

VÄTGASINFRASTRUKTUR FÖR TRANSPORTER

FAKTA OCH KONCEPTPLAN FÖR SVERIGE 2014-2020



RAPPORT HIT-1 NIP-SE

31 december 2014

SWECO 
Sustainable engineering and design

Aktörer som deltar i projektet "Vätgasinfrastruktur för transporter i Sverige 2014-2020"



Samfinansierat av EU
Transeuropeiska transportnätet (TEN-T)



TRAFIKVERKET

Sammanfattning

I denna rapport återfinns;

- ✓ Ett faktabaserat status- och kunskapsunderlag om vätgas som fordonsbränsle
- ✓ En genomgående energisystem- och aktörsanalys för vätgas som en länk i det svenska energisystemet
- ✓ Ett förslag på en implementationsplan för vätgasinfrastruktur i Sverige åren 2014-2020

Rapporten är ett delresultat i INEA/TEN-T-projektet "Hydrogen Infrastructure for Transport" (HIT-1) och en del av det svenska arbetspaketet "Vätgasinfrastruktur för transporter" (HIT NIP-SE). Arbetet har genomförts av ca 25 projektaktörer i Sverige under ledning av Sweco och med Vätgas Sverige som beställare.

Här följer rapportens slutsatser och summering;

De främsta drivkrafterna för vätgas är

- Potentiella miljövinster
 - I ett av beräkningsexemplen i denna rapport visas att en vätgasinfrastrukturinvestering på 3 000 MSEK fram till år 2030 skulle kunna innebära en CO₂-besparing motsvarande storleksordningen 430 MSEK/år.
 - Att de är tysta vilket är en stark fördel i bebyggda områden.
- Exportmöjligheter av produkter eller tjänster och möjliga arbetstillfällen,
 - Det finns många inhemska företag och universitet som ser affärer på vätgas- och bränslecellsområdet
- Ökad försörjningstrygghet genom möjlig inhemsk drivmedelsproduktion
 - Vätgas kan produceras av förnybar el eller biomassa.
- Ökad energisystemflexibilitet.
 - Vätgaslager kan utjämna intermittent elproduktion.
 - Med vätgas som länk kan stationär, traktionär och industriell sektor integreras ytterligare.

De främsta hindren för implementering av vätgas är att

- Det krävs ett paradigmskifte för att implementera
 - Både företag och allmänhet har vanan att utgå från fossila bränslen.
- Det kräver en initial investering för uppbyggnad av ett vätgastankstationsnät
 - Vätgastankstationer förväntas inte vara lönsamma under introduktionsfasen
- Det kräver att politiken stödjer tekniken

- Många regioner fokuserar på biogas och elfordon idag.
- Det saknas uppdaterad kunskap om tekniken bland de flesta aktörerna.

Fakta och teknikstatus

- Vätgas är en energibärare som utgör en emissionsfri länk i ett energisystem.
- Vätgas är utrymmeskrävande och förvaras vid högt tryck för att användas som fordonsbränsle.
- Teknikmognad för bränsleceller och globala standarder för tankning underlättar introduktionen av vätgas som drivmedel.
- Energisystemeffektiviteten med vätgas är högre än för fossila bränslen, men lägre än för ett rent elsystem.
- Den första serietillverkade bränslecells bilen (1000 st) startade produktionen 2013. Det finns också tvåhjulingar, bränslecellsbusar och lätta lastbilar.
- Det har byggts över 250 vätgastankstationer i världen.
- Flera länder i Europa bygger just nu upp nationellt täckande infrastruktur av vätgastankstationer (Danmark, Tyskland, UK).
- Det nya EU direktivet [EC, 2014] för alternativa bränslen inkluderar vätgas, men kräver inte att alla medlemsländer bygger upp infrastruktur för det.
- Dagens vätgasfordon har jämförbar säkerhetsnivå som befintliga traditionella fordon, men det finns både risker och tekniska lösningar som är annorlunda och som behöver beskrivas för ökat förtroende för både teknik och bränsle.

Energisystemanalys

- Möjligheten till lokal produktion av vätgas ger ökad försörjningstrygghet och minskat importberoende av drivmedel, både nationellt och lokalt på mindre orter där transportkostnaden för flytande drivmedel riskerar att bli så höga att distributionen upphör.

I denna rapport visas hur vätgas passar in i befintligt energisystem i Sverige. Vätgas kan produceras av förnybar el eller biomassa eller återvinnas från industrier med överskott. Vätgasen kan användas stationärt eller traktionärt, det sistnämnda är fokus för denna rapport. Värmeförluster i en del av processen kan utnyttjas i andra delar av energisystemet. Vätgas är en energilagringsform och kan användas för produktion av metan där så behövs.

Policy och styrmedel

En långsiktig, väl genomtänkt och koordinerad kombination av styrmedel krävs för att åstadkomma utbyggnad av infrastruktur för vätgas och introduktion av bränslecellsfordon.

- Tekniken behöver investeringsstöd för introduktionsfasen, både för infrastruktur och fordon.
- Med initialt stöd till investeringar i vätgastankstationer och ett rimligt elpris blir driftskostnaden låg. När volymerna ökar blir vätgas ett konkurrenskraftigt drivmedel som klarar sig utan subventioner eller skattelättnader.

-
- Styrmedel behövs initialt för att underlätta upphandling av nollemissionsfordon (FCEV+BEV) till publika och privata aktörer i storstäderna där de lokala problemen med buller och dålig luft är som störst.

Aktörer

Affärsvärdekedjan kan göras lång för vätgas som drivmedel och det finns många intressenter i Sverige. Gemensamt för alla nya områden är att det tar tid att etablera en värdekedja, d.v.s för de olika aktörerna att finna sin plats i värdekedjan. Samarbeten, allianser, utvecklandet av kund- och leverantörsförhållande, utveckling av affärsmodeller m.m. är processer som måste genomföras för att en bransch ska uppstå. När det som i detta fall också handlar om att olika redan etablerade branscher (energisektorn, fordonsbranschen och infrastruktursektorn) möts, krävs några år av samarbeten för att klara ut gränssnitten och förädla affärsmodellerna. Gemensamt för alla aktörer är att mer kunskap behövs inom området.

Fordonstillverkare och vätgasleverantörer har gjort stora förinvesteringar i bränslecellsbilar och vätgasinfrastruktur och visar att de är redo att göra fler under kommande femårsperiod.

- Sverige har många företag och organisationer som besitter god kompetens inom vätgas och bränsleceller. Inom denna bransch finns stor potential för tillväxt och exportmöjligheter.

Regionala case

Fem regionala case har utvecklats inom HIT-projektet under vintern 2013/2014. De benämns Vätgas Norr med vintertestområdet, Green Highway (Sundsvall-Östersund-Trondheim), Stockholm samt Västkustvägen med detaljer kring Falkenberg respektive Malmö. För dessa har aktörer samlats för att gemensamt utvärdera och skapa bästa möjliga plattform för implementering. Slutsatsen är att arbetsformatet med regionala aktörskluster är ett bra forum för utveckling och att samtliga dragit slutsatsen att minst en tankstation i varje region ska byggas inom de närmaste åren.

Utbyggnad av tankstationer

I denna rapport har ett förslag för utbyggnad av tankstationer presenterats där ett 10-tal regionala stationer förväntas byggas de närmaste åren och att det kan följas med ett nationellt täckande nät inom 10-15 år. TEN-T-korridorerna genom Sverige kan också vara försedda med vätgastankstationer till 2020. Analysen visar också att det finns en potential för vätgas att användas i en betydande del av fordonsflottan i Sverige på sikt. För små och lätta transporter är elfordon att föredra för att energiåtgången är mindre och för långa och tunga transporter behövs ett drivmedel som innehåller mer energi per volymenhet. Vätgas kan dock med fördel användas i bilar, bussar och lätta lastbilar.

Rekommendationer för initial utbyggnad

Här följer några tidiga rekommendationer för implementation av vätgasinfrastruktur i Sverige.

- Skapa en faktisk och flexibel implementationsplan för vätgas parallellt med planer för övriga alternativa bränslen och inkludera alla möjliga aspekter redan initialt. Inkludera värderingsmetoder för kontinuerlig utvärdering i en plan eftersom

utbyggnaden måste starta för att förbereda för en möjlig storskalig introduktion, men en storskalig introduktion är inte nödvändigtvis ett alternativ som måste stödjas längre fram när teknikutvecklingen gett fler svar och alternativ än de som är kända idag.

- Många, men främst politiker behöver utbildas för att förstå vätgasens fördelar för att också kunna stödja den initiala uppbyggnaden av tankstationer ekonomiskt.
- Initialt behöver ett antal vätgastankstationer byggas för att öka allmänhetens kunskaper och acceptans för tekniken, sedan behöver det byggas fler strategiskt placerade stationer och skapas upphandlingsstöd för att möta upp med tillräckligt många bränslecellsbilar. Såsmåningom kan ett nationellt täckande nät av vätgastankstationer byggas i Sverige. Ingen fas kan hoppas över och man måste acceptera att det kan ta tid att sprida information och kunskap om ny teknik i ett land med begränsad erfarenhet av området.
- Parallell marknadsintroduktion i storstäderna rekommenderas för högsta miljömässiga vinster med avseende på den lokala miljön och exponering tillsammans med etablering i transportkorridorer som förbinder dessa storstäder för att möjliggöra långa resor.
- Vätgasinfrastrukturutbyggnaden behöver ske i fas med teknisk kommersialisering och tillgänglighet av såväl tankstationsteknik som bränslecellsteknik i fordon.
- Den initiala vätgasinfrastrukturutbyggnaden behöver till stor del bekostas med offentliga medel för att överhuvudtaget ske.
- Utbyggnaden av vätgastankstationer bör samordnas på nationell nivå. Det är viktigt att det kommer att finnas initierade användare av de stationer som byggs så att syften såsom ökad vätgasvana och begränsning av ekonomiska förluster kan hanteras.
- Skapa regionala kluster där många aktörstyper ingår för bästa planering.
- Hellre mer koncentrerad lokal utbyggnad än en utbyggnad med maximerad geografisk spridning. Därmed föredras att initiala fordonsanvändare är sådana med lokal körcykel.
- Typiska initiala fordonsägare kan tex vara lokala distributionsföretag i storstäder där luftkvaliteten har stor betydelse. Personbilar där elbatterier inte räcker till och lättare transportfordon passar för vätgasdrift, även lokalbussar.
- Det är fördelaktigt att ha flera tankstationer i samma region i syfte att säkra tillgången på vätgas. Verksamheter som är beroende av mackar (t.ex taxibolag) vill ha garantier på tillgänglighet av drivmedel.
- Placera gärna vätgastankstationer vid befintliga mackar.
- Tidiga vätgastankstationer kan med fördel initialt byggas små (för att minimera investeringskostnaden) med möjlighet att flytta till annan ort och ersättas med en ny större station när högre kapacitet behövs, dvs när det lokala fordonsunderlaget ökat, och på så sätt succesivt bygga upp vätgasinfrastrukturnätet.
- Introduktionsfasen behöver vara realistisk och inkludera "urfasning" av bidrag.

-
- Vätgasproduktionen för år 2020 i Sverige kommer sannolikt till största del ske i central elektrolysör och transporteras trycksatt på lastbil. På längre sikt förväntas vätgasproduktionen ske från förnybar el och biomassa för maximal miljöeffekt och största möjliga inhemska produktion.
 - Genomför erforderliga analyser!

Skapa en faktisk implementationsplan

Det övergripande behovet är att fortsätta arbetet redovisat i denna rapport med utformningen av en faktisk, antagen, implementationsplan för framtidens drivmedel i Sverige, med fördel parallellt för de olika bränslen som föredras. Notera att detta också krävs från alla medlemsländer i det nya direktivförslaget från EU gällande alternativa bränslen [EC 2014].

En faktisk implementationsplan för vätgas behöver nödvändigtvis vara en väl förankrad, levande plan som genomgår ständig uppdatering och behöver också inkludera så många synvinklar som möjligt och visa på hela spännvidden av alternativ för att inte i sig vara begränsande.

Denna rapport och arbetsprocessen kring den, har lagt grunden för detta.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Innehållet i rapporten illustreras i bilden nedan.

Inledningsvis (kapitel 1-3) ges en introduktion innehållande vätgasens roll, drivkrafter och hinder. Del 1 (I), "Teknikstatus och bakgrund" innefattar kapitel 4-8, del 2 (II), "Analys", innefattar kapitel 9-12, och del 3 (III) "Koncept för implementering" innefattar kapitel 13-19, därpå följer eftertexter med referenser mm.

1

Teknikstatus och bakgrund

- Produktion, lagring och distribution
- Infrastruktur och fordon
- Standarder och säkerhetsaspekter

2

Analys

- Energisystem och miljö
- Policy och styrmedel
- Aktörer

3

Koncept för implementering

- Målbilder och scenarier
- Åtgärdsförslag
- Samhällsvinster

1	Introduktion	15
2	Vätgasens roll	15
2.1	Vätgas som energibärare	16
2.2	Drivkrafter för vätgasinfrastuktur	16
2.3	Hinder för vätgasinfrastuktur	17
3	Nästa steg	18
4	Vätgasproduktion, -lagring och -distribution	19
4.1	Vätgaskällor	20
4.2	Produktion	20
4.3	Lagring	23
4.4	Distribution	26
4.5	Vätgastankstationer	29
5	Vätgasinfrastruktur	30
5.1	Tankstation, koncept	30
5.2	Kostnader och HRS-storlekar	30
5.3	Pågående infrastrukturutbyggnad i världen, planer och finansiering	30
6	Fordonstyper för vätgasdrift	38
6.1	Drivlinor för vätgas	38
6.2	Tvåhjulingar	39
6.3	Bränslecellsbusar	39
6.4	Bränslecellsbilar	41
7	Vätgas, el och biodrivmedel – en symbios!	45
7.1	Infrastruktur	45
7.2	Tankning/laddning	46
7.3	Körsträcka	46
7.4	Lokal miljöpåverkan	46
7.5	Buller	46
7.6	Degradering	47
7.7	Säsongsberoende	47
8	Framtidens bilanvändning och beteende	49
9	Regelverk och internationella standarder	50

9.1	Tankstationer	50
9.2	Vätgaskvalitet	50
9.3	Mätnoggrannhet vid tankning till fordon	50
9.4	Fordon	51
10	Säkerhetsaspekter	51
11	Energisystemanalys för Sverige	57
11.1	Nuläget Sveriges energisystem	57
11.2	Vätgas i jämförelse med andra drivmedel	59
11.3	Vägtransportsektorn i Sverige, exemplifierande fördelning mellan el, vätgas och metan	64
11.4	Vätgas som länk mellan olika energiformer och lagring	69
12	Emissioner vid användning av vätgas	77
12.1	Direkta emissioner från fordon	77
12.2	Emissioner från vätgasproduktion	77
12.3	Jämförelse med andra fordonsbränslen	79
13	Policy och styrmedel för vätgas i transportsektorn	80
13.1	Policies och styrmedel i Europeiska Unionen	80
13.2	Nuvarande svenska styrmedel för transportsektorn	83
13.3	Fossiloberoende fordonsflotta 2030	85
13.4	Exempel på styrmedel för vätgas	88
13.5	Tillämpning av styrmedel och incitament	89
13.6	Diskussion	97
13.7	Slutsatser	98
14	Aktörer	99
14.1	Aktörer som är aktiva idag	99
14.2	Affärsvärdekedja vid vätgasdrift för transporter	100
15	Målbilder	102
15.1	Regionala case	102
15.2	Scenarier för utbyggnad av vätgastankstationer	103
16	Infrastrukturkostnader	113
16.1	Ekonomiska styrmedel	114
16.2	Affärsmodeller för tankstationer	115
17	Samhällsvinster i svensk tillämpning	117
17.1	Miljövinster	117

17.2	Konkurrenskraft	118
17.3	Nya affärs- och produktionsmöjligheter	118
18	Förslag på åtgärder för implementering 2014-2020	120
18.1	Värdera drivkrafterna	120
18.2	Överkom hinder	121
18.3	Genomför aktiviteter och höj kunskapen hos aktörerna	123
18.4	Aktiv politik	126
18.5	Aktiv myndighetsutövning	127
18.6	Aktivt näringsliv	129
18.7	Fördjupa samarbetet med andra länder	129
18.8	Skapa en faktisk implementationsplan och genomför erforderliga analyser	130
1.1	Skapa en faktisk implementationsplan	130
19	Slutsatser och summering	133
19.1	Drivkrafter och hinder för vätgas	133
19.2	Fakta och teknikstatus	133
19.3	Energisystem	134
19.4	Policy och styrmedel	134
19.5	Aktörer	134
19.6	Regionala case	135
19.7	Utbyggnad av tankstationer	135
19.8	Rekommendationer för initial utbyggnad	135
19.9	Skapa en faktisk implementationsplan	136
20	Tillkännagivanden	138
21	Bilageförteckning	138
22	Om Projektet HIT	139
22.1	Bakgrund	139
22.2	Metod	139
22.3	Författare till delar av denna rapport	140
22.4	Projekttörer	141
23	Referenser	142
Bilaga 1		155

ORDLISTA

APU	Auxiliary Power Unit
BEV	Battery Electric Vehicles
CH ₄	Metan, den huvudsakliga beståndsdelen i naturgas och biogas
CNG	Compressed natural gas, komprimerad naturgas
CO ₂	Koldioxid
CO ₂ -ekv	Omräkning av olika växthusgasers klimatpåverkan till CO ₂ -ekvivalenter
CCS	Carbon capture and storage
CCU/CCR	Carbon capture and usage/Carbon capture and recycling
DME	Dimetyleter
E85	Fordonsbränsle innehållande 85% etanol och 15% bensin
EUR	Euro
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicles
FCH	Fuel Cell & Hydrogen
FFF	Utredningen om fossilfri fordonstrafik
H ₂	Vätgas
HIT	Hydrogen Infrastructure for Transport
HRS	Hydrogen Refuelling Station(s)
IC(E)	Internal Combustion (Engine)
LBG	Liquefied biogas, flytande biogas
LCA	Life Cycle Assessment
LNG	Liquefied natural gas, flytande naturgas
LPG	Liquefied petroleum gas, gasol
MOFs	Metal-Organic Frameworks
NIP	National Implementation Plan
NO _x	Samlingsbegrepp för kväveoxider
OEM	Original Equipment (vehicle) Manufacturer
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicles
RME	Rapsmetylester
SEK	Svenska kronor
SHHP	Scandinavian Hydrogen Highway Partnership

SIP	Synchronised Implementation Plan
SO _x	Samlingsbegrepp för svaveloxider
SÖT	Korridoren Sundsvall – Östersund – Trondheim
TEN-T	Transeuropeiska transportnätet
USD	United States Dollar
ZEV	Zero Emission Vehicles

Energibegrepp

Wh	Wattimme – 1 Wh motsvarar en påslagen 40W glödlampa under en och en halv minut
kWh	kilowattimme (1×10^3 Wh) – 1 kWh motsvarar en påslagen spisplatta under ca en timme
MWh	Megawattimme (1×10^6 Wh) – 1 MWh motsvarar ca två "normaltankningar" diesel i en personbil
GWh	Gigawattimme (1×10^9 Wh) – 1 GWh motsvarar värmebehovet för ca 50 normalstora villor under ett år
TWh	Terawattimme (1×10^{12} Wh) – 1 TWh motsvarar elanvändningen för en svensk halvmiljonstad per år

Introduktion: Potential för vätgas i den svenska transportsektorn

1 Introduktion

Avsikten med denna rapport är inte att exakt visa vägen för hur en vätgasinfrastrukturimplementation för vägtransporter ska genomföras i Sverige. Det är däremot ett mål att visa på möjligheter och vägar för en tänkbar implementering. För detta ändamål har olika aspekter belysts - allt från energisystemanalyser till samhällsekonomiska effekter – bland annat utifrån några valda scenarier.

I denna rapport läggs det stor vikt vid energisystemintegrationen med vätgas relativt andra drivmedelsalternativ och befintligt energisystem, och de vanligaste drivkrafterna för vätgasinfrastruktur förklaras. Konceptidéer och exempel som ges i denna rapport är skrivna för att användas för kommande fortsatt arbete med en faktisk implementationsplan, även det en plan som behöver vara flexibel för att hantera allt som ändå är oförutsägbart.

En annan målsättning med denna rapport är att visa på teknikstatus för vätgas och bränsleceller för transporter, se kapitel 3 - 10, för att ge större möjlighet för fler aktörer att förstå de nya möjligheter forskningen och utvecklingen inom området skapat.

Förväntningarna för vätgasinfrastruktur för transporter i Sverige var till och med 2013 generellt sett svaga i Sverige. Redan arbetet med projektet som lett fram till denna rapport har gett resultatet att fler aktörer i Sverige har uppvisat ett ökat intresse inom området.

2 Vätgasens roll

Vätgas och bränslecellsbilar har potential att spela en viktig roll i omställningen till nollemissionsfordon. Av de miljöfordon som idag, och under överskådlig framtid, finns på marknaden är enbart och bränslecells- och batteriefordon de som kan klassas som nollemissionsfordon (dvs inga skadliga utsläpp sker från fordonets motor). Dock kan, beroende på vilken teknik som används, framställning av såväl el som vätgas orsaka utsläpp av miljöskadliga ämnen.

Intresset för vätgas som drivmedel har ökat markant på senare tid, vilket inte minst märks på de satsningar som görs bland biltillverkare, infrastrukturbolag och myndigheter runt om i världen. Konventionella fordon avger förutom koldioxid även svavel- och kväveföreningar samt partiklar i och med förbränningen vilket påverkar den lokala omgivningen.

Idag är den enade bilden att det kommer behövas flera tekniker och drivmedelsslag för att uppnå en fossilfri vägtransportsektor. Även tidigare studier menar att fossilfria vägtransporter i Sverige till stor del kommer att utgå från el, antingen i dess rena form i

elbilar, eller omvandlat till ett fysiskt bränsle [Lindfeldt et al. 2010], exempelvis vätgas [HyWays 2007].

2.1 Vätgas som energibärare

Vätgas, liksom andra gasformiga bränslen, innehåller vid "normala" förhållanden relativt små mängder energi per volym. För att gaser ska kunna ges samma funktionalitet som flytande drivmedel brukar gaser komprimeras eller kylas ner till flytande form. I Sverige finns vätgas tillgängligt i komprimerad form och transporteras på flak. Vätgas utgör en länk mellan el (som är en färskvara dvs inte är enkel att lagra) och ett lagringsbart drivmedel. Därmed kan vätgas användas i en mängd olika applikationer utöver dess roll som drivmedel för transporter. På flera håll undersöks vätgasframställning genom elektrolys som en potentiell teknik för reglering av elnät på lokal nivå.

Då vätgas kan framställas via elektrolys finns det möjlighet för Sveriges del att, i stor skala, framställa inhemska drivmedel. Både Energimyndigheten och Svenska Kraftnät bedömer att Sverige rimligen är på väg mot ett stort elöverskott kommande decennier. I ett sådant fall skulle vätgas kunna vara ett alternativ för avsättning istället för export av el. Därmed skulle vätgas bidra till en ökad försörjningstrygghet som inte finns idag då vi importerar i princip allt bränsle som används i transportsektorn. Vilket av dessa användningar av överskottsenergi som kommer att bli mest lönsam beror dock på en mängd faktorer, inte minst politiska.

2.2 Drivkrafter för vätgasinfrastruktur

I länder som väljer att satsa på att bygga upp en vätgasinfrastruktur återfinns i huvudsak ett eller flera av följande argument som viktiga drivkrafter (jämför kapitel 5.3 nedan);

- Möjlighet till minskade emissioner, dvs miljöfördelar, se vidare nedan.
- Förstärkt internationell konkurrenskraft genom att vara föregångare inom teknikutveckling
- Export av produkter och tjänster
- Arbetstillfällen
- Försörjningstrygghet och minskad import av fossila drivmedel
- Närliggande länders utbyggnad – behov av integrering gränsöverskridande transportsystem
- Förstärkning av nationell energistrategi, inklusive funktionalitet med Power-to-Gas.

I Sverige har argumenten för dessa drivkrafter ännu inte värderats som tillräckligt starka för att börja stödja en nationell implementering av vätgasinfrastruktur för transporter. Se vidare resonemang kring dessa drivkrafter i kapitel 17 om samhällsvinster och miljöaspekter.

Det finns stora likheter mellan ett bränslecellsfordon och ett batterifordon. Exempelvis drivs båda typerna av en elmotor. Skillnaden är hur energin lagras i fordonet, antingen som vätgas i en tank eller i el i ett batteri. Vätgasen omvandlas till el i en bränslecell, därefter är drivlinan i princip densamma som drivlinan i ett batteriefordon. Det innebär att bränslecellsbilarna inte avger lokala emissioner från själva framdrivningen. Detta är särskilt intressant i städer och längs vissa vägar där de lokala emissionerna samt buller har stor negativ effekt. Flera länder anser att de inte kan nå EU-utsläppsmål med bara biobränsle och batteribilar. Det ska tilläggas att alla fordon producerar partiklar när de körs, på grund av dels däckslitage och dels upprivning av vägen de kör på samt att utsläpp naturligtvis sker under fordonens och infrastrukturens livcykel till exempel under tillverkning av el och drivmedel.

De utsläppsvinster som netto ges vid införande av bränslecellsfordon är beroende av hur vätgasen tillverkas. Framställs det med el kan miljöbelastningen rimligen anses vara mycket låg jämfört med naturgasreformerings som är den konventionella metoden för framställning.

2.3 Hinder för vätgasinфраstruktur

Här ges en lista över hinder som har stor betydelse för om implementering av vätgasinфраstruktur kommer att genomföras i Sverige eller inte.

Paradigmskifte

- Värdekedjan är ej satt för ny teknik. Olika aktörer söker sin plats i värdekedjan och tar eller får ta roller som de ej är vana vid. Affärsmodeller saknas hos en del av aktörerna i dessa nya roller. Branschöverskridande samarbeten tar tid – energisektorn och transportsektorn behöver flera års samarbeten för att identifiera gränssnitt, finna sina roller och utveckla affärsmodeller.
- Ingen som tar ansvaret för att driva igenom ett paradigmskifte.

Kostnader

- Fossila bränslen billiga och miljöavgifterna låga. Många företag och organisationer lever på dagens teknikval och infrastruktur. Förädlingsvärdet av fossila bränslen i landet är stort och skatteintäkterna höga.
- Att överkomma de initiala kostnaderna för införande av ny teknik som inledningsvis har höga kostnader på grund av både utvecklingskostnader och ovana för installation.
- Konkurrens om offentliga medel och utrymme mellan olika alternativ till fossila drivmedel.
- Finns inte tillräckligt starka aktörer som driver på lösningar.

Politik

- Politisk kortsiktighet. Införande av ett paradigmskifte kräver en långsiktig och medveten planering med subventioner och nya regler i det korta perspektivet.
- Bedömning av aktuell industris lokalisering. Transporteknik vars fordon och komponenter redan utvecklas av stora och välkända företag i Sverige får mer stöd.
- Lobby för dagens regim och för andra alternativa drivmedelsalternativ framåt är mycket starka.

Okunskap

- Acceptans. Folket måste vänja sig vid den nya tekniken och lita på dess funktionalitet och säkerhet samt lockas av dess fördelar.
- Medias okunskap. Den information som sprids via media får betydande genomslag.

Se vidare resonemang om hur dessa hinder kan överkommas i kapitel 17.

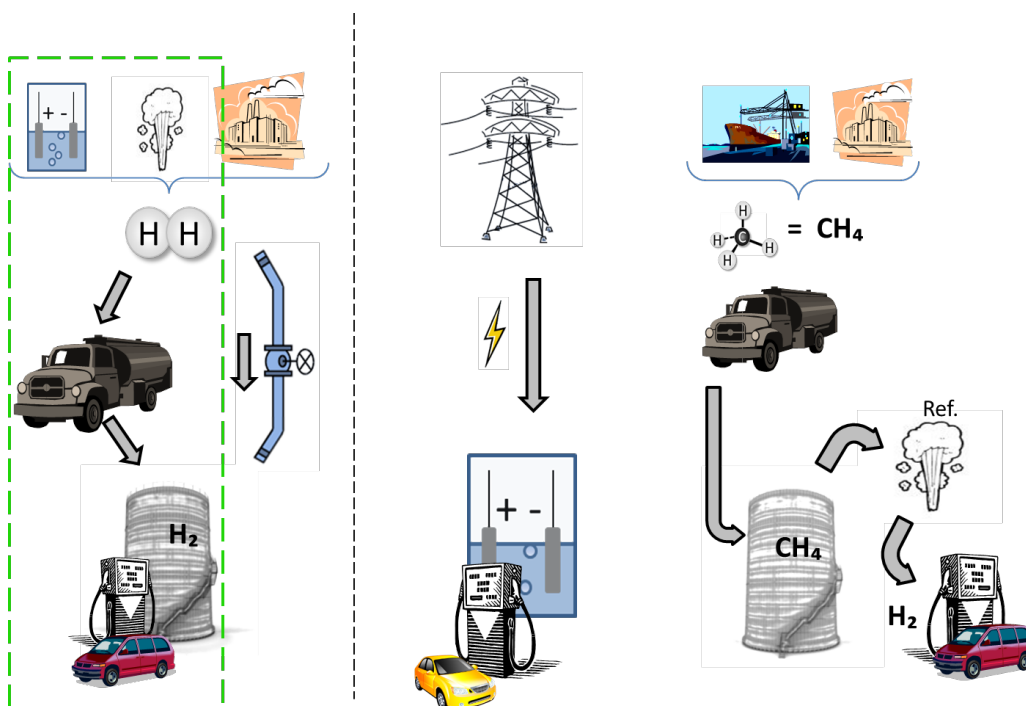
3 Nästa steg

Utifrån innehållet i denna rapport kan vätgas utvecklas till att bli ett fullvärdigt alternativt drivmedel i Sverige.

Del I: Teknikstatus och bakgrund

4 Vätgasproduktion, -lagring och -distribution

Vätgas kan framställas från en mängd olika råvaror, och särskilt intressanta är självklart förnybara råvaror såsom förnybar elektricitet och biomassa, samt redan tillgängliga biproduktströmmar av vätgas som finns i industrin. De olika produktionssätten ger tillsammans med olika distributions- och lagringsmöjligheter ett antal möjliga systemalternativ för infrastrukturen. En centraliserad storskalig produktion (t.v. i Figur 1) kan ge en hög resurseffektivitet i produktionssteget, men distributionen medför kostnader och ökad energianvändning. För decentraliserad produktion (t.h. i Figur 1) blir förhållandet det omvända, vätgasen produceras på tankstationen med lägre effektivitet i omvandlingen än för centraliserad produktion, men råvaran, t.ex. el eller metan, kan i vissa fall transporteras i befintlig infrastruktur för dessa energibärare med relativt låg energianvändning. Det infrastruktursystem som bedöms som rimligast i dagens läge är central produktion via elektrolys eller ångreformering följt av distribution med lastbil till vätgastankstationen. Valet av infrastruktursystem beror till stor del på den befintliga infrastrukturen i samhället och de energiråvaror som finns tillgängliga.



Figur 1 Urval av produktions-, distributions- och lagringsmöjligheter. Inrutad kedjavisar den troligaste lösningen vid introduktion av vätgas i Sverige.

4.1 Vätgaskällor

Trots att väte är det absolut vanligast förekommande ämnet i universum så finns vätgas paradoxalt nog inte i större mängder att tillgå på jorden. Väte är generellt bundet till andra ämnen i olika former varifrån den måste extraheras. Metoderna för extraktion varierar beroende på vilken källa som används, men de huvudsakliga vätgaskällorna är dock:

- Metan – Metan innehåller mycket väte per molekyl och erhålls genom ångreforming (beskrivet i avsnittet för reformering). Metan är huvudkomponent i både biogas och naturgas. Dock bidrar naturgas till nettoutsläpp av koldioxid vid framställning av vätgas vilket inte biogas gör. Idag används främst naturgas vid produktion av vätgas globalt och kommer därför användas vid jämförelse med andra källor vid vätgasframställning.
- Biomassa – Biomassa är också rikt på väte vilket gör den till en bra källa för produktion. Exempel på biomassa är skogsråvara, såsom restprodukter från skogsindustrin.
- Vatten och el – Väte är en av två beståndsdelar i vatten som exempelvis kan erhållas genom spjälkning av vattnet med el (elektrolys). Denna metod skiljer sig från de två andra metoderna då de tillför värme till processen medan elektrolys tillför el.

Utöver ovan nämnda alternativ finns flertalet andra alternativa källor som exempelvis industriella processer där vätgasen är en restprodukt. Forskning och utveckling inom olika områden sker för ytterligare utvinningsmöjligheter som exempelvis artificiell fotosyntes eller fotobiologisk produktion (alla alternativen presenteras i Tabell 1). Viktiga faktorer för val av källa beror mycket på lokala och regionala förutsättningar för var vätgasen ska användas samt dess framställningskostnad.

Sverige har ingen egen tillgång på exempelvis naturgas, som är den främsta källan för framställning av vätgas i världen idag. Sverige har däremot stor potential för produktion av förnybar el och biomassa som skulle kunna användas som källa för vätgas i framtiden.

4.2 Produktion

En av styrkorna med vätgas är den breda råvarutillgången och de många framställningsalternativen, vilket ger en flexibilitet som är gynnsam vid integration med befintligt energisystem. Produktionen av vätgas kan även anpassas till andra strukturer i samhället, såsom distributionssystem och tillgängliga råvaror.

Det finns tre huvudsakliga metoder för framställning av vätgas: elektrolys, reformering och förgasning. Utöver dessa finns en rad lovande forskningsområden, exempelvis med vätgas från alger och artificiell fotosyntes. En sammanställning av de olika metoderna är presenterad i Tabell 1.

Tabell 1 Översikt av befintliga vätgasproduktionsmetoder och alternativ under utveckling

Produktionsmetod	Förklaring
Reformering	Flytande eller gasformiga kolväten sönderdelas
Elektrolys	Vatten sönderdelas med elektricitet
Förgasning	Biomassa eller kol förgasas vid hög temperatur
Pyrolys	Liknande förgasning, dock syrefri alt. syrefattig miljö vid lägre temperatur
Termokemisk vattenklyvning	Vatten sönderdelas vid hög temperatur
Fotobiologisk	Alger producerar vätgas från solljus
Artificiell fotosyntes	Vatten sönderdelas med solljus
Fermentering	Mikroorganismer sönderdelar biomassa i syrefri miljö utan solljus

I Tabell 2 presenteras olika faktorer för huvudalternativen. Prisuppgifterna för elektrolys och reformering kommer dock från en amerikansk studie och eftersom naturgas- och elpriser skiljer sig är dessa inte direkt översättbara till svenska förhållanden [Woodrow et al. 2011].

Tabell 2 Jämförelse mellan olika framställningsmetoder för vätgas. Färgerna i tabellen visar hur ämnet i fråga förhåller sig till alternativa lösningar inom samma område (grön=bra, gul=medel, röd=dålig)

	Teknikmognad	Verkningsgrad	Kostnadsläge
Elektrolys	Används omfattande i industrin idag*	60 – 70 %	Beror till stor del på elkostnaden som kan variera kraftigt beroende på årstid
Reformering	Används omfattande i industrin idag**	70 %	Troligen den billigaste metoden om storskalig framställning tillämpas (krävs dock flotta om tiotusentals fordon för gynnsamt pris).
Förgasning	Forskning och utveckling	30 – 70 %	Osäkra prisprognoser då det är en relativt ny teknik. Förväntas vara mycket dyrare än elektrolytproducerad vätgas.

*0.3 miljarder kilo vätgas produceras med elektrolys i USA varje år

**6.9 miljarder kilo vätgas produceras med reformering i USA varje år

Vätgas produceras antingen vid stora centraliserade anläggningar eller lokalt på plats ("on-site") vid tankstationer. Fördelarna med central produktion av vätgas är att effektiviteten blir något högre, samtidigt som investeringskostnaderna per levererad enhet kan göras betydligt lägre. Fördelarna med "on-site" produktion är att ingen distribution av gas behövs, något som är speciellt fördelaktigt i ett initialt skede av infrastrukturetablering när sådan transport ofta blir suboptimal på grund av låg nyttjandegrad [NREL 2002].

4.2.1 Elektrolys

Vid elektrolys av vatten finns elektroder nersänkta i en lösning av huvudsakligen vatten varvid el ansluts och en spänning över elektroderna uppstår. Det resulterar i att vattenmolekylerna spjälkas till sina beståndsdelar, väte och syre, som erhålls i gasform i två separata strömmar. Gaserna från elektrolys är mycket rena och behöver mycket lite rening. Syrgasen som bildas är en värdefull biprodukt som kan säljas för att höja den ekonomiska gångbarheten för elektrolysen.

Beroende på elektrolysör kan vätgas levereras i trycknivåer från atmosfärstryck upp till 80 bar. Leverans vid högt tryck bidrar bland annat till minskad driftkostnad för kompressorer vid tankstationen. En elektrolysör kan användas på plats vid tankstationen för att framställa drivmedlet där, vilket gör att gastransporter undviks och istället tillförs energin via en elledning. Denna produktionsteknik har använts i över 100 år och är industrimässigt välutvecklad. Bland annat konstgödselindustrin använder elektrolysörer, och den största producerar 75 000 kg vätgas per dygn. Verkningsgraden är kring 60-70 % inklusive kringutrustning såsom omvänd osmos, styrsystem etc. [Mohseni et al. 2013] [ITM 2012] [NREL 2002].

4.2.2 Reformering

Reformeringsteknik används idag i stor skala i industrin, framförallt på naturgas. Ångreforming innebär att vattenånga och naturgas blandas och får reagera under speciella betingelser vilket leder till att vätgas och koldioxid bildas. Ett stort användningsområde är användning i raffinaderier. Tekniken med mindre reformeringsanläggningar anpassade för tankstationer börjar mogna med en handfull aktörer på området. Gasen behöver renas från bl.a. svavel och kolmonoxid innan tankning i fordon. Verkningsgraden är ungefär 70 % [ref]. Även småskalig reformering kan användas vilket skulle kunna vara intressant vid eventuell on-site produktion av vätgas. Emellertid bedöms tekniken vara alltför dyr i dagsläget för att kunna användas i kommersiell tillämpning.

4.2.3 Förgasning

Vätgasproduktion genom förgasning av biomassa, t.ex. av skogsråvara eller jordbruksavfall, är i ett stadie av utveckling och pilotstudier. Förgasning innebär att biomassa hettas upp till höga temperaturer och sönderfaller till en så kallad syntesgas. Sammansättningen utgörs normalt av vätgas, metan, kolmonoxid och koldioxid. Syntesgasen kan förädlas till olika drivmedel, som vätgas.

Det första processteget, själva förgasningen, är i demo-stadie och en demoanläggning byggs till exempel i Göteborg (GoBiGas), där syftet är att producera metan. Syntesgasen från denna anläggning skulle rent principiellt kunna användas till vätgasproduktion genom att metanet reformeras och kolmonoxiden används för att produceras väte. Dessa syntessteg är välkända processer som har används i andra sammanhang, t.ex. vid naturgasreforming. De tekniska möjligheterna för vätgasproduktion finns alltså, men det finns idag ingen demonstrationsprocess för produktion av vätgas från biomassa.

Det finns också förgasningstekniker under utveckling som kan uppnå en hög andel vätgas redan i förgasningssteget, då minskas antalet efterföljande processteg. Ett exempel på detta är plasmaförgasning, det är förgasning med vatten vid högt tryck och hög temperatur. Ett svenskt företag som utvecklar förgasning med hjälp av plasma är Plagazi.

4.2.4 Vätgas som industriell biprodukt

I vissa industriella processer erhålls vätgas som biprodukt, där den förbränns för värmeproduktion eller till viss del ventileras bort.

Kemiföretaget Akzo Nobel har delar av sin verksamhet utanför Sundsvall. I deras kloratprocess bildas vätgas som en biprodukt. En del används internt för uppvärmning medan delar av den facklas. Mängden vätgas som facklas ett "normalår" motsvarar en energimängd som skulle kunna förse en personbilsflotta på över 2500 fordon med drivmedel.

Hos kemiföretagen i Stenungsund finns bland andra Borealis, som arbetar med framtagning av plastmaterial som eten, propen och polyeten och Ineos som bland annat arbetar med klor-alkali processen. I deras processer finns stora mängder vätgas som skulle kunna användas för att förse fordon.

Det måste dock poängteras att vätgasen från biproduktströmmar i olika processer med stor sannolikhet måste renas innan de kan nyttjas i bränslecellsfordon. Bränsleceller kräver mycket hög renhet på vätgas som annars riskerar få en kortare livslängd.

Oljeraffinaderier både genererar och använder vätgas i sina processer, och är i dagsläget inte optimerade för att framställa mer vätgas än vad som kan användas i processen. I ett framtida scenario där vätgas efterfrågas i större utsträckning kommer detta sannolikt att medföra ökning i produktion av vätgas, i den grad det anses lönsamt. Utöver vätgas som biprodukt från olika industrier finns även elektrolysörer redan utstationerade på ett flertal ställen i Sverige där lokala industrier är i behov av vätgas för sina processer. Där elektrolysörerna är tillräckligt stora finns möjlighet att framställa vätgas för transport utöver den mängd som framställs för den lokala industrin.

