 kan elvägar komma att ha icke obetydlig marknadsandel av långväga godstransporter. Det förutsätter en rad politiska initiativ i flera viktiga länder för att fortsätta elektrifiera de stora transportstråken där det går mycket trafik. Några länder i världen, såsom Tyskland, Sverige, Frankrike m.fl. europeiska länder och USA har börjat förbereda detta, men det är fortfarande osäkerheter kring mer storskalig implementering. Biodrivmedel kan fortfarande ha en stor roll, men kanske har de börjat stagnera eller minska som ett resultat av att förbränningsmotorn minskar när effektivare eltekniker har mognat. Andra sektorer, efterfrågan på biodrivmedel, såsom från flyg och sjöfart, kommer också att minska tillgängligheten för godstransporter på väg. Kanske kan elektrobränslen börja leverera vätgas, eller flytande drivmedel som i så fall ger flera miljöfördelar jämfört med drivmedel från biologiska råvaror. Det drivs i så fall av faktorer även utanför transportsektorn. Eldriften har kanske vuxit så att en betydande del av lokala och regionala transporter utförs med elfordon där batteritekniken har expanderat, kanske också kompletterad med hybridlösningar mellan batterier och bränsleceller. Den mogna batterifordonstekniken bör ge låga driftkostnader och därför kanske konkurrera ut biodrivmedel och förbränningsmotorn i många lokala tillämpningar. Vätgas i bränsleceller har kanske tagit en del av el-nischerna där vätgas finns tillgängligt och transportförutsättningarna är gynnsamma. Framgången för bränsleceller är särskilt svår att bedöma. Den lägre totalverkningsgraden är en nackdel som gör att ett stort genombrott förutsätter att såväl bränslecellerna som bränslet kan produceras till låg kostnad, eller att de finner sin nisch som komplement till annan eldrift. Det är alltså många faktorer som också beror av varandra, som gör det svårt att förutse vilka tekniker som kan tänkas dominera.

Referenser

Allmänt

H. Bängtsson, M. Alaküla (2015), Cost Analysis of Electric Land Transport, Project T2.11, *Swedish electric & hybrid vehicle center*, Chalmers, nedladdat från www.hybridfordonscentrum.se

M. Taljegård, M. Odenberger, F. Johnsson (2018), Hur påverkar en elektrifiering av transportsektorn elsystemets behov av effekt och energi? *På temat: rollen hos små aktörer i framtidens elsystem*, Chalmers 18-05-15

H. Zhao, Q. Wang, F. Fulton, M. Jaller, A. Burke (2018) A Comparison of Zero-Emission Highway Trucking Technologies, *University of California institute of Transport studies*

Elvägar

L. Andersson, P. Skallefjell, K. Skjutar, V. Arfwidsson (2018), Affärsmodeller och finansiering för utbyggnad av elvägar i Sverige – Slutrapport, *EY*, 2018-08-21

European Commission (2017), Electrification of the Transport system, Studies and reports

M.G.H. Gustavsson, (2015) Förstudie om betalsystem för elvägar, Delprogram: Effektiva och uppkopplade transportsystem, FFI

J. Pettersson (2017) Nationell färdplan för elvägar, *Trafikverket*, 2017-11-29

Rijkswaterstaat (2016), An explanatory investigation into dynamic charging on main roads, *Rijkswaterstaat, Netherlands WVL1216TP238*

J. Schulte, H. Ny (2018) Electric Road Systems: Strategic Stepping Stone on the Way towards Sustainable Freight Transport?, *Sustainability* 2018, 10, 1148; doi: 10.3390/su10041148

H. Sundelin, M.G.H. gustavsson, S. Tongur (2016) The Maturity of Electric Road Systems, *i ESARS-ITEC*, 2016.

M. Taljegard, L. Göransson, M. Odenberger, F. Johnsson (2017) Spatial and Dynamic energy demand on the E39 highway – Implications on electrification options, *Applied energy* 195, 681-692

S. Tongur (2018), Preparing for takeoff – Analyzing the development of electric road systems from a business model perspective, *Doktorsavhandling, KTH Kungliga Tekniska Högskolan* 2018

Batterier och laddning

M. Gustavsson, C. Börjesson, R. Eriksson, M. Josefsson (2017), Förstudie om automatiserad sladdlös konduktiv laddning av elbilar – publik rapport, *FFI Energi och Miljö*

Viktoria Swedish ICT (2013) Slide-in Electric Road System – Indicative project report, Editor O. Olsson, *Viktoria Swedish ICT 2013:01*

Bränsleceller

H. Pohl, Personal communication 2019-02-18

A. Trieber (2018) Bränsleceller i intermodala transportsystem, *Energiforsk Rapport 2018:478*

Biodrivmedel och elektrobränslen

Berndes, G., et al., (2018). Forests and the climate - Manage for maximum wood production or leave the forest as a carbon sink? *Kungl. skogs- och lantbruksakademiens tidskrift nr 6 årgång 157*.

Biojet för flyget (2019). Betänkande av Utredningen om styrmedel för att främja användning av biobränsle för flyget (SOU 2019:11). Stockholm: Miljödepartementet.

Brynolf S, Taljegård M, Grahn M, Hansson J (2018). Electrofuels for the transport sector: a review of production costs. *Renewable & Sustainable Energy Reviews 81 (2) 1887–1905*.

P. Börjesson, J. Lundgren, S. Ahlgren, I. Nyström (2016) Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel – i sammandrag, Rapport f3 2016:3, *Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel, f3*,

Energimyndigheten, (2018). Omvärldsbevakning biodrivmedelsmarknaden. Promemoria rörande biodrivmedelsmarknaden i Sverige och i världen.

Grahn M, Jannasch A-K (2018). Electrolysis and electro-fuels in the Swedish chemical and biofuel industry: a comparison of costs and climate benefits. *Report No 2018:02, f3*. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels, Sweden.

Hansson, J., Grahn, M. (2013). Utsikt för förnybara drivmedel i Sverige – Uppdatering och utvidgning av studien Möjligheter för förnybara drivmedel i Sverige till år 2030 av Grahn och Hansson, 2010. *IVL rapport B2083*.

IEA (2018). World Energy Outlook 2018, Paris, Frankrike.

Infrastrukturdirektivet (2014). DIRECTIVE 2014/94/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure. *Official Journal of the European Union 28.10.2014*.

Lehtveer, M., Brynolf, S., Grahn, M. (2019). What future for electrofuels in transport? – analysis of cost-competitiveness in global climate mitigation. *Environmental Science and Technology 53 (3) 1690–1697*.

M. Martin, E. Wetterlund, R. Hackl, K. M. Holmgren, P. Peck (2017), Assessing the aggregated environmental benefits from by-product and utility synergies in the Swedish biofuel industry. *Biofuels*, DOI: 10.1080/17597269.2017.1387752

Nikoleris A, Nilsson L. (2013). Elektrobränslen en kunskapsöversikt. Lund, Sweden. *Faculty of Engineering, Lund University*.



P. Börjesson, J. Lundgren, S. Ahlgren, I. Nyström (2016). Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel – i sammandrag. *Rapport f3 2016:3*, Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel, f3.

Smith, P., Haberl, H., Popp, A., et al., (2013). How much land based greenhouse gas can be achieved without compromising food security and environmental goals? *Global Change Biology* 19 (8): 2285–2302.

Souza, Victoria, Joly et al., (2015). Bioenergy and sustainability: bridging the gaps. *SCOPE Report* 72.