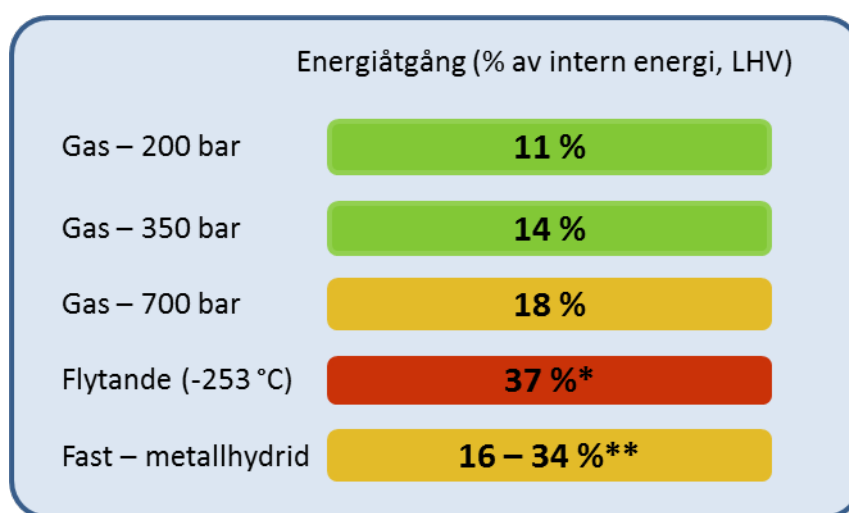
4.3 Lagring

Det finns tre huvudsakliga sätt (faser) att lagra vätgas på: komprimerad, flytande eller vätgas bunden i metallstruktur (metallhydrid). Dessa sätt är presenterade i Tabell 3 och

visar hur mycket av den motsvarande interna energin i vätgasen som krävs för att uppnå önskat lagringstryck eller lagringsfaser (dvs gas, flytande eller fast).

De tryck som används ombord på personbilar är 700 bar, vilket fylls från ungefär 900 bar för snabb tankning. 700 bar har valts för att det ger fordonen en räckvidd liksom för andra kommersiella fordon idag (500 – 700 km) utan att ta för mycket plats ombord. Bussar använder 350 bar som tryck ombord, då tankarna kan placeras på taket där utrymmet inte är lika begränsat som i en personbil.

Tabell 3 Energiförluster inom de olika storskaliga energilagringmöjligheterna. Färgmarkeringarna indikerar endast hur en specifik egenskap förhåller sig till andra alternativ i tabellen.



* DOE 2009

** Jensen 2010

Tabell 4 Exemplifierande jämförelse mellan olika lagringsmetoder för vätgas i stationärt lager, dvs ej i fordonstank. Färgerna i tabellen avser visa hur ämnet i fråga förhåller sig till alternativa lösningar inom samma område (grön=bra, gul=medel, röd=dålig)

	Teknikmognad	Kostnadsläge
Lågtrycks-lager (45 bar)	Används omfattande i industrin idag	Fördelaktig lösning om mycket utrymme finns tillgängligt. Relativt billig kompressionskostnad.
Högtrycks-lager (300 bar)	Används omfattande i industrin idag	Kräver kraftigare gods och har högre kompressionskostnad än tidigare. Intressant vid begränsade utrymmen för lagring.
Flytande	Används omfattande i industrin idag	Väldigt dyrt att förvätska vätgas i dagsläget då det går åt mycket energi under processen.

4.3.1 Gasform

Gasformigt väte är det som i dagsläget används i fordon. Vid tankstationen lagras merparten av vätgasen vid ett betydligt lägre tryck än det som tankas till fordonen, eftersom lagring vid lägre tryck medför lägre kostnader. Normalt sker detta vid 200 bar, och då används stålbehållare av samma typ som för gasleveranser till industrin idag. För högre tryck används tankar gjorda av en komposit av glasfiber och kolfiber. Om en elektrolysör används vid en tankstation för att producera vätgas på plats är trycksatt vätgas den normala lagringsmetoden eftersom den är relativt billig och enkel. Studier visar att den billigaste typen av stationärt gaslager är att lagra vätgasen vid 30-80 bar som kan ges direkt från en elektrolysör. Denna typ av lagring kan göras i relativt billiga ståltankar ovan eller under jord så länge det finns utrymme att förvara dessa. Gasformig lagring är det vanligaste sättet att lagra väte på vid tankstationer runt om i världen [NREL 2002].

I större skala går det att blanda in vätgas i naturgasnätet. Exakt hur mycket som kan blandas in utreds dock fortfarande och beror bland annat på det lokala naturgasnätet och användarna. I de länder som har ett väl utbyggt naturgasnät kan detta användas för att lagra mycket stora mängder vätgas, eftersom ett naturgasnät inte håller ett konstant tryck utan kan tillåta ett tryckintervall på ungefär 25 % från det lägsta trycket. Det vanliga

antagandet är att gasen sedan går från naturgasnätet till förbränning ombord på fordon eller i kraftverk. Det finns dock exempel på att vätgas blandas in i naturgasnätet för att sedan avskiljas vid tankstationer.

4.3.2 Flytande form

Flytande vätgas tar liten plats både vid distribution och lagring relativt komprimerad vätgas. Nedkylningen kräver dock stora mängder energi och ligger på närmare 40 % av vätgasens energiinnehåll. Ytterligare en nackdel är att en del av vätet ständigt övergår i gasform på grund av stora temperaturskillnader mellan behållare och omgivning. Det bästa är alltså om det finns kontinuerlig avsättning för denna gas så att den inte behöver gå till spillo. Vid en större tankstation med en kontinuerlig ström av tankande fordon behöver inte detta vara något problem, och kylan från vätgasen kan användas för att se till att gasen som fylls i fordonet håller en konstant temperatur på mellan 32 och 40 minusgrader, detta för att gasen ska kunna fyllas snabbt i fordonet utan att fordonstanken blir för varm. När väte lagras gasformigt sköts detta av en separat kylanläggning vilken kräver viss energi. Vätgas har under lång tid lagrats i flytande form och det finns en fungerande marknad för detta i bland annat Tyskland, där det används i flera industrier [Gardiner 2002].

4.3.3 Metallstrukturer

Att lagra väte i metallstrukturer, metallhydrider, är ett effektivt sätt att lagra mycket väte på ett litet utrymme. Väteatomerna hamnar närmare varandra än i såväl trycksatt som flytande väte. Samtidigt gör vikten från metallen att det inte ansetts lämpligt för lagring ombord på fordon. Det väger mångdubbelt mer än de två ovanstående metoderna. Samtidigt tar det relativt lång tid att lagra och få ur vätet ur metallstrukturen, vilket gör tankning tidsödande. En hel del värme behöver även kylas bort när vätet lagras i strukturen om detta ska göras skyndsamt. För varje gång metallhydriden lagrar vätgas degenereras den något, vilket gör att den måste bytas ut efter viss tids användning. Det pågår mycket forskning på området och förhoppningen är att dessa svagheter ska kunna minskas. Det finns även en annan gren av forskningen som fokuserar på Metal Organic Frameworks (MOFs), där väte lagras i en metallorganisk struktur som väger betydligt mindre och har potential att lagra mer väte. För närvarande kräver MOFs mycket låg temperatur vilket gör dem oattraktiva [Gardiner 2002].

4.4 Distribution

Det finns fyra huvudmöjligheter för vätgasdistribution, på flak i trycksatta behållare, i rörledning, i flytande form samt "distribuerad produktion" varav den sistnämnda kan ske med två olika metoder. Kostnaderna för olika distributionssätt är dock komplexa att jämföra eftersom de är starkt beroende av transporterade gasmängder och avstånd. I Tabell 5 presenteras de olika alternativen för vätgasdistribution.

Tabell 5 Olika alternativ för storskalig vätgasdistribution. Färgerna i tabellen avser visa hur metoden i fråga förhåller sig till de alternativen som finns i tabellen (grön=bra, gul=medel, röd=dålig).

	Teknikmognad	Verkningsgrad	Kostnadsläge
Tryckbehållare	Hög	Medel	Beror på transporterad mängd och sträcka. Initialt alternativ.
Rörledning	Hög	Hög	Starkt beroende av lokala förhållanden. Låga kostnader vid stora överföringsmängder
Flytande	Hög	Medel	Beror på transporterad mängd och sträcka. Potential för relativt låga specifika kostnader.
Distribuerad prod. – elektrolys	Medel	Hög	Främst elledningskostnader, rimligtvis redan befintliga
Distribuerad prod. – Reformering av metan till vätgas	Medel	Hög	Kostnaden för metantransport är relativt låg

4.4.1 Trycksatta behållare

Detta är en vanlig lösning i industrier som inte använder stora mängder vätgas. Det används även vid många tankstationer, delvis beroende på behov. Skulle mycket stora mängder efterfrågas kan andra alternativ än trycksatta behållare kunna vara mer lönsamma. Samtidigt är det en mycket flexibel metod med låga investeringskostnader och ett idag fungerande distributionsnät eftersom vätgas redan används i många industrier [NREL 2002].

Det finns även lastbilar med stora komposittankar som fyller över gas till stationära tankar vid en tankstation. Dessa har ofta ett betydligt högre tryck för att kunna fylla över så stor del av gasen som möjligt. Ett företag som arbetar med detta är AirProducts. Det högre fyllnadstrycket kan användas för att bygga billigare tankstationer eftersom kompressorsteg kan undvaras. [AirProducts, 2014], [NREL, 2002]

4.4.2 Rörledning

På liknande sätt som rörledningar används för distribution av naturgas kan de användas för vätgas. Detta är ett långsiktigt sätt att förse exempelvis en tankstation med vätgas, eftersom återbetalningstiden är lång. När systemet väl är på plats kan däremot

vätgasdistributionen ske till en låg kostnad. En tankstation som använder detta är den i Porsgrunn i Norge, där vätgasen kommer från en närliggande klorfabrik med stora biproduktflöden av vätgas. Eftersom vätgas är en mycket vanlig industrigas finns många ledningar av denna typ runt om i världen, bland annat i Ruhrområdet i Tyskland. Rörledningar omgärdas dock av en hel del regler och tillståndprocesser, vilket kan göra det till ett komplicerat alternativ för stationer belägna i tätorter om man inte ändrar dessa regler [NREL 2002].

4.4.3 Flytande

Flytande vätgas är utrymmeseffektivt ombord på lastbil, och ses som en väg framåt när allt fler fordon börjar använda sig av vätgas som bränsle. Detta eftersom mycket stora mängder kan tas in på kort tid. Dock åtgår det mycket energi vid förvätskningen vilket måste tas hänsyn till vid bland annat ekonomiska beräkningar.

I exempelvis Tyskland finns ett väl utbrett nätverk av transporter för flytande vätgas och flera tankstationer som det levereras flytande väte till. Det tillkommer ett riskmoment när vätgas fraktas och förvaras i flytande form, eftersom köldskador kan uppstå vid läckage. För lagringen kan detta bland annat hanteras genom att förlägga tankar för flytande vätgas under jord så att risken för sådana skador minskar. Tekniken är väl utvecklad för hantering av flytande vätgas [NREL 2002].

Mer om flytande vätgas

Det finns ambitioner att använda flytande vätgas för att transportera energi från platser där den är lättillgänglig och billig till platser med betydligt högre betalningsvilja. Platser att frakta energin från kan vara exempelvis Island som har billig el på grund av sina omfattande geotermiska möjligheter eller Nordafrika där solenergi skulle kunna utnyttjas. Flytande vätgas skulle på detta sätt kunna bli en global handelsvara på samma sätt som olja eller LNG. Fördelen med detta skulle vara att oljebolagen hittar en drivkraft för att ställa om till förnyelsebart i och med att de kan fortsätta handla med ett globalt bränsle, vilket skulle minska motståndet mot vätgas som konkurrent till deras nuvarande verksamhet. Flytande bränslen som transporteras med båt tillför robusthet i energisystemet, eftersom de tillför flexibilitet vilket kan komma till nytta vid exempelvis naturkatastrofer som lättare drabbar exempelvis rörledningar.

4.4.4 Distribuerad produktion

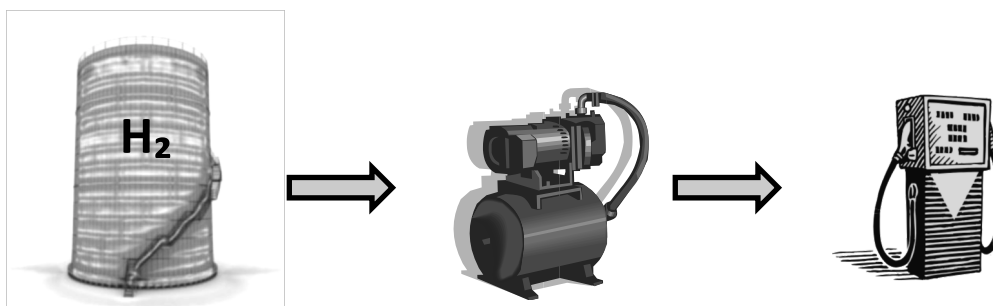
Ett sätt att undvika distribution av själva vätgasen är att istället distribuera energi i andra former för att omvandla den till vätgas på plats vid ett tankställe. Detta kan antingen ske genom reformering av metan (natur- eller biogas), etanol, metanol, DME eller med hjälp av el i en elektrolysör. Fördelen är att det är enklare att använda exempelvis befintligt

elnät än att anlägga rörledning eller att frakta bränslet på lastbil. Metan är även lättare att frakta per energienhet än vätgas, och det finns flera stationer som redan idag får metan levererat för användning direkt som fordonsbränsle [NREL 2002]. För mer information om reformering och elektrolys, se avsnittet 4.2.

4.5 Vätgastankstationer

Huvudkomponenterna i en vätgastankstation (går även under begreppet HRS = Hydrogen Refuelling Station) utgörs av vätslager, kompressor och dispenser. Utöver den schematiska bild som presenteras i Figur 2 kan exempelvis elektrolysör tillkomma vilket skulle stå för en signifikant del av den totala anläggningskostnaden.

Kaskadkomprimering är ett alternativt sätt att komprimera gas på. Till skillnad från vanlig komprimering är så komprimeras endast en andel av gasen till ett mycket högre tryck.



Figur 2 Skiss över huvudkomponenter i en vätgastankstation, Hydrogen Refuelling Station (HRS): vätslager, kompressor och dispenser.

5 Vätgasinfrastruktur

5.1 Tankstation, koncept

Vätgas tankas likt fordonsgas genom trycksättning av gas upp till en viss nivå (700 bar för vätgas i bilar). Vid tankstationerna finns normalt ett vätgaslager, en kompressor och en dispenser. I dagsläget finns en global standard för tankmunstyckena vilket gör att det är möjligt att tanka ett bränslecellsfordon där tankstationer finns. Själva tankningen med vätgas sker genom att tankmunstycket kopplas till bilen. Idag finns system där fordon och tankstation kommunicerar med varandra innan själva tankningen kommer igång. Själva tankningen går på några minuter vilket kan jämföras med dagens konventionella lösningar.

Eftersom elfordon kräver tid vid tankning (från ca 20 min till flera timmar), kommer det förmodligen ske i samband med andra ärenden, exempelvis när man är hemma, på jobbet eller handlar. Det möjliggör att "tankstationer" för elfordon kan skapas på fler ställen än vid de konventionella mackarna.

5.2 Kostnader och HRS-storlekar

Baserat på generella uppgifter från leverantörer ligger kostnaden för en vätgastankstation med en kapacitet på 150 – 200 kg/dygn på ca 15 MSEK inkl dispenser, kompressor och lager. För att även kunna framställa vätgasen på plats genom elektrolys för denna storleksklass tillkommer ca 30 – 40 % på priset. Generellt finns skalfördelar vilket gör att större stationer blir billigare per levererad kg vätgas. För att tankstationer ska få en ekonomisk bärighet utan bidrag kommer de rimligen behöva vara relativt stora (ca 1 000 kg/dygn) med hög beläggning, vilket kräver en flotta på några tusen fordon. En slutsats som kan dras av detta är att det kommer behövas stöd initialt och en tid framåt för att tankstationer ska kunna gå runt som ekonomiska verksamheter.

Det finns ett flertal leverantörer av allt från komponenter till hela "vätgasmackar" på den internationella marknaden. Bland aktörerna i Europa återfinns bland andra AGA/Linde (inkl dotterbolag), Air Liquide, Aquagas och H2-Logic. Även om vätgastankstationer är relativt kostsamma idag förväntas dessa minska i pris allteftersom tillverkningsvolymerna ökar i framtiden.

5.3 Pågående infrastrukturutbyggnad i världen, planer och finansiering

En utmaning med infrastrukturuppbyggnad av vätgastankstationer är att det behövs många fordon som använder tankstationerna innan de kan gå med vinst. Tillräckligt fordonsunderlag är i sin tur inte möjligt att uppnå utan tankstationer. För att lösa detta finns på många håll i världen offentlig finansiering av vätgastankstationer, nedan beskrivs hur några av dessa program ser ut [Greene 2013].

I Sverige finns i skrivande stund endast en tankstation. Den är placerad i Malmö men används inte för tillfället. En ny tankstation är under upphandling inom ramen för EU-

projektet Next Move, även den avsedd för Malmö. Stockholm Stad hade under en period av 00-talets första hälft en vätgastankstation för bränslecellsbusar i Stockholm i och med "CUTE"-projektet. Ytterligare en tankstation har tidigare hyrts in över vintern till vintertestområdet i Arjeplog.

De länder som byggt flest tankstationer är Tyskland (30 st.), Japan (29 st.), Sydkorea (12 st.) och USA, med Kalifornien (18 st.) i spetsen. Detta inkluderar stationer som inte är öppna för allmänheten, men eftersom det flesta av dagens bränslecellsfordon är del av projektflottor är detta sällan relevant. Totalt fanns det i mars 2013 ca 210 tankstationer för bilar i världen enligt H2Stations.org. I följande delkapitel följer en sammanställning av de med mest ambitiösa planer.

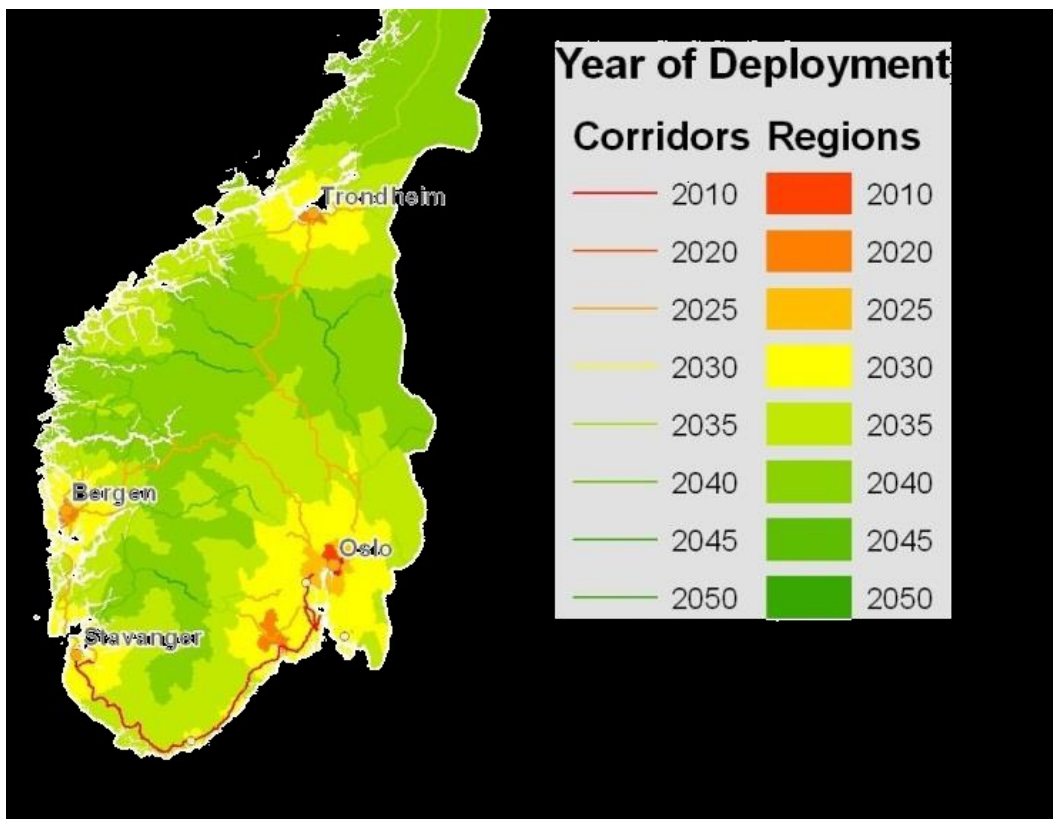
5.3.1 Norden

Norge

I december 2013 fanns det 6 vätgastankstationer, 17 bränslecellsbilar och 5 vätgasbusar i Norge. Norges strategi för implementering utgår från fokus på större städer till att vägarna mellan dessa städer täcks in och att utbredningen går vidare från det, se figuren nedan.

Bland drivkrafterna i Norge kan nämnas:

- Möjlighet för regioner att uppfylla sina miljömål
- Möjligheter till energilagring för vindkraft, eller omvänt vindkraftbaserad vätgasproduktion.
- Stark forskningsmiljö på området
- Exportmöjligheter för industrin om än begränsat antal aktörer idag
- Möjlighet till export av el, vätgas och naturgas för vätgasproduktion i tex Tyskland



Figur 3 Norges implementationsplan [Norwegian Hydrogen Council, 2012].

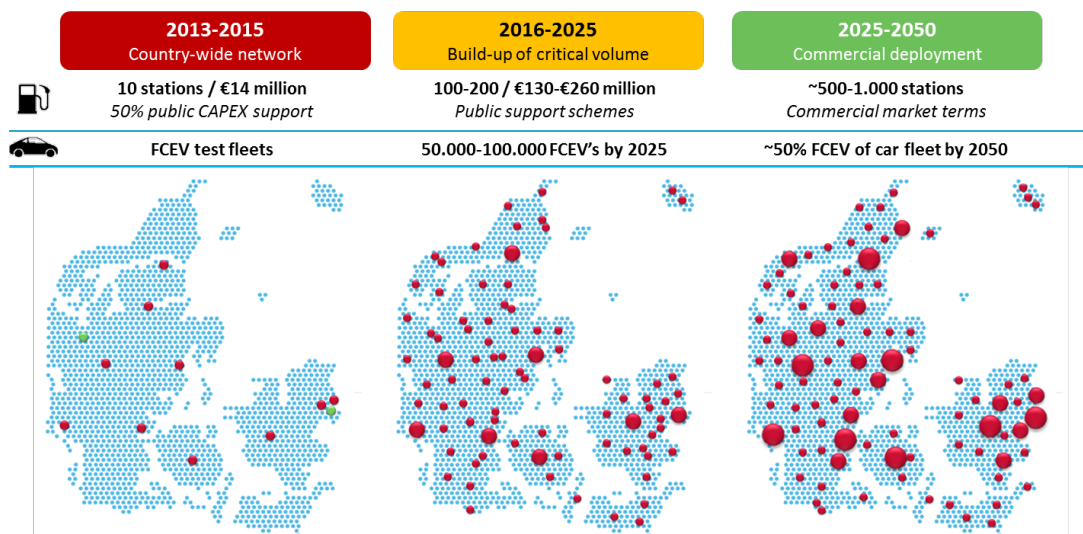
Danmark

2013 fanns det 15 bränslecells-bilar i Köpenhamn, 3 bilar i Holstebro, 3 vätgastankstationer i drift och ett par till planerade. Vätgasen till dessa stationer produceras uteslutande genom elektrolys.

De främsta drivkrafterna för vätgas i Danmark:

- Skapar arbetstillfällen och bidrar till export
- Blir kvitt oljeberoende – självförsörjande på energi
- Balanserar elnätet
- Klimatskäl

I figuren nedan visas den aktuella implementationsplanen för Danmark. Redan 2015 förväntas nationell täckning baserad på några befintliga och några nya stationer som är planerade. a



Figur 4 Danmarks implementationsplan [HIT NIP-Dk, Feb 2014]

Finland

Finland har inte arbetat lika mycket som Danmark och Norge med nationell planering för vätgas. Offentliga bidrag är små, särskilt efter 2013 då TEKES stora forskningsbidrag på området avslutas. Det finns betydande spillvätgas från industrin i Finland som man gärna vill rena för fordonsdrift.

5.3.2 Tyskland

2012 fanns 150 bränslecellsfordon i Tyskland, till 2015 beräknas 50 stationer finnas på, se Figur 5. Stationerna är av olika typer; leverans och lagring vid stationerna sker med antingen komprimerat eller flytande väte. Alla stationer har kylning för snabb tankning och klarar att fylla fordon med 700 bars tryck på ungefär 3 minuter. Samtliga är samlokaliserade med befintliga bensinstationer. Transportministeriet har avsatt 40 miljoner Euro för initial vätgastankstationsutbyggnad, där de första stationerna beräknas kosta 2 miljoner Euro styck. Åren efter 2015 planeras ytterligare 50 stationer, där avsikten är att standardisera stationerna för att minska kostnader. Driften av tankstationer bedöms behöva offentligt stöd de närmaste 5-10 åren eftersom få fordon under denna period tankar där [Greene 2013].

H₂ Mobility Initiative

Aktionsplan zum Aufbau eines Wasserstoff-Tankstellennetzes in Deutschland bis 2023

~400

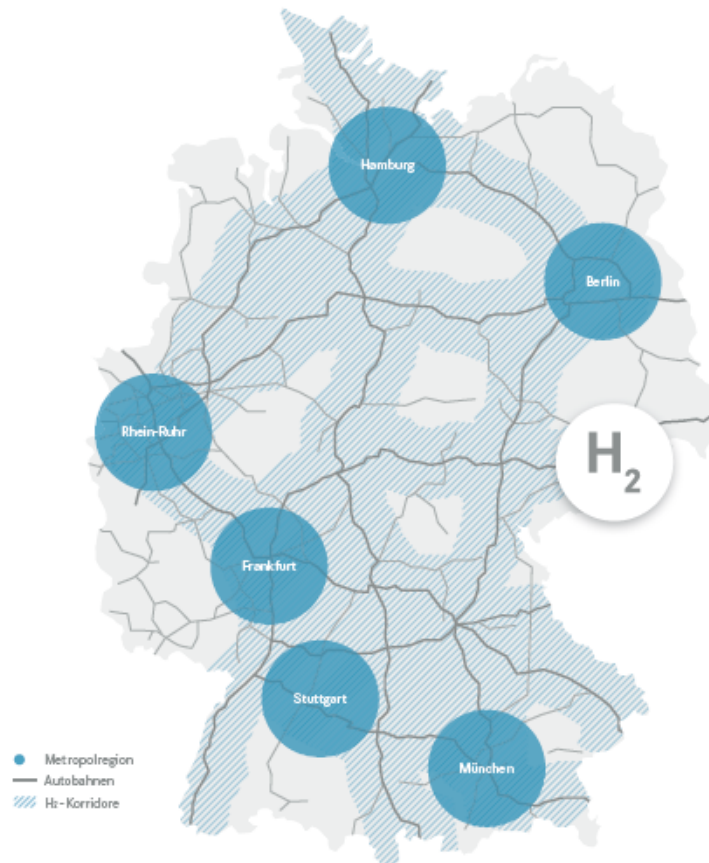
Stationen
soll das öffentliche Wasserstoff-Tankstellennetz in Deutschland bis 2023 umfassen

~90

Kilometer
liegen dann zwischen den einzelnen H₂-Tankstellen auf den Autobahnen rund um die Ballungsgebiete

>10

Wasserstoff-Tankstellen
werden 2023 in jeder Metropolregion zur Verfügung stehen



Figur 5 Tysklands implementationsplan [Daimler, 2013]

NOW, som är en nationell vätgas- och bränslecellsorganisation, är helägt av tyska staten och spelar en central roll i de tyska ansträngningarna för marknadsintroduktion för fordon och tankstationer. Finansieringen är till 54 % offentlig, och varje demonstrationsprojekt som utförs finansieras till hälften av industrin. Totalt ska dessa medel från staten och industrin ge en årlig budget om 700 miljoner Euro. Den tyska planen för fordon och infrastruktur, H2Mobility, antar att FCEV-sektorn år 2020 kommer vara ekonomiskt oberoende [Greene 2013].

I ett första skede planeras gasleveranserna ske med lastbil, då tankstationerna kommer ha en kapacitet på mellan 80 och 200 kg/dygn, men det finns redan nu stationer i Tyskland som klarar att leverera 1 000 kg/dygn. Deltagarna i H2Mobility är överens om att vätgaspriset ska hållas 15 % under det skattade bensinpriset (medan förhoppningen är att vätgas ska vara skattebefriat till 2020). Huruvida denna plan kommer att påverkas av att Daimler nyligen valt att inte starta serieproduktion förrän 2017 är oklart [Greene 2013].

Medan Transportministeriet i Tyskland stöttar H2mobility helhjärtat är miljöministeriet mer tveksamma över bränslecellsfordons genomslagskraft de kommande 10-20 åren, då de istället förespråkar plug-in hybrider [Greene 2013].

5.3.3 Storbritannien

I Storbritannien finns partnerskapet "UK H₂ Mobility Project" som består av privata aktörer såväl som myndigheter. Inom samarbetet har man bland annat tagit fram rapport som betraktas som Storbritanniens implementationsplan.

Stort fokus har legat på konsumenter i rapporten där det gjorts intervjuer med fokusgrupper samt enkätstudier med 2000 presumtiva köpare som nyligen köpt eller var nära på att köpa en ny bil. En slutsats som drogs var att de största hindren för köparna var det relativt höga priset på bränslecellsfordonen (som förväntas de närmaste åren efter introduktion) samt bristen på infrastruktur.

Resultaten i rapporten visar även på att det finns ett behov av både lokal och nationell tillgänglighet av vätgas. Då har bland annat förarens villighet studerats för att bedöma hur tätt stationer ska stå placerade. Modelleringar visade på att det i ett initialt skede kommer krävas 65 stationer för att nå 1150 stationer under 2030. Totalt beräknas stödbehovet fram till 2030 vara 418 M£, varav 62 M£ fram till 2020.

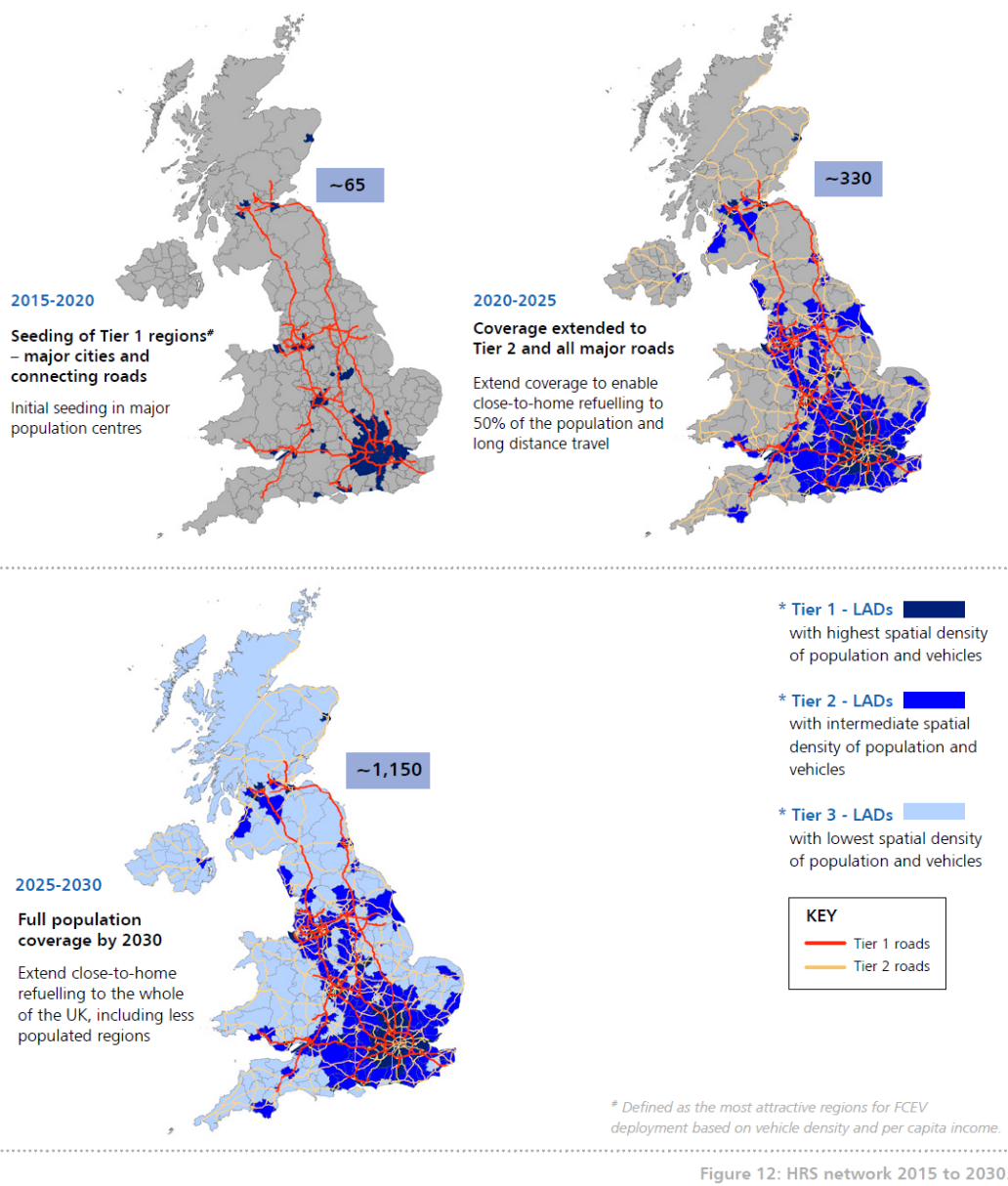


Figure 12: HRS network 2015 to 2030.

Figur 6 Storbritanniens implementationsplan [UK H₂ Mobility, 2014]

5.3.4 Japan

I Japan har forskningsorganisationen för vätgas- försörjning/användningsteknik (HySUT) ansvar för de demonstrationsprojekt som utgör den första infrastrukturen. Organisationen medlemmar är privata företag, och budgeten för tankstationer är 10 M€. Samtidigt skjuter NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) till med 20 miljoner Euro för infrastrukturuppbyggnad. I ett första skede är

vätgasen från HySUT-stationerna gratis för att maximera utnyttjandet. Planen är att 100 stationer ska finnas i drift till 2015. Infrastrukturen ska byggas upp som kluster runt fyra storstadsregioner. Till 2025 är målet att 1 000 stationer ska finnas i hela landet, och att dessa ska gå med vinst. Då beräknas 2 miljoner FCEV finnas i Japan. Bara ett fåtal av stationerna som finns på plats idag klarar 700 bar och har kylning av gasen, medan de framtida planerna är att samtliga stationer ska ha dessa kapaciteter [Greene 2013].

Gasföretagen föredrar att köra in komprimerad gas till tankstationerna medan oljebolagen föredrar reformering av naturgas på plats vid tankstationen. Eftersom HySUT av konkurrensregler inte kan subventionera ett nätverk av tankstationer utan bara demonstrationsprojekt, kommer METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) stå för det mer långsiktiga stödet. Stationerna får 50 % offentligt stöd, vilket för 2013 beräknas till 325 miljoner kronor. Detta beräknas resultera i 20-25 stationer där de med naturgasreformering på plats beräknas kosta 32 miljoner kronor, och 26 miljoner kronor för de med lastbilslevererad vätgas. Detta är mycket höga kostnader jämfört övriga världen, framförallt på grund av de strikta regler som omgärdar vätgasproduktion och lagring i bostadsområden i Japan. Reglerna har inte anpassats för en vätgasinfrastruktur för fordon ännu. Kostnaden för tankstationer beräknas minska med 15 % varje år [Greene 2013].

5.3.5 Kalifornien

Den drivande kraften för fordonstillverkare att introducera bränslecellsfordon är ZEV-mandatet (Zero Emission Vehicles), vilket går ut på att varje tillverkare behöver sälja en viss andel nollemissionsfordon. Detta sker genom att ett visst antal krediter ges per nollemissionsfordon beroende på typ (BEV, FCEV, BEV med räckviddsförlängare) och prestanda, såsom räckvidd och snabbladdning/tankningsmöjligheter. Dessa krediter krävs sedan för att få sälja konventionella fordon. Målet är att 1,5 miljoner nollemissionsfordon ska finnas på de kaliforniska vägarna till 2025. Bränslecellsfordon antas vara en stor del av dessa då de får sju ZEV-krediter per försäljning [Greene 2013].

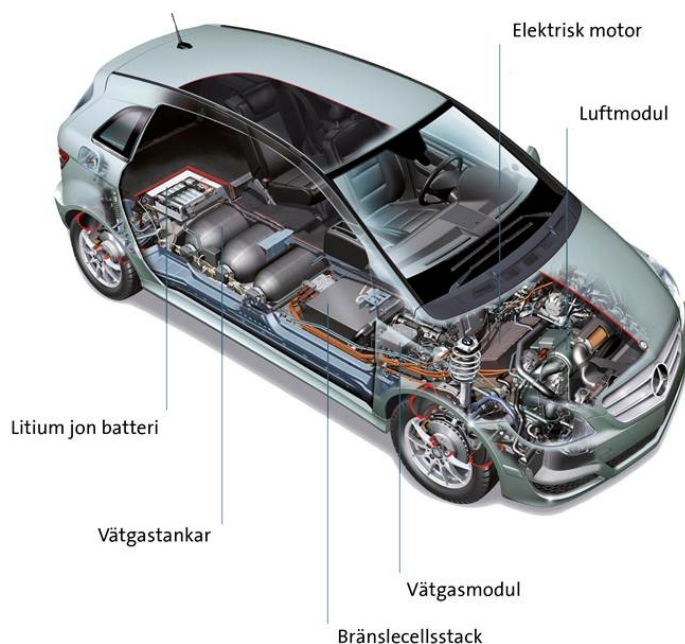
Planen för Kalifornien är att 68 stationer ska finnas på plats till 2015. Dessa ska placeras i kluster varav tre i södra Kalifornien och ett i området runt San Francisco-bukten. Ungefär hälften av dessa stationer finns på plats eller har finansiering färdig, och ytterligare 65 miljoner USD krävs för att de resterande ska bli fullt finansierade. I maj 2013 bildades H2USA, som förväntas på samma roll i USA som H2Mobility har i Tyskland [Greene 2013].

6 Fordonstyper för vätgasdrift

I denna rapport presenteras tvåhjulingar, personbilar och bussar för vätgasdrift. Tyngre trafik behöver i allmänhet använda bränsle med högre energitäthet. Ett undantag kan vara distributionslastbilar för lokala eller regionala områden. Andra nischer är arbetsfordon såsom gaffeltruckar, eller marint bruk, men eftersom deras främsta mål inte är transportarbete efter TEN-T-korridorerna utelämnas de här.

6.1 Drivlinor för vätgas

Vätgas kan användas i ett bränslecellsfordon eller i ett konventionellt fordon med förbränningsmotor baserad på Otto- eller Wankelcykeln. Vid användning i Otto-motorn fås i dagsläget ungefär samma energiverkningsgrad som för bensen, även om det teoretiskt är möjligt att uppnå en något högre verkningsgrad [Fayaz et al. 2012]. Vi väljer i den här rapporten att fokusera på användning i bränslecells bilen eftersom den har en betydligt högre energiverkningsgrad, lägre miljöpåverkan och betraktas av fordonsindustrin som ett av huvudalternativen för framtiden.



Figur 7 Drivlina för en bränslecellsbil [Daimler]

Drivlinan i ett bränslecellsfordon består i huvudsak av en bränslecell och en elmotor. Dessutom behövs ett vätgaslager som vanligtvis består av en komposittank med komprimerad vätgas. Det finns många likheter med drivlinan i en elbil med enbart batteri som energilager. Den stora skillnaden är att en bränslecellsbil kan lagra mer energi ombord fordonet och då få en längre räckvidd.

Kemisk energi i vätgasen omvandlas till elektricitet, vatten och värme i bränslecellen med hjälp av syre från luften. Det enda lokala utsläppet från avgasröret på en bränslecellsbil är vattenånga. Av de drivlinor som bilindustrin satsar på, är det endast bränslecellsfordon och elfordon med batteri som inte har några lokala utsläpp. Om energikällan dessutom är av förnybart ursprung har de också låga globala klimatpåverkande utsläpp i jämförelse med fossila drivmedel.

Polymera bränsleceller (PEMFC) är den typ av bränslecell som lämpar sig bäst för fordon. Enligt studier utförda i ett amerikanskt demonstrationsprojekt för bränslecells-bilar är bränslecellens effektivitet 53-59% vid $\frac{1}{4}$ effekt och 42-53% vid full effekt [Wipke et al., 2012]. Det innebär att en relativt hög andel av det tillförda bränslet omvandlas till elektrisk energi.

Elektricitet från bränslecellsstacken används i elmotorn för att driva bilen framåt. Bilmodellerna i Tabell 7 har elmotorer med cirka 100 kW effekt. Efter förluster vid laddning i batteri och elmotor blir ca 77 % av tillförd elektricitet användbar energi för att driva fordonet (Helms m.fl. 2010). Med antagandena att bränslecellssystemet har en medeleffektivitet på 50% (baserat på [Wipke m.fl. 2012]) och elmotorn har förluster på 10 % (Helms m.fl. 2010) samt ca 5 % energiförlust i transmissionen fås en total verkningsgrad på ca 43% för drivlinan i bränslecells-bilen, att jämföra med ca 73 % i en elbil med batteri.

Vanligtvis finns ett extra energilagring i bränslecells-bilar. Det kan vara i form av ett batteri eller en kondensator för att öka den maximala effekten som kan tillföras elmotorn. Det möjliggör användning av ett bränslecellssystem med lägre maxeffekt och lägre vikt. Det är då även möjligt att samla upp energi från inbromsningar.

6.2 Tvåhjulningar

Tvåhjulningar är ett energi- och kostnadseffektivt transportmedel i stadsmiljö. Bränslecellstillverkaren Intelligent Energy introducerade 2005 sin konceptmotorcykel med en 1 kW bränslecell, räckvidd på 160 km och topphastigheten 50 km/h. I samarbete med Suzuki utvecklades sedan "Suzuki Burgman Fuel Cell Scooter", med en räckvidd på 350 km. Den presenterades 2009 och blev 2011 det första bränslecellsfordonet som certifierades för masstillverkning i Europa. Demoprojekt med bränslecellsskotrar har genomförts i Taiwan 2011, omfattande 80 skotrar, och genomförs i London sedan 2012, omfattande 5 skotrar [Fuel Cell Today 2012].

6.3 Bränslecellsbusar

Demoprojekt med bränslecellsbusar har genomförts sedan slutet av 1990-talet och idag rullar bränslecellsbusar på reguljära rutter fast fortfarande inom demoprojekt, t.ex. 25 busar i USA [NREL 2012] och drygt 30 i Europa [McKinsey 2012]. Vätgasbusar kan byggas med förbränningsmotor för vätagas, bränslecell och elmotor eller med hybridiserad drivlina med bränslecell. Av dessa tre varianter har den hybridiserade drivlinan med bränslecell lägst energianvändning, och den har också lägre energianvändning än dieselbusar, se Tabell 6. Principen för drivlinan är densamma som för bränslecells-bilar,

men vissa skillnader finns i konstruktionen eftersom bussarna är mycket större, tyngre och har ett annat körsätt.

I jämförelse med dieselbussar har bränslecellsbusarna, liksom alla teknologier under utveckling, högre kostnader. I Tabell 6 anges både inköpspris för bussen samt total driftsekonomi, vilket bl.a. inkluderar kapitalkostnad, drivmedel och underhåll.

I jämförelse med trådbussar, som också är avgasfria fordon för kollektivtrafik, står sig bränslecellsbusar väl. Trådbussar övervägs också som en nollemissions-teknologi i transportsektorn. Det är en väl beprövad teknik men kräver stora investeringar i infrastruktur. Bränslecellsbusar kan operera som vanliga bussar med lång körsträcka och flexibla rutter medan trådbussar endast kan röra sig i förutbestämda rutter. Den totala driftskostnaden för trådbussar väntas öka till 2030, samtidigt som motsvarande kostnad minskar för bränslecellsbusar till en nivå strax under den för trådbussar [McKinsey 2012]. En annan studie gör bedömningen att bränslecellsbusar kan konkurrera kostnadsmissigt med trådbussar redan från 2015 [Zaetta et al. 2010]

Bränslecellsbusars driftskostnader att minska till motsvarande för en dieselbuss runt 2025-2030

Tabell 6 *Energianvändning och kostnader för bränslecellsbusar (grönt fält = befintlig teknik, gult fält = förväntad prestanda)*

	Bränslecells-buss 2012	Dieselbuss 2012	Bränslecells-buss 2020	Dieselbuss 2020
Energianvändning (kWh/100km)	233-424 ^{1,2}	343-490 ¹	<316 ³	257-367 ⁴
Inköpspris (MSEK)	10,4-15,6 ^{1,2}	1,5-2,6 ¹	3,5-3,6 ^{1,2}	-
Total driftsekonomi (SEK/km)	29,4-46,7 ^{1,5}	18,2 ⁵	10,4-28,6 ^{1,5}	7,8-19,9 ^{1,5}
Kommersiell status	Demonstration	Mogen teknik	-	-

¹ Data för stadsbuss (12 m) [Zaetta et al. 2010]

² [NREL 2012]

³ DOE:s långsiktiga målsättning för bränslecellsbusar, vilket för vissa testbussar är uppfyllt redan idag [NREL, 2012; Zaetta et al. 2010]

⁴ Möjlig förbättring med hybridisering [Zaetta et al. 2010]

⁵ Data för stadsbuss (12 m) [McKinsey 2012]

6.4 Bränslecells-bilar

Efter flera framflyttningar av lanseringsdatumen räknar flera biltillverkare med att lansera sina serietillverkade modeller från och med 2015. Hyundai har dock redan lanserat den första serietillverkade bränslecells-bilen. Bränslecells-bilen anses därmed vara i en tidig kommersialiseringsfas. Dagens bränslecells-bilar har något lägre energianvändning än de mest energisnåla bilarna med förbränningsmotor, men högre energianvändning än elbilar med batteri, se Tabell 7. Tabellen visar också att den verkliga energiförbrukningen är något högre än den som uppmätts vid körcykeltester inom demoprojektet. Ingen standard finns för körcykeltester och resultaten skiljer sig ofta mellan olika tester och jämfört med den verkliga energiförbrukningen. Enligt simuleringar och uppskattningar borde det vara möjligt att för bränslecells-fordonen att uppnå en betydligt lägre energianvändning än fordon med förbränningsmotorer och elhybrider baserade på förbränningsmotorn [JEC, 2013; Hwang et al., 2013]. Bränslecells-bilarna i Tabell 7 har en räckvidd mellan ca 300 och 500 km.

Tabell 7 Energianvändning för bränslecells-bilar (mätdata för demobilar) och energieffektiva bilar för andra bränslen. Bilarna är indelade efter jämförbar storlek.

Fordonstyp	Modell	Energi (kWh/100km)	Räckvidd (km/tank)
"Småbilsklass"			
Elhybrid	Toyota Prius	42	860
Bränslecell	Honda FCX Clarity	35	390
Elbil med batteri	Nissa Leaf	18	120
"SUV"			
Bränslecell	Hyundai ix35	32	525
Bensin	Hyundai ix35	83	-
Bensin/el	Lexus RX 450	69	760

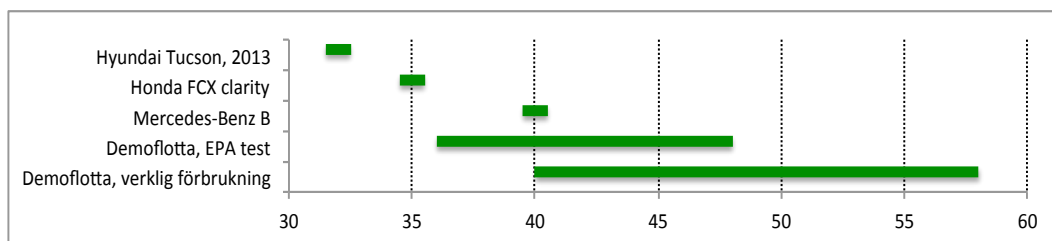
¹ Hyundai Motor Company, 2013

² Data från tillverkare som anger energianvändning enligt EPA test (U.S. Department of Energy och U.S. Environmental Protection Agency, 2013)

³ Konsumentverket 2013

⁴ Energianvändning enligt EPA testdata från demoflotta med bränslecellsteknologi från 2005-2007, vilket räknas som andra generationens bränsleceller (Wipke et al., 2012).

⁵ Verklig energianvändning för bilarna i testflottan i föregående kommentar (Wipke et al., 2012)



Figur 8 Energianvändning i olika bränslecellsbilar angivet i kWh/100 km. Baserat på data från Tabell 7 samt data för demoflotta med bränslecellsteknologi från 2005-2007 [Wipke m.fl. 2012].

Bilens livslängd är en viktig faktor och begränsas av livslängden för bränslecellen, vilket har varit och är en stor utmaning vid utvecklingen av bränslecellsbilen. Runt 5 000 timmar livslängd anses ofta räcka för att uppfylla bilköparnas förväntningar, men fram tills nyligen har detta inte kunnat uppfyllas för bränslecellsbilen. I den amerikanska demoflotta bedömdes bilarna med bränslecellsteknik från 2005-2007 kunna uppnå en livstid på uppåt 2 500 timmar, vilket överträffade målet för år 2009 på 2 000 timmar uppsatt av US Department of Energy [Wipke m.fl., 2012].

Hyundai har vid testkörning i testbänk uppnått 6 000 timmar livstid för bränslecellen, vilket motsvarar 200 000 km [Elforsk, 2013]. För motsvarande teknik i komplett fordon har 100 000 km testkörning avverkats, och det bedöms rimligt att 200 000 km också kan uppnås i verklig körsträcka [Elforsk, 2013]. ACAL Energy uppger att de har testkört sitt bränslecellssystem i laboratoriet under 10 000 timmar, vilket uppges motsvarar 300 000 km [ACAL Energy, 2013]. Den livslängden överträffar vida uppsatta målsättningar för bränslecellsbilar och motsvarar livslängden för en dieselmotor. De senaste generationerna bränslecellsbilar har dock ännu inte hunnit köras så långa sträckor och det återstår att se om dessa prognoser kommer att bli verklighet.

Livslängden för elbilar med batteri begränsas av batteriets livslängd, som för dagens bilar med litium-jon batterier anges till ca 8 år eller 1 000-3 000 battericykler [Gerssen-Gondelach och Faaij 2012; Elforsk, 2009]. För Nissan Leaf med en räckvidd på 120 km skulle detta bli en livslängd på 120 000 – 360 000 km, och elbilar med längre räckvidd kan köra ännu längre under sin livstid. Batteriets livslängd påverkas dock mycket av laddningshastighet och för ett batteri som snabbaddas kan livslängden förkortas väsentligt [Elforsk, 2009]. Enligt presenterade siffror har både elbilen och bränslecellsbilen en rimlig livslängd ur ett konsumentperspektiv, men för tillverkarna av bränslecellsbilar återstår det att bevisa detta i faktiska körsträckor.

6.4.1 Personbilsleverantörer och prognoser

Bränslecellsfordonsbranschen har de senaste två åren präglats av utvecklingsarbeten inom såväl bränslecellsstackar som kringssystem och vätgastuber. Nedan listas de olika aktörernas planer utifrån samarbetena. Mycket av fordonstillverkarnas planer utgår från ett *Letter Of Understanding* som skrevs 2009 mellan

olika tillverkare, där målet var att börja serieproducera bränslecellsfordon till år 2015 [Greene 2013].

En oberoende rapport drar som slutsats att ett bränslecellssystem kommer att kosta ungefär 25 000 USD 2015 om 20 000 fordon/år tillverkas. Till detta tillkommer vätgasbehållare och eldrivlina samt övriga konventionella delar. Totalt beräknas kostnaden till 48 000 USD/styck [Greene 2013]

6.4.2 Daimler/Nissan/Ford

Daimler uttryckte tidigt planen med en tredje generationens FCEV 2014 och en fjärde generation 2017. En ny plan presenterades när samarbetet med Nissan och Ford lanserades, där den tredje generationen hoppas över för att satsa helt på fjärde generationen 2017, Daimler har också uttalat att de har en ledande roll i utvecklingen av bränsleceller och att de tillsammans med sina samarbetspartners kommer att lansera en bränslecellsbil till en kostnad motsvarande den för en dieselhybrid inom 5 år [Reuters, 2013]. Idag kostar Mercedes E 300 BlueTech diesel hybrid ca 460000 sek på den tyska marknaden. Samtidigt som Daimler är måna om att det är ett utvecklingssamarbete har de själva tidigare presenterat få specifikationer på sitt bränslecellssystem, medan Nissan växlat med Toyota om att ha presenterat den senaste högsta effektdensiteten. Detta leder tankarna till att det snarast handlar om att Nissans teknik är det dominerande i samarbetet, med sin stack med en effektdensitet på 2.5 kW/liter [Nissan 2011] [Wing 2013].

Ford har tidigare följt bränslecellsutvecklingen genom samarbetet AFCC (Automotive Fuel Cell Cooperation) tillsammans med Daimler och bränslecellstillverkaren Ballard. De har dock visat sig ovilliga att gå i bränschen för tekniken utan dragit ner ambitionsnivån för att lanseringen av en bränslecellsbil för att istället vänta till 2020.

Syftet med samarbetet sägs vara att få upp produktionsvolymen för att uppnå kostnadsreduceringar. Samarbetet ska resultera i en gemensam volym på 100 000 fordon från och med 2017, dock oklart till vilket år. Priset ska vara överkomligt, vilket uttrycks som "the world's first affordable, mass-market FCEVs". Detta indikerar alltså att de tänker prissätta fordonen lägre än sina konkurrenter 2017 [Tschampa 2013] [Green Car Congress 2013].

6.4.3 Toyota/BMW

Toyota har länge kommunicerat 2015 som lanseringsdatum för bränslecellsfordon, något de fortfarande håller fast vid. Till 2020 har de tidigare nämnt att de ska producera "tiotusentals" fordon. Samtidigt har de börjat samarbeta med BMW, som tidigare demonstrerat fordon med förbränningsmotor som använder vätgas. Detta sedan BMW bestämt sig för att överge spåret med vätgasförbränning för att övergå till bränsleceller.

Den första bränslecellsplattformen BMW använder sig av kommer vara redo 2020, och överenskommelsen sträcker sig inte bara till bränsleceller utan även elmotorer, batterier och vätgaslager. Toyotas senaste bränslecellsstack har en effektdensitet på 3 kW/l, vilket är den högsta effektdensitet som rapporterats från en biltillverkare. [Wing 2013] [Toyota 2012].

Produktionskostnaden för Toyotas första kommersiella bränslecellsfordon uppges till runt 50 000 USD och priset till kund ska vara under 100 000 USD. Fordonet kommer vara byggt på Prius hybridstomme [Rechtin, 2013].

6.4.4 Honda/GM

Honda har under lång tid arbetat i det tysta med bränsleceller, jämfört med övriga tillverkare. De släppte bränslecellsbilen FCX Clarity helt byggd utifrån en egen kaross och chassi 2008 som leasats ut till prominenta kunder i Japan och USA. Sedan dess har det inte hörts mycket, så när som på 2015-planerna, förrän samarbetet med GM blev känt. Det som kommuniceras tydligast när samarbetet offentliggjordes var att Honda och GM är de med flest patent inom bränslecellsområdet mellan 2002 och 2012. Samarbetet ska resultera i en gemensam drivlina till 2020, men det finns inte några indikationer på produktionsvolym. Honda själva kommunicerar dock fortfarande att de kommer lansera en uppdaterad version av Honda FCX Clarity 2015.

GM har på senare år varit avvaktande och inte de som syns mest när det gäller bränsleceller. De arbetar en del med amerikanska försvarsdepartementet och har bland annat levererat 16 bränslecellsfordon till en testflotta på Hawaii. Tidigare kom de med uttalanden som att "miljontals fordon" skulle finnas på vägarna vid den tidpunkt vi nu befinner oss vid, vilket inte hände. Efter det har de använt ett mer försiktigt tillvägagångssätt i sina mediala förhållanden. [Woodyard, 2013] [Gilles 2013] [GM 2012].

6.4.5 Hyundai

Hyundai är den tillverkare som inlett serieproduktion tidigast. Redan under 2013 började de första serieproducerade fordonen levereras; totalt ska 1000 fordon levereras till 2015, och därefter ska volymen ska ökas till 10 000 fordon, men ingen tidsperiod har angetts för denna produktionsvolym. De är hittills inte involverade i några kända utvecklingssamarbeten, utöver att KIA numera ingår i koncernen, och deras stackteknik skiljer sig något från övriga då de använder sig av lägre tryck i stacken (vilket leder till högre verkningsgrad men lägre effektdensitet). De använder även en induktionsmotor (vilket ger lägre verkningsgrad men lägre kostnad) istället för permanentmagnetmotor.

Hyundai indikerar att det beräknade priset 2015 för ett bränslecellsfordon är 50 000 USD vid den beräknade produktionsvolymen 10 000 fordon [Wing 2013] [Greene 2013].

6.4.6 VW/Ballard

Ballard har tecknat ett avtal med Volkswagen där Ballard utför mycket av arbetet i nästa generation Volkswagen HyMotion FCEV. Det innefattar bland annat design och tillverkning av bränslecellsystem ner till MEA-nivå (den del där reaktionen mellan väte och syre sker), men även testning och integreringsarbete. Från Volkswagens sida är detta en viktig åtgärd för att stärka sin bränslecellskompetens, och från Ballards sida ett sätt att på nytt bli direkt involverade i fordonsbranschen. Tidigare har Ballard varit begränsade när det gäller system för personbilar, då de förbundit sig att endast göra den typer av arbete genom AFCC med Daimler och Ford, men eftersom detta var tidsbegränsat har de numera möjlighet att arbeta med personbilssystem med vilka de önskar igen. Ballard är en av de största bränslecellstillverkarna, de arbetar även med reservkraftsystem och bränslecellsmoduler för bussar [Green Car Congress 2013, 2].

7 Vätgas, el och biodrivmedel – en symbios!

Det är allmänt vedertaget att fordonsflottan måste bestå av flera energislag och teknislösningar för att uppnå fossilfrihet. Bränsleceller, elfordon och konventionella fordon med biodrivmedelsdrift (däribland biogas, etanol, biodiesel m.fl) kommer behöva komplettera varandra för att täcka de olika tillämpningarna som finns inom vägtransporter.

Konventionella fossila fordon har kommit långt i utvecklingen och är mycket flexibla i användning. Allt från tillämpning i mindre privatfordon med korta körsträckor till långa transporter med tung last täcks in. Dessutom är infrastrukturen för tankning av bensin och diesel väl utbyggd. Ett användarkrav på de nya fordonen kommer vara att de i stor utsträckning behöver leva upp till den funktion som dagens konventionella fordon har.

Biodrivmedel uppfyller de flesta krav som finns rent prestandamässigt. De har liknande egenskaper som de fossila alternativen och kan i de flesta fall nyttja befintlig teknik för distribution, förvaring och användning. Dock visar flera studier på att det inte finns tillräckligt med biomassa i Sverige för att förse hela transportsektorn med drivmedel [Lindfeldt et al. 2010, SOU 2013:84, 2013]. Funktionalitet för fossildrivna-, vätgas-, el- och biogasfordon sammanfattas i Tabell 8.

7.1 Infrastruktur

Infrastrukturmässigt är de ca 2700 tankstationer som finns i Sverige idag anpassade efter att leverera flytande drivmedel varav de flesta erbjuder etanol som förnybart alternativ [SPBI]. Ca 150 st erbjuder möjligheten att tanka gas, och då främst fordonsgas [Gasbilen].

En viktig slutsats från satsningen på biogas som drivmedel är att det stundvis varit stor brist biogas vid tankstationerna i stora delar av landet vilket har bidragit till ett försvagat renommé. Vi kan därmed dra lärdomen att tillgången på vätgas måste vara säkrad så att tidiga användare inte skräms bort. En annan viktig faktor är avståndet till tankstationerna,

det får inte ta för många minuter att åka till tankstationen för att viljan att välja ett nytt bränsle ska finnas.

Eftersom elbilar kan laddas i vanliga enfasuttag (tar dock lång tid för fulladdning) kan infrastrukturen anses vara befintlig till viss del redan idag.

7.2 Tankning/laddning

Likt dagens konventionella fordon kan bränslecellsfordon tankas med lätthet då det finns en standard för anslutning. Dessutom är säkerheten stor då det finns en spärr som stoppar tankningen då anslutningen inte är helt tät. Bränslecellsfordonet är fulltankat efter 3 – 4 minuter vilket är i paritet med dagens fordon.

Beroende på laddteknik (dvs säkring) och batterikapacitet kan laddtiden för elbilar variera kraftigt, från ca 30 minuter till flera timmar. Dock har batterifordon den generella fördelen att laddning kan ske hemma, på jobbet eller när man handlar vilket bidrar till tidsvinster.

7.3 Körsträcka

Den förväntade körsträckan för bränslecellsfordon kan generellt beskrivas vara mellan 500 – 700 km per tank vilket i princip motsvarar körsträckan för en fossildriven personbil. Generellt har rena elfordon svårt att jämföra sig med de andra alternativen, främst på grund av begränsningar i batterikapacitet. Enligt Tesla klarar deras senaste modell, Tesla S, även den ca 500km. Just Tesla S tillhör dock ett övre premiumsegment av fordon med ett pris på ca 30 % över det förväntade priset på kommande bränslecellsfordon år 2015.

7.4 Lokal miljöpåverkan

Den största vinsten med bränslecellsfordon och rena elfordon är att de lokalt inte producerar emissioner. Trots att biogasfordon drivs på förnybara drivmedel uppkommer emissioner vid förbränning av bränslet. Förutom koldioxid (dock ej nettobidrag) finns även små mängder oförbrända kolväten och kväveföreningar (NOx). Alla fordon bidrar dock till högre halter av partiklar på grund av däckslitage och upprivning av asfalt.

7.5 Buller

Likt rena elbilar drivs bränslecellsfordon av en elmotor (vilket beskrivs mer detaljerat i kommande avsnitt) vilket gör dessa mycket tysta vid drift. Även bränslecellen i sig är helt ljudlös. Trots att de fossildrivna personbilarna idag generellt är mycket tysta jämfört med fordon för ett antal år sedan har de svårt att mäta sig med "eldrivlinor" med avseende på buller, speciellt vid acceleration.

I städer och större tätorter utgörs dock en stor mängd av bullret av ett "bakgrundsbrus" från bilar, där den främsta orsaken är oljud från däcken, där varken el- eller konventionell drift gör någon skillnad.

7.6 Degradering

Både bränslecellsfordon och rena elfordon är relativt oprövade i större volymer över längre tidsperioder, vilket gör att degraderingen av komponenter i fordonen blir svårbedömda. Bränsleceller degraderas över tid men ska enligt tillverkarna hålla fordonets livslängd. Batterier har begränsad livslängd och måste troligtvis bytas ut under fordonets livslängd. Dock utvecklas batteritekniken kontinuerligt, exempelvis Teslas nya konstellation av Li-jon batterier har en batterigaranti på åtta år.

7.7 Säsongsberoende

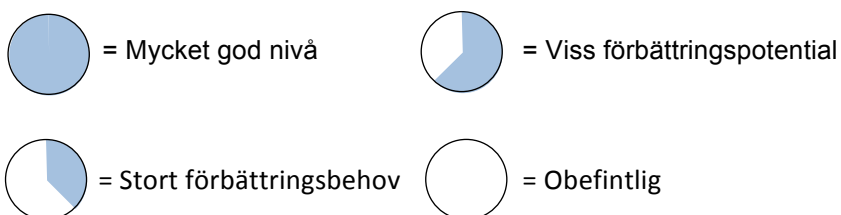
För att motorn i konventionella fordon ska fungera optimalt måste de hålla en viss temperatur, normalt kring 70 – 80 °C. Vid minusgrader innan systemet kommit igång är bland annat förbränningen ofullständig vilket gör att fordonet drar mer bränsle än vad den normalt ska göra samtidigt som halten av skadliga emissioner ökar. En fördel med förbränningsmotorn är att värmeavgivningen från motorn kan användas för att hålla behagligt klimat i kupén.

Bränslecellsfordon skapar, liksom fordon med förbränningsmotor, värme vid drift som kan utnyttjas för att värma kupén. Den bränslecellsbil, Hyundai ix35, som finns till försäljning idag garanterar drift från -25 °C.

Då elmotorn inte skapar värme måste ytterligare energi från batteriet användas explicit för att värma kupén. Enligt tester leder det till 30 % högre förbrukning av batterikapaciteten, vilket medför att elfordonet kommer prestera bättre under varmare perioder och tvärtom när vid kallare klimat. Trots extra energibehov för kupévärmen håller elfordon dock mycket hög energiverkningsgrad vintertid jämfört med både konventionella fordon och bränslecellsfordon.

Tabell 8 Jämförelse mellan fordon med olika drivmedelstyper med avseende på funktionalitet.

	Fossil	Bränsle-cell	EI	Biogas
Utbyggd infrastruktur				
Tanktid/Laddningstid				
Körsträcka				
Lokal miljöpåverkan				
Buller				
Säsongsb beroende				
Energisystemintegration				
Energisystemverkningsgrad	---			
Försörjningstrygghet				
Nybilskostnad				



8 Framtidens bilanvändning och beteende

Fordonsanvändningen styrs av en rad olika externa faktorer såsom tillgång till transporter men också av mera personliga faktorer såsom attityder. Idag svarar personer att det som styr deras användning av bilen är att det är smidigt, enkelt, snabbt och bekvämt [Eriksson & Forward, 2009; Trivector, 2014]. Val av transporter påverkas även av den sociala normen dvs. vad vi tror att andra anser om vårt val och hur våra närmaste själva agerar. Val av transporter även starkt kopplat till vanor och är därför svåra att ändra, men samhällsplaneringen, information och olika former av incitament är viktig för våra möjligheter till förändring på sikt. Ett samhälle som erbjuder goda transporter med andra färdmedel än bilen skapar de grundläggande förutsättningarna för ett hållbart samhälle. Alla behöver inte äga sin egen bil utan istället använda sig av bilpooler. IKT (informations- och kommunikationsteknologi) är ett system som möjliggör att ett gemensamt färdsystem kan göras mycket mer flexibelt utefter aktuella behov. Detta innebär att tex både buss och samåkning kan planeras efter faktiska omedelbara behov.

Oavsett teknisk utveckling har det förenklade scenariot för 2050 som visas i kapitel 11.3 utgått enbart från dagens fordonsanvändning.

9 Regelverk och internationella standarder

Följande är en kortfattad summering av de regelverk och standarder som finns inom området vätgas och bränslecellsfordon. Inom vart och ett av nedanstående delområden finns det flera paket av regelverk och standarder. Många av dessa är harmoniserade Europastandarder med dess nationella tolkningar. Andra regelverk är utfärdade på rent nationell nivå.

9.1 Tankstationer

Det finns inga internationella standarder som gäller hur tankstationernas byggnader skall vara utförda eller placerade. Detta styrs av nationella och regionala krav. Internationella standarder finns fastställda som definierar kravsättningen för gränssnittet mellan tankstation och bil när denna skall tankas.

Vad det gäller säkerheten så gäller 1999/92/EC - ATEX Användardirektivet som beskriver säkerhets- och hälsokrav för arbete i potentiellt explosiv miljö. Detta direktiv är översatt till Svenska förhållande genom Arbetsmiljöverkets författningssamling AFS 2003:3 Arbete i explosionsfarlig miljö. Detta direktiv styr anläggningsinnehavarens ansvar för hur tankstationen skall vara uppbyggd och hur den skall drivas och underhållas. För utrustning så gäller 94/9/EC – ATEX Produktdirektiv som beskriver kravsättning för utrustning och skyddssystem för användning i potentiellt explosiv miljö. För detta direktiv har Arbetsmiljöverket utfärdat författningssamlingen AFS 1995:5 Utrustningar för explosionsfarlig miljö. Detta direktiv tillsammans med tillhörande Europastandarder styr hur utrustningen som skall installeras i tankstationen skall vara konstruerad och tillverkad för att vara säker att användas i en potentiellt explosiv miljö.

9.2 Vätgaskvalitet

Kvaliteten på den vätgas som levereras från tankstationer är inte specificerad i några lagkrav i Europa. Dock står det i Regulation No 406/2010 utfärdad av Europeiska Kommissionen att gaskvaliteten som skall användas vid typkontroll av vätgasdrivna fordon skall som minimum uppfylla kraven i ISO/TS 14687-2. Denna ISO-standard har en motsvarighet i form av en SAE-standard J2719 och dessa är allmänt tillämpade av både gastillverkare och fordonstillverkare för att specificera kvaliteten på vätgas för tankstationer för bränslecellsfordon med PEM-bränsleceller. Dessa standarder är avstämde sinsemellan och ställer likadana krav.

9.3 Mätnoggrannhet vid tankning till fordon

Europa Parlamentet har utfärdat Direktiv 2004/22/EC (MID direktivet) som gäller generellt för mätinstrument.

Mätnoggrannhet för bränslemätare för påfyllning av bränsle i form av gas är undantaget regelverket (MID direktivet) för närvarande i Sverige idag. Det är inte sannolikt att det blir en förändring under de närmaste åren.

OIML's1 rekommendationer R 139 (Compressed gaseous fuel measuring systems for vehicles) tillämpas sannolikt av tillverkarna av mätutrustningar för gastankstationer.

9.4 Fordon

Det Europeiska regelverket (EC) No 79/2009 gäller för vätgasdrivna bränslecellfordon. Detta regelverk utfärdades av Europaparlamentet och trädde ikraft 24 februari 2011 för alla EU länder. Nationella regelverk tillämpas normalt ej. Regelverket täcker vätgasdrivna fordon där väte används antingen i form av komprimerad gas eller i form av vätska. Regelverket följer samma struktur som det tidigare regelverket för LPG och LNG. Regelverket täcker också vätgaskomponenter och system för vätgasdrivna fordon som skall säljas separat på den Europeiska marknaden. Regelverket No 406/2010 specificerar de administrativa rutinerna kring EC typgodkännande, testprocedurer, märkning mm.

Det övergripande ramverket Direktiv 2007/46/EC specificerar och auktoriserar en godkännande procedur enligt fyra alternativ:

- Europeiskt helbilsgodkännande
- Europeiskt godkännande av liten fordonsserie (gäller bara kategori M1 fordon)
- Nationellt godkännande för en liten fordonsserie
- Nationellt godkännande av enstaka fordonsindivid

Ansvarig myndighet i Sverige för regelverk, typkontroll samt registrering av fordon är Transportstyrelsen.

10 Säkerhetsaspekter

10.1 Allmänt om risker

Risker med fordonsbränslen skall inte överdrivas. Med tanke på den omfattning som fordon används så kan man konstatera att det sker förhållandevis få olyckor där bränslet haft en större påverkan på förloppet eller konsekvenserna. Bidragande orsaker till detta är att vi har en mycket lång tradition av fordonsutveckling samt också ett omfattande regelverk både vad det gäller fordonens konstruktion och dess användning. Vi har också ett väl utvecklat regelverk kring hantering av de olika bränslen som används idag.

Vad som är viktigt när ett nytt fordonsbränsle skall föras in är att förstå hur det aktuella bränslet uppför sig i olika situationer och utifrån detta konstruera fordon, tankstationer mm samt även skapa säkra hanteringsrutiner. Lagkrav och standarder behöver utarbetas på ett tidigt stadium för att både styra och stödja detta utvecklingsarbete.

Generellt sett kan sägas att fordonsbränslen i de flesta fall innebär någon form av brand- eller explosionsrisk. Flytande bränslen, som bensin eller etanol, samt brännbara gaser kan antändas och börja brinna vid ett eventuellt läckage. Även explosiva blandningar med luft kan bildas. En blandning betraktas som explosiv om det brännbara ämnet är homogent blandat med luft så att det har en volymprocent mellan nedre och övre explosionsgränserna (LEL och UEL i tabellen nedan). Om en sådan blandning kommer i

kontakt med en tändkälla med tillräckligt energiinnehåll som t.ex. en öppen låga eller en gnista sker en explosion. Även en mycket het yta kan orsaka en explosion.

För att bättre förstå risker med vätgas så kan man jämföra med några andra gaser och bränslen enligt följande tabell:

Namn	Relativ densitet (luft=1)	Flam-punkt (grader C)	LEL (%volym)	UEL (%volym)	Termisk tändtemp (°C)	Temperatur klass (°C)	Explosions grupp
Etanol	1,59	12	3,1	19,0	400	T2	IIA
Metan	0,55	gas	4,4	17,0	600	T1	IIA
Propan	1,56	gas	1,7	10,9	450	T2	IIA
Väte	0,07	gas	4,0	77,0	560	T1	IIC
Biogas	0,9	gas	6	26	-	T1	IIA
Fordons-gas	0,6	gas	4	17	-	T1	IIA
Motor-bensin	4	<-20	1,0	8	400	T2	IIA

- Flampunkt är i princip den lägsta temperatur när vätskan kan börja skapa en explosiv blandning tillsammans med luft.
- LEL= nedre explosionsgränsen, UEL=övre explosionsgränsen (dessa definierar explosionsintervallet)
- Termisk tändtemperatur är i princip hur varm en yta på ett föremål behöver vara för att antända gasblandningen.
- Temperaturklass används för att fastställa de maximala yttemperaturerna för utrustningar som är i kontakt med aktuell gas. T2=300 °C och T1=450 °C
- Explosionsgrupp beskriver i princip hur lättantändlig gasblandningen är. Det finns IIA, IIB och IIC där IIC är den gruppen som innefattar de mest antändliga gaserna (för mer information se SS-EN 60079-20-1).

Ur tabellen kan man dra några slutsatser om vätgasens egenskaper:

- Mycket lättantändlig men dock hög termisk tändtemperatur
- Extremt brett explosionsintervall (LEL=4 och UEL=77)
- Mycket lätt gas vilket gör att den stiger uppåt mycket snabbt (relativ densitet=0,07)

Även om vätgasens låga densitet minskar sannolikheten för att en explosiv blandning ska uppstå (den stiger snabbt och späds ut i omgivande luftvolym), så blir situationen annorlunda om vätgasen läcker ut i ett slutet utrymme eller ett utrymme som är täckt av ett tak.

Om man jämför antändbarheten för en luft-vätgas blandning i förhållande till en fordonsgas-luft blandning så är det betydligt mycket lättare att antända vätgasblandningen. Det är 2 faktorer som påverkar detta. Dels att vätgasen inte kräver lika mycket energi för att antändas och dels att det är såpass explosionsintervall.

10.2 Bränsletankar

Bränsletankarna för moderna bränslecellsbilar är gjorda i avancerade kolfibermaterial och tillverkade för ett arbetstryck på 700 bar. Koncentrationen av vätgas i tanken är alltid 100 % vilket gör att explosiv blandning aldrig kan förekomma inuti tanken. Tankning

Tankning av bränslecellsfordon sker via specialutformade anslutningar som både säkerställer god jordning och tät anslutning mellan tankstation och bil. Risken att vätgas skulle läcka ut vid tankning av fordonet är med dessa anordningar väsentligt lägre än att t.ex. explosiv gasblandning bildas runt tankpåfyllningen vid tankning av bensin eller E85. Tankning sker dessutom utomhus och eventuellt läckande vätgas skulle snabbt stiga uppåt.

Vid tankning av bensin eller E85 finns en liten risk för antändning av ett eventuellt gasmoln runt påfyllningsöppningen via gnista orsakad av statisk elektricitet. Denna risk är minimerad genom att slangar och anslutningar är tillverkade av elektriskt ledande material.

Ett riskscenario är att köra iväg med bilen utan att ha lossat påfyllningsslangen först. Detta inträffar emellanåt i samband med tankning med vanliga drivmedel. Vissa biltillverkare av bränslecellsfordon har skyddssystem som elektroniskt förhindrar start så länge slangen sitter kvar. Skydd finns på alla tankstationer i form av slangbrottsventiler som direkt stänger av gastillförsel om slang lossas eller brister. Detta minimerar också den maximalt möjliga mängd brännbar gas som kan läcka ut.

10.3 Trafikolycka

Vid trafikolycka finns det risk att bränslesystem skadas och att detta kan leda till bränsleläckage. Detta gäller alla former av bränslesystem. Flytande bränslen kan rinna ut och orsaka brand eller explosion om det antänds av t ex. en varm yta eller en gnista. Gasformiga bränslen kan också läcka ut och på samma sätt antändas.

Vätgasdrivna fordon har ett säkerhetssystem som stänger av tillförsel av vätgas från tankarna vid en trafikolycka. Detta medför att mängden vätgas som eventuellt skulle läcka ut vid en trafikolycka sannolikt blir mycket liten. Den utläckande gasen kommer dessutom att sträva uppåt vilket i de allra flesta olycksituationer är mycket gynnsamt. Risken för en explosiv gasblandning uppstår i det fall vätgasen blir fast i ett slutet utrymme i bilen.

Sannolikheten att själva gastankarna blir så skadade att de börjar läcka gas får bedömas vara väldigt liten, dels med tanke på den skyddade placeringen i fordonet och dels med tanke på tankkonstruktionen som är gjord för att tåla mycket höga tryck. Ett läckage av vätgas i samband med en trafikolycka kan dock inte uteslutas helt och hållet och kan i värsta fall orsaka explosion eller börja brinna. Den totala energin i vätgasen är dock mindre än exempelvis den energi som finns i en fulltankad bensindriven bil. De flesta biltillverkare verkar inriktade sig mot att använda sig av en maximal vätgasmängd på 5-6 kg, vilket motsvarar 13-16 liter bensin.

10.4 Brand

Vid en yttre brand på fordonet vid en trafikolycka eller när fordonet står uppställt kommer vätgassystemet efter hand att utsättas för höga temperaturer. Normalt är ventilerna från vätgastankarna stängda vilket gör att det yttre vätgassystemets bidrag till branden blir mycket begränsad. En explosion i detta läge är inte speciellt sannolik. En kortvarig höjning av brandintensiteten är mer trolig.

10.5 Om brandförloppet fortsätter kommer vätgastankarna efter hand att utsättas för en allt högre temperatur. Tankarna är utrustade med säkerhetsventiler som släpper ut vätgasen ur tankarna om temperaturen höjs eller om trycket höjs över det tillåtna trycket. Den urströmmande vätgasen leds via rör ut till omgivningen. Säkerhetssystemen genomgår lagstadgade brandprovningar för att verifiera säkerhetsfunktionerna. Fullskaleprovningar samt även inträffade olyckor bekräftar att tillskottet i brandintensitet vid en större brand i fordonet blir litet vid detta kontrollerade vätgasutsläpp eftersom den brännbara mängden vätgas är liten. Det är mycket osannolikt, men kan inte uteslutas vid exceptionella förhållanden, liksom för andra gasformiga bränslen, att en tankexplosion kan ske i samband med en större fordonbrand. Detta bör beaktas vad det gäller räddningspersonalens säkerhet under släckningsarbetet. Parkeringshus samt tunnlar

Säkerhetsproblematiken för parkeringshus samt tunnlar är till vissa delar likadan som för andra fordonsgaser. SP har under 2014 skrivit en separat rapport om vätgassäkerhet som en del av systerprojektet HIT-Forsk, finansierat av Energimyndigheten och projektlett av Sweco [SP Rapport 2014:72].

10.6 Tankstationer

Tankstationer för vätgas byggs idag i möjligaste mån så att vätgasen tämligen fritt kan stiga uppåt för att spädas ut med den omgivande luften vid ett eventuellt läckage. Man undviker slutna utrymmen där vätgas kan ansamlas. För övrigt byggs dessa tankstationer ur ett säkerhetsperspektiv upp enligt samma regelverk som gäller för övriga tankstationer.

Det finns enstaka tankstationer med tankar som innehåller nedkyllt flytande väte i Europa. Denna typ av station är inte aktuell för Sverige i dagsläget eftersom ingen transport av flytande väte finns idag. Riskerna vad gäller denna typ av tankstation är komplexa och kräver en utförligare riskanalys om en sådan tankstation skulle bli aktuell.

10.7 Transport av vätgas

Vid transport av vätgas, med hjälp av exempelvis lastbil eller tåg, tillämpas samma regelverk som för övriga gastransporter (transport av farligt gods).

I allmänhet transporteras väte som komprimerad gas men det kan även förekomma transport av nedkyld flytande väte.

Komprimerad gas transporteras i allmänhet i stora tankar vid ett relativt lågt tryck väsentligt mycket lägre än de 700 bar som bränsletankar för personbilar har. Vid ett läckage av komprimerad gas kommer större mängd gas att kunna läcka ut jämfört med en personbil. Gasen kommer att stiga uppåt och snabbt spädas ut med luft till en ofarlig blandning om läckaget sker utomhus. Riskområdet med explosiv gasblandning blir i detta fall mycket begränsad runt läckageområdet.

10.8 Nedkyld flytande väte transporteras i speciella isolerade tankar som håller ett mycket lågt övertryck på 2-5 bar. Idag finns ingen transport av flytande väte i Sverige. Om det blir aktuellt, bör riskerna för transport av flytande väte utredas ytterligare eftersom komplexiteten är större än vid transport av väte i gasform. Tillverkning av vätgas

Riskscenarierna vid tillverkning av vätgas är relativt lika de risker som finns för tankstationer. Komplexiteten för den aktuella anläggningen påverkar i hög grad riskerna. Om vätgas förvaras i flytande nedkyld form innebär det speciella riskscenarier. Det finns en lång erfarenhet och tradition kring tillverkning av vätgas i raffinaderier och kemiska anläggningar. Det är viktigt att ta tillvara denna erfarenhet när tillverkning av vätgas startas upp i nya mindre anläggningar som drivs av nya aktörer.

Del II: Analys – energi och miljö, policy och aktörer

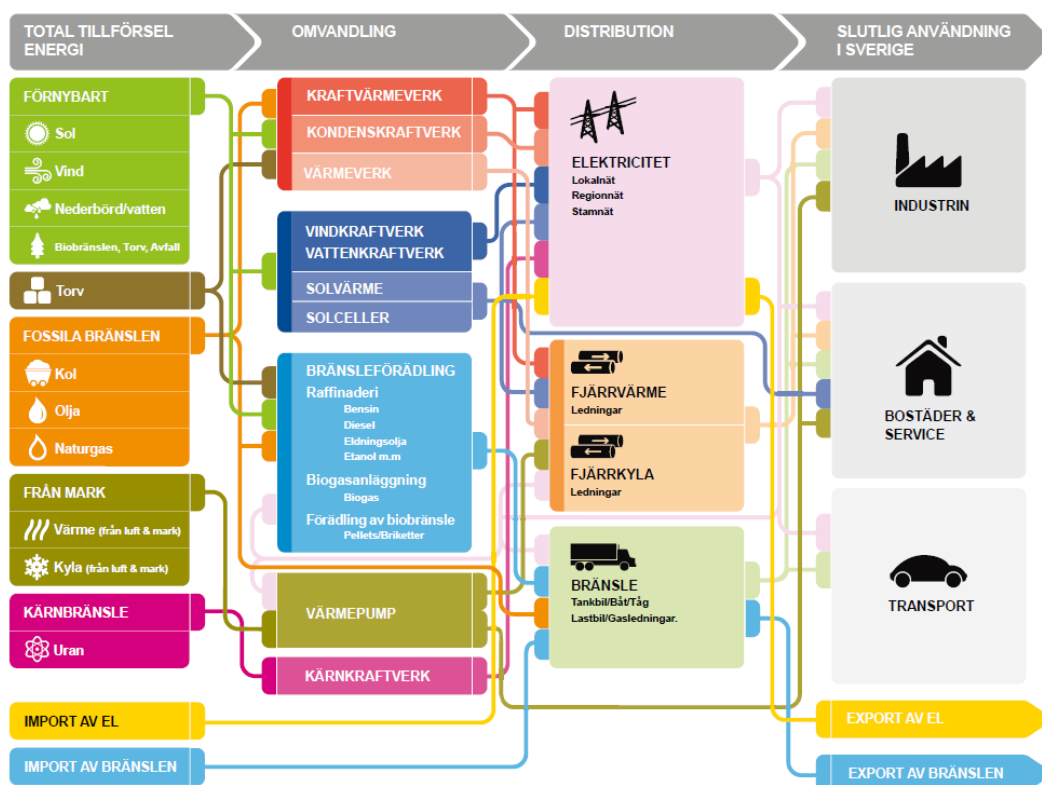
Att införa vätgas som en del av drivmedelsmixen innebär att en ny form av energibärande introduceras till transportsektorn. I och med det uppstår både nya möjligheter och utmaningar i samband med vätgasframställning och -distribution. Omgivande energisystem kommer att påverkas på olika sätt och i olika grad. I denna del av rapporten studeras och analyseras hur energisystemet är uppbyggt och vilka effekter som kan uppnås med vätgas som drivmedel i Sverige. Dessutom avhandlas även effektiviteten för olika "bränslekedjor", dvs hur verkningsgraden ser ut när olika energikällor används för olika fordonstyper.

Vidare ges en bakgrund till policyfrågan för alternativa drivmedel samt en översikt av aktuella aktörer inom vätgas och bränsleceller i Sverige.

11 Energisystemanalys för Sverige

11.1 Nuläget Sveriges energisystem

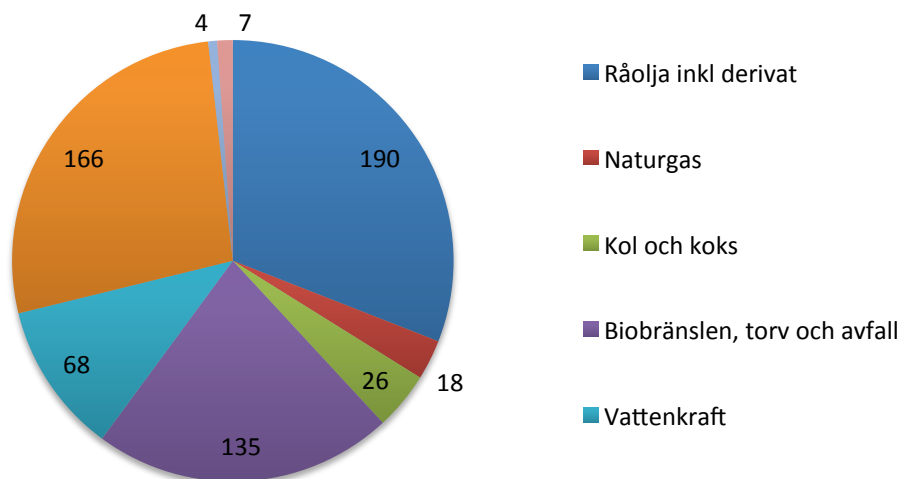
Den primära energitillförseln i Sverige utgörs av en rad olika energikällor och energislag som kompletterar varandra för att tillgodose behovet i de olika sektorerna, vilket visas i Figur 9. Primärenergien omvandlas till sin "slutform" för att sedan kunna distribueras till slutanvändarna.



Figur 9 Energisystemet i Sverige [Energikunskap 2013]

Den totala energitillförseln till det svenska systemet år 2010 låg på ca 614 TWh. De huvudsakliga energislagen är kärnkraft, oljeprodukter, vattenkraft och biobränslen som tillsammans utgör ca 90 % av den nationella tillförseln. Fördelningen av energislagen är presenterad i Figur 10. Denna fördelning har dock ändrats mycket historiskt sett där kol var helt dominerande på 70-talet för att sedan successivt ersättas av vattenkraft och kärnkraft under 80- och 90-talet.

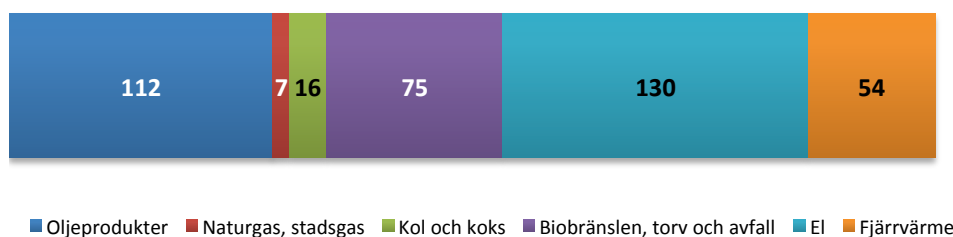
Energitillförsel Sverige (TWh)



Figur 10 Energitillförsel i Sverige 2010 [Energiläget 2012]

Jämfört med tillförseln uppgick slutanvändningen "endast" till 395 TWh (se Figur 11). Den stora skillnaden beror bland annat på förluster som uppstår vid omvandling från primäre energi till slutprodukt (som exempelvis i kärnkraft eller eldnings för elproduktion). Utöver olika förluster försvinner en andel av den primära tillförseln till sektorer för icke-energi relaterad tillämpning alternativt till utrikes flyg och sjöfart.

Total slutlig användning uppdelat på energibärare, 395 TWh



Figur 11 Slutlig användning av energi efter förluster och andra tillämpningar.

Sverige har en stor andel förnybar energi i sitt energisystem och i och med en väsentlig del kärnkraft resulterar det sammantaget i låga nettoutsläpp av bland annat koldioxid, jämfört med andra länder. Om man begränsar sig till ren elproduktion så anses Sverige ha mycket låga emissioner med avseende på CO₂, kväveoxider och svavelföreningar då den absolut största delen av Sveriges elproduktion utgörs av kärnkraft och vattenkraft men också vindkraft och biomassaförbränning.

I transportsektorn används oljeprodukter till över 90 % av behovet, då främst bensin och diesel, som måste ersättas med klimatneutrala alternativ. Eftersom Sverige inte har någon omfattande produktion av drivmedel från inhemska källor har vi varit beroende av vad som funnits på marknaden som hittills främst har inneburit oljeprodukter. Tekniska framsteg och politiska drivkrafter har på senare tid möjliggjort att alternativa energislag såsom biogas, el och vätgas blivit intressanta för transportsektorn. Dessa alternativ möjliggör dessutom inhemsk produktion av drivmedel till transportsektorn vilket bland annat leder till ökad försörjningstrygghet.

I transportsektorn används oljeprodukter till över 90 % av energibehovet

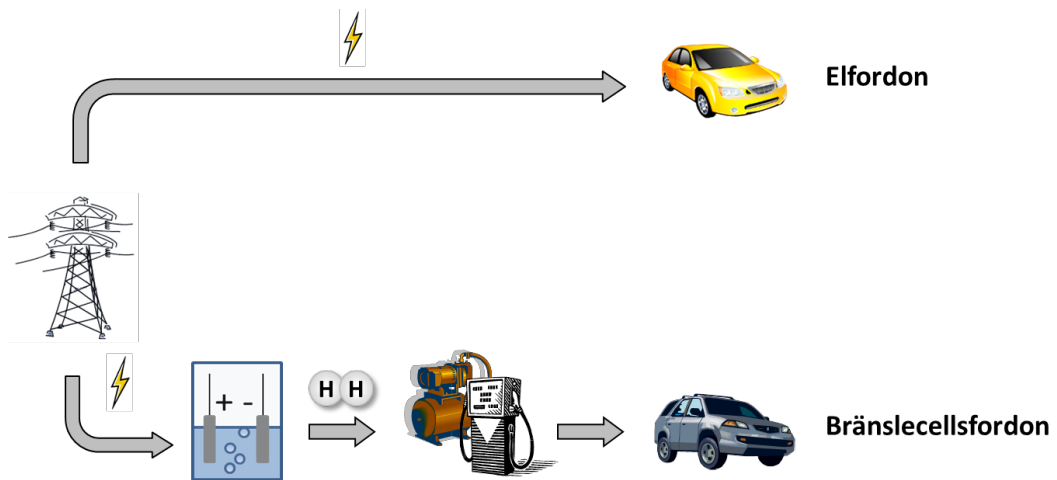
11.2 Vätgas i jämförelse med andra drivmedel

11.2.1 Resurseffektivitet för drivmedelskedjan

Det politiska målet är att ett framtida energisystem ska uppfylla samhällets behov, t.ex. transporter, på ett ändamålsenligt och energieffektivt sätt med minsta möjliga påverkan på miljö och klimat. Drivmedel till transportsektorn bör därför bland annat utvärderas ur ett energisystemperspektiv för att säkerställa att tillgängliga energikällor används på ett resurseffektivt sätt.

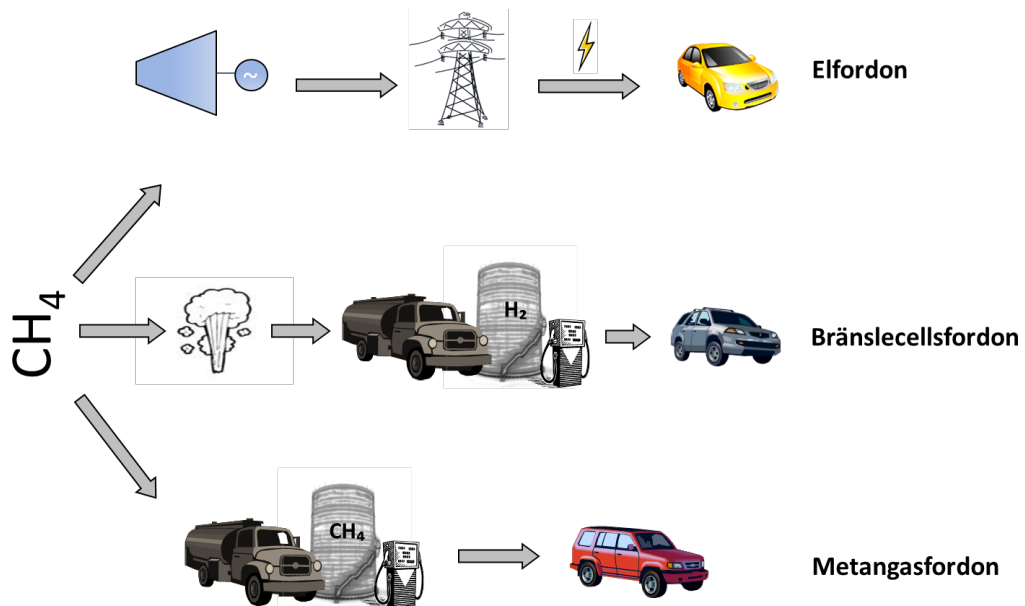
I följande stycke utvärderas olika drivmedelskedjor från energikälla till användning i fordonet i syfte att uppskatta en total energieffektivitet i systemet. Resurseffektiviteten jämförs för elektricitet, metan (som är den huvudsakliga beståndsdel av naturgas och biogas) och vätgas med utgångspunkt i olika energikällor. Valet av dessa tre motiveras av att de alla övervägs som nya energibärare i transportsystemet, och att de lyfts fram i EU:s förslag på ett direktiv för infrastruktur för alternativa drivmedel [EC, 2013]. Jämförelsen inkluderar systemet för produktion, distribution och energieffektiviteten i fordonet. Vidare inkluderas endast andelen högvärdig energi som kan användas för att utföra transportarbete, vilket innebär att värmen som bildas vid energiomvandlingarna inte inkluderas.

Systemgränsen sträcker sig olika långt uppströms för de olika energikällorna och systemeffektiviteten ska därför endast jämföras inom en viss energikälla. För el dras systemgränsen efter produktionen, men innan transmissionsnätet, eftersom elen kan produceras på olika sätt, se Figur 12.



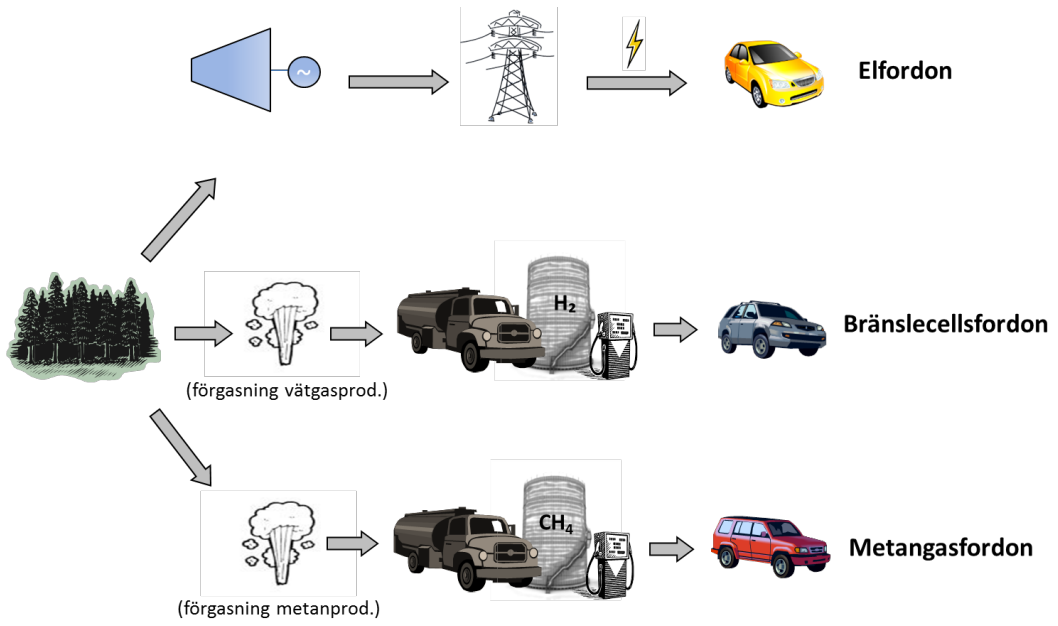
Figur 12 Schematisk bild för grupp "El".

För metan dras systemgränsen precis innan produktionsanläggningen, förutom i fallet med naturgasbilen där det antas att metan transporteras ut från ett centralt nät till tankstationen vilket illustreras i Figur 13.

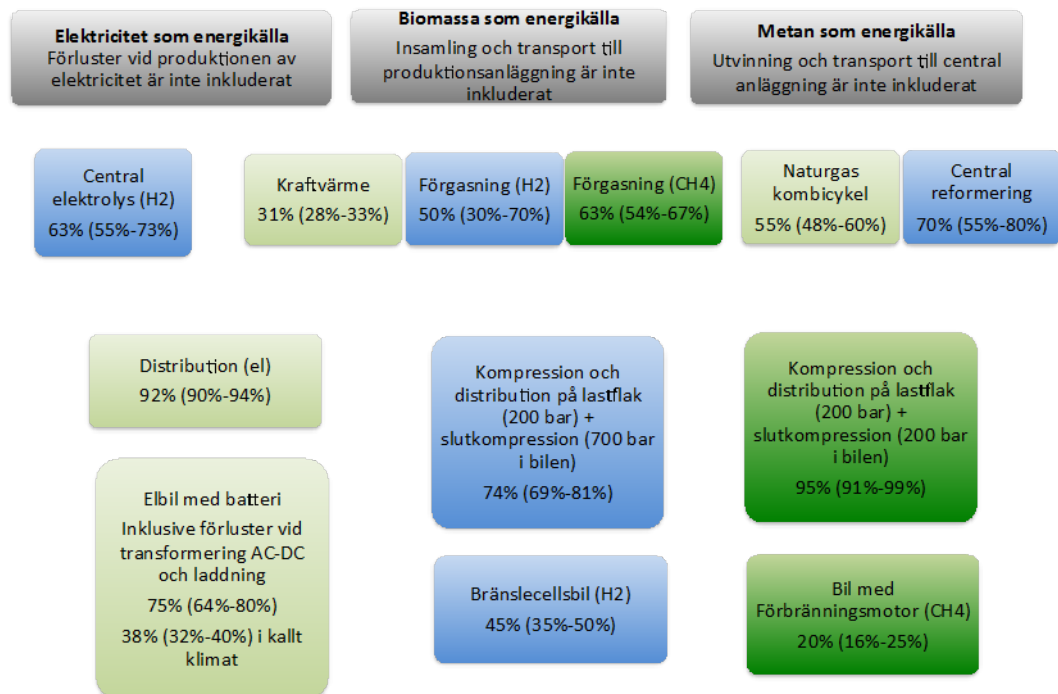


Figur 13 Schematisk bild för grupp "Metan".

För biomassan dras gränsen precis innan produktionsanläggningen. Fram till systemgränsen antas energieffektiviteten vara densamma oavsett vilket drivmedel som är slutprodukten. Detta illustreras i Figur 14.

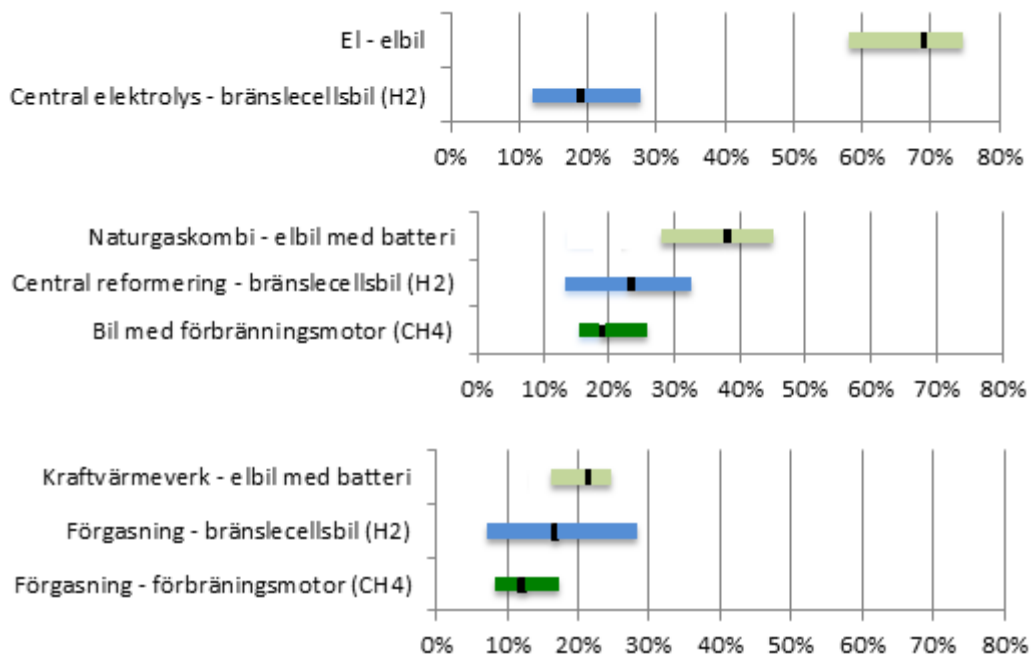


Figur 14 Schematisk bild för grupp "Biomassa".



Figur 15 Effektiviteter i energisystemet med utgångspunkt i tre energikällor och slutanvändning i tre fordonstyper: batteribil med el, bränslecellsbil med vätgas och bil med förbränningsmotor för metan. Procentsiffran anger hur stor del av energin som förs vidare genom produktion, distribution och slutligen omvandlas till transportarbete i fordonet. Den första siffran har i den här studien bedömts som rimlig i tidsintervallet 2015-2020 och intervallet inom parentes är spridningen på data som har hittats i följande litteratur, vilken till största delen består av vetenskapligt publicerade well to wheel studier:

[Mierlo m.fl. 2006; Colella m.fl. 2005; Hui m.fl. 2005; Marko m.fl. 2005; Jenn-Jiang m.fl. 2013; Wei m.fl. 2012; Bossel 2006; Jenn-Jiang 2012; Huo 2009; Svensson m.fl. 2007; Yazdanie m.fl. 2014; Campanari m.fl. 2009; Huang m.fl. 2006; Dharik m.fl. 2014; Thomas 2009; Helms m.fl. 2010; Wipke 2012; Franco och Carrosa 2002; Benjaminsson och Nilsson 2009; Moreno 2012; Dornburg och Faaij 2001; Dahmen m.fl. 2009; Mozaffarian 2003; Energimyndigheten 2013].



Figur 16 Resultat av sammanräkning av energiverkningsgraderna i Figur 15. Intervallet anger spridningen på data från litteraturen och svart markering ger resultatet för indata som bedöms som rimlig för 2015-2020. El (överst), metan (mitten) och biomassa från skogen (nederst) är utgångspunkterna. För elbilen ges ett intervall för användning i tempererat klimat. För kallt klimat kommer intervallet förskjutas åt vänster till viss del.

Enligt Figur 17 uppkommer generellt de största energiförlusterna i produktionssteget eller vid användning i bilen, även om både elbilen och bränslecells bilen har betydligt högre energieffektivitet än förbränningsmotorn i metangasbilen. Distributionssättet påverkar den totala systemeffektiviteten något mindre, men vätgasen har relativt hög energianvändning för distribution och lagring eftersom den kräver komprimering till höga tryck.

Generellt uppkommer de största energiförlusterna i produktionssteget eller vid användning i bilen.

Jämförelsen i Figur 16 visar att med el som utgångspunkt är det i ett systemperspektiv mest energieffektivt att använda den i en elbil med batteri. Skillnaden i energieffektivitet mellan el och vätgas är dock mindre i jämförelsen med metan som utgångspunkt, även om det sannolikt är betydligt högre även här. Metan till bränslecellsbil har troligtvis högre systemverkningsgrad än metan till förbränningsmotor enligt Figur 16, och biogas kan därför vara en lämplig energikälla vid vätgasproduktion.

Med biomassa som utgångspunkt har bränslecellsbilen med vätgas högre systemeffektivitet jämfört med metangasbilen.

Det bör påpekas att effektiviteten i omvandlingssteget mellan biomassa och vätgas är en uppskattad möjlig effektivitet som ligger några år framåt i tiden. Med biomassa som utgångspunkt har bränslecellsbilen högre systemeffektivitet jämfört med metangasbilen. Systemeffektiviteten för bränslecellsbilen och elbilen är i samma storleksordning även om elbilen i tempererat klimat troligtvis har något

högre verkningsgrad.

Resultaten är endast indikativa då förenklingar används för att beräkna effektiviteten i varje steg, men stora skillnader i energieffektivitet som t.ex. den för elbilen från el och metan kan ändå ses som signifikanta. Det signifikanta skillnaderna kommer förmodligen inte heller förändras 10 år framåt i tiden. Alla fordonstekniker har potential för högre energieffektivitet i drivlinan och det är svårt att avgöra vilken som kommer att förbättras snabbast. Bränslecellsbilen och elbilen har många gemensamma komponenter och det är rimligt att anta att vissa synergieffekter finns i deras parallella utveckling. Förbränningsmotorn för metangas har en förbättringspotential eftersom denna teknik inte har optimerats för just metangas ännu, men inga radikala förbättringar kan förväntas under en 10-års period. Förbättringspotential på sikt för produktionsteknikerna finns främst för elektrolysen, då gaskombi, kraftvärme med biomassa och reformering kan räknas som konventionella tekniker medan framtida siffror är givna för förgasningstekniken. Vätgasen har förmodligen störst förbättringspotential i distributionssteget, men trots nya stationära lagringstekniker kommer troligtvis energiförluster kvarstå vid kompressionen som behövs för lagring i bilen.

Förbättringspotential på sikt för produktionsteknikerna finns främst för elektrolysen

11.3 Vägtransportsektorn i Sverige, exemplifierande fördelning mellan el, vätgas och metan

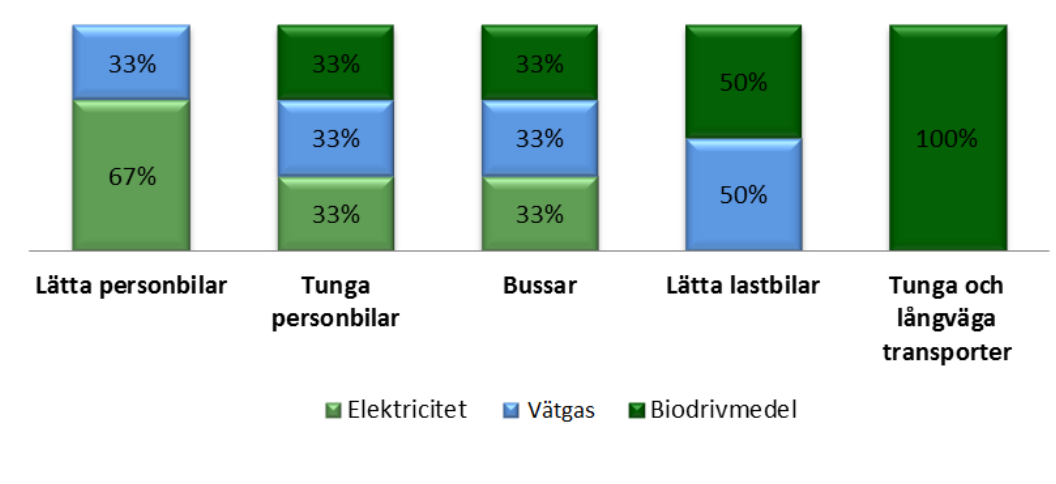
Följande exempel på en vägtransportsektor utan fossila drivmedel har konstruerats för att belysa vilken roll vätgasen skulle kunna ha i ett framtida transportsystem och hur detta skulle påverka energisystemet. Den antagna procentuella fördelningen (se Figur 17) visar andelen fordon i fordonsflottan idag för varje fordonskategori och den antas också att antalet körda mil har samma fördelning. Enligt diskussionen i föregående kapitel ersätter elfordon med batteri främst lätta fordon, bränslecellsfordon främst för medeltunga fordon som medan biodrivmedel används för

Uppskattningsvis 9,2 TWh vätgas per år skulle behövas för att täcka angivna delar av vägtransporterna .

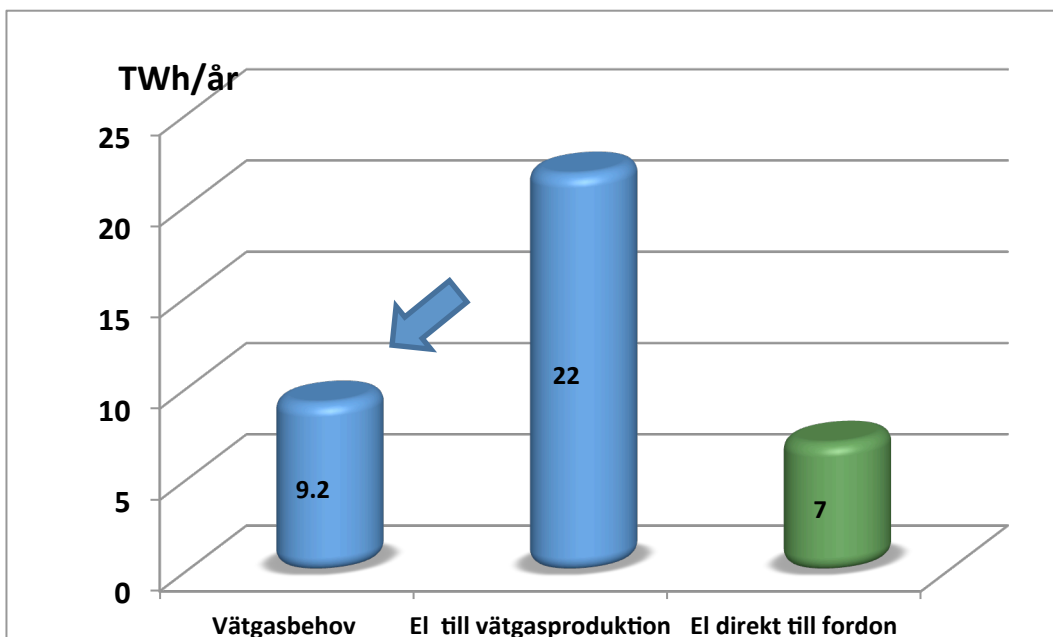
Det motsvarar endera av ca 22 TWh el
18 TWh metan
25 TWh biomassa

tyngre och längre transporter. Antaganden för fördelningen i fordonsflottan samt beräkningen av energibehovet finns förklarade under figuren.

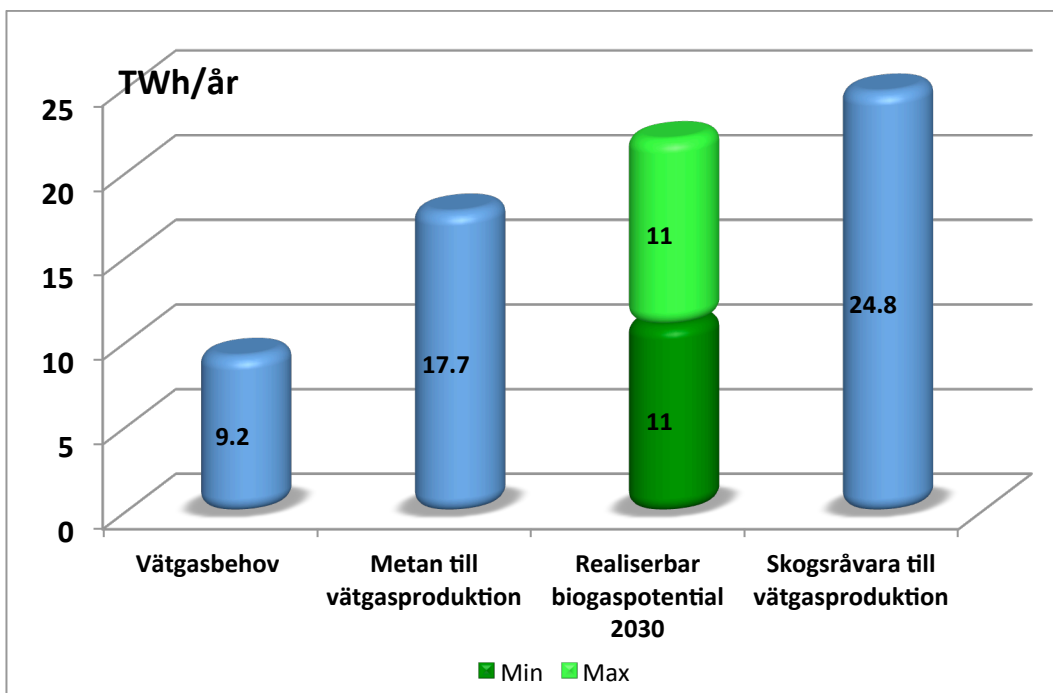
Uppskattningsvis 9,2 TWh vätgas per år skulle behövas för att täcka angivna delar av vägtransporterna och det skulle motsvara ca 23 TWh el, vilket behövs för att producera denna vätgasmängd via elektrolys, inklusive förluster i distribution, komprimering och lagring. Vätgasen skulle också kunna produceras via reformering av ca 18 TWh metan (antingen naturgas eller biogas) eller förgasning av ca 25 TWh biomassa, även här inklusive förluster i distribution, komprimering och lagring. Verkningsgraderna är redovisade i Figur 15. Vätgas som biprodukt från kemisk industri skulle även kunna täcka en del av behovet. En stor del vätgas i energisystemet skulle även ge en flexibilitet, eftersom överskott i elproduktionen kan användas för att producera vätgas som lagras i infrastrukturen för vätgas. Enligt exemplet skulle ca 7 TWh elektricitet krävas till direkt användning i elfordon. Totalt för el och vätgas behövs då 29 TWh el till transportsektorn. I jämförelse med framtidsprognoser för Sverige är det inte osannolikt att denna energi skulle kunna produceras förnybart.



Figur 17 Exemplifiering på vätgasens roll i en vägtransportsektor baserad helt på energikällor med förnybart ursprung



Figur 18 Behov av vätgas och elektricitet i exempelscenariot



Figur 19 Behov av metan (naturgas eller biogas) för vätgasproduktion via reformering, beräknat med referens till exemplet i figuren ovan, samt behov av skogsråvara för motsvarande vätgasproduktion via förgasning, och uppskattad realiserbar biogaspotential via anaerob rötning och förgasning i Sverige år

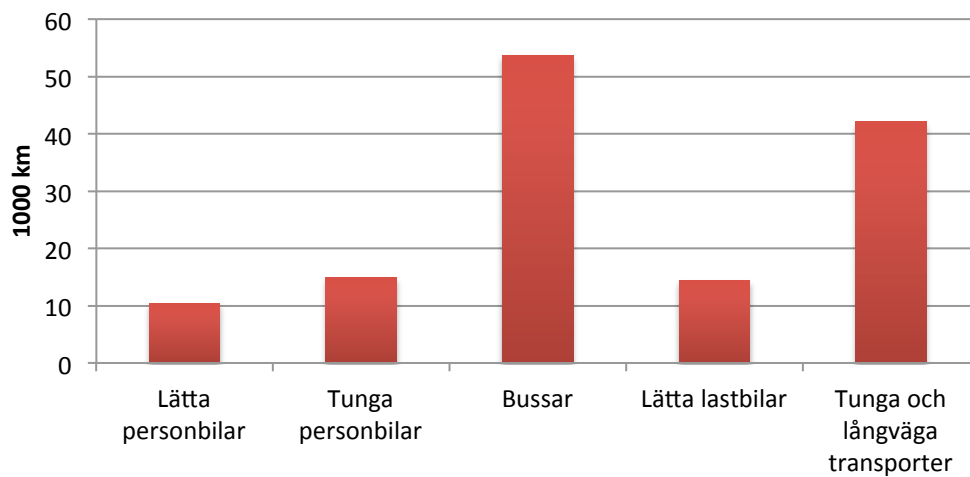
2030, enligt ett gynnsamt scenario med bl.a. fördelaktiga styrmedel samt inkludering av energigrödor [WSP, 2013].

Följande antaganden ligger bakom fördelningen av drivmedel för olika fordonstyper:

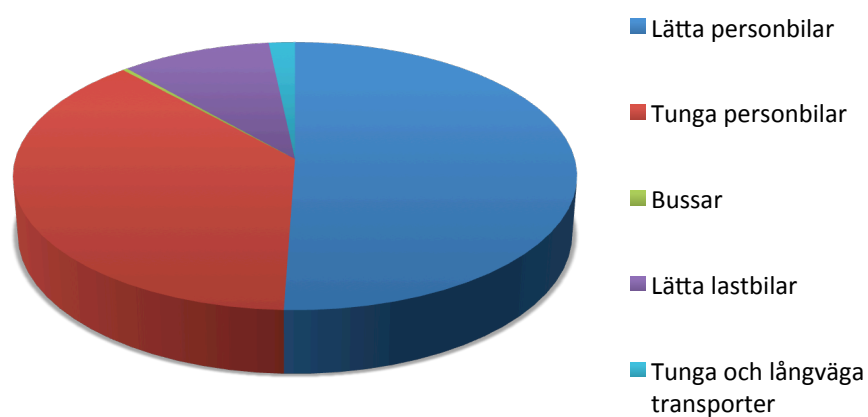
- Observera att exemplifieringens fördelning mellan de tre drivmedlen är just en exemplifiering och inte ett resultat av analys eller optimering.
- Alla bränslen har ett förnybart ursprung och är fossilfria.
- Elbil med batteri antas vara lämpligt för lätta bilar (<1,5 ton har antagits i det här fallet enligt SCB:s definition), men även en viss andel vätgas används i denna fordonstyp, främst för bilar med längre körsträckor.
- Tyngre personbilar kan elektrifieras via hybridisering
- Bussflottan elektrifieras delvis genom t.ex. trådbussystem och andra lösningar för laddning.
- Biodrivmedel används främst till tyngre transporter men även till viss del för lätta transporter, bussar och tyngre personbilar.
- Biodrivmedel och elbilar kan inte täcka hela energibehovet respektive funktionsbehovet som finns i vägtransportsektorn.

Vidare görs följande antaganden för att beräkna behovet av vätgas och hur mycket av en viss energiråvara som behövs för att tillverka vätgasen:

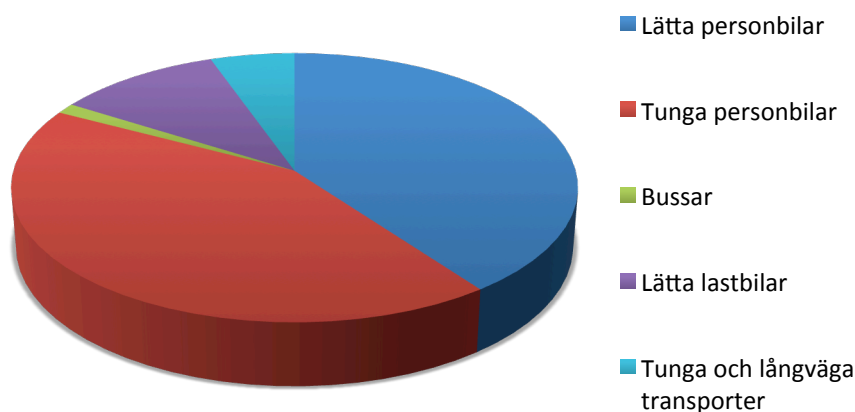
- Fordonsflottan har samma körsträcka och fördelning av tjänstevikt som 2012 [Trafikanalys, 2013]. Medelkörsträcka, fördelning av fordon och fördelning av totalt antal körda kilometer visas i Figur 20, Figur 21 och Figur 22.
- Alla bränslecells-bilar har en bränsleförbrukning motsvarande den för Hyundai ix35 modell 2013 (se avsnitt 6.4).
- Alla bränslecells-bussar har en förbrukning motsvarande den lägsta möjliga bränsleförbrukningen idag för en 12m stadsbuss (se avsnitt 6.3), vilken är den vanligaste typen av buss.
- Lätta lastbilar har 60 % högre förbrukning än en tung personbil enligt ungefärligt förhållandet för energiförbrukningen för en dieselmotor i en lätt lastbil och den i en personbil .
- Vid uträkningen hur mycket råvara som behövs för att försöka transportsektorn med beräknad mängd vätgas inräknas förluster i produktion, distribution och lagring enligt Figur 15.
- Förbrukningen för lätta elbilar har skattats enligt Nissan Leaf (se avsnitt 6.4) och tyngre hybridiserade personbilar beräknas ha ca 30 % högre energianvändning än den. Energianvändningen i bussarna har skattats enligt [Hjalmarsson m.fl., 2011].



Figur 20 Medelkörsträckor för olika fordonstyper i den svenska fordonsflottan under 2012 [Trafikanalys 2013]



Figur 21 Fördelning av antal fordon i Sveriges fordonsflotta under 2012 [Trafikanalys 2013]



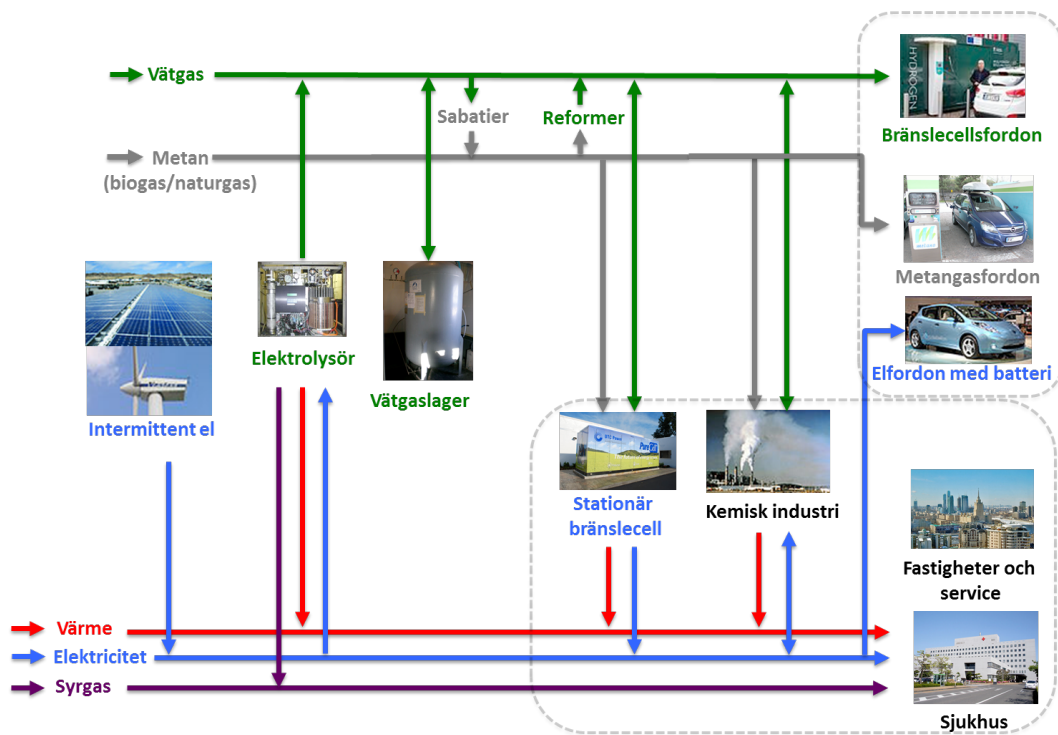
Figur 22 Fördelning av totalt antal körda mil i den svenska fordonsflottan under 2012 [Trafikanalys 2013]

11.4 Vätgas som länk mellan olika energiformer och lagring

Framställning av vätgas i större skala ger ett mycket intressant inspel i dagens energisystem. I och med att det finns flera, helt olika, framställningsmetoder för vätgas föreligger en flexibilitet som är ovanlig jämfört med "konventionell" drivmedelsframställning. Beroende på metod är processen beroende av främst el eller värme, samt kan avge värme eller kyla som biprodukt. Vid valet av framställningsmetod ska hänsyn tas till flera olika aspekter där bland annat omgivande energisystem hör till en av de viktigare. Att framställa vätgas leder till verkningsgradsförluster eftersom energin måste omvandlas från en annan form innan det kan lagras i form vätgas. Dessa förluster är huvudorsaken till varför analyser av energisystemet måste ske. Beroende på lokala eller regionala förutsättningar kan det exempelvis finnas brist på värme eller kyla som skulle kunna tillgodoses av restvärme från en elektrolysör. Att integrera vätgasframställningen med energisystemet och optimera synergimöjligheter bidrar till mer gynnsamma ekonomiska förutsättningar för tankstationsägaren, vilket kan vara avgörande för huruvida en station ska byggas eller ej.

I Figur 23 presenteras en energisystembild med vätgas i fokus. Flöden mellan olika processer presenteras vilket visar hur och var vätgas på ett naturligt sätt kan integreras i energisystemet. I Tabell 9 exemplifieras biprodukter i respektive omvandlingssteg.

Kopplingarna mellan vätgas och övrigt energisystem beskrivs tydligare i delkapitlen om el, värme, kyla, syre, vätgaslagring och industri nedan.



Figur 23 Möjlig integration för vätgas i det svenska energisystemet

Tabell 9 Exemplifiering av värdefulla biprodukter för valda omvandlingssteg i Figur 23 ovan samt indikativa verkningsgrader. Värmeproduktionens regelbundenhet beror av utrustningens driftcykel.

Omvandlingssteg	Verkningsgrad	Biprodukter
Elektrolys	60 %	Värme vid 80 °C Syrgas 8kg/kg vätgas
Storskalig reformering	70 %	Arbets temperatur vid 800-1000 °C, varifrån värme kan erhållas
Förgasning	30 – 70 %	Möjlig värmeåtervinning vid olika temperaturer beroende på förgasningsmetod som används.
Kompressor	60 %	Möjlighet till värmeåtervinning
Stationärt bränslecellssystem	40 – 50 %	Värme vid olika temperaturer beroende på bränslecellssystem

11.4.1 EI

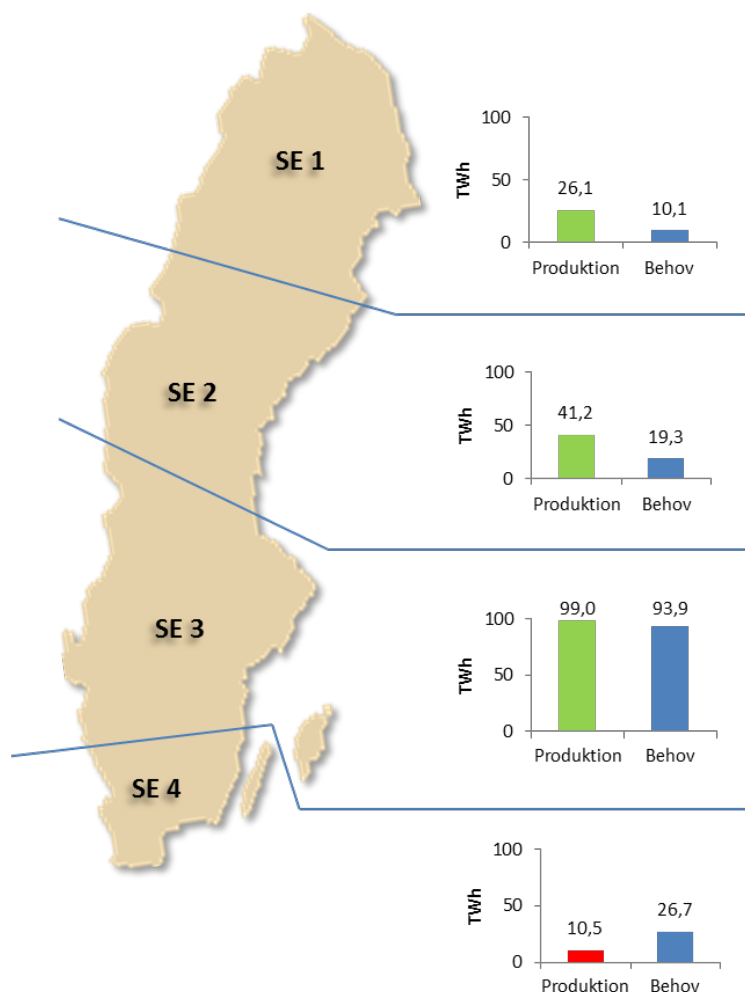
El är en viktig möjlig källa för vätgasproduktion via elektrolys. I Sverige, där elproduktionen har – och planeras ligga kvar vid - låga koldioxidutsläpp är vätgasproduktion via el ett miljömässigt attraktivt i jämförelse med produktion baserad på fossila källor.

Förnybar kraftproduktion med vindkraft i spetsen har på senare tid haft en relativt aggressiv expansion i Sverige. Med vindkraft och sol ökar även intermittensen i elnätet. Eftersom överföringskapaciteten mellan olika regioner varierar och generellt inte är anpassade för hur kraftproduktionshöjningen kommer att se ut finns det risk för perioder med underkapacitet i nätregleringen. Detta kan leda till att kraftproduktionen måste nedregleras eller stoppas helt vid överskottsproduktion. Att kunna lagra elenergin vid sådana tillfällen är ett intressant alternativ till att öka överföringskapaciteten i området. Att köra en elektrolys vid överskottsproduktion eller under "off-peak" perioder (såsom kvällar

och helger) kan därmed vara intressant ur både ekonomisk synpunkt såväl som energisystemsypunkt.

Dock måste utredningar göras för att bedöma lämplig dimensionering på elektrolysören där förhållandet mellan producerad mängd vätgas och effekt samt storlek på energilager måste optimeras. Under de mest gynnsamma förutsättningar kan elektrolysören uppnå högt antal drifttimmar per år vilket skulle resultera i relativt litet effektbehov och litet lager men stor mängd producerad vätgas.

Enligt Svenska Kraftnäts långsiktighetsprognos är ett troligt scenario ett nettoöverskott av el år 2025 vilket presenteras i Figur 24 [SVK 2013]. Av de fyra elprisområdena som Sverige är uppdelat i förväntas tre av dessa (SE 1 – SE 3) att producera mer el än behovet på årsbasis medan endast en (SE 4) inte kommer ha tillräcklig produktion. Den totala summan av produktion kontra behov resulterar i ett nettoöverskott av el på nästan 27 TWh vilket skulle täcka en ansevärd del av energibehovet i exempelvis vägtransporter.

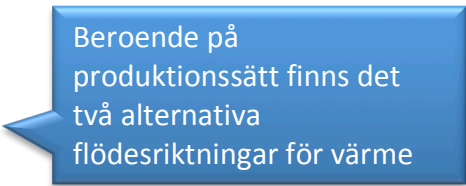


Figur 24 Ett scenario ur Svenska kraftnäts prognoser (Integrering av vindkraft) från 2013 som visar hur produktion kontra användning kan förväntas se ut för de olika elhandelsområdena år 2025. Totalt visas ett elöverskott på knappt 27 TWh årligen [SVK 2013].

11.4.2 Värme

Redan idag finns det oerhört stora mängder spillvärme vid olika höga och låga temperaturnivåer från bland annat industri som inte tas tillvara, ofta för att det inte är tillräckligt ekonomiskt försvarbart att utnyttja. Förväntningen är däremot att ökad systemintegration i samhället över tid ska minska dessa outnyttjade resurser. En annan orsak till att spillvärmen inte kan tas tillvara är den geografiska placeringen och tillgängligheten. Om anläggningar med restvärme redan vid planeringsstadiet kan placeras intill fastigheter eller industri med matchande behov är det en fördel.

Beroende på produktionssätt finns det två alternativa flödesriktningar för värme kring vätgasproduktion. Om elektrolys används bildas i de flesta fall värme i processen som måste ledas bort för att hålla en konstant temperatur i elektrolysören. En alkalisk elektrolysör producerar värme vid temperaturer kring 80 °C vilket kan vara intressant för exempelvis uppvärmning av fastigheter. Detta kan i något fall vara intressant i dagens fjärrvärmesystem där fjärrvärmereturen tål att höjas, eller i fjärrvärmenät med en nedjusterad maxtemperatur vilket börjar diskuteras som en framtida energisystemförbättring och stöds av minskat värmebehov och ny teknik i nya hus.



Beroende på produktionssätt finns det två alternativa flödesriktningar för värme

Om vätgasframställningen sker genom ångreformerings, som är en endoterm (värmekrävande) process, finns möjlighet att nyttja spillvärme från exempelvis industrier eller kraftvärmeanläggningar som idag släpper ut värme utan nytta. På så sätt skulle exempelvis kraftvärmeverk kunna drivas även sommartid (allt höja effekten sommartid) eftersom de skulle få avsättning för värmets året beroende på hur stora mängder vätgas som produceras.

11.4.3 Kyla

Elektrolysörer producerar, som nämnt, värme i överskott vid drift. Vid tillfällen eller placeringar där det inte finns behov av värme kan det vara ett alternativ att se på hur kylbehovet ser ut i nära anslutning. Genom absorptionskylateknik omvandlas värme direkt till kyla utan "mellansteg" som till exempel el. Genom att framställa kyla kan det ursprungliga värmets "förädlas" och säljas till ett högre pris per kWh. Verkningsgraden för kylproduktionen uppgår till ca 70 % i temperaturintervallet 70 – 90 °C [Setterwall et al. 2003].

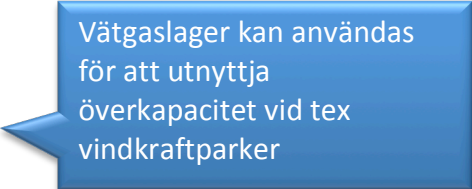
11.4.4 Syre

Vid elektrolys av vatten till vätgas frigörs också syrgas. Syrgasen håller sådan renhet att det kan användas i exempelvis sjukhus, men kan även användas i exempelvis industriella applikationer för att effektivisera förbränningsprocessen.

Storleksordningen av mängden syrgas som produceras vid framställning av 10 GWh vätgas ligger på ca 1 200 ton och med marknadsvärde på ca 1 SEK/kg . För vätgas är motsvarande siffra närmare 300 ton med ett marknadsvärde på ca 115 SEK/kg.

11.4.5 Vätgaslagring

Vätgaslager behöver finnas i anslutning till tankstationer för att erbjuda kapacitet för tankande fordon. Vätgaslager kan också användas för att utnyttja överkapacitet vid tex vindkraftparker där kraftledningskapaciteten annars skulle tvinga fram nedreglering av kraftproduktionen vissa perioder under året. Den lagrade vätgasen kan sedan antingen användas som bränsle eller för ny produktion av el vid lämpligt tillfälle. Jämför stycke 11.4.1 ovan.



Vätgaslager kan användas för att utnyttja överkapacitet vid tex vindkraftparker

Den lagrade vätgasen kan sedan antingen användas som bränsle eller för ny produktion av el vid lämpligt tillfälle. Jämför stycke 11.4.1 ovan.

Vätgas kan förutom att utgöra ett bränsle också vara en källa för elproduktion. Vätgasen kan med fördel användas i stationära bränslecellssystem eller i gasturbiner. De systemlösningar som är mest kommersiella idag är små backupsystem som ersättning för stora batterilager, exempelvis i telekomindustrin eller på avlägsna platser där inget elnät finns. Vätgaslagrets storlek avgör backuptiden som därmed blir mer flexibel än för de traditionella batterilagren.

11.4.6 Industri

Som beskrivits i delkapiteln ovan finns det en potential i att integrera industrins tillgångar och behov med ett framtida energisystem, se även Figur 23. Detta gäller såväl el, värme, kyla och drivmedel.

Inom kemisk industri finns både spill och biproduktströmmar av vätgas som skulle kunna användas som fordonsbränsle. Idag bränns ofta vätgasen för att producera ånga/värme och i vissa fall vädras den till och med ut i atmosfären. Vätgasen har ett större värde som fordonsbränsle och ersättande ånga/värme kan produceras från någon lågvärdig energibärare.

Produktion av polymera plaster kräver klorgas, och när klorgas produceras genom elektrolys bildas vätgas som biprodukt. Vätgas finns också som biprodukt bl.a. vid så kallad krackning (sönderdelning) av högre kolväten såsom nafta, etan, propan och butan till produkter som eten och propen, vilka utgör viktiga råvaror för kemiska industrier. I Sverige finns flera industrier med vätgas som biprodukt och med viss rening kan åtminstone en del av dessa vätgasströmmar användas som drivmedel.

11.4.7 Tillgänglighet av energibärare

I dagens vägtransportssystem och med dagens teknik kan elektricitet främst användas som drivmedel för lättare personbilar samt vid hybridisering av tyngre fordon. För att elektrifiera alla fordonstyper (inkl tunga transporter) i vägtransportsektorn skulle det krävas exempelvis elvägar, trådbussar och liknande lösningar för laddning vilket skulle innebära en mycket stor omställning utifrån dagens teknik.

Biodrivmedel, både flytande och gasformiga, kan användas i alla delar av transportflottan och skulle kunna ersätta fossila drivmedel för tyngre fordon. Biodrivmedel har dock en begränsad produktionspotential, även om vi i Sverige har goda förutsättningar att producera relativt stora mängder biodrivmedel. Vissa av de biodrivmedel som finns idag, t.ex. spannmålsbaserade drivmedel som etanol och biodiesel, har dessutom låg resurseffektivitet och produktionen är fortfarande kopplad till vissa koldioxidutsläpp, vilket gör att de kanske inte är önskvärda i ett framtida energi- och transportsystem.

Vätgasen kan med sin högre energilagringsskapacitet i fordonet användas till något längre körsträckor och tyngre fordon än vad elfordon med batteri är lämpliga för och har inte samma begränsning i produktionspotential som biodrivmedel har. Vätgasen kan dessutom produceras från en mängd olika råvaror och kan ses som ett sätt att öka andelen förnybar elektricitet i transportsektorn. Vätgasen, elektricitet och biodrivmedel kompletterar varandra och erbjuder tillsammans en totallösning för en fossilfri transportsektor.

Då samhället under decennier har anpassats efter fossila bränslen är idag tillgängligheten för dessa såsom bensin och diesel överlägsen alla alternativ.

12 Emissioner vid användning av vätgas

Uppskattningar för emissioner för ett drivmedel kan se väldigt olika ut beroende på vilka delar av kedjan som inkluderas inom systemgränsen. För att få en komplett bild av utsläppen skulle det krävas att hållbarhets- och livscykelanalyser behöver göras (för varje energikälla). Denna redovisning omfattar genomsnittliga utsläpp från fordon och från produktionsmetoder.

12.1 Direkta emissioner från fordon

Vid användning av vätgas i bränslecells-fordon är de skadliga emissionerna, såsom kväveoxider, svaveloxider och partiklar, från fordonet i princip obefintliga. (Undantaget partiklar som sprids från däcken.) Delvis beror det på att vätgasen är helt ren som bränsle (det krävs ren gas för att inte skada bränslecellsystemet), inte innehåller kolväten och för att ingen förbränning sker. Eftersom vätgasen hålls fri från svavel och kolväten bildas varken SO_x-föreningar eller koldioxid. Förbränning av bränslen ger upphov till NO_x-bildning vilket undviks i bränsleceller där ingen förbränning sker. Det innebär att bränslecellsfordon bidrar till att hålla den lokala miljön fri från emissioner som finns vid användning av konventionella drivmedel och tekniker. Detta har en positiv påverkan på såväl hälsa som natur och byggnader.

Vid användning av vätgas i bränslecellsfordon är skadliga emissioner såsom kväveoxider, svaveloxider och partiklar i princip obefintliga

Även motorbuller försvinner helt vid användning av både batteri- och bränslecellsfordon.

Dock är problematiken med partiklar, kolväten och buller som uppstår vid friktionen mellan däck och vägbeläggning desamma för alla fordon oavsett framdrivning.

12.2 Emissioner från vätgasproduktion

Vid produktion av vätgas är det stor skillnad i miljöpåverkan beroende på framställningsmetod. De tre huvudalternativen som idag framstår som troliga, och finns beskrivna i kapitel 4.2, medför olika nivåer av emissioner vilket visas i Tabell 10 nedan.

Tabell 10 Emissioner av växthusgaser från vätgasproduktion

Ursprung	kg CO ₂ -ekv/kg H ₂
Naturgas (reforming)	11,9 ¹
Biomassa (förgasning)	4,8 ²
EI (elektrolys med vindkraftsel)	0,97 ³

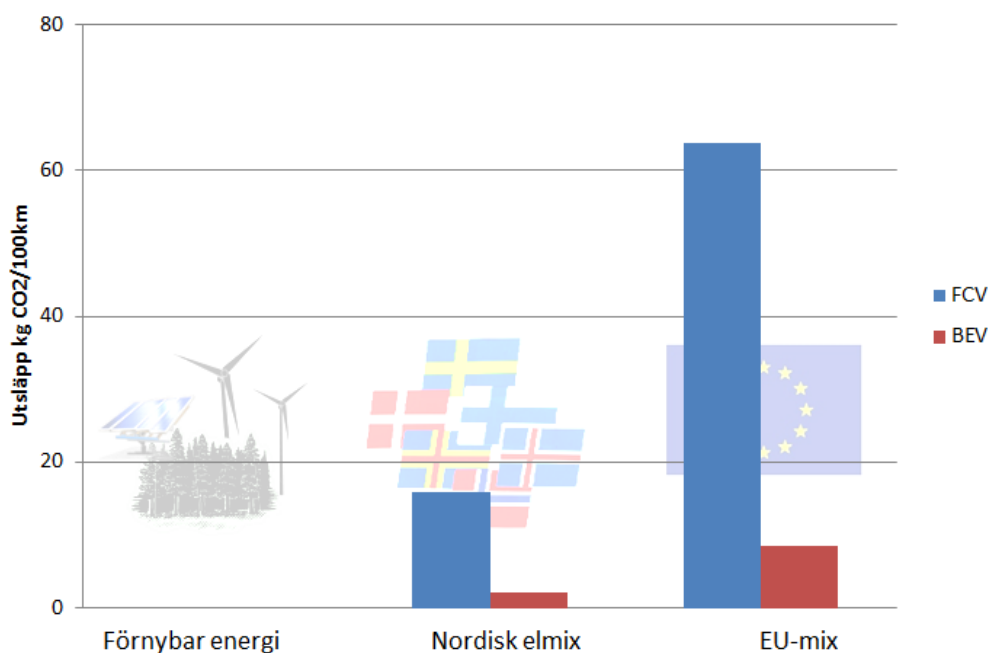
1 [NREL 2001]

2 [Dufour & Moreno 2013]

3 [NREL 2004]

I samtliga dessa tre fall innefattar systememissionerna hela produktionskedjan. Dock finns stor variation i valet av råmaterial för biomassabaserad förgasning med avseende på eventuella kolsänkor minskar totalemissioner av CO₂. Teoretiskt kan detta innebära negativa nettoemissioner av CO₂, dock ej av andra restprodukter som metanläckage, och vi har valt en konservativ uppskattning av totalemissioner.

Vid elektrolys enligt exemplet ovan kommer över 75 % av emissionerna från tillverkning och uppförande av själva vindkraftverken. Vid elektrolys är ursprunget till elen helt avgörande för emissionsnivåer. I svensk och nordisk elproduktion är emissionerna (CO₂, NO_x, SO_x och partiklar) mycket lägre än EU-mixens emissioner då de nordiska länderna använder förhållandevis hög andel förnybara energislag i kraftproduktionen. Illustrationen i Figur 25 presenterar skillnaden i koldioxidutsläpp mellan olika elkällor för el- och bränslecellsfordon.



Figur 25 CO₂-utsläpp för elfordon (BEV) och bränslecellsfordon (FCV) beroende på ursprunget för använd el [Svensk Energi a].

Då den nordiska mixen består av förhållandevis låg andel fossila bränsleslag ger det ett stort utslag i CO₂-utsläpp. I tabellen tydliggörs den stora skillnaden i användning av fossil energi, där totala snittet i EU uppgår till över 54 % medan motsvarande siffra i Norden är knappt 43 %. För att fullt ut realisera potentialen hos elektriska och vägasdrivna fordon förutsätts att el produceras från förnybara källor.

Nordisk elmix har låg andel fossila kraftslag jämfört med EU:s mix vilket bidrar till en stor skillnad i koldioxidutsläpp vid kraftproduktion.

12.3 Jämförelse med andra fordonsbränslen

Vid en jämförelse med andra fordonsbränslen krävs att systemgränser är väl definierade. För biodrivmedel som etanol och biogas ingår hela produktionskedjan i emissionsfaktorerna, medan för fossila bränslen som bensin och diesel brukar typiskt emissioner före raffinering ej tas med. Detta försvårar direkta jämförelser, och brukar vara till nackdel för förnybara drivmedel som inkluderar en större del av värdekedjan inom systemgränsen.

Biodrivmedel som biogas och etanol uppvisar dessutom stora skillnader i emissionsfaktorer beroende på råmaterial och produktionsmetod. Som exempel kan nämnas att FFF-utredningen redovisar att biogasproduktion kan ge upphov till mellan 8 och 40 g CO₂-ekv per MJ drivmedel. För jämförelsen nedan har vi använt genomsnittliga värden för biogas och E85.

Tabell 11 Emissioner av växthusgaser från olika bränslen

Bränsletyp och ursprung	Direkta utsläpp fordon (kg CO ₂ -ekv/100 km)	Totalt bruttoutsläpp inklusive bränsleproduktion (kg CO ₂ -ekv/100 km)
Biogasbil ¹	<8,4	8,4
Bränslesnål diesel ²	9,8	>9,8
Flexifuel – E85 ¹	5,0	Beror på etanolens ursprung
Genomsnitt för nya bilar i Sverige 2012 (lågiblandad bensin och diesel) ³	13,5	>13,5
EU-mål för nya fordon från 2020 ⁴	9,5	>9,5
Bränslecellsbil vätgas från naturgas ⁵	0	11,9
Bränslecellsbil vätgas från biomassa ⁶	0	4,8
Bränslecellsbil vätgas från elektrolys – vindkraftel ⁷	0	0,9*

*Varav 0,7 från tillverkning av själva vindkraftverket

¹ Beräknat från emissionsfaktorer i [SOU 2013:84] för blandning av biogas och naturgas (s.k. fordonsgas)

² Genomsnitt från flera bilproducenter

³ [Transportstyrelsen 2014b]

⁴ [EC 2009]

⁵ [NREL 2001]

⁶ [Dufour & Moreno 2013]

⁷ [NREL 2004]

Andra emissioner (NO_x, SO_x och partiklar) har minskat dramatiskt för alla fordon, inklusive bensin- och dieseldrivna, sedan 1990-talet. Dock överskrider fortfarande gränsvärden i många tätorter. Dessa utsläpp orsakar ytterligare externa kostnader i form av försämrad hälsa, skador på byggnader och försurning, och uppkommer i högre eller lägre grad vid alla typer av förbränningsprocesser (dvs för alla fordonstyper utom BEV eller FCEV).

13 Policy och styrmedel för vätgas i transportsektorn

Om vätgas och bränslecellsfordon bedöms vara en viktig del i omställningen till en hållbar och energieffektiv transportsektor, krävs en rad styrmedel för att tekniken ska kunna introduceras i konkurrens med fossila drivmedel och första generationens förnybara drivmedel. En rad olika typer av specifika och generella styrmedel kommer troligtvis att behövas, t.ex. regleringar, ekonomiska subventioner och mjuka styrmedel såsom information och public-private partnerships.

Det anses i Sverige att stöd till tekniker för förnybara drivmedel bör vara teknikneutrala för att inte påverka konkurrensen mellan olika alternativ, men i praktiken är det svårt att implementera en sådan vision. Anledningen är att förutsättningarna för att etablera sig på marknaden skiljer sig åt mellan olika drivmedel, t.ex. för vätgasen krävs ny produktion, distribution och fordonsteknik. Vätgasen skiljer sig väsentligt mer från dagens transportsystem än vad vissa andra bränslen och tekniker gör. Exempelvis kan elektricitet till fordon och flytande biodrivmedel till viss del distribueras i tillgänglig infrastruktur, och fordonstekniker för metan och etanol baseras fortfarande på den konventionella förbränningsmotorn. De nuvarande teknikneutrala styrmedelna innebär en risk för att teknikerna som skiljer sig mest från det nuvarande transportsystemet konkurreras ut. Specifika styrmedel kan behövas för att introducera sådana tekniker som ännu inte är kommersiella, men som kanske kan vara viktiga i framtidens transportsystem.

Utmaningen för alternativa drivmedel är också att simultant utvidga infrastrukturen och antalet bilar och därför måste en helhetsstrategi med en kombination av styrmedel tillämpas. Här kan paralleller dras till utvecklingen av fordonsgas, där marknaden, dvs antalet fordon, i vissa regioner har utvecklats snabbare än både distributionsnätet och produktionskapaciteten, även om alla delar av systemet har stöttats med styrmedel. Förhoppningsvis går det att lära sig av biogasintroduktionen och bättre stötta de delar av systemet som inte utvecklas lika starkt. Marknadsutvecklingen för biogas har dock gett producenter och försäljare en drivkraft att bygga upp infrastrukturen för biogas, även om det har varit bekymmersamt för användare när biogasen har tagit slut på tankstationerna.

En basal tillgänglighet för infrastruktur samt en rimlig livscykelkostnad för användaren är två viktiga faktorer som kommer att behövas om tekniken ska introduceras, och den här utvärderingen syftar till att föreslå en styrmedelsstrategi som kan åstadkomma detta. Den första delen av kapitlet beskriver nuvarande och föreslagna styrmedel för alternativa fordon och bränslen i transportsektorn och därefter beskrivs barriärer och kostnader för vätgasinfrastruktur och bränslecellsfordon, vilket avslutningsvis utmynnar i ett förslag till en övergripande styrmedelsstrategi.

13.1 Policier och styrmedel i Europeiska Unionen

En rad EU-direktiv definierar mål inom energi, transport, miljö och klimat och det är upp till medlemsländerna att uppfylla målen utifrån sina förutsättningar och med sina egna strategier. Följande direktiv är centrala för dessa sektorer: Förnybarhetsdirektivet (2009/28/EC), Energieffektivitetsdirektivet (2012/27/EU), Energiskattedirektivet (2003/96/EC), Luftkvalitetsdirektivet (2008/50/EC), Bränslekvalitetsdirektivet

(2009/30/EC) och direktivet om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen (2014/94/EU) [EU 2014].

Förnybarhetsdirektivet definierar målet att till 2020 ska 20% av totala energianvändningen samt 10% av energianvändningen i transportsektorn komma från förnybara energikällor, medan Energieffektivitetsdirektivet anger målsättningen att öka energieffektiviteten med 20% till samma år.

Direktivet för energiskatter definierar en minimumnivå för beskattning av energiprodukter och syftar delvis till att minska utsläppen av växthusgaser samt att undvika snedvridningar på energimarknaden. Vätgas nämns inte i direktivet och måste därför inte beskattas av medlemsländerna medan t.ex. bensin och diesel måste beskattas.

EU lanserade i december 2013 ett paket med policies för renare luft [EC 2014] som uppföljning på tidigare arbete med luftkvalité. Syftet är att minska ohälsan och samhällskostnaderna som skapas av luftföroreningar från bland annat trafik, och särskilt fokus läggs på att förbättra luftkvalitén i städer. Nollemissionsfordon som bränslecellsbilar och elbilar med batteri kan lösa problemen med emissioner från förbränning av diesel och bensin, och även metan ger jämförelsevis lägre utsläpp av vissa luftföroreningar. Bränslekvalitetsdirektivet är sedan tidigare en del av åtgärderna för att förbättra luftkvalitén och där anges utsläppsgränser för nya fordon. I Bränslekvalitetsdirektivet påpekas också att nya bränslen och tekniker är en viktig del i arbetet för att förbättra luftkvalitén. Förbättrad luftkvalité verkar i dagsläget inte vara någon större drivkraft för introduktionen av förnybara drivmedel och tekniker, även om det spelade en viss roll vid introduktionen av biogas i Sveriges transportsektor, men det kan bli en allt viktigare drivkraft i sammanhanget.

Tidigare erfarenheter från alternativa drivmedel har visat att tillgänglig infrastruktur är en avgörande faktor för användaren. Direktivet om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen (2014/94/EU) [EU 2014] innehåller krav på att upprätta en nationell handlingsplan för att utveckla marknaden för alternativa drivmedel och bygga ut infrastrukturen för att distribuera dem. Vidare ska medlemsstaterna bygga ut laddinfrastruktur för elfordon samt infrastruktur för naturgas i komprimerad eller flytande form till år 2020. Infrastruktur för laddning och komprimerad naturgas ska främst vara tillgänglig i städer och tätbebyggda områden och i övrigt är det upp till medlemsstaterna att planera tillgängligheten. Flytande naturgas ska vara tillgänglig i vissa hamnar och längs TEN-T-stomnätet. Medlemsstaterna väljer själva om de ska inkludera vätgas i handlingsplanen och vilken geografisk utbredning ett sådant nät ska ha. De stater som inkluderar vätgas ska 2025 ha ett lämpligt antal tankstationer för att möjliggöra trafik med vätedrivna fordon.

Förutom målsättningar inom energi- och klimatområdet påverkar EU utvecklingen av tekniker för förnybar energi genom systemet för utsläppsrätter (ETS) samt finansiering av forskning, utveckling och demonstration. Enligt Bleischwitz och Bader [2010] utgör nuvarande policies inom EU inget hinder för utvecklingen av vätgas och bränsleceller, men heller ingen stark drivkraft. Vidare påpekar Bleischwitz och Bader att specifikt stöd

till vätgas och bränsleceller krävs om dessa tekniker ska utgöra signifikant del av marknaden.

13.1.1 Utredningar om transportsektorns utveckling

Europeiska Unionen har lanserat en rad utredningar och planer för att uppnå ett energieffektivt och hållbart transportsystem: White paper on "Roadmap to a Single European Transport Area"; Future transport fuels; Infrastructure for alternative fuels; The Clean Transport Systems initiative; Action plan on Urban Mobility; Strategic Transport Technology Plan.

"Road map to a single European Transport Area" sätter upp målsättningar för år 2050: 60% reduktion av växthusgasutsläpp från transportsektorn och inga fordon som drivs av konventionella bränslen inne i städer. I utredningen "Future transport fuels" [EC 2011] anges elektricitet, vätgas och flytande biodrivmedel som huvudsaklig ersättning för fossila drivmedel. Syntetiska bränslen från biomassa, t.ex. förgasning, samt metan ses som komplement till dem. Utredningen betonar också att biodrivmedel inte kommer att täcka energibehovet i transportsektorn men att vissa delar av transportsektorn kan drivas av elektricitet och vätgas, energibärare som kan produceras från en rad energikällor. Drivmedelsfördelningen i vägtransportflottan baserat på körsträcka exemplifieras på följande sätt:

- Elektricitet för korta distanser
- Vätgas och metan för medium distans
- Biodrivmedel/syntetiska bränslen och LNG för långa transporter

Vidare påpekar utredningen att det är viktigt att infrastrukturen för dessa alternativa bränslen görs tillgänglig i hela Europa, vilket utgör grunden för det ovan nämnda direktivet om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen (2014/94/EU) [EU 2014]. I utredningen "Infrastructure for alternative fuels" [EC 2011] ges vidare rekommendationen att EU bör sätta upp mål och krav på medlemsstaterna för att införa infrastrukturen, och att medlemsländerna själva får konstruera lämpliga åtgärder för att uppnå dem. Utredningen nämner också att eftersom införandet av infrastrukturen medför kostnader och finansiella risker så kommer det troligtvis att krävas styrmedel såsom regleringar och ekonomiskt stöd.

13.1.2 Vätgassatsningar

EU har genomfört flera satsningar på vätgas och bränslecellsfordon. 2003 lanserades en vision och handlingsplan för ökad användning av vätgas i energi- och transportsektorn [EC 2003]. I den nämns bland annat att bränslecellsfordon skulle kunna utgöra 15% av

fordonsflottan år 2030, och det dubbla 2040, samt att vätgasen då producerades från förnybara energikällor, kärnkraft samt från fossila källor med CCS. Handlingsplanen efterfrågar starka finansiella styrmedel för att ge vätgas och bränsleceller en möjlighet att konkurrera med fossila alternativ.

För att påskynda introduktionen av teknik för vätgas och bränsleceller, grundades 2008 programmet "Fuel cells and hydrogen joint undertaking" (FCH JU), vilket är ett samarbete mellan EU-kommissionen, europeisk industri och forskningsorganisationer. Syftet är att öka koordinationen av insatserna genom ökat samarbete mellan de olika aktörerna. Budgeten för de första sex åren är satt till 1 miljard euro, och programmet finansierar en mängd utvecklings och demonstrationsprojekt runt om i Europa. FCH JU är en del av "the European strategic energy technology plan", vilket är ett bredare initiativ med syftet att på lång sikt utveckla tekniker för ett samhälle med låga växthusgasutsläpp.

Regionala och lokala myndigheter har visat sig vara viktiga aktörer när det gäller att finansiera och driva introduktionen av ny teknik såsom vätgas och bränslecellsfordon. "Hydrogen fuel cells and electromobility in European regions" (HyER) bildades 2011 som en plattform för samarbete mellan regioner och kommuner som driver frågan med elfordon och även specifikt vätgas och bränsleceller.

13.2 Nuvarande svenska styrmedel för transportsektorn

Sveriges klimatpolicy började utvecklas runt 1990 och har som mål att stabilisera den globala uppvärmningen till max 2°C genom att stabilisera koncentrationen av växthusgaser till 400 ppm i atmosfären. Den långsiktiga visionen är att Sverige vid år 2050 inte har några nettoutsläpp av klimatgaser och en prioritering är att en fossiloberoende fordonsflotta uppnås år 2030 [Miljödepartementet 2009].

Sverige tillämpar en rad styrmedel för att minska transportsektorns klimatpåverkan och bioetanol, biodiesel, biogas har introducerats som förnybara alternativ och elbilar håller på att introduceras. Nuvarande styrmedel har i första hand lett till ökad användning av låginblandade biodrivmedel, biodiesel och bioetanol, men även till höginblandning av dessa två drivmedel samt biogas.

Fordonsägaren stöttas bland annat av reduceringar av fordonsskatt och förmånsvärde samt i vissa fall supermiljöbilspremien. Koldioxiddifferentierad fordonsskatt är ett styrmedel som syftar till att öka energieffektiviteten och användningen av förnybara drivmedel genom hårdare beskattning för bilar som släpper ut mer koldioxid. Fordonsskatten är ursprungligen tänkt att uppväga de omkostnader staten har på grund av motortrafiken, men har sedan dess också utvecklats till ett styrmedel. Fordonsskatten utgörs av ett grundbelopp på 360 kr per år som summeras med en koldioxidkomponent. För fordon med fossila drivmedel betalas 20 kr/g koldioxid för utsläpp över 117 g per km, och för alternativa drivmedel är motsvarande siffra 10 kr/g. [Skatteverket 2014]. Bilar med låga utsläpp befrias helt från fordonsskatt under de första fem åren. Skattebefrielsen är

viktdifferentierad om bilen drivs av etanol eller annan gas än motorgas gäller än högre utsläppsgrens än för fossila tekniker [Skatteverket, 2014]. Reducerat förmånsvärde är ett styrmedel för att uppmuntra företag att välja tjänstebilar med teknik för förnybara drivmedel. Förmånsvärdet för plug-in hybrider, elbilar och fordon som använder annan gas än motorgas får reduceras upp till 40% under nivån för motsvarande fordon med fossilt drivmedel [SFS 1999].

Dessutom finns supermiljöbilspremierna för personbilar som släpper ut max 50 g koldioxid per km tilldelas en premie på upp till 40 000 kr. Den lanserades för att öka andelen personbilar med extremt låga koldioxidutsläpp i jämförelse med snittet för dagens fordonsflotta. Den stora majoriteten av premierna har hittills betalats ut till juridiska personer. [Transportstyrelsen 2014]

13.2.1 Förnybara drivmedel

Diesel och bensin är belagt med energi- och koldioxidskatt. Förnybara drivmedel (t.ex. etanol, biogas och biodiesel) har fram tills nyligen varit helt befriade från båda dessa skatter. Befrielsen från energiskatt för låginblandade drivmedel ändrades 2013 till att etanol och biodiesel ges skatteavdrag på 89% respektive 84%, och att avdraget bara gäller för en volym som utgör upp till 5% av den totala mängden fossilt drivmedel i blandningen, medan skatteavdraget kvarstår för höginblandade drivmedel [Skatteverket 2014]. Detta har varit och är ett viktigt styrmedel eftersom den totala skatten utgör en stor del av slutpriset. Skattebefrielsen har varit ett viktigt styrmedel vid introduktionen av biodiesel, bioetanol och biogas då den har kompenserat för de högre produktionskostnaderna. Men ökande volymer av förnybara drivmedel leder till ett allt större skattebortfall för staten och många länder har därför valt att gå över till ett kvotpliktssystem istället. Ett sådant system anger kvoter för hur stor del av den totala drivmedelsförsäljningen som måste utgöras av förnybara drivmedel och kvoterna ökas efter hand. Sverige kommer troligtvis också att införa ett sådant system men med undantaget att höginblandade förnybara drivmedel behåller skattebefrielsen [Näringsdepartementet 2013].

Ökande volymer av förnybara drivmedel leder dock till ett allt större skattebortfall för staten. I jakt på ett mer kostnadseffektivt styrmedel har ett kvotpliktssystem har föreslagits som ålägger drivmedelsbolag att öka inblandningen av förnybart drivmedel i bensin och diesel till definierade nivåer. Låginblandade biodrivmedel påförs i förslaget energiskatt, men är fortsatt befriade från koldioxidskatt. Höginblandade och rena biodrivmedel såsom etanol och biogas ges fortsatt befrielse från energi- och koldioxidskatt. [Näringsdepartementet 2013]

Pumplagen infördes för att öka tillgängligheten för förnybara drivmedel och den gjorde det obligatoriskt för tankställen med en drivmedelsförsäljning över en viss minimivolym att tillhandahålla ett sådant bränsle [SFS 2005]. Lagen ledde i det flesta fall till att en etanolkärl byggdes då det var det billigaste alternativet för ägaren av tankstället. Senare infördes ett bidrag för andra förnybara bränslen än etanol vilket i kombination med andra faktorer ledde till att även biogaspumpar byggdes.

13.2.2 Specifika satsningar på biogas och elbilar

Biogasen har, förutom de generella styrmedlen, stöttats via olika investeringsprogram såsom klimatinvesteringsprogrammet (KLIMP), landsbygdsprogrammet samt ett särskilt investeringsstöd för produktion, distribution och användning av biogas. Inom fem ansökningsomgångar av KLIMP mellan 2003 och 2008 har 650 miljoner kr delats ut till biogasproduktion, tankställen för biogas samt biogasfordon [Naturvårdsverket 2010].

Batterielbilar och plug-in hybrider är i en tidig introduktionsfas och i ett samarbete mellan Stockholm Stad och vattenfall pågår en gemensam upphandling av sådana fordon. Upphandlingen innefattar idag 335 organisationer. I upphandlingen ges en merkostnadsersättning på upp till 100 000 kr per fordon. [elbilsupphandling.se 2014]

13.3 Fossiloberoende fordonsflotta 2030

Sveriges regering satte 2008 upp en prioritering att 2030 uppnå en fordonsflotta som är oberoende av fossila bränslen, som ett delmål till en transportsektor (och hela övriga samhället) helt utan nettoutsläpp av klimatgaser till atmosfären år 2050 [Miljödepartementet 2009]. Målet för transportsektorn har nu definierats och analyserats i den statliga utredningen "Fossilfrihet på väg", och i den föreslås också styrmedel för att uppnå det satta målet [SOU 2013:84]. Utredningen är viktig för utvecklingen av Sveriges transportsektor och därför ges en sammanställning av föreslagna styrmedel som bedöms relevanta för vätgas och bränslecellsfordon. Hela följande underkapitel är en sammanställning av utredningen.

Definitionen av en fossiloberoende fordonsflotta är enligt utredningen ett vägtransportsystem vars fordon i huvudsak drivs med biodrivmedel eller elektricitet. Bränslecellsfordon behandlas under eldrivna vägtransporter i utredningen. Enligt scenarierna i utredningen är energieffektivisering, biodrivmedel samt utveckling av samhälle och transportsystem de viktigaste åtgärderna för att uppnå målet. 2030 utgör elektricitet, där bränslecellsfordon räknas in, endast en liten andel av energiförsörjningen i transportsektorn.

Principen för val av styrmedel i utredningen om fossiloberoende fordonsflotta är att förorenaren betalar, vilket leder till kostnadseffektiva styrmedel. Enligt regeringen bör inte åtgärder och regler skilja sig markant från grannländernas och EU, utan följa ungefär samma utvecklingstakt, trots att Sverige har satt ett ambitiösare mål till 2050 än vad EU har i dagsläget. I utredningen påpekas att det krävs kraftiga, långsiktiga och koordinerade styrmedel, och de grundläggande styrmedlen ska vara generella. De bör också implementeras på så hög nivå som möjligt, helst internationellt eller åtminstone inom EU. Det påpekas också att specifika styrmedel kan behövas för att utveckla vissa tekniker, men att de då ska vara tidsbegränsade och så snart som möjligt övergå i generella styrmedel. På grund av komplexiteten i omställningen krävs en palett av styrmedel för att uppnå önskat resultat. Utredningen berör i första hand styrmedel för omställningen av fordonsflottan och, åtminstone inte för vätgasen, inte i någon större utsträckning styrmedel för uppbyggnad av produktion och infrastruktur för att förse fordonsflottan med drivmedel.

13.3.1 Generella styrmedel

Följande justeringar av skatter föreslås i utredningen som generella styrmedel för att minska användningen av fossila drivmedel och öka användningen av förnybara drivmedel. På kort sikt bör energiskatten på diesel höjas så att skatten per liter blir motsvarande den för bensin, och på längre sikt samma skatt per energienhet. Vidare bör höginblandad och ren HVO omfattas av avdragsrätten i lagen om skatt på energi och beskattningen av DME ses över. På längre sikt bör koldioxidskatten höjas samt en kilometerskatt för både lätta och tunga fordon övervägas.

13.3.2 Energieffektivare lätta fordon

Styrmedel för energieffektiva lätta fordon föreslås med syftet att nya personbilar ska ha ett utsläpp av max 95 g CO₂/km till 2020, och att lätta bussar och lätta lastbilar ska uppnå motsvarande förbättring. Styrmedlen ska också driva på införandet av fordon för biodrivmedel, samt elbilar och laddhybrider. Enligt utredningen visar tillgänglig forskning på att direkta ekonomiska styrmedel kopplade till inköpstillfället är mer kraftfulla än utspridda besparingar t.ex. en nedsättning av den årliga fordonsskatten eller en kostnadsbesparing via minskad bränsleförbrukning. Två styrmedelspaket presenteras som bygger på denna kunskap och på bonus malus principen, vilken innebär att fordon som släpper ut mycket koldioxid får högre kostnader och fordon som släpper ut lite koldioxid får lägre kostnader. En premie betalas vid nybilsköp till bilar med låga utsläpp och den finansieras genom beskattning av bilar som har högre utsläpp. En lämplig utsläppsnivå kan väljas som brytpunkt baserat på vilka målsättningar som sätts för hur mycket de genomsnittliga utsläppen ska minskas.

Alternativ A innebär att registreringskatt och miljöpremie enligt bonus malus med eller utan viktsdifferentiering samt att förmånsskatt för nya bilar höjs, och att nuvarande supermiljöbilspremie och differentiering av fordonsskatt tas bort.

- Miljöpremien föreslås för en nollemissionsbil (elbilar och bränslecellsfordon) uppgå till 48 000 kr under introduktionsåret och successivt minska till 36 000 kr år 2020.
- tilläggspremie om 15 000 kr för bränsleflexibilitet (gas, etanol, laddhybrid och el), medan 30 000 kr ges till bilar som kan drivas med fler än två bränslen (exempelvis laddhybrid med etanol).
- Dagens nedsättning av förmånsvärdet för elbilar, laddhybrider och gasbilar förslås gälla till och med 2018

Alternativ B innebär en vidareutveckling av nuvarande koldoxiddifferentierade fordonsskatt, införande av supermiljöbilspremie enligt bonus malus samt koldoxiddifferentierat förmånsvärde.

- Koldioxidskatten är differentierad med en brytpunkt på 95 g koldioxid/km för bensin- och dieslbilar, varje gram över denna gräns beskattas med 50 kr/år. Till detta läggs grundbeloppet på 360 kr/år.
- För gas- och etanolbilar sätts brytpunkten 55g över gränsen för bensin och diesel, och varje överstigande gram beskattas med 25 kr/år, vilket läggs till grundbeloppet på 360 kr/år. Även nollemissionsfordon betalar grundbeloppet.
- Supermiljöbilspremien för elbilar sätts till 70 000 kr och för laddhybrider (högst 50g CO₂ per km) ges 50 000 kr, eller högst 25% av nypris. För juridiska personer ska premien inte överstiga 35% av prisskillnaden mellan supermiljöbilen och närmast jämförbara bil.
- Nedsättningen av förmånsvärdet för bilar som kan drivas med el ligger kvar på tidigare nivåer medan etanol och gasbilar får nya regler som ger ca 15% lägre förmånsvärde än jämförbar bil.

13.3.3 Produktion och infrastruktur

Utredningen föreslår att produktionen av biodrivmedel stimuleras med en utökad kvotplikt, som på sikt även inkluderar höginblandade biodrivmedel. Detta kombineras med en garanterad prispremie för att minska riskerna vid investeringar i produktionsanläggningar. Vätgasen räknas i utredningen till andra generationens biodrivmedel borde därför vara tänkt att inkluderas i systemet. Utredningen nämner också att vätgas skulle kunna räknas in i kvoten för drivmedel med särskilda fördelar om den produceras från en förnybar energikälla t.ex. förnybar el. På infrastrukturensida föreslås att statligt bidrag ges för byggnation av laddstationer.

13.3.4 Storstäderna

Vägtrafik orsakar många problem i storstadsområden, såsom trängsel, buller och luftföroreningar. Utredningen nämner att miljözoner för tysta och emissionsfria fordon kan vara ett alternativ för att förbättra storstäderna, men lägger inte fram något konkret förslag om det.

13.3.5 Offentlig upphandling

Utredningen påpekar att offentlig upphandling är ett viktigt verktyg vid omställningen till en fossiloberoende fordonsflotta och att åtgärder bör tas för att göra detta verktyg ännu mer verkningsfullt.

13.3.6 Ekonomiska konsekvenser för Sverige och varaktighet för styrmedlen

Lägre total bränsleförbrukning samt befrielse från koldioxidskatt för biodrivmedel väntas på sikt leda till kraftigt minskade skatteintäkter medan styrmedlen för energieffektivisering av lätta fordon enligt bonus malus systemet i genomsnitt inte innebär några kostnader för

staten. Elbilar och bränslecellsbilar bedöms bli ekonomiskt konkurrenskraftiga mot fordon som drivs av fossila drivmedel runt år 2025. Slutsatsen är att därför att teknikerna endast behöver stöd under en 10 års period och att stödet gradvis kan trappas ner under den tiden.

13.4 Exempel på styrmedel för vätgas

Här beskrivs två rapporter om styrmedel för vätgas och bränslecellsfordon. Den första rapporten beskriver styrmedel som fanns på plats 2011 medan den andra rapporten diskuterar både befintliga och möjliga styrmedel.

13.4.1 2011 Hydrogen and Fuel Cell Global Policies Update [IPHE 2011]

När denna policysammanställning gjordes 2011 var stödet till vätgas och bränsleceller i huvudsak inriktat på forskning och utveckling, men direkta styrmedel för introduktion av tekniken fanns i vissa länder. Till exempel gav följande länder stöd till nollemissionsfordon: Kina (ca 250 000 kr), Storbritannien (25% eller ca 53 000 kr) och i Tyskland (befrielse från fordonsskatt). I USA gavs stöd till byggnation av tankstation (30% eller ca 194 000 kr) och i Kalifornien gavs stöd vid köp av nollemissionsbil (ca 16 000 kr).

13.4.2 Omvärldsanalys av vätgas i transportsektorn 2011/2012 [Wiberg 2012]

Rapporten diskuterar både styrmedel som används idag och styrmedel som ännu inte har testats, men som har föreslagits för att stötta alternativa drivmedel i transportsektorn. Här presenteras utvalda styrmedel från Wibergs rapport som kan komplettera de styrmedel som finns i Sverige eller som föreslås i FFF-utredningen.

13.4.2.1 *Zero Emission Vehicle Mandate och Clean FuelOutlet*

Kalifornien har infört en lagstiftning kallad "Zero Emission Vehicle Mandate" (ZEV-Mandate). Den anger att en viss procent av alla fordon tillverkade och sålda i staten måste vara nollemissionsfordon av något slag, och procentsatsen ökar gradvis med tiden. Sedan är det upp till fordonstillverkarna att uppfylla kvoten, och de tvingas då till exempel utjämna prisskillnaderna mot konventionella fordonsteknikerna. Wiberg [Wiberg 2012] påpekar i sin analys att ett sådant system kanske inte lämpar sig för en marknad så liten som Sverige, men att det skulle kunna tillämpas på EU-nivå. ZEV-Mandate kompletteras av Clean Fuel Outlet (CFO) som ålägger oljebolagen att finansiera infrastruktur för alternativa drivmedel, inklusive infrastruktur för vätgas. Lagen gäller för de största oljebolagen och träder i kraft om ett visst antal vätgasfordon har prognosticerats i Kalifornien eller i någon av statens storstadsregioner. Wiberg [2012] påpekar att det kan vara svårt att direkt tillämpa en sådan lag i Sverige utan att utreda de svenska oljebolagens ekonomiska förutsättningar.

13.4.2.2 *Generella styrmedel baserade på koldioxidpriser*

Som ett generellt styrmedel för transportsektorn kan prissättning av koldioxid användas. Det har föreslagits att transportsektorn inkluderas i EU:s system för utsläppshandel, för att minska sektorns koldioxidutsläppen och främja nya fordonstekniker.

Risken med ett marknadspris på koldioxid är att det inte ger en tillräcklig stabilitet och säkerhet för investerarna. Därför har ett optionssystem föreslagits, som innebär att staten och investeraren tecknar ett avtal där investeraren får kompensation om det sagda koldioxidpriset sjunker på grund av förändringar i styrmedel. Det skulle kunna ge investeraren en ökad säkerhet för att våga ta långsiktiga beslut.

Wiberg [2012] menar dock att det är osäkert om handel med utsläppsrätter kan uppnå de önskade målen då det är väldigt generellt och det är svårt att säga vilka effekter det får för konkurrensen inbördes mellan förnybara drivmedel och med fossila drivmedel.

13.4.2.3 *Temporär koncessionsrätt*

Koncessionsrätt innebär, inom området för energiinfrastruktur, tillstånd att bygga och använda sådan infrastruktur, t.ex. naturgasledning eller elektriska starkströmsledningar. En liknande koncessionsrätt skulle kunna tillämpas för vätgasinфраstruktur, där den ges till en aktör eller ett konsortium av företag med intresse inom vätgas för transportsektorn. Koncessionsrätterna kan auktioneras ut till ett positivt eller negativt pris beroende på hur de ekonomiska möjligheterna ser ut lokalt.

Det skulle kunna ge större säkerhet vid investeringar i ny infrastruktur, t.ex. för vätgas i transportsektorn, och syfta till att infrastrukturen planeras på ett kostnadseffektivt sätt. Koncessionsrätten ger en möjlighet för investeraren att tjäna igen sin investering och tiden för koncessionsrätten planeras efter när det bedöms att en lönsam nyttjandegrad av tankstationerna är möjlig. Den ger också möjlighet att kunna planera spridningen av stationerna på ett bra sätt samt överföra medel mellan aktörer och tankställen, t.ex. mellan olika tankställen med olika lönsamhetsgrad. Koncessionsrätten skulle ge utrymme för aktörer att samlas och våga göra gemensamma investeringar med möjlighet att under en period tjäna igen investeringarna utan konkurrens från andra. Men det bygger också på att det finns tillräckligt många intressenter i aktörskedjan som har vilja och möjlighet att investera.

13.5 Tillämpning av styrmedel och incitament

En introduktion av vätgas i transportsektorn utgör troligen en större utmaning än introduktionen av biodrivmedel eftersom vätgasen skiljer sig mer från den nuvarande transportregimen än vad första generationens biodrivmedel gör. Det finns vissa likheter med introduktionen av biogas, men även i den jämförelsen skiljer sig vätgas mer från nuvarande regim än biogasen och de tekniska lösningarna är också dyrare för vätgasen. Enligt McDowall och Eames [McDowall and Eames 2006] är de vanligast citerade barriärerna för vätgas i transportsektorn de tre följande: hönan eller ägget problemet för infrastrukturen; höga kostnader för fordon och vätgasproduktion från förnybara energikällor; samt teknikmognad som t.ex. lagring ombord och räckvidd.

Teknikmognaden på fordonssidan har ökat snabbt under den senaste tiden och kommersiell teknik finns även på infrastruktursidan, även om ytterligare teknikutveckling fortfarande behövs. Då kvarstår de två förstnämnda barriärerna och det är främst de som föreslagna styrmedel kan hjälpa till att överbrygga.

En genomtänkt och koordinerad kombination av styrmedel är nödvändig för att åstadkomma simultan utbyggnad av infrastruktur för vätgas och introduktion av bränslecellsfordon. Erfarenheter från introduktionen av biodrivmedel visar att för att uppnå en förändring krävs en långsiktig och systematisk strategi som innehåller flera olika typer av styrmedel. Om endast generella så kallade teknikneutrala styrmedel används i transportsektorn kommer troligtvis billigare lösningar som biodrivmedel gynnas framför tekniker som har högre barriärer med avseende på t.ex. ekonomi, infrastruktur eller användande. I Tabell 12 ges ett förslag på hur en styrmedelsstrategi skulle kunna se ut och valet av styrmedel diskuteras i fortsättningen av kapitlet. Strategin måste utvärderas vidare innan implementation men förslaget syftar till att peka på vilka styrmedel som kan användas och att det krävs både specifika och generella styrmedel för att introducera vätgas i transportsektorn. Det är också viktigt att styrmedelspaketet grundar sig på långsiktiga målsättningar med förutsägbara spelregler men ändå ger ett visst utrymme för justeringar.

Tabell 12 Föreslagna styrmedelsstrategi för att introducera vätgas i transportsektorn

	Introduktion 2015-2020	Tidig marknad 2020- 2025	2025-	
Fordon	Offentlig upphandling	X	X	X
	Gemensam upphandling som elbilsupphandlingen	X		
	Utökning av miljözoner i storstäder	X	X	X
	Miljöbilspremie (70 000 kr) som gradvis trappas ner	X	X	
	Koldioxidifferentierad fordonsskatt	X	X	X
	Koldioxidifferentierat förmånsvärde	X	X	X
Infrastruktur	Bidrag eller lånegaranti till infrastruktur/tankstationer	X	X	
	Private Public Partnership	X	X	
	Skattebefrielse för vätgas i transportsektorn	X	X	
	Skattebefrielse för råvaror till vätgasproduktion	X	X	
	Inräkning i systemet för kvotplikt			X
	Höjningar av koldioxidskatt	X	X	X

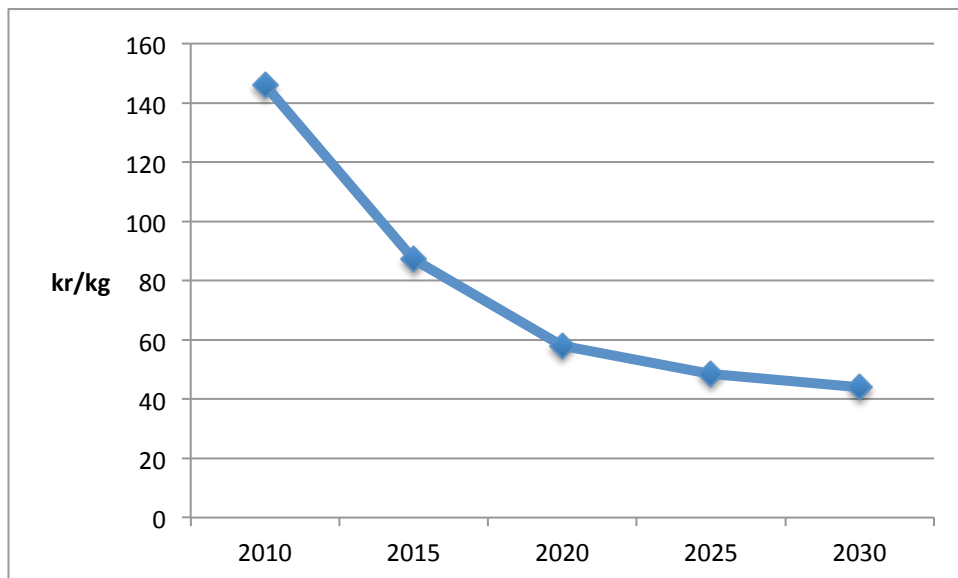
Styrmedel som föreslås i utredningen Fossilfrihet på väg [SOU 2013:84] används som utgångspunkt i styrmedelsstrategin. I utredningen ges ingen helhetsbild för hur vätgas kan introduceras i transportsektorn. Det saknas en rimlig plan för stöd till infrastruktur, även om det nämns att vätgas från biomassa och förnybar el kan räknas in i

kvotpliktssystemet. Utredningens föreslagna styrmedel kompletteras därför med utvalda styrmedel för vätgasinfrastuktur.

13.5.1 Infrastrukturen

En basal infrastruktur för vätgas är nödvändig för att bränslecellsfordon ska kunna användas och bilköpare förväntar sig ofta en god tillgång på tankstationer både lokalt och nationellt. Nödvändigheten av tillgänglig infrastruktur för alternativa drivmedel understryks i direktivet om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen (2014/94/EU), [EU 2014], även om infrastruktur för vätgas där anges som ett valbart alternativ. Flera studier pekar också på att en tillräcklig infrastruktur måste byggas innan bränslecellsfordon kan nå massmarknader, och enligt en sammanställning av Agnolucci [Agnolucci 2007] behövs ett antal tankstationer motsvarande ca 10-15% av det antal konventionella tankstationer som finns idag. En sådan infrastruktur skulle kunna byggas upp gradvis efter marknadsekonomins spelregler där antalet fordon och tankningskapaciteten ökar i ungefär samma takt. Men det innebär en risk att fastna i hönan eller ägget problematiken där bränsledistributörerna väntar på fler fordon och fordonsköparna väntar på bättre infrastrukturentäckning. För att komma runt den problematiken behöver troligtvis infrastrukturen byggas ut relativt snabbt, vilket innebär att investeringar med relativt lång återbetalningstid och hög risk måste göras.

Tankstationer för vätgas är betydligt dyrare än tankstationer för flytande drivmedel och tankstationer för metan. Enligt kapitel 5.2 kan dock stora vätgastankstationer med god täckningsgrad av tankande fordon bli ekonomiskt lönsamma. Men i introduktionsfasen kommer stationerna vara små och täckningsgraden låg. Kostnaden för tankstationerna utgör därför initialt en stor andel av den specifika kostnaden för vätgasen vid tankstället (per kg vätgas), upp till 75% av totala vätgaskostnaden [McKinsey 2010]. Den specifika kostnaden för tankstationer sjunker snabbt med större stationer och ökande nyttjandegrad enligt Figur 26. I diagrammet beror minskningen av vätgaskostnaden vid pump i stort sett enbart på att de specifika kostnaderna (kr/kg tankad vätgas) för tankstationen minskar.



Figur 26 Genomsnittliga totala kostnaden för vätgas vid pump (kr/kg). Utan skatt och styrmedel. [McKinsey, 2010]

Enligt Hughes och Agnolucci kan uppskattade produktionskostnader för vätgas från olika energikällor vara konkurrenskraftiga med dagens fossilbränslepriser (inklusive skatt), men de påpekar också designen av infrastruktursystemet avgör slutkostnaden till kund och att kostnaden kan öka avsevärt när distribution och tankställe inkluderas. Kostnaden för vätgas från förnybara energikällor är också högre än från fossila energikällor och kommer troligtvis att vara det framöver också, även om förgasning av biomassa kan bli en relativt billig produktionsväg [Hughes och Agnolucci, 2012].

På samma sätt som för tankstationerna är produktionskostnaderna beroende av skalfördelar och god täckningsgrad, vilket inte kommer finnas i början.

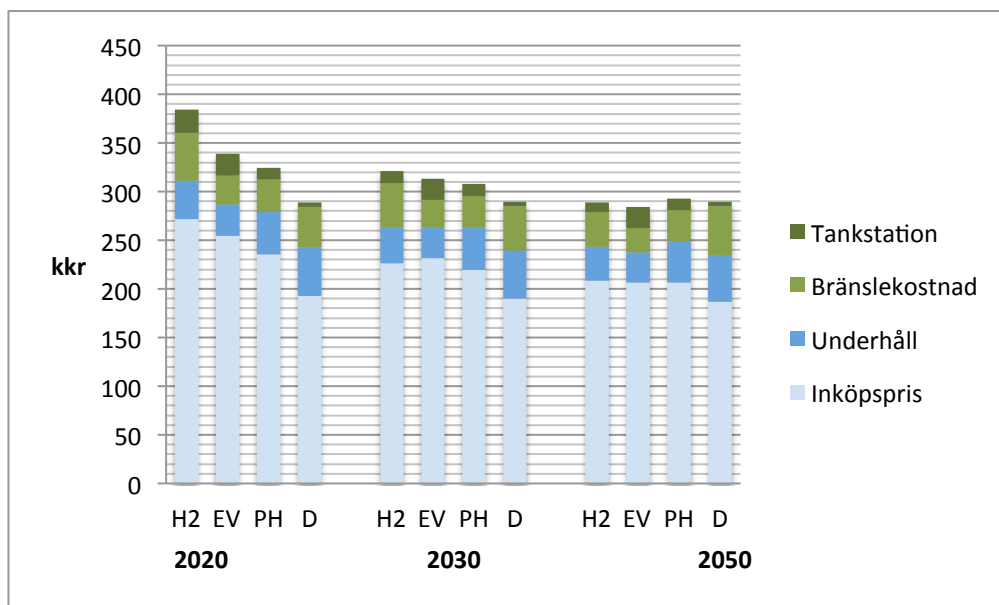
På sikt kan alltså potentiellt vätgas från förnybara energikällor erbjudas till en rimlig kostnad jämfört med dagens fossila drivmedel, men under introduktionsfasen blir det svårt att få lönsamhet i verksamheten. Därför behövs en tydlig långsiktig strategi för omställningen av transportsektorn och för utbyggnaden av infrastruktur för alternativa bränslen. Strategin måste även innefatta tydliga styrmedel och spelregler för att uppnå målen som finns i transportsektorn. Det är troligtvis inte politiskt försvarbart att endast använda direkta ekonomiska styrmedel men eventuellt en kombination av regleringar, generella styrmedel och specifika styrmedel. Det används i Kalifornien som har infört regleringar för att driva på införandet av nollemissionsfordon och infrastruktur kopplade till dem i kombination med ekonomiska styrmedel. Fördelen med en sådan strategi är att det signalerar till näringsliv och allmänhet att tekniken kommer att introduceras. Dessutom innebär regleringen att näringslivet får använda intäkter från sin verksamhet kopplade till fossila drivmedel för att finansiera introduktionen av alternativa tekniker. Modellen kanske inte direkt kan tillämpas på Sverige som är en mycket mindre ekonomi och marknad, men

eventuellt en liknande modell med avseende kombinationen statliga initiativ och ekonomiska styrmedel. Som alternativ till regleringar kan finansieringsformen Private Public Partnership användas, där staten tar initiativ och upphandlar tjänsten att tillhandahålla infrastruktur för vätgas samt finansieringen av denna. För ge de privata aktörerna möjlighet att få tillbaka sin investering kan en tidsbegränsad koncessionerätt ges och staten kan även på om nödvändigt bidra med en del av finansieringen och riskdelning. Utdelningen av koncessionsrätt i lönsamma regioner kan också medföra en skyldighet att finansiera infrastruktur i mindre lönsamma regioner, vilket möjliggör för en mer omfattande infrastruktur.

Det har det visat sig att en kombination av styrmedel som skattebefrielse av ett drivmedel och finansieringsstöd till produktionsanläggningen kan minska den upplevda risken för investerare i större utsträckning än om endast ett av dessa styrmedel tillämpas. Med eller utan en reglering att införa infrastruktur eller Private Public Partnership, behöver troligtvis infrastrukturen ekonomiskt stöd från staten eller EU (t.ex inom infrastruktursatsningen TEN-T) i form av bidrag eller lånegaranti. Fördelningen av det ekonomiska stödet ger också en möjlighet att styra utformningen av vätgassystemet genom att t.ex. premiera användning av överskottsvätgas från industrin. Skattebefrielse för vätgas behövs troligtvis också samt eventuellt ändrade skatteregler för de råvaror som används för att producera vätgas, t.ex. elektricitet. Det utgör ett viktigt incitament för producenter och distributörer av vätgas, särskilt i kombination med höjd energiskatt för diesel och höjd koldioxidskatt som föreslås i utredningen Fossilfrihet på väg [SOU 2013:84]. Skattebefrielse har tidigare visat sig vara ett viktigt styrmedel för t.ex. biodrivmedelsbranschen. Befrielsen från energiskatt för vätgas kan behövas fram till 2025. På längre sikt kan skattebefrielsen ersättas med en inkludering i kvotpliktssystemet i kombination med en prispreniummodell, styrmedel som också föreslås i utredningen Fossilfrihet på väg [SOU 2013:84]. Regler och möjligheter för ett sådant system måste dock utredas närmare utifrån de råvaror och metoder som är möjliga i vätgasproduktion.

13.5.2 Totalkostnad för fordonsägaren

Den totala kostnaden för användaren innefattar inköpskostnad för bilen, underhållskostnader, kostnader för produktion och distribution av drivmedel samt kostnad för tankstation. De två sistnämnda kostnaderna kan ses som det totala drivmedelspriset. Uppskattad användarkostnad för olika fordonstekniker exklusive skatter och styrmedel ges i Figur 27. Enligt dessa beräkningar har bränslecellsbilen fortfarande högre total användarkostnad än bilar med förbränningsmotor år 2020 och 2030, även om skillnaderna minskar. Den största kostnadsskillnaden är inköpspriset för bilen, medan bränslekostnader och infrastrukturkostnaderna endast är något högre än de för fossila drivmedel. Underhållskostnaderna beräknas bli lägre för bränslecellsbilen än för fordon med fossila drivmedel då motorerna innehåller färre rörliga komponenter [McKinsey 2010]. Totalkostnaden för fordonsägaren väntas konvergera för bränslecellsbilar, elbilar, plug-in hybrider samt bilar med fossila drivmedel när tillräckligt höga produktionsvolymerna uppnås för de nya teknikerna, runt 2025 enligt McKinsey [McKinsey 2010].



Figur 27 Totala användarkostnader över 15 år med 1200 mil årlig körsträcka för en bil i mellanklassesegmentet utrustad med olika tekniker för framdrivning [McKinsey 2010]. Bränslekostnaden är ett medelvärde för en mix av förnybara (el) och fossila energikällor (naturgas och kol), varifrån koldioxid avskiljs och lagras. Kostnaderna är givna utan skatter och styrmedel. H2=bränslecellsbil, EV=elbil med batteri, PH=plug-in hybrid (el och diesel) och D=Dieselbil.

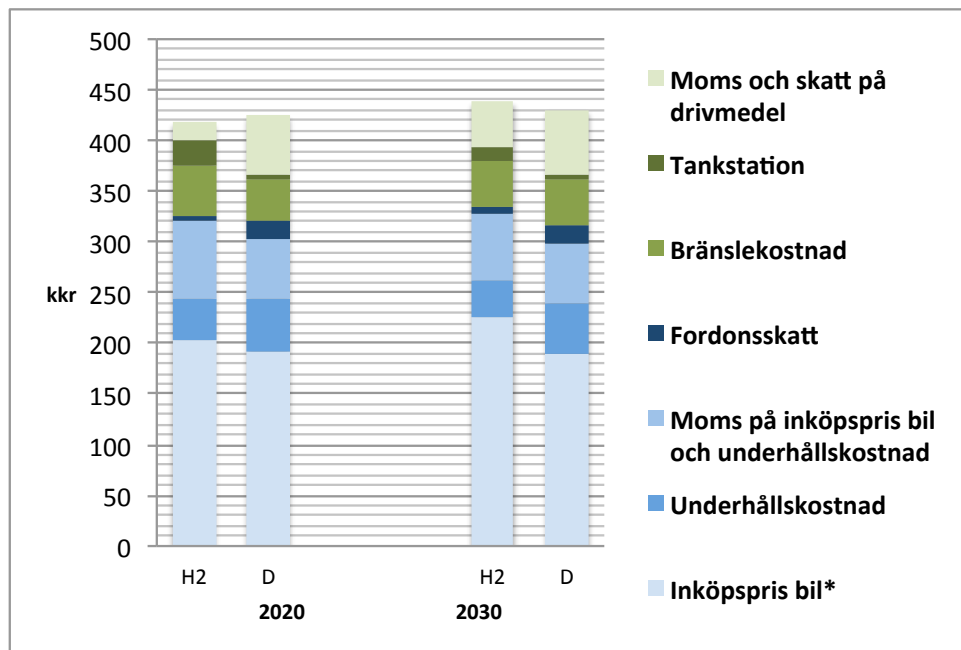
Enligt de senaste uppskattningarna från Toyota väntas priset för deras bränslecellsbil landa mellan \$50 000 och \$100 000 (ca 330 000-660 000 kr) år 2015, och förmodligen närmare den undre gränsen [Toyota 2013a]. Detta ger en viss trovärdighet till uppskattningen i Figur 27 på ett inköpspris strax under 300 000 kr år 2020. [Toyota 2013b] har tidigare uttalat en uppskattning att bränslecellsbil kommer kosta ungefär lika mycket som en plug-in dieselhybrid, bland annat för att fordonen har många gemensamma komponenter. Därför kan eventuellt inköpspriset för bränslecellsbil i Figur 27 justeras ner till samma nivå som den för plug-in hybrid.

Det till en början höga inköpspriset för bränslecells-bilar kräver regleringar eller subventioner för att tekniken ska introduceras. Regler för offentlig upphandling kan användas för att demonstrera fordonen och skapa en tidig marknad. Det kan också ske genom en gemensam upphandling liknande den pågående elbilsupphandlingen som leds av Stockholm stad och Vattenfall, eller inkludering i nämnda elbilsupphandling. Elbilsupphandlingen kan idag ge upp till 100 000 kr i stöd och något liknande för bränslecells-bilar skulle definitivt stimulera introduktionen. Sådana åtgärder kommer inte att ge några större volymer bränslecellsfordon, men utgör en viktig start på en tidig marknad och ett underlag för vätgastankstationer. Dessutom skapas kunskap och medvetenhet om tekniken som är viktig för en fortsatt introduktion. Miljözoner i storstäder är ytterligare ett sätt att stimulera ökningen av fordon som med lokala nollutsläpp och lägre bullernivåer bidrar till en bättre stadsmiljö.

Med tanke på hur stor andel av den totala kostnaden för fordonsägaren som utgörs av inköpspriset är det viktigt med direkt ekonomiskt stöd till inköp av fordon. Det kan sedan trappas av efterhand som kostnaderna sjunker med ökande produktionsvolymerna och utveckling av tekniken. Bonus malus systemet med supermiljöbilspremie och koldioxidifferentierad fordonsskatt och förmånsbeskattning enligt utredningen Fossilfrihet på väg [SOU 2013:84], eller någon variant av det föreslås för att stötta bränslecellsfordon ekonomiskt. Då blir det uppenbart för köparen att den högre inköpskostnaden omedelbart minskas till samma nivå som för motsvarande fordon med fossilt drivmedel, istället för om subventionerna ges över längre tid i form av t.ex. minskningar i fordonsskatten. Styrmedel på infrastruktursidan är givetvis också avgörande för användaren då de ska möjliggöra ett rimligt pris på drivmedlet. Enligt McKinsey blir bränslecellsfordon konkurrenskraftiga i jämförelse med bilar med fossila drivmedel redan 2020 om de subventioneras med 54 000 kr och vätgas skattebefrias vid användning i transportsektorn [McKinsey 2010]. De högsta premienivåerna i de två styrmedelsförslagen för lätta fordon i utredningen Fossilfrihet på väg [SOU 2013:84] uppgår till 70 000 kr respektive 48 000 kr för nollemissionsfordon. Över en 15 års period uppgår skillnaden i fordonsskatt mellan en bränslecellsbil och en bil med fossilt drivmedel som släpper ut 110g /km till totalt ca 30 000 kr. I kombination med supermiljöbilspremien på 70 000 kr, blir den totala skillnaden ca 100 000 kr.

13.5.3 Effekter av skatter och styrmedel

Totala användarkostnader inklusive skatter och vissa av de föreslagna styrmedlen visas i Figur 29. Jämförelsen visar att med supermiljöbilspremien, koldioxidifferentierad fordonsskatt samt befrielse från energi- och koldioxidskatt, blir den totala användarkostnaden lägre för bränslecells bilen än för dieselbilen år 2020. Och eventuellt ännu tidigare om kostnadsuppskattningarna stämmer. År 2030 är de enda inräknade styrmedlen befrielse för koldioxidskatt för vätgasen samt koldioxidifferentierad fordonsskatt. Då blir de totala användarkostnaderna något lägre för bränslecells bilen än för dieselbilen.



Figur 28 Jämförelse av totala användarkostnader för bränslecellsbil och dieselbil, med vissa föreslagna styrmedel inkluderade. Baserat från kostnader i McKinsey [2010]. H2=bränslecellsbil och D=Dieselbil. * supermiljöbilspremien är avdragen år 2020.

Följande styrmedel och antaganden har applicerats på de grundläggande kostnaderna:

- Supermiljöbilspremie på 70 000 kr för bränslecells bilen 2020, men inte 2030.
- Fordonsskatt är inräknat för 2020 och 2030, där bränslecells bilen beskattas med 360 kr/år och dieselbilen antas släppa ut 110 g koldioxid per km som beskattas med 360 kr/år plus 50 kr/g och år för koldioxidutsläpp över 95 g/km. År 2030 antas lägre utsläpp men högre skatter ge ungefär samma totala fordonsskatt.
- 25 % moms har adderats på inköpspris samt underhållskostnader för båda årtalen.
- Vätgasen antas vara skattebefriad år 2020 och endast moms läggs till kundens drivmedelspris som inkluderar både tankstation och bränslekostnad. Det antas här att all vätgas är befriad från skatt trots att produktionsmixen i scenariet innehåller både förnybara energikällor och fossila energikällor (inklusive kostnad för koldioxidavskiljning och lagring). Bränslekostnaden i ett system med bara förnybara energikällor skulle vara något högre. För år 2030 antas att vätgasen beläggs med energiskatt men inte med koldioxidskatt. Vätgasen antas då ha hälften så hög total skatt som diesel, dvs att energi- och koldioxidskatt är lika stora.

- För diesel har andelen skatt och moms år 2020 och 2030 antagits motsvara den genomsnittliga andelen moms och skatt i drivmedelspriset under de senaste 10 åren. Med en ökande dieselskatt och ökande dieselpriis antas detta förhållande kunna användas för en sådan framtida uppskattning.

13.6 Diskussion

Uppskattningarna av totala användarkostnaden ska ses som indikativa, särskilt kostnaderna för drivmedel och tankstation. De låga kostnaderna för tankstation för vätgasen i figur 2 och 3 kan vara rimliga om föreslagna styrmedel för infrastruktur har implementerats. Kostnadsjämförelsen bygger även på en rad andra antaganden som inverkar på utfallet. Med en längre årlig körsträcka skulle eventuellt jämförelsen i figur 3 bli mer fördelaktig för bränslecells bilen eftersom koldioxidskatten och energiskatten på fossila drivmedel förmodligen kommer att höjas. Det framtida priset på vätgas och fossila drivmedel är dock svårt att uppskatta, och det är inte självklart vilket utfall en längre årlig körsträcka skulle ge. Priset på vätgas på den inledande marknaden beror mycket på vilka subventioner som ges till produktion och infrastruktur, men den måste förmodligen prissättas så att drivmedelskostnaderna per körd sträcka för bilägaren blir jämförbara med kostnaderna för fossila alternativ. Drivmedelspriserna kan också påverkas av andra regleringar och styrmedel, t.ex. kan dieselpriiset öka med upp till 80 öre när svaveldirektivet träder i kraft [Sweco 2012]. En rad andra faktorer påverkar också prissättningen på fossila drivmedel och i en konkurrenssituation med nya drivmedel kan eventuellt priset på fossila drivmedel pressas ner. Utvecklingen för skiffergas kan påverka priserna och användningsområdena för fossila drivmedel. Förändrade naturgaspriser kan också påverka priserna på vätgas eftersom mycket av vätgasen idag produceras från naturgas.

Drivmedelskostnaderna är dock relativt små i jämförelse med inköpskostnaden för fordonet och dessutom utspridda under längre tid, vilket gör dem mindre påtagliga för kunden. Framtida inköpspriser för bränslecellsbilar är osäkra men baserat kostnadsuppskattningen från McKinsey 2010 skulle föreslagna styrmedel och svensk beskattning utjämna kostnadsskillnaden mot fossila alternativ redan 2020. Om Toyotas uppskattning stämmer och inköpspriset för bränslecellsbilen år 2020 ligger nära det för en plug-in dieselhybrid kan ännu lägre subventioner utjämna kostnadsskillnaden mot konventionell teknik [Toyota 2013b].

I bilägarens perspektiv borde alltså föreslagna styrmedel utgöra tillräckliga ekonomiska incitament, men det bygger också på att infrastrukturen är tillgänglig. Begränsad utbyggnad av infrastruktur är alltid en barriär när bilköparen ska välja en bil med ett alternativt bränsle. De föreslagna styrmedlen för infrastrukturen borde ge goda incitament för att bygga ut infrastrukturen, men de måste också kombineras med en växande kundbas som är det viktigaste incitamentet för producenter och distributörer.

Tidsplanen för införandet av styrmedel är avgörande för hur mycket olika tekniker stöts, då de befinner sig i olika utvecklingsstadium. Ersättningsnivåerna i bonus malus enligt

utredningen Fossilfrihet på väg [SOU 2013:84] kommer vara högst i början och sedan sjunka efterhand som skatteunderlaget sjunker. Ersättningsnivåerna föreslås också att utvärderas vid vissa årtal och det är oklart hur länge de blir kvar. Risken är att ersättningsnivåerna har minskat när bränslecells bilen har sjunkit så lågt i pris att supermiljöbilspremie skulle göra verklig nytta. Nyttan av ett bonus malus system för introduktionen av bränslecells bilar är alltså beroende av vilka ersättningsnivåer och tidshorisonter som blir aktuella. Det är därför viktigt att utvärdera hur tidsplanen kommer att påverka olika tekniker och om det är rimligt att förlänga styrmedlen specifikt för vissa tekniker för att också ge dem en chans. Det är idag oklart när föreslagna styrmedel som bonus malus kan införas, eftersom nya utredningar väntar för de dessa styrmedel.

Bonus malus systemet är designat för att undvika kostnader för staten, men det kan bli svårt att designa ett helt kostnadsneutralt system av styrmedel för en ny teknik som bränslecellsfordon och vätgas. Dessutom bör klimat- och miljövärdet av investeringar vägas in när man bedömer kostnaderna för styrmedel. Miljözoner i storstäder blir ett kostnadsneutralt styrmedel, medan gemensam upphandling innefattar statliga bidrag för att sänka kostnaderna för deltagarna. Åtminstone om upphandlingen ska utformas som elbilsupphandlingen som pågår just nu. Bidrag till tankstationer kan komma att utgöra en ofinansierad kostnad för staten och EU. Private Public Partnership eller regleringar för bränsledistributörer att bygga vätgasinfrastruktur kan dock utgöra kostnadsneutrala styrmedel. Bortfallet av skatteintäkter är till en början lågt om vätgas och råvaror till vätgasproduktion skattebefrias och kan finansieras via höjd dieselskatt och koldioxidskatt. I ett senare skede kan vätgasen inkluderas i det föreslagna systemet med kvotplikten och prispremie, och beläggas med energiskatt. Det skulle innebära att bortfallet av skatteintäkter begränsades.

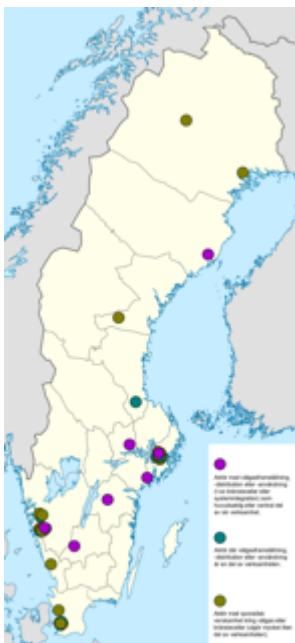
13.7 Slutsatser

Det föreslagna styrmedelspaketet kan göra det möjligt att introducera vätgas i transportsektorn och uppnå en rimlig användarkostnad för bränslecellsfordon runt 2020. Förutsättningarna är en simultan introduktion i flera regioner i världen och att det introduceras tillräckligt många fordon i Sverige som kostnaderna för infrastruktur kan fördelas på. En framgångsrik introduktion kräver också att alla delar av systemet från drivmedelsproduktion till fordon stöttas i en väl koordinerad strategi. Flera av de föreslagna styrmedlen är finansierade eller kostnadsneutrala och kan trappas ned efter 2025. Flera av dem är också generella så till vida att de också berör andra tekniker för förnybara drivmedel i transportsektorn.

14 Aktörer

14.1 Aktörer som är aktiva idag

Det finns ett begränsat antal aktörer som arbetar för en utbyggd vätgasinfrastruktur i Sverige idag. Till dessa hör flertalet föreningen Vätgas Sveriges 40-tal medlemmar. Det är aktörer spridda över landet (Figur 29) inom bla industri, tjänsteföretag, energibolag, fordonstillverkare, regioner, forskning, institut och organisationer [vatgas.se].



Figur 29 Geografisk spridning av Vätgas Sveriges drygt 40 medlemmar [A. Nikoleris, LTH till HIT workshop 3]

Västra Götalandsregionen och Region Skåne har varit med i Vätgas Sverige sedan föreningen startades för snart 10 år sedan. Region Skåne har köpt de två första bränslecellsbilarna till Sverige och står bakom beställningen av en tankstation till Malmö (inom EU-projektet Next Move, 2013).

Av de företag i Sverige som har vätgasframställning eller bränsleceller som huvudsaklig verksamhet kan PowerCell (bränsleceller och APU¹-system), Cellkraft (små stationära backup-system), Metacon (småskalig metanreforming), Plagazi (vätgasframställning från avfall), MyFC (bärbara laddenheter), och Aquagas (komponenter till vätgastankstationer) nämnas.

Andra aktiva industriföretag - för vilka vätgas och bränsleceller är en mindre del av produkt- eller tjänstebudet - är AGA/Linde (gasleverantör), Air Liquide (gasleverantör) Permascand (tillverkning av plattor till elektrolysörer), Månbas Alpha (vätgaslagring), ABB (styrsystem mm), Catator (reformeringsystem), Hulteberg Hydrogen Solutions (fuel

¹ APU = hjälpkraftsystem i tex en lastbil eller båt för elproduktion under stillastående.

production process), Höganäs (pulvermetaller), GetFuelCell (SOFC), HP Etch (fotostansning), Impact coatings (ytbehandlingar), Micromy (ytbehandlingar), Nolato plastteknik (termoplast), Svenska Tanso (grafit och kompositer), Woxna Graphite (grafitutvinning), Sandvik (bipolära plattor) och Volvo AB (lastbilar).

Inom tjänstesektorn är bland annat SP, Sweco, Grontmij, ÅF, Consat, SPGA, IVF Swerea, Comsol, Gröna Bilister, EnergiGas Sverige, SGC och Innovatum aktiva. Biltillverkare såsom Hyundai, Toyota och Honda är engagerade i att skapa en introduktionsmarknad för bränslecellsbilar i Sverige.

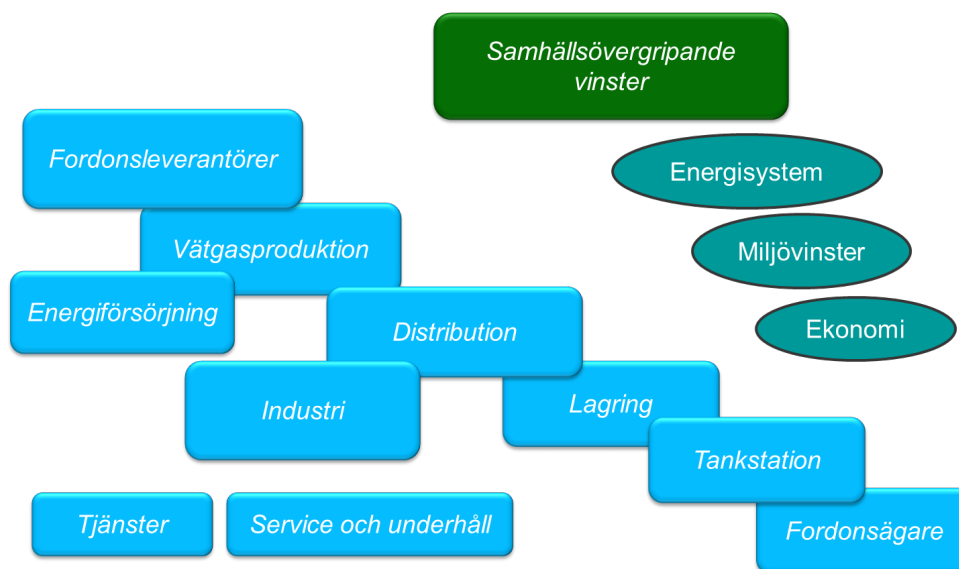
Inom akademien har vätgas och bränsleceller starkast förankring på KTH och Chalmers (bränslecellens komponenter, vätgasframställning och systemintegration), de enda universitet som erbjuder kurser på masternivå om bränsleceller eller vätgassystem. Forskningsmässigt är Sverige också starka på vätgasframställning genom artificiell fotosyntes (KTH) och fotokatalytisk framställning samt via cyanobakterier (Uppsala Universitet). Även forskning på vätgasframställning från biomassa och avfall (inklusive aska) förekommer (Lunds Universitet). På Stockholms Universitet finns forskning för att tillverka lågtemperatur-bränsleceller som inte är beroende av platina och metallhydridlagring.

Aktörer inom myndigheter och politik är inte nämnvärt aktiva i Sverige idag och detta diskuteras i kapitel 18.4 och 18.5 nedan.

För skapandet av denna rapport har de aktörer som presenteras i avsnitt 22.4 varit delaktiga. Notera att det även i den listan finns ytterligare aktörer förutom de här namngivna.

14.2 Affärsvärdekedja vid vätgasdrift för transporter

Affärsvärdekedjan kan göras lång för vätgas som drivmedel. Gemensamt för alla nya områden är att det tar tid att etablera en värdekedja, d.v.s för de olika aktörerna att finna sin plats i värdekedjan. Samarbeten, allianser, utvecklandet av kund- och leverantörsförhållande, utveckling av affärsmodeller m.m. är processer som måste genomföras för att en bransch ska uppstå. När det som i detta fall också handlar om att olika redan etablerade branscher (energisektorn, fordonsbranschen och infrastruktursektorn) möts, krävs några år av samarbeten för att klara ut gränssnitten och förädla affärsmodellerna. Se Figur 30 nedan för fler exempel på nödvändiga affärsidkare kring en vätgastankstation.



2

Figur 30 Nödvändig affärsvärdekedja (i de ljusblå blocken) kring en vätgastankstation.

Bilden ovan kan exemplifieras med (jämför fg kapitel och kapitlet 17 för behov av aktivitetet nedan);

- Fordonstillverkare och underleverantörer till fordon, inhemsk produktion och försäljning av importerade.
- Energiförsörjning: energibolag, elbolag
- Service och underhåll: Verkstäder mfl
- Produktion, distribution och lagring samt tankstation: dagens bensinstationsägare eller gasdistributörer
- Fordonsägare: privat, företag och offentlig sektor.
- Samhällsövergripande: Stat, region

Part III: Koncept för implementering

15 Målbilder

15.1 Regionala case

Inom projektet HIT vari denna rapport tas fram har de svenska projektaktörerna samlats under vinterhalvåret 2013-2014 och gruppvis utvecklat fem olika regionala introduktionsplaner eller affärskedjor. Dessa återfinns i Bilaga 2-6. Casen benämns Vätgas Norr med vintertestområdet, Green Highway (Sundsvall-Östersund-Trondheim), Stockholm samt Västkustvägen med detaljer kring Falkenberg respektive Malmö.

Arbetet med de regionala casen har varit mycket givande. Arbetet har karaktäriserats av ett starkt engagemang från de inblandade. Regionala workshops har hållits i de flesta fall där ett större antal lokala aktörer kunnat identifierats och preliminära planer i närtid behandlats, läs vidare i de lättillgängliga case-beskrivningarna i Bilaga 2-6.



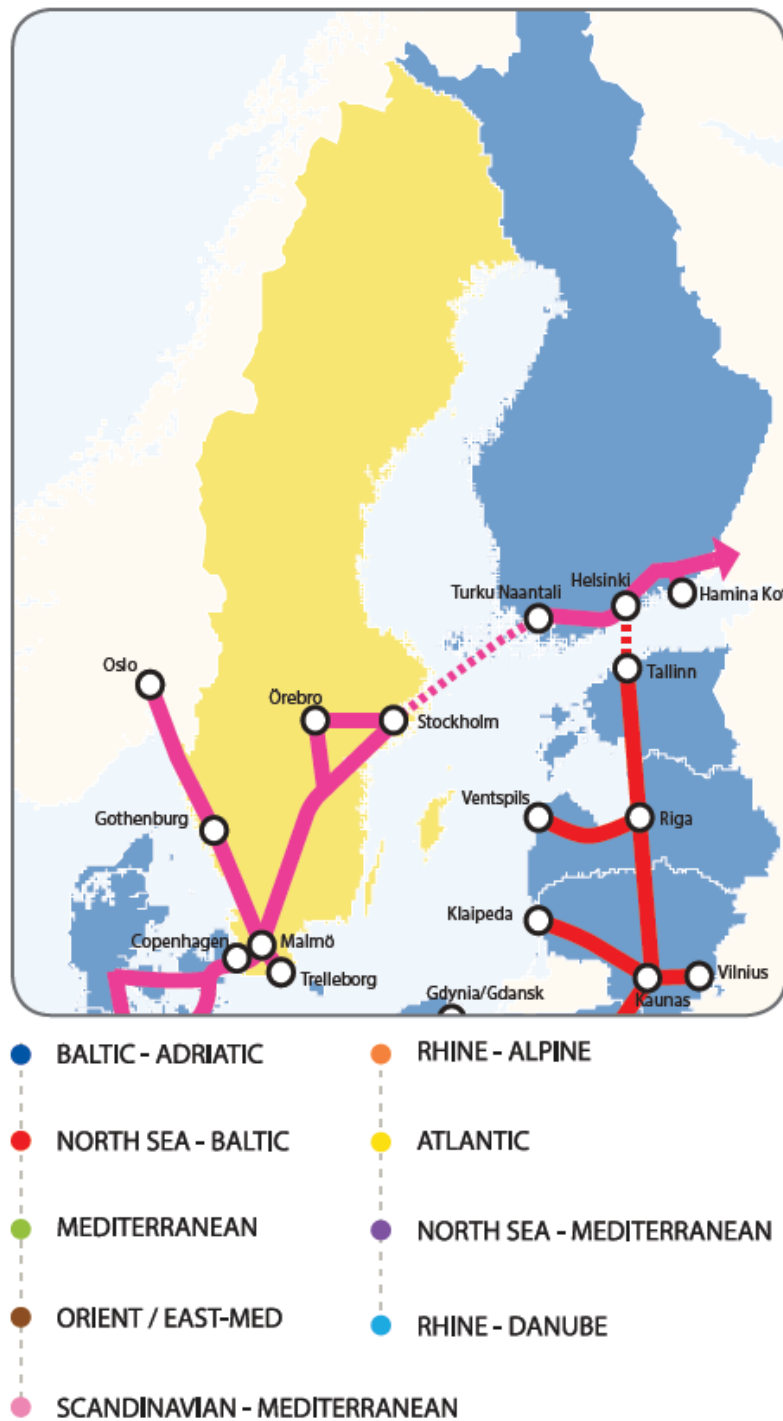
Figur 31 De fem regionala case som har utvecklats inom HIT-projektet under vintern 2013/2014. Casen benämns Vätgas Norr med vintertestområdet, Green Highway (Sundsvall-Östersund-Trondheim), Stockholm samt Västkustvägen med detaljer kring Falkenberg respektive Malmö.

15.2 Scenarier för utbyggnad av vätgastankstationer

Förenklat har tre initiala *strategier* för startskedet av att bygga ut ett vätgasinfrakstrukturnätverk diskuterats;

- Snabb nationell täckning: Detta har som främsta mål att så fort som möjligt kunna färdas genom hela Sverige med en bränslecellsbil. Denna strategi ingår i scenariot "Direktivet 2013" nedan.
- Hotspots: Denna strategi är intressant baserat på prognosen att det blir tillgången på vätgasfordon i världen som blir den begränsade faktorn under introduktionsfasen och att det därför kan vara en strategi att fokusera de tillgängliga bilarna till ett färre antal städer där det istället byggs fler stationer som fordonen kan cirkulera kring. Utvalda städer kan vara Stockholm, Malmö och Göteborg. Denna strategi kan väljas för valfritt scenario, förutom för Regional som inte gör skillnad på var i landet respektive station planeras.
- TEN-T-korridorer: Denna strategi fokuserar på att det tidigt ska gå att tanka bränslecellsfordon med jämna mellanrum utefter de sk TEN-T-korridorerna (Figur 32), dvs från Malmö norrut längs västkusten och från Malmö till Stockholm och Örebro. Denna strategi kan väljas för valfritt scenario, förutom för Regional som inte gör skillnad på var i landet respektive station planeras.

Dessa tre strategier ingår på olika sätt i *scenarierna* nedan. Nedan ges nämligen några enkla scenarier för utbyggnaden av vätgastankstationer som grund för fortsatt analys.



























▪ **Figur 32 De huvudsakliga TEN-T-korridorerna som passerar Sverige**

De fyra scenarierna som också illustreras i Tabell 13 och beskrivs närmare i respektive kapitel nedan är;

- Regional: det scenario som utgår från det vi idag ser framför oss utifrån regionala aktiviteter utan nationell samordning.
- FFF: möjlig introduktion av vätgastankstationer utifrån utredningen "Fossilfrihet på väg" som utgår från målet fossiloberoende fordonsflotta 2030 [16 dec 2013], (Fossilfri fordonsflotta)
- Direktivförslaget 2013: Det förslag på EU-direktiv [EC 2013] från januari 2013 som skulle kräva utbyggt ett nät av vätgastankstationer till 2020 med max 30 mil mellan stationerna och minst 1 HRS per 250 000 invånare i en stad. Kravet finns inte med i det slutgiltiga direktivet [EU 2014], men scenariot anses ändå som en relevant illustration av introduktionen av en basal infrastruktur.
- 33%: Ett nationellt scenario som utgår från att alla de fordon som beräknas vara vätgasdrivna 2050 i vår eget scenario från kapitel 11.3 ovan mängdmässigt ska ha tillgång till vätgas.

Tabell 13 Fyra scenarier för implementeringstakt för vätgastankstationer i Sverige. Pilarna indikerar från vilket år respektive scenario har sin utgångspunkt.

År	Regional	FFF	Direktivförslaget 2013	33 %
2015				
2016				
2018				
2020				
2030				
2050				

15.2.1 Scenario Regional Utveckling

I scenariot "Regional utveckling" har de mest troliga HRS-satsningarna presenterats där regioner, delvis tillsammans med privata aktörer, har visat intresse för en vätgasinfrastruktur utan några konkreta satsningar eller incitament från myndighetshåll. De flesta här nämnda regioner diskuterar frågan kontinuerligt och har indikerat att vätgas ska kunna vara tillgängligt hos dem inom ett par års sikt.

I princip täcks TEN-T-korridorerna (Figur 32), E4 från Malmö till Sundsvall och E14 med denna introduktion.

Tabell 14 Redovisning av utvecklingsförloppet mellan 2014 till 2020 enligt scenariot

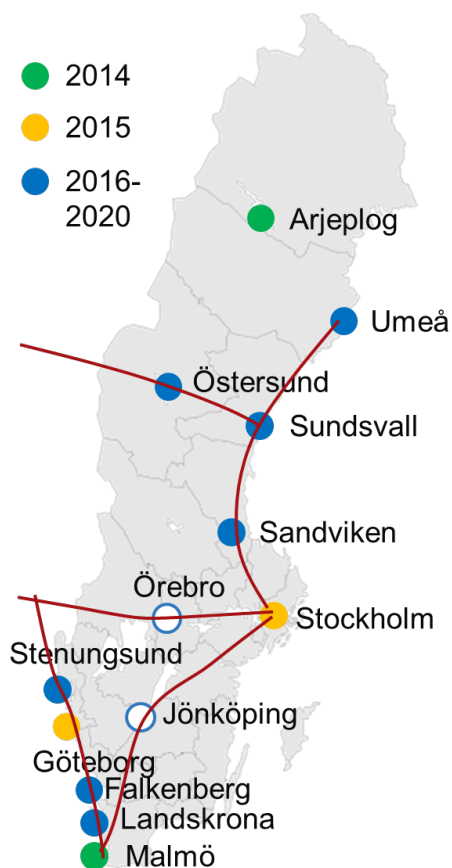
År	Antaganden placering	Antal HRS (200kg/dag)	HRS-kostnad (exkl bidrag)	Fordons- pris
2014	<ul style="list-style-type: none">• Arjeplog• Malmö	2 st	15 MSEK	i.u.
2015	<ul style="list-style-type: none">• Stockholm• Göteborg• Falkenberg	3 st	15 MSEK	650 tkr
2016- 2020	<ul style="list-style-type: none">• Stenungsund• Sundsvall• Östersund• Örebro• Jönköping• Sandviken• Landskrona• Backup-stationer i Stockholm mfl	>7 st	13 MSEK	650 tkr
Totalt		>12 st	>150 MSEK	

Malmö handlade upp en HRS under 2013 som förväntas vara färdiginstallerad under 2014. För Arjeplog, som är en del av vintertestregionen, förväntas det behövas en HRS inför kommande vinter när biltillverkarna samt leverantörer av kringutrustning och system ska testa sina produkter för vätgasdrift under vinterförhållanden.

I både Stockholm och Göteborg diskuteras (delvis inom HIT-projektet) införskaffandet av en HRS för exempelvis fordon i flottlösningar som bland andra taxibolag, budfirmor, bussar och sopbilar. Dock är det inte troligt att en vätgastankstation kommer införskaffas under detta år.

Stenungsund och Sundsvall har visat visst intresse då de har vätgasöverskott i och med kemiföretagens processer i de regionerna. Dock krävs utredningar om gasens renhet och affärsmodeller för att dessa alternativ ska kunna realiseras vilket förväntas ta några år. Östersund har i och med sin satsning inom Green Highway visat intresse för vätgas som ett av bränslealternativen i en fossilfri "korridor" från Sundsvall – Östersund – Trondheim (SÖT).

Både i Sandviken och Landskrona finns intressenter som arbetar för att bygga lokal vätgastankstation. Örebro och Jönköping antas ligga en bit fram i tiden då inga påtagligt drivande krafter är kända.



Figur 33 Placering av de regionalt förankrade tankstationerna beroende på förväntat årtal för uppförande. Linjerna indikerar berörda Europavägar.

15.2.2 Scenario Fossilfrihet

I detta scenario (kallat Scenario Fossilfrihet) utgår beräkningarna från regeringens utredning om en fossilfri fordonsflotta för 2030. I utredningen anges hur stor del av energin i framtida vägtransport förväntas utgöras av eldrift (där även vätgas räknas in), och presenteras inom ett intervall "A" och "B" där A beskrivs som högst åtgärdspotential och B som lägst åtgärdspotential. Energibehovet för el som antas vara medelvärdet i intervallet för 2020 och 2030. Förutom att använda regeringens utredning som utgångspunkt för energibehovet vägs det även in uttalanden från HRS- och fordonsleverantörer samt indata från McKinseystudien 2010 och "Fuel Cells and

Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)” när bedömningar gjorts gällande prissättning och tankstationsstorlekar.

I scenario Fossilfrihet har det antagits att bränslecellsfordonen endast kommer utgöra en liten andel av energin som tillförs transporter med eldrift till en början (dvs 10 % av eldriften utgörs av bränsleceller år 2015) för att sedan öka till hälften (50 % 2030). Detta främst då elfordon har etablerat sig i högre grad på marknaden än vad bränslecellsfordon gjort i dagsläget. Det bedöms som rimligt att bränslecellsfordon kommer att kunna öka sin andel till 50 % längre fram då priser för dessa rimligen kan sjunka i allt snabbare takt. Det antas det finnas ca 290000 bränslecellsfordon i Sverige år 2030 som skulle motsvara 1,5 – 2 % av den tillförda energin i transportsektorn. Detta presenteras närmare i Tabell 15.

Tabell 15 Antaget utvecklingsförlopp mellan åren 2015-2030 utifrån regeringens utredning om Fossilfri fordonsflotta

År	Antaganden	Energi-behov	Antal fordon	Min antal HRS (200 kg/dag) + (1000kg/dag)	Fordonspris
2015	<ul style="list-style-type: none"> 20 fordon HRS-kostnad bedömd från leverantörer <p>HRS-pris (exkl bidrag)</p> <ul style="list-style-type: none"> 200kg/dygn 15MSEK 1000kg/dygn 30 MSEK 	0,1 GWh	20 st	1 + 0	600 tkr
2020	<ul style="list-style-type: none"> Vätgas står för 10 % av energin för eldrift Intrapolerat fordonspris mellan 2015-2030 <p>HRS-pris (exkl bidrag) uppskattat till</p> <ul style="list-style-type: none"> 200kg/dygn 13 MSEK 1000kg/dygn 25 MSEK 	0,04 TWh	8000 st	12 + 1	270 tkr
2030	<ul style="list-style-type: none"> Vätgas står för 50 % av energin för eldrift <p>HRS-pris (exkl bidrag) uppskattat till</p> <ul style="list-style-type: none"> 200kg/dygn 10 MSEK 1000kg/dygn 20 MSEK 	1,45 TWh	290 000 st	100 + 100	230 tkr
Totalt				Ca 3 MdSEK	

Antaganden

- Energibehov per fordon 5 MWh/år (Baserat på årlig körsträcka 15000 km samt energi-behov på 35 kWh/100km)
- Vätgasbehov per tankning 5 kg → ca 2,5 tankningar per månad
- HRS: 200kg/dygn → kan förse ca 460 "unika" fordon mellan tankintervall
- HRS 1000 kg/dygn → kan förse ca 2300 "unika" fordon mellan tankintervall
- Fordonspris 2015: 600 000 kr (indikation från biltillverkare)
- Fordonspris 2020: 270 000 kr [McKinsey, 2010]
- Fordonspris 2030: 230 000 kr [McKinsey, 2010]
- HRS 2015: 15 MSEK kapacitet 200 kg/dag (Indikation från tillverkare)
- HRS 2030: 10 MSEK kapacitet 200 kg/dag (Antagande)
- Antal fordon och energi-behov

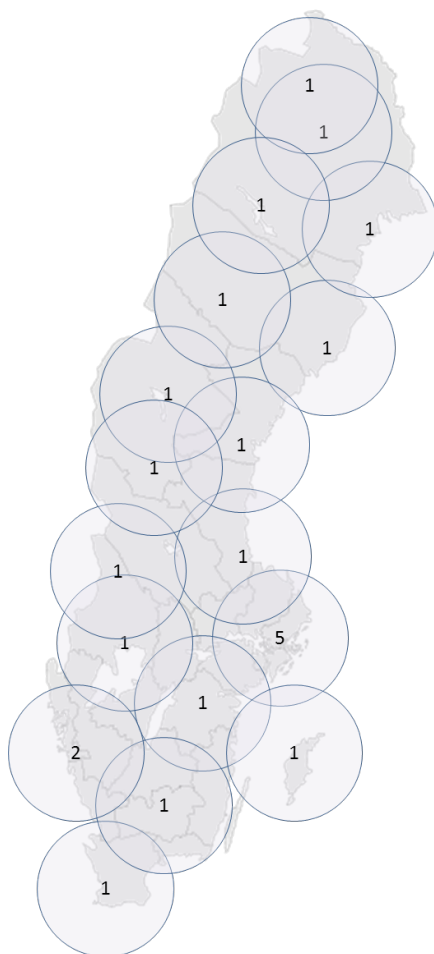
-
- 2015: Antar totalt 20 fordon → **0,1 GWh**.
 - 2020: Utgår från justerat medelvärde FFF (dvs 10 % av all elenergi är genom vätgas) → **0,04 TWh**, motsvarar 8000 fordon
 - 2030: Utgår från justerat medelvärde FFF (dvs 50 % av all elenergi är genom vätgas) → **1,45 TWh**, motsvarar 290000 fordon
 - Fordonskostnader baseras på uttalanden från fordonstillverkare samt McKinseys prognoser.

Tankstationsmodeller som används har förenklats och två storlekar anges, 200 kg/dygn samt 1000 kg/dygn. Fördelning mellan de olika storlekarna är endast exemplifierade, dock förväntas det fokuseras på förhållandevis små stationer till en början för att få hög beläggning, för att i ett senare skede flytta fokus till större stationer när underlag finns.

15.2.3 Scenario Direktivförslaget 2013

EU:s förslag till direktiv (CPT) gällande utbyggnad av infrastruktur för alternativa drivmedel till år 2020 krävde bland annat att vätgas skulle finnas tillgängligt på nationell nivå med ett maxavstånd på 300 km mellan vätgastankstationerna. Utöver det var kravet en tankstation per 250 tusen invånare. Dock har förslaget ändrats efter att ha varit ute på remiss.

Utifrån direktivförslaget 2013 kommer det för Sveriges del innebära 23 stationer varav de flesta i de större tätorterna, om de lokaliseras för maximering av yta med minsta antal stationer.



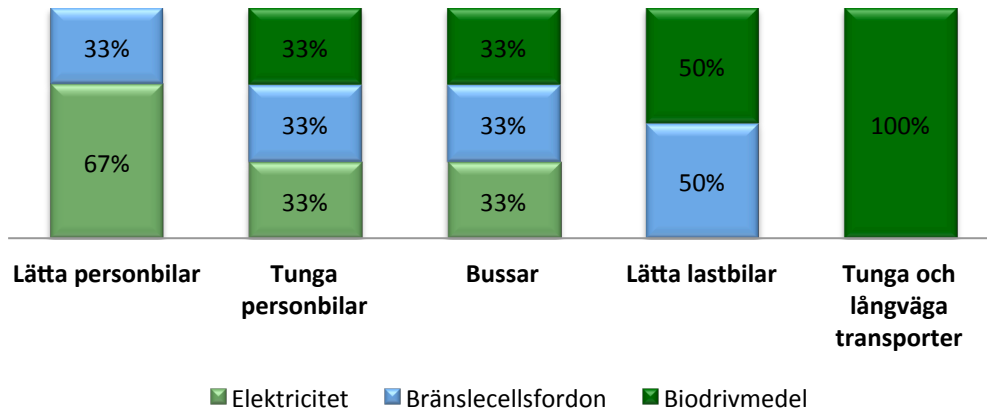
Figur 34 Exempel på placering av HRS för minimering av stationer samtidigt som det uppnås en nationell täckning.

Det är rimligt att anta att de större tätorterna installerar stationer i ett tidigare skede än de med färre invånare. Det är dock svårt att uppskatta placering av tankstationer kommer att utvecklas eftersom det förmodligen kommer behövas kraftiga styrmedel och subventioner till en början för att kunna flertalet av dessa stationer. Speciellt mindre tätorter med relativt få bilar kommer ha i ett initialt skede ha svårt att få en hög beläggning på installerade tankstationer. Allteftersom bränslecellsfordon ökar i andel kommer tankstationerna bli alltmer oberoende av stöd och subventioner.

År	Antaganden placering	Antal HRS (200kg/dag)	HRS-kostnad (exkl bidrag)	Fordons- pris
2020	Städer, större tätorter och eventuellt mindre orter (med lokala drivkrafter) i ett första skede. Därefter placeras HRS längs sträckor mellan dessa orter. Slutligen övriga Sverige.	23	15 → 13 MSEK (fallande pris med tiden)	i.u.
Totalt		23 st	Ca 350 MSEK	

15.2.4 Scenario 33 %

Scenariot 33 % utgår från denna rapportens exempel på fossilfri vägtransport som slutmål där el, vätgas och biodrivmedel (främst biogas) är fördelade för olika segment av transportsektorn, från lätta personbilar till tyngre transporter. För att konkretisera slutmålet i tidsperspektiv antas år 2050.



Figur 35 Exemplifiering på vätgasens roll i en vägtransportsektor baserad helt på energikällor med förnybart ursprung

I detta scenario förväntas 9,2 TWh vätgas behövas för att täcka behovet för bränslecellsfordonen. Det motsvarar ca 280 000 ton vätgas som ska distribueras på ett antal stationer. Givet att vätgastankstationerna har en kapacitet på 1000 kg/dag skulle det behövas ca 1000 stationer för att försöka fordonsflottan med vätgas. Det är delvis beroende på beläggningsgrad, i detta fall antas 80 %. Det kommer krävas nästan 2 miljoner fordon och antas år 2050 kosta mellan 200 – 230 tkr.

Tabell 16 Antaganden för scenario 33 %

År	Antaganden	Energi-behov	Antal fordon	Min antal HRS (1000kg/dag)	Fordonspris
2050		9,2 TWh	1,8 milj st fordon	0 + 1000	200-230 tkr
Totalt				20 Miljarder SEK	

16 Infrastrukturkostnader

Infrastrukturkostnaderna för vätgas utgörs framförallt av investeringarna för tankstationerna och beror då mest på deras kapacitet. Större stationer förväntas få betydligt lägre specifik kostnad. I kapitel 15.2 redovisas fyra scenarier där utvecklingen av vätgasinfrastrukturen varierar och därmed även infrastrukturkostnaden. I Figur 36 nedan presenteras en sammanställning av scenarierna och den indikativa kostnaden för dessa. Den större delen av kostnaderna för en komplett utbyggd vätgastankningsinfrastruktur bedöms kunna byggas på kommersiell basis, men under initieringsfasen förväntas viss del bidrag behövas.

Figur 36 Sammanställning av infrastrukturkostnader,

Ar	Regional	FFF	Direktivförslaget 2013	33 %
2015	↓	□	□	□
2016	↓	□	↑	□
2018	↓	□	↑	□
2020	↓	↑	↓	□
2030	□	□	↓	□
2050	□	□	↓	↑
Antal HRS 200kg/dygn	11 st	100 st	23 st	0
HRS-kostnad (200kg)	15→13 MSEK	15→10 MSEK	15→13 MSEK	---
Antal HRS 1000kg/dygn	0 st	100 st	0	1000
HRS-kostnad (1000kg)	---	30→20 MSEK	---	20 MSEK
Total investeringskostnad¹	Ca 150 MSEK	Ca 3 MdSEK	Ca 350 MSEK	Ca 20 MdSEK

¹Kostnader och uppskattningar för de olika scenarierna är baserade på dagens priser och förutsättningar och kan skilja sig från framtida prissättning. I exemplen ovan presenteras endast investeringskostnaderna. Ytterligare kostnader för drift, investering, underhåll m.m. tillkommer för en komplett TCO (Total Cost of Ownership) för stationerna.

(-> indikerar en antagen prissänkning under perioden.)

Det finns ett flertal faktorer som är avgörande för huruvida en vätgastankstation kan bli lönsam eller inte. De huvudsakliga faktorerna är beläggningsgraden och kapitalkostnaderna (som främst beror av den slutliga investeringskostnaden). Det kommer krävas antingen hög beläggningsgrad eller betydande subventioner för att en station ska kunna bli lönsam.

Andra viktiga faktorer är storleken på stationen och differensen mellan priserna för inköpt eller egen producerad respektive såld vätgas. Kommersiell vätgas i Sverige framställs främst genom elektrolys som drivs av el. Därmed har elpriset en direkt koppling till hur vätgaspriset kan variera. I bästa fall kan vätgasen övervägande framställas under perioder med relativt billig el, vilket förbättrar försäljningsmarginalerna.

Kostnaderna för andra delar av infrastrukturen, såsom distributionen, räknas in i den rörliga kostnaden för vätgasen som kommer till tankstationen, eller produceras lokalt.

De vätgastankstationer som byggs i Europa idag ges typiskt upp till 50 % bidrag för att stödja utbyggnaden, men också för att stödja utvärderingen och utvecklingen av tekniken.

16.1 Ekonomiska styrmedel

En väl genomtänkt och koordinerad kombination av kraftfulla styrmedel är nödvändig för flera år framåt för att åstadkomma utbyggnad av infrastruktur för vätgas och introduktion av bränslecellsfordon (se kapitel 13 för utförligare genomgång av policyområdet). I Tabell 17 ges ett förslag på hur en styrmedelsstrategi skulle kunna se ut. Strategin skulle givetvis behöva mer utvärdering innan implementation, men förslaget syftar till att peka på vilka styrmedel som kan användas och att det krävs både specifika och generella styrmedel för att introducera vätgas och bränslecellsfordon. Av vikt är också att styrmedelspaketet grundar sig på långsiktiga målsättningar och att det med visst utrymme för justeringar ger förutsägbara spelregler.

Som tidigare nämnts måste basal infrastruktur byggas ut innan fordonen börjar användas och detta stadiet medför stora investeringsrisker och låg utnyttjandegrad som innebär låga intäkter. Stöd och regleringar direkt till infrastrukturen i kombination med långsiktiga subventioner av produkten genom skattebefrielse kan förbättra riskbedömningen för investerare i större utsträckning än om endast ett av dessa styrmedel tillämpas. Skattebefrielse har för biodrivmedel varit ett kraftfullt styrmedel är rimligt att använda innan skattebortfallet blir alltför stort, och bidrag och lånegarantier kan också utgöra kraftfulla styrmedel, som t.ex. stödet till anläggningar för biogas produktion. Att kombinera de ekonomiska styrmedlen med regleringar och system för koncessionsrätter/tillfälliga monopol kan ytterligare driva på utvecklingen och möjliggöra fördelning av kostnader och vinster mellan aktörer.

På användarsidan kan olika upphandlingar användas för att demonstrera fordonen och skapa en tidig marknad. För att introducera bränslecellsfordonen på den vanliga marknaden krävs troligtvis ett kraftfullt och tydligt styrmedel såsom det föreslagna bonus-malus systemet. Då blir det uppenbart för köparen att den högre inköpskostnaden omedelbart minskas till samma nivå som för motsvarande fordon med fossilt drivmedel, istället för om subventionerna ges över längre tid i form av t.ex. minskningar i

fordonsskatten. Styrmedlen på infrastruktursidan är givetvis också avgörande för användaren då de ska möjliggöra ett rimligt pris på drivmedlet.

Tabell 17 Föreslagna styrmedel för introduktion av bränslecellsfordon.

	Marknadsintroduktion 2015-2020	Tidig marknad 2020-2025	2025-
Fordon	Miljöbilspremie på 70 000 kr enligt bonus malus i utredningen Fossilfrihet på väg	Fortsättning	Bonus malus men låg premie
	Koldioxidifferentierad fordonsskatt	Fortsättning	Fortsättning
	Koldioxidifferentierat förmånsvärde		
	Offentlig upphandling	Fortsättning	
	Gemensam upphandling för bränslecellsbilar eller inkludering i elbilsupphandlingen		
	Miljözoner i storstäder	Fortsättning	Fortsättning
Infrastruktur	Statliga bidrag eller EU bidrag inom TEN-T eller statlig lånegaranti till infrastruktur/tankstationer		
	Temporärt marknadsmonopol för tidiga aktörer		
	Reglering för större bränsledistributörer att införa vätgastankstationer		
	Skattebefrielse för vätgas i transportsektorn	Fortsättning	Befrielse från koldioxidskatt
	Skattebefrielse för elektricitet till vätgasproduktion	Fortsättning	
	Höjd dieselskatt	Ytterligare höjning	
		Inräkning i systemet för kvotplikt och prispremie	Fortsättning

Vidare analys av indikationer för belopp av styrmedel i de olika scenarierna ovan behöver analyseras vidare.

16.2 Affärsmodeller för tankstationer

Det finns flera sätt att organisera hur en tankstation för vätgas ska kunna etableras och drivas på ett ekonomiskt bärkraftigt sätt. Dessa olika affärsmodeller har i sin tur varianter beroende på de omständigheter och villkor som gäller i det land och region som stationen befinner sig. Huvudsakligen kan man dela upp affärsmodellerna i följande grupper (ytterligare exempel sammanfattas i [Smith-Bingham 2013]):

Traditionell återförsäljare	Kommersiell verksamhet där vätgasen köps in, förvaras och säljs till konsument.
Producerande återförsäljare	Kommersiell verksamhet där vätgasen produceras lokalt mha elektrolysör eller reformering, förvaras och säljs till konsument.

Kooperativ	Organisationer och personer som har behov att tanka sina FCEV äger tankstationer gemensamt, med eller utan egen produktion.
Energibalanserare	Producerar vätgas med elektrolys då elpriset är lågt, förvarar i stort långtidslager och säljer sedan till konsument alternativt producerar elektricitet då elpriset är högt.
Off-grid	Producerar vätgas med elektrolys där elen kommer från vindkraftverk som inte är inkopplade på nätet.
Hybrid	Kombinationer av ovanstående affärsmodeller.

I Tyskland har fordons- och tankstationsleverantörer via de sk H2Mobility skapat ett konsortium som gemensamt avtalat med varandra att bidra med de tekniska och finansiella delar som behövs för att genomföra en implementering.

Under de första åren av introduktion och uppbyggnad av en ny drivmedelsinfrastruktur kommer genomförda investeringar inte att ge kommersiell avkastning. Det antal fordon som behövs för att ge kommersiellt underlag för respektive vätgastankstation kommer helt enkelt inte att finnas tillgängliga (på engelska kallat first mover disadvantage). Det finns ett antal åtgärder för att hantera detta, bland dem kan tex följande nämnas;

- Offentlig delfinansiering eller andra styrmedel (jämför kapitel 13)
- Leasinglösningar för att förenkla uppgradering till större tankstationer eller för att minska risken med fordon som inte är helt beprövade på marknaden
- Geografiska temporära monopol för att gasleverantörerna ska ges möjlighet till senare garanterade marknader i utbyte mot tidig högriskinvestering.

Jämför också med Norge (HyOP) och Danmark där bolag för drift av vätgastankstationer har bildats med stöd av offentlig investering, eller med biogasstationer i Sverige där tex Fordonsgas AB, AGA och E.On driver stationer.

Någon eller några av ovan nämnda alternativa affärsmodeller kan komma att användas vid en introduktion i Sverige och det kommer att påverkas av aktuell policy och styrmedelsval.

17 Samhällsvinster i svensk tillämpning

17.1 Miljövinster

En viktig del av uppskattning av miljövinster är att beräkna värdet på de CO₂-utsläpp som undviks genom att introducera vätgasdrivna fordon. För denna uppskattning har antagits Trafikverkets rekommendation på ett skuggpris för CO₂ på 1,45 kr/kg för långsiktiga analyser [Trafikverket 2012]. Dessa beräkningar bygger på det scenario som framtagits inom ramen för HIT-projektet på **8 000 vätgasdrivna bränslecellspersonbilar år 2020** respektive **290 000 b år 2030**, baserat på FFF-utredningens scenario för olika fordon.

Utifrån de emissionsfaktorer som redovisats i kapitel 12, och antaget att referensemissionen är i enlighet med EU's mål för 2020 på 95 g CO₂/km², samt att vätgasen producerats genom elektrolys med vindkraftsel, kan följande emissioner undvikas.

1. År 2020 sker en relativ reduktion på drygt 8 000 ton CO₂-ekvivalenter vilket motsvarar ett värde på 12 miljoner kronor
2. År 2030 sker en relativ reduktion på 0,3 miljoner ton CO₂-ekvivalenter vilket motsvarar ett värde på 430 miljoner kronor

Dessa siffror gäller enbart det angivna året, och är inte en kumulativ beräkning av tidigare besparingar.

Det exempel som presenterats i kapitel 11.3 (en tredjedel av alla personbilar är vätgasdrivna bränslecellsbilar), med en bibehållen storlek på fordonsparken (drygt 4 miljoner personbilar) och i övrigt samma antaganden som ovan skulle medföra en CO₂-reduktion på 1,33 miljoner ton vilket motsvarar 1,9 miljarder kronor.

Även andra emissioner kan undvikas om förbränningsmotorer ersätts med bränsleceller (eller batterifordon), framför allt SO_x, NO_x, kolväten och partiklar. Även om framför allt utsläpp av SO_x, kolväten och partiklar har minskat sedan 1990-talet genom förbättrad förbrännings- och avgasreningsteknik överskrider gränsvärden i de flesta tätorter.

Trafikverket har angett följande värdering [Trafikverket 2013] av totala kostnader för Stockholms innerstad:

- PM 2,5: 16 331 kr/kg
- Kolväten: 96 kr/kg
- SO₂: 473 kr/kg
- NO_x: 51 kr/kg

Inga beräkningar av framtida miljövinster har utförts på dessa emissioner inom ramen för de scenarier som analyserats, men en kvalitativ slutsats är att alla reduktioner av dessa ämnen leder till att de miljövinster som uppskattats ovan kommer att öka ytterligare vid en utfasning av förbränningsmotorer.

² Genomsnittet för nyregistrerade personbilar i Sverige år 2012 var 135 g CO₂/km.

17.2 Konkurrenskraft

Sverige behöver ta hänsyn till påverkan av den internationella konkurrenskraften när både grannländer och länder i övriga världen satsar på vätgasimplementation.

17.3 Nya affärs- och produktionsmöjligheter

Som framgår av kapitel 14.1 ovan finns det ett flertal aktörer i Sverige som har tjänster och produkter att exportera inom området vätgasinfrastruktur och –fordon.

Förutom de företag, organisationer och universitet som har produkter och tjänster att exportera inom vätgasområdet kommer introduktion av en ny teknikregim att medföra en lång rad nya tjänster och produkter.

Till Sveriges och Nordens unika fördelar hör att biltillverkarna anser marknaden vara en lämplig testmarknad, både för att det finns hög betalningsförmåga och flexibilitet avseende ny teknik.

17.3.1 Exportmöjligheter

Först och främst innebär ett ökat stöd för utveckling av och användning för produkter och tjänster inom vätgas- och bränslecellsområdet i Sverige att befintliga aktörers möjligheter att vara en aktiv del i den kommande implementeringen av vätgasinfrastruktur i världen.

Flera av aktörerna nämnda i kapitel 14 har produkter och tjänster i världsklass. Ett antal länder i världen (tex Japan, USA, Tyskland, UK) ligger före Sverige avseende investeringar i vätgas- och bränsleceller, men Sverige har ännu i det tidiga globala utvecklingsskedet sina chanser att sätta landet på kartan om så önskas.

En ökad inhemsk aktivitet på vätgasområdet skulle leda till att fler produkter och tjänster utvecklas. Vid uppskattning av vilka exportprodukter som är potentiella för Sverige behöver risken över tid för att lågpristillverkande länder kan överta marknader, liksom skett för europeiskt tillverkade solceller vägas in. Även för Sveriges del finns olika inriktningar att vinna på: vara först, snabbast eller billigast med sina produkter och tjänster.

Minskad import av fossila bränslen är positivt för exportbalansen.

I en tidigare studie genomförd inom EU har slutsatsen dragits att effekten på bruttonationaleffekten skulle vara marginell för de 10 ingående länderna i studien [HyWays, 2007].

17.3.2 Arbetstillfällen

Förutom de företag, organisationer och universitet som har produkter och tjänster att exportera inom vätgasområdet kommer introduktion av en ny teknikregim att medföra en lång rad nya tjänster och produkter. Till viss del ersätter nya arbetstillfällen gamla.

En geografisk fördel som aktörer i norra Sverige utnyttjar är det kalla vinterklimatet. Redan för några vintrar sedan tillsåg man att fordonstillverkare från hela världen kunde testa sina nyutvecklade bränslecellsbilar i vintertestområdet (se vidare i bilaga 2).

Många av de aktiva företagen inom vätgas- och bränslecellsområdet i Sverige är mindre företag. Det betyder inte att området är mindre intressant att satsa på ur samhällsekonomisk synvinkel. Betydligt många fler arbetstillfällen har skapats i Sverige i små och medelstora företag än i stora företag under de senaste 25 åren [IFN, 2013]. En annan fördel med aktiviteter i de mindre företagen är deras förmåga att rikta sina produkter till vitt skilda marknader – en spridning från transportvärlden till stationära eller portabla tillämpningar ökar i sannolikhet.

I USA räknar man med en ökning av antal arbetstillfällen till år 2050 med 0,2 -0,37 % tack vare implementering av vätgasinfrastruktur [DOE, 2008]. Detta motsvarar storleksordningen 700 000 arbetstillfällen.

I projektet HyWays där 10 Europeiska länder deltog skissade man på socioekonomiska konsekvenser av tre olika scenarier med olika stora offentliga investeringar på vätgas- och bränslecellsområdet. Slutsatserna av de beräkningarna säger att ju mer man satsar desto mer kan man vinna, men risken att det blir en felsatsning ökar också. Nettovinsterna i antal arbetstillfällen varierar mellan ca -0,6 till +0,5 % av antal arbetstillfällen år 2030. Max erhålls vid stora policyinvesteringar och lyckat resultat, min vid stora policyinvesteringar och misslyckat införande [HyWays, 2007].

En ökning med 0,37 % av antal arbetstillfällen i Sverige motsvarar 18 000 arbeten, men för att skapa en landspecifik siffra behöver en applicerad analys genomföras. Motsvarande beräkningar har genomförts i Sverige när det gäller biogas. I Skåne har slutsatsen att 1,1-1,4 extra arbetstillfällen skapas per GWh producerad biogas. I Västra Götalandsregionen har bruttotillskottet uppskattats till 3,7-,3,9 [Biogas].

Nedan följer exempel på några olika aktörers nya möjligheter vid satsning på vätgasinfrastruktur i Sverige.

Aktör	Potential för samhällsvinster och utveckling
Gasbolag	<ul style="list-style-type: none"> • Utveckling och försäljning av lösningar för förgasning, distribution och tankstationer • Integrerade energisystem (tillsammans med power-to-gas) som även kan möjliggöra energilagring
Fordonsleverantörer	<ul style="list-style-type: none"> • De som går före kan stärka försäljning, men risk för utslagning när tillverkare inte utvecklar de nya teknikerna tillräckligt
Komponenttillverkare, industri	<ul style="list-style-type: none"> • Plattform för bränsletillgång
Raffinaderier, skogs- och massaindustri	<ul style="list-style-type: none"> • Större potential för förgasningsanläggningar

	<ul style="list-style-type: none"> • Större del av värdekedjan i Sverige
Bensinbolag	<ul style="list-style-type: none"> • Större del av värdekedjan Sverige
Elbolag	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionstoppar (dvs lågt elpris) kan utnyttjas bättre • Försäljningspotential för flytande vätgas • Elbolag kan bli drivmedelsleverantörer (utöver vad som redan sker med batteribilar)
Tjänstesektorn	<ul style="list-style-type: none"> • Bränslecellsbilar som körs av turister kan komma till Sverige om infrastruktur byggs ut • Behov och möjligheter inom tjänster för att hantera omställningen med nya tekniker och samhällssystem
Högskola	<ul style="list-style-type: none"> • Potential för ytterligare utbildning och forskning
Politiker och tjänstemän	<ul style="list-style-type: none"> • Bidragande faktor till att miljömål uppnås • Kan användas för regional utveckling och marknadsföring
Media	<ul style="list-style-type: none"> • Ökat allmänintresse kan bli självförstärkande

17.3.3 Försörjningstrygghet

Vätgas möjliggör en ökad försörjningstrygghet för Sverige i och med att behovet av import av fossila bränslen kan minskas, men också på grund av de många möjliga produktionsvägarna till vätgas (däribland inhemsk elproduktion och produktion från biomassa).

18 Förslag på åtgärder för implementering 2014-2020

I detta kapitel ges först indikationer för hur man behöver agera för att värdera drivkrafter och överkomma de hinder som tidigare nämnts för att implementera vätgas i Sverige. I kapitlet följer sedan övergripande rekommendationer, förslag på initiala implementeringsprojekt, aktörers uppgifter och samarbeten samt förslag på fortsatt strategisk planering.

18.1 Värdera drivkrafterna

I inledningen (se kapitel 2.2) av denna rapport beskrivs viktiga drivkrafter för vätgas. Dessa drivkrafter behöver värderas tillräckligt högt för att ge genomslag i praktiken. De listande drivkrafter har diskuterats vidare i denna rapport enligt korsreferenserna nedan. Sammanfattningsvis behöver arbetet med denna värdering utvecklas ytterligare, något som också påpekas som prioriterat behov för fortsatt arbete (18.8).

Drivkraft	Referenser där ett resonemang påbörjats redan i denna rapport
Möjlighet till minskade emissioner, dvs miljöfördelar	Se kapitel 17.1
Förstärkt internationell konkurrenskraft	Se kapitel 17.2
Export av produkter och tjänster	Se kapitel 17.3
Arbetsstillfällen	Se kapitel 17.3.2
Försörjningstrygghet och minskad import av fossila drivmedel	Se kapitel 17.3.3
Närliggande länders utbyggnad – behov av integrering gränsöverskridande transportsystem	Se kapitel 18.7
Förstärkning av nationell energistrategi, inklusive funktionalitet med Power-to-Gas.	Se kapitel 11

18.2 Överkom hinder

De hinder som listades i kapitel 2.3 listas här i kombination med förslag på åtgärder som behöver utvecklas vidare i en faktisk implementationsplan, samt med referenser till kapitel i denna rapport där frågan diskuteras närmare.

Behov och lösningar	Kommentarer och referenser
Det är ett paradigmskifte att gå från bensin till vätgas	Man behöver acceptera att förändring tar tid och gäller många dimensioner, tex politisk beslutsgång, teknisk utveckling, kunskapsspridning, utbyggnad av infrastruktur, människors acceptans och faktiska resultat för miljön
<ul style="list-style-type: none"> • Värdekedjan av nödvändiga aktörer behöver utvecklas för ny teknik. Olika aktörer ska hitta sin plats i värdekedjan och nya affärsmodeller behöver utvecklas. Branschöverskridande samarbeten mellan energisektorn och transportsektorn behöver flera års för att identifiera gränssnitt, finna sina roller och 	<ul style="list-style-type: none"> • Se kapitel 14 och 18.3 om aktörer.

utveckla affärsmodeller.	
<ul style="list-style-type: none"> Några aktörer måste ta ansvaret för att driva igenom ett paradigmskifte. Politiker på kommunal, nationell och EU-nivå behöver ta detta ansvar och initiera nödvändiga samarbeten. 	<ul style="list-style-type: none"> Se kapitel 18.4 om politikens betydelse Det finns vissa drivande företag och organisationer
Introduktionskostnaderna för vätgas behöver hanteras	Se kap 16 om investeringskostnader och kapitel 13 om styrmedel
<ul style="list-style-type: none"> De verkliga kostnaderna för fossila bränslen behöver vägas in i miljöavgifter. Många företag och organisationer som lever på dagens teknikval och infrastruktur behöver hitta sin väg framåt. Förädlingsvärdet av fossila bränslen i landet är stort och skatteintäkterna höga. Det gäller att överkomma de initiala kostnaderna för införande av ny teknik som inledningsvis har höga kostnader på grund av både utvecklingskostnader och ovana för installation. 	<ul style="list-style-type: none">
<ul style="list-style-type: none"> Konkurrens om offentliga medel och utrymme mellan olika alternativ till fossila drivmedel behöver hanteras. Det behövs starka aktörer i Sverige som driver på lösningar. 	<ul style="list-style-type: none"> Det är viktigt att förstå respektive drivmedels roll. Se kapitel 18.3 om aktörer
Politiken behöver stödja vätgas	1.1.1.1 Se kapitel 18.4
<ul style="list-style-type: none"> Införande av ett paradigmskifte kräver en långsiktig och medveten planering med subventioner och nya regler i det korta perspektivet. Politiker och myndigheter behöver se att många små eller nya bolag kan vara nog så intressanta att stödja som de stora, redan väletablerade. Lobby för alternativa drivmedelsalternativ behöver inkludera vätgas. 	<ul style="list-style-type: none">
Många aktörer behöver mer kunskap om vätgas	Se kapitel 18.3 om kunskapsbehov

- Kännedom och acceptans. Folket måste läras sig om och vänja sig vid den nya tekniken och lita på dess funktionalitet och säkerhet samt lockas av dess fördelar.
- Media behöver lära och upplysa samt både journalister och läsare vara öppna för nya vanemönster. Den information som sprids via media får betydande genomslag.
- vti och Sweco har genomfört en parallell studie till denna rapport om detta [vti 2014]

18.3 Genomför aktiviteter och höj kunskapen hos aktörerna

Generellt behöver alla aktörer veta mer både om vätgas och bränslecellsbilar men också hålla sig kontinuerligt uppdaterade om möjligheter med vätgas i energisystemet. I tabellen nedan ges en skiss på mer specifika behov. Särskilt viktigt är det att politier och tjänstemän på nationell och kommunal nivå på ett tidigt stadium ges information om vätgasens potential.

Aktörerna nedan kommer att ge varandra mer kunskap inom området, oavsett hur prioriterat, planerat eller samordnat det sker. En prioriterad, genomtänkt och kontinuerligt understödd kunskapsspridnings- och aktivitetsplan skulle dock sannolikt ha markant betydelse för dess faktiska inverkan.

Tabell 18 Aktivitetsförslag och exempel på utbildningsbehov per aktörgrupp

Aktör	Kunskapsbehov	Aktivitet	Prioriterad starttid
Gasbolag		Marknadsföra möjligheter med vätgas	2014
Fordonsleverantörer		Marknadsföra möjligheter med vätgasfordon	2014
Komponenttillverkare, industri		Förbereda produkter och för en större marknad	
Raffinaderier	Inverkan på global drivmedelshandel	Analysera nya affärsmöjligheter med ökad vätgasefterfrågan	
Bensinbolag	Inverkan på global	Analysera nya	

	drivmedelshandel	affärsmöjligheter med ökad vätgasefterfrågan	
Elbolag	Inverkan på global drivmedelshandel	Analysera nya affärsmöjligheter med ökad vätgasefterfrågan	
Jord- och skogsbruk		Analysera nya affärsmöjligheter med ökad vätgasefterfrågan	
Tjänstesektorn		Fler utredningar i frågorna, förbereda möjligheten att utöka marknaden	2014
Branschorganisationer	Behov av utbildning	Ta ansvar för frågeställningarna på längre sikt	2014
Universitet och institut	Behov av utbildning och forskning	Mer forskning i frågorna. Tredje uppgiften	2014
Aktörer i andra länder och internationella projekt	Vetskap om Sveriges intressen	Forskning och utveckling. Gemensam lobby verksamhet gentemot biltillverkare och politiker.	
Skolor	Behov av utbildning	Inkludera vätgas- och bränsleceller mer i undervisningen	2014
Politiker och tjänstemän, ansvariga ministrar	Förstå möjliga samhällsvinster	Agera proaktivt. Se kapitel 18.4 nedan	2014
Myndigheter och bidragsgivare	Behov av utbildning	Se kapitel 18.5 nedan	2014
Experter och sakkunniga	Behov av information		
Media	Behov av information	Bevaka omvärlden och redovisa framsteg i Sverige	2014
Allmänhet	Behov av information		

Privatbilister	Behov av information	Provkörning och information som är både lätt förstålig och saklig. Olika former av incitament.
Yrkesförare	Behov av information	Provkörning och information som är både lätt förstålig och saklig. Olika former av incitament.
Bilförare i offentlig sektor, upphandlare	Behov av information	Provkörning och information som är både lätt förstålig och saklig. Olika former av incitament.

18.3.1 Samarbete och nätverka

Eftersom en bred implementering av vätgasinfrastruktur i Sverige berör många aktörer, såväl för tjänster och produkter från leverantörer till möjliga kunder finns det initialt en stor fördel i att bygga upp regionala och nationellt nätverk där samarbete sker över hela kedjan.

Denna typ av nätverk finns idag tex nationellt genom Vätgas Sverige och deras 40-50 medlemmar bland företag, organisationer, högskolor, institut och regioner. Redan innan projektet som ligger bakom denna rapport satte igång arbetade Vätgas Sverige och H2 Skåne med regionala aktörer för att planera för framtiden. Bland dessa kan Västra Götaland, Falkenberg, Halland och Skåne nämnas. Detta projekt har till detta börjat samla motsvarande nätverk för frågan i Norr, Sundsvall-Östersund-Trondheim, Gävleborg-Dalarna och Stockholm. Styrkan i dessa samarbeten ligger i att nyckelaktörer och även andra arbetar med huvudsakliga frågeställningar gemensamt.

Fler regioner, tex så kallade "Smarta regioner", kan fylla en viktig roll där katalysering av nya initiativ genomförs.

Både fler och fördjupade nätverk kommer att ha betydelse för utvecklingen framåt.

18.3.2 Genomför implementeringsprojekt redan 2014-2016

För perioden 2014-2016 är det föreslaget att de mest intresserade regionerna i Sverige genomför förstudier för sina respektive förutsättningar och möjligheter med en tidig introduktion av vätgasinfrastruktur för transporter, jämför casen i bilagorna till denna rapport. Som nämnts ovan är det flera regioner som redan innan 2014 påbörjat sin planering, men därtill finns det åtminstone ett par regioner som behöver starta sitt arbete snarast för att komplettera TEN-T-korridorerna, däribland någon region utefter sträckan

Malmö-Stockholm respektive Göteborg-Stockholm, förslagsvis Jönköpings och Örebro län.

I de städer eller regioner som leder detta arbete kommer de första tankstationerna att byggas. Initiala köpare av bränslecellsfordon påbörjar under denna period spridningen av tekniken.

En kommentar är att den flexibilitet som erhålls med vätgas som drivmedel och den lokala produktionsmöjligheten att göra vätgas av el lokalt kan bli grunden för att bygga riktigt små och lokala vätgastankstationer i glesbygd. Idag läggs tom bensinstationer på vissa platser ner och räckvidden för elbilar kan vara otillräcklig. Denna möjlighet kan undersökas redan åren 2014-2016. Därtill behöver en hel del forskning och utveckling ske på området under denna tidperiod.

18.4 Aktiv politik

Politikerna har naturligtvis en stor roll att spela när det gäller målsättningar i många avseenden, tex för hur hållbara energi- och transportsystemen ska vara på längre sikt. Många beslut som fattas idag får påverkan längre fram. Intervjuade politiker för denna studie hävdade att en regim som kan bevisa sin effektivitet och på sikt en fristående ekonomiska vinst kan vara intressant att stödja. Vidare återkom man gärna till sin ambition att vara teknikneutral i sina stödsystem, något som dock i praktiken inte alltid blir fallet då bara en viss teknik uppfyller givna krav.

En av de rådande politiska inriktningarna är att ny teknik och nya teknikregimer kan finansieras under en övergångsperiod, men att målsättningen är att de därefter ska klara sig utan ytterligare stöd.

Politiker och tjänstemän som fattar dagens beslut - såväl för nya utredningar som demonstrationstester till verklig implementering - på långsiktig grund är väl behövda. Det är politikerna som ska ge myndigheterna det tydliga uppdrag de behöver ha för att våga genomföra och satsa på nödvändiga omställningar. Detta gäller på kommunal-, nationell-, samt EU-nivå.

Exempel på konkreta förslag till politiker

- Viktigt att vi har starka svenska myndigheter med en långsiktig vision om det hållbara resandet och som inte enbart följer de stora företagen, EU eller vad som är opportunt för tillfället. Samhällsnyttan måste vara prio 1.
- Fundamentalt att särskilja mellan prognoser och planer
- KLIMP och LIP har betytt oerhört mycket, något liknande behövs igen.
- Finns mycket att lära av de andra alternativa drivmedlen och tidigare satsningar. Låt tex inte resultatet från etanolsatsningen vara ett hinder idag.

- Centraliserade upphandlingar spelar en viktig roll för att bygga flottor och för att sprida intresse och kunskap kring ny teknik. Staten kan gå in och stödja regionala satsningar.
- Vissa myndigheter har flera roller, detta bör tydliggöras och krav/förväntningar bör preciseras på de olika funktionerna.
- Lyfta fram det multimodala resandet och dra nytta av synergieffekterna mellan de olika transportslagen.
- Sverige behöver en motsvarighet till Transnova i Norge. Många viktiga frågor hamnar mellan stolarna idag. Kunde vara både myndighet i traditionell mening OCH en mötesplats för aktörerna!
- Den svenska inriktningen bör vara att stimulera efterfrågan snarare än att direkt stödja teknikdemo.
- Centralt med kommunikation. Vi måste förmedla en nyanserad men ändå lättförståelig bild av de alternativa fordonsbränslena.
- Svenska politiker mfl måste våga på allvar lyssna på andra än de stora etablerade "svenska" företagen.
- De kommersiella aktörerna bör få en större plats i samhällsdebatten där man lyfter fram att vätgas, el och fordonsgas är här och att alla tre behövs.
- I Sverige börjar en ny folkrörelse kring både elbilar och solceller ta form. Allt fler börjar förstå nyttan med dessa teknologier. Detta är positivt eftersom den sociala normen har en stor påverkan på våra attityder och val.
- Ett riktat stöd till en plats med både tankning och fordon.
- Städer har "koldioxidbubblor", dvs en total kvot för utsläpp. Kan appliceras för andra saker, typ NOx. Används i Stockholm som bonus/malus grundande vid inköp av transporter.
- Vi behöver delmål som är tydliga och mätbara.
- En EU-synkad terminologi är viktig för att säkerställa att våra analyser sammanfaller med EUs arbete.

18.5 Aktiv myndighetsutövning

De myndigheter i Sverige som idag bedöms ha stor betydelse för en implementering av vätgasinfrastruktur i Sverige är Energimyndigheten, Trafikverket, Vinnova, Naturvårdsverket, Näringsdepartementet, Regioner, Länsstyrelser och kommuner. Utanför Sverige har EU en stor betydelse, särskilt EC, FCH JU, och TEN-T.

Här följer några ord om deras ansvar och respektive möjliga betydelse för implementation av vätgasinfrastruktur för transporter i Sverige.

Tabell 19 Myndigheters möjliga stöd för implementering av vätgasinfrastuktur

EU	EU-parlamentet kan stifta lagar till stöd för vätgasutveckling
EC	EC kan sätta mål och direktiv för medlemsländerna. Direktivet om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen (2014/94/EU). (se kapitel Fel! Hittar inte referensskälla.)
EU TEN-T, (Transeuropeiska transportnätet)	Ser vätgas som ett intressant alternativ och stödjer idag att flera länder i EU arbetar med sina implementationsplaner.
Energimyndigheten	Energimyndigheten ger bidrag till utforskande studier inkluderande vätgas och implementering av energinära infrastruktur såsom laddstolpar för elbilar. Energimyndigheten skulle kunna driva fortsatt analys och implementationsplanering av alternativa bränslen med ett bredare perspektiv.
Trafikverket	I Trafikverkets direktiv ingår att studera miljöeffekter av olika tekniska alternativ. Trafikverket och Energimyndigheten skulle kunna samarbeta för att planera mer långsiktigt gällande energisystem för transporter i Sverige.
Transportstyrelsen	Transportstyrelsen utformar regler för trafiken och ansvarar för skatterna. Ett av målen är att verka för miljövänliga transporter.
Vinnova	Vinnova ger och kan ge stöd för innovationssystemet inom området.
Näringsdepartementet	Direktivet om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen (2014/94/EU) säger att respektive medlemsstat ska skriva sin egen plan för införande av alternativa bränslen, där metan och el är utpekade av EU, medan vätgas är valfritt. Här kan man välja att starta arbetet med infrastrukturen för vätgas även om inte EU inte ställer det kravet i nuläget. Kan med fördel välja att utse "States representatives" i formella vätgassammanhang, tex för FC JU ³ .

³ Fuel Cell Joint Undertaking, ett vätgasinitiativ inom EC med industrifinansiering

Naturvårdsverket	Skriver i sitt underlag till Färdplan 2050 en rekommendation till regioner att "Subventionera en utbyggnad av vätgasinfrastruktur samt även bränslecellsfordon de första 5–10 åren." [NVV 2013, Bilaga 10 sida 28]
Regioner, Länsstyrelser och kommuner	Dessa parter har alla stor betydelse för faktisk planering och genomförande i respektive region. Strategierna skiljer sig mycket över landet, vilket tex visar sig med olika ambitionsnivåer för biogas och elladdstolpar. Kommuner är lämplig initial bränslecellsfordonsägare.
Städer	Städer kan delta med att ställa krav på fordonen som används utifrån sitt ansvar att arbeta för bättre luftkvalitet och lägre ljudnivåer.

Sammanfattningsvis har myndigheter stor möjlighet till direkt eller indirekt påverkan gällande val av energilösningar transportsystem. I jämförelse med många andra länder har den totala offentliga investeringen i vätgas- och bränsleceller varit mycket blygsam i Sverige. Öronmärkta medel till vätgasimplementation - demonstration och forskning skulle vara ett avgörande stöd även i Sverige de kommande åren.

18.6 Aktivt näringsliv

Förutom att både politiker och myndigheter fattar beslut som påverkar vår framtid så har även näringslivet en stor betydelse. De aktörer som är starka idag påverkar också framtidsplaneringen. Internationell konkurrenskraft behöver säkras på både kort och lång sikt.

18.7 Fördjupa samarbetet med andra länder

18.7.1 Nordisk samordning

Scandinavian Hydrogen Highway Partnership, SHHP, har arbetat i många år för att göra det möjligt att färdas och tanka bränslecellsbil på sträckan Oslo – Stenungsund - Göteborg – Malmö- Köpenhamn. Flera aktörer har varit aktiva i Sverige, men utbyggnaden har begränsats till att främst ske i Norge och Danmark beroende på starkare investeringsstöd i dessa båda länder.

Sverige har mycket att lära av Norges och Danmarks erfarenheter och har mycket att vinna på utökad samordning mellan de Nordiska länderna.

I Case Green Highway, bilaga 3, presenteras framtidsplanen att länka Sundsvall och Östersund till Trondheim med tankstationer för vätgas efter E14. Stockholmscaset, i bilaga 4, lägger vikt vid att resenärer från Finland ska kunna tanka vätgas i närheten av platsen där Finlandsfärjorna lägger till. Den tänkta finska huvudvägen för vätgas går en bit in i landet från syd till norr.

18.7.2 Europeisk samordning

Det är en stor fördel att samplanera implementeringen av nya drivmedel över nationsgränserna. Fordon och utrustning som globalt sett är framträdande kommer att ha lägre priser än drivmedel vars marknader är begränsad i världen.

En europeisk samordning av implementeringen av vätgasinfrastruktur är viktig och TEN-T spelar idag en viktig roll i sitt stöd för detta. TEN-T planerar fortsätta sitt stöd framöver, men förväntar sig att respektive nationer tar över på sikt.

I bilaga 1 beskrivs TEN-T-projektet "Hydrogen Infrastructure for Transport", HIT, (det projekt som denna rapport ingår i), och redan här deltar Sverige, Danmark, Nederländerna, Frankrike, Belgien, Tyskland och UK. Även i tidigare studier, såsom i HyWays redan för snart 10 år sedan, studerades möjligheterna med vätgas för 10 centrala länder i Europa [HyWays]. Sverige har dock inte deltagit från nationell nivå tidigare även om det finns ett antal företag och organisationer i Sverige som arbetar med många andra europeiska länder i olika EU-projekt.

Se kapitel **Fel! Hittar inte referenskälla. Fel! Hittar inte referenskälla.** för ytterligare beskrivning av satsningar på EU-nivå.

Via Sweco är Sverige ledande för en aktuell ansökan av nästa HIT-projektomgång vilken inkluderar många länder i norra Europa som berörs av de två TEN-T-korridorer som går runt Östersjön, delvis illustrerat i Figur 32. Sverige kan sägas få en ny chans att inkludera vätgasfrågor på den nationella agendan och samarbeta med övriga Europeiska länder.

18.8 Skapa en faktisk implementationsplan och genomför erforderliga analyser

Det övergripande behovet är att fortsätta arbetet redovisat i denna rapport med utformningen av en faktisk implementationsplan för framtidens drivmedel i Sverige, med fördel parallellt för de olika bränslen som föredras. Notera att detta också krävs från alla medlemsländer i direktivet om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen (2014/94/EU) [EU 2014]. Se Tabell 20 för typiska faser som grund för en implementationsplan.



Skapa en faktisk
implementationsplan

Till det som bör ingå i en verklig implementationsplan för vätgas, men som ännu inte finns på plats i Sverige, hör:

Drivkrafter

- Tillräckligt hög värdering av drivkrafterna (se kapitel 2.2)

Offentligt stöd

- Uttalat stöd från myndigheter på alla nivåer
- Prioriteringar och stöd för FoU, marknad och policy
- Politik och lagar går i rätt riktning

Aktörer

- Nyckelaktörerna behöver delta vid framtagande och *ha förbundit sig* att medverka vid genomförandet
- Initiativgrupper arbetar aktivt
- Samarbete inom triple helix är befast

Generellt

- Genomtänkta och analyserade nationella kalkyler och strategier samt val för implementeringen
- Många andra faktorer än de rent tekniska inkluderas
- Planen stödjer hela innovationssystemet, inklusive FoU
- Flexibilitet (se nedan)
- Allmänhetens kunskap och acceptans behöver byggas upp
- Utvärdera och uppdatera kontinuerligt

Från ovanstående ruta faller det ut omedelbara behov av flera fortsatta analyser, tex

- Samhällsekonomiska bedömningar av implementationsscenarier för Sverige.
- Tekniska, ekonomiska och geografiska analyser.
- Utveckling av affärsmodeller och genomförande av ekonomiska bedömningar för enskilda och samarbetande aktörer i värdekedjan.
- Plan för marknadsföring kring införande av vätgasfordon för publik acceptans och förståelse.

En faktiskt implementationsplan behöver nödvändigtvis vara en levande plan som genomgår ständig uppdatering och behöver också inkludera så många synvinklar som möjligt och visa på hela spännvidden av alternativ för att inte i sig vara begränsande.

Tabell 20 Förslag på introduktionsfaser, sammanvägning av alla HIT-delprojekt [SIP-part June 2014]

Period, ca	2014-2018	2019-2023	2024-2030	2031-2050
Fas, benämning	Marknadsförberedelse	Tidig marknads-introduktion	Komplett marknad	Kommersiell marknad
Mål	Introduktion för kunskapsuppbyggnad, acceptans och planering	Uppbyggnad av kritiska volymer	Kommersiell utveckling	

Den nya texten för infrastrukturdirektivet [EU 2014] säger att varje medlemsland ska skriva en nationell implementationsstrategi för alternativa bränslen, och att den måste innehålla:

- Juridik och lagar
- Politik och incitament
- Ekonomisk satsning för utbyggnad av ny infrastruktur
- Ekonomisk satsning på FoU

19 Slutsatser och summering

19.1 Drivkrafter och hinder för vätgas

De främsta drivkrafterna för vätgas är

- Potentiella miljövinster
 - I ett av beräkningsexemplen i denna rapport visas att en vätgasinfrastrukturinvestering på 3 000 MSEK fram till år 2030 skulle kunna innebära en CO₂-besparing motsvarande storleksordningen 430 MSEK/år.
 - Att de är tysta vilket är en stark fördel i bebyggda områden.
- Exportmöjligheter av produkter eller tjänster och möjliga arbetstillfällen
 - Det finns många inhemska företag och universitet som ser affärer på vätgas- och bränslecellsområdet
- Ökad försörjningstrygghet genom möjlig inhemsk drivmedelsproduktion
 - Vätgas kan produceras av förnybar el eller biomassa.
- Ökad energisystemflexibilitet
 - Vätgaslager kan utjämna intermittent elproduktion.
 - Med vätgas som länk kan stationär, traktionär och industriell sektor integreras ytterligare.

De främsta hindren för vätgas är att

- Det krävs ett paradigmskifte för att implementera
 - Både företag och allmänhet har vanan att utgå från fossila bränslen.
- Det kräver en initial investering för uppbyggnad av ett vätgastankstationsnät
 - Vätgastankstationer förväntas inte vara lönsamma under introduktionsfasen
- Det kräver att politiken stödjer tekniken
 - Många regioner fokuserar på biogas och elfordon idag.
- Det saknas uppdaterad kunskap om tekniken bland de flesta aktörerna.

19.2 Fakta och teknikstatus

- Vätgas är en energibärare som utgör en emissionsfri länk i ett energisystem.
- Vätgas är utrymmeskrävande och förvaras vid högt tryck för att användas som fordonsbränsle.
- Teknikmognad för bränsleceller och globala standarder för tankning underlättar introduktionen av vätgas som drivmedel.
- Energieffektiviteten med vätgas är högre än för fossila bränslen, men lägre än för ett rent elsystem.
- Den första serietillverkade bränslecells bilen (1000 st) startade produktionen 2013. Det finns också tvåhjulingar, bränslecellsbusar och lätta lastbilar.
- Det har byggts över 250 vätgastankstationer i världen.

-
- Flera länder i Europa bygger just nu upp nationellt täckande infrastruktur av vätgastankstationer (Danmark, Tyskland, UK).
 - Det nya EU direktivet [EC, 2014] för alternativa bränslen inkluderar vätgas, men kräver inte att alla medlemsländer bygger upp infrastruktur för det.
 - Dagens vätgasfordon har jämförbar säkerhetsnivå som befintliga traditionella fordon, men det finns både risker och tekniska lösningar som är annorlunda och som behöver beskrivas för ökat förtroende för både teknik och bränsle.

19.3 Energisystem

- Möjligheten till lokal produktion av vätgas ger ökad försörjningstrygghet och minskat importberoende av drivmedel, både nationellt och lokalt på mindre orter där transportkostnaden för flytande drivmedel riskerar att bli så höga att distributionen upphör.

I denna rapport visas hur vätgas passar in i befintligt energisystem i Sverige. Vätgas kan produceras av förnybar el eller biomassa eller återvinnas från industrier med överskott. Vätgasen kan väljas att användas stationärt eller traktionärt, det sistnämnda fokus för denna rapport. Värmeförluster i en del av processen kan utnyttjas i andra delar av energisystemet. Vätgas är en potentiell energilagringsform och kan användas för produktion av metan där så behövs.

19.4 Policy och styrmedel

En långsiktig, väl genomtänkt och koordinerad kombination av styrmedel krävs för att åstadkomma utbyggnad av infrastruktur för vätgas och introduktion av bränslecellsfordon.

- Tekniken behöver investeringsstöd för introduktionsfasen, både för infrastruktur och fordon.
- Med initialt stöd till investeringar i vätgastankstationer och ett rimligt elpris blir driftskostnaden låg. När volymerna ökar blir vätgas ett konkurrenskraftigt drivmedel som klarar sig utan subventioner eller skattelättnader.
- Styrmedel behövs initialt för att underlätta upphandling av nollemissionsfordon (FCEV+BEV) till publika och privata aktörer i storstäderna där de lokala problemen med buller och dålig luft är som störst.

19.5 Aktörer

Affärsvärdekedjan kan göras lång för vätgas som drivmedel och det finns många intressenter i Sverige. Gemensamt för alla nya områden är att det tar tid att etablera en värdekedja, d.v.s för de olika aktörerna att finna sin plats i värdekedjan. Samarbeten, allianser, utvecklandet av kund- och leverantörsförhållande, utveckling av affärsmodeller m.m. är processer som måste genomföras för att en bransch ska uppstå. När det som i detta fall också handlar om att olika redan etablerade branscher (energisektorn, fordonsbranschen och infrastruktursektorn) möts, krävs några år av samarbeten för att

klara ut gränssnitten och förädla affärsmodellerna. Gemensamt för alla aktörer är att mer kunskap behövs inom området.

Fordonstillverkare och vätgasleverantör har gjort stora förinvesteringar i bränslecellsbilar och vätgasinfrastruktur och visar att de är redo att göra fler i kommande femårsperiod.

- Sverige har många företag och organisationer som besitter god kompetens inom vätgas och bränsleceller. Inom denna bransch finns stor potential för tillväxt och exportmöjligheter.

19.6 Regionala case

Fem regionala case har utvecklats inom HIT-projektet under vintern 2013/2014. De benämns Vätgas Norr med vintertestområdet, Green Highway (Sundsvall-Östersund-Trondheim), Stockholm samt Västkustvägen med detaljer kring Falkenberg respektive Malmö. För dessa har aktörer samlats för att gemensamt utvärdera och skapa bästa möjliga plattform för implementering. Slutsatsen är att arbetsformatet med regionala aktörskluster är ett bra forum för utveckling och att samtliga dragit slutsatsen att minst en tankstation ska byggas inom de närmaste åren.

19.7 Utbyggnad av tankstationer

I denna rapport har ett förslag för utbyggnad av tankstationer presenterats där ett 10-tal regionala stationer förväntas byggas de närmaste åren och att det kan följas med ett nationellt täckande nät inom åtminstone 15 år om så önskas. TEN-T-korridorerna genom Sverige kan också vara försedda med vätgastankstationer till 2020. Analysen visar också att det finns en potential för vätgas att användas i en betydande del av fordonsflottan i Sverige på sikt. För små och lätta transporter är elfordon att föredra för att energiåtgången är mindre och för långa och tunga transporter behövs ett drivmedel som innehåller mer energi per volymsenhet. Vätgas kan dock med fördel användas i bilar, bussar och lätta lastbilar.

19.8 Rekommendationer för initial utbyggnad

Här följer några tidiga rekommendationer för implementation av vätgasinfrastruktur i Sverige.

- Skapa en faktisk och flexibel implementationsplan för vätgas parallellt med planer för övriga alternativa bränslen, ju förr dess bättre - och inkludera alla möjliga aspekter redan initialt. Inkludera värderingsmetoder för kontinuerlig utvärdering i en plan eftersom utbyggnaden måste starta för att förbereda för en möjlig storskalig introduktion, men en storskalig introduktion är inte nödvändigtvis ett alternativ som måste stödjas längre fram när teknikutvecklingen gett fler svar och alternativ än de som är kända idag.
- Många, men främst politiker behöver utbildas för att förstå vätgasens fördelar för att också kunna stödja den initiala uppbyggnaden av tankstationer ekonomiskt.
- Initialt behöver ett antal vätgastankstationer byggas för att öka allmänhetens kunskaper och acceptans för tekniken, sedan behöver det byggas fler strategiskt placerade stationer och skapas upphandlingsstöd för att möta upp med tillräckligt

många bränslecells-bilar. Såsmåningom kan ett nationellt täckande nät av vätgastankstationer byggas i Sverige. Ingen fas kan hoppas över och man måste acceptera att det kan ta tid att sprida information och kunskap om ny teknik i ett nytt land.

- Parallell marknadsintroduktion i storstäderna rekommenderas för högsta miljömässiga vinster med avseende på den lokala miljön och exponering tillsammans med korridorer som förbinder dessa storstäder för att möjliggöra långa resor.
- Vätgasinfrastrukturbyggnaden behöver ske i fas med teknisk kommersialisering och tillgänglighet.
- Den initiala vätgasinfrastrukturbyggnaden behöver till stor del bekostas med offentliga medel för att överhuvudtaget ske.
- Utbyggnaden av vätgastankstationer bör samordnas på nationell nivå. Det är viktigt att det kommer att finnas initierade användare av de stationer som byggs så att syftet såsom ökad vätgasvana och begränsning av ekonomiska förluster kan hanteras.
- Skapa regionala kluster där många aktörstyper ingår för bästa planering.
- Hellre mer koncentrerad lokal utbyggnad än en utbyggnad med maximerad geografisk spridning. Därmed föredras att initiala fordonsanvändare är sådana med lokal körcykel.
- Typiska initiala fordonsägare kan tex vara lokala distributionsföretag i storstäder där luftkvaliteten har stor betydelse. Personbilar där elbatterier inte räcker till och lättare transportfordon passar för vätgasdrift, även lokalbussar.
- Det är fördelaktigt att ha flera tankstationer i samma region i syfte att säkra tillgången på vätgas. Verksamheter som är beroende av mackar (t.ex taxibolag) vill ha garantier på tillgänglighet av drivmedel.
- Placera gärna vätgastankstationer vid befintliga mackar.
- Tidiga vätgastankstationer kan med fördel byggas små med möjlighet att flytta till annan ort när högre kapacitet behövs, dvs när det lokala fordonsunderlaget ökat, och på så sätt succesivt bygga upp vätgasinfrastrukturnätet.
- Introduktionsfasen behöver vara realistisk och inkludera "urfasning" av bidrag.
- Vätgasproduktionen för år 2020 i Sverige kommer sannolikt till största del ske i central elektrolysör och transporteras trycksatt på lastbil. På längre sikt förväntas vätgasproduktionen ske från förnybar el och biomassa för maximal miljöeffekt och största möjliga inhemska produktion.
- Genomför erforderliga analyser!

19.9 Skapa en faktisk implementationsplan

Det övergripande behovet är att fortsätta arbetet redovisat i denna rapport med utformningen av en faktisk, antagen, implementationsplan för framtidens drivmedel i Sverige, med fördel parallellt för de olika bränslen som föredras. Notera att detta också krävs från alla medlemsländer i det nya direktivförslaget från EU gällande alternativa bränslen [EC 2014].

En faktiskt implementationsplan för vätgas behöver nödvändigtvis vara en väl förankrad, levande plan som genomgår ständig uppdatering och behöver också inkludera så många synvinklar som möjligt och visa på hela spännvidden av alternativ för att inte i sig vara begränsande.

Denna rapport och arbetsprocessen kring den, har lagt grunden för detta.

20 Tillkännagivanden

Tack till Helmut Morsi, TEN-T och Floris Mulder, Agentschap NL, samt alla projektaktörer och finansiärer i bilaga 1.

21 Bilageförteckning

- 1) Föreslagna mottagare av rapportens slutsatser
- 2) Case Vätgas Norr med vintertestområdet
 - a. Kontaktperson Tord Lindgren, Trafik och Teknik
- 3) Case Green Highway (Sundsvall-Östersund-Trondheim)
 - a. Kontaktperson Anne Sörensson, Östersunds Kommun
- 4) Case Stockholm
 - a. Kontaktperson Geert Schaap, Sweco
- 5) Case Falkenberg
 - a. Kontaktperson Linda Nilsson, Vätgas Sverige
- 6) Case Malmö
 - a. Kontaktperson Erik Wiberg, Vätgas Sverige
- 7) Bakgrundsinformation till fokusgrupper

22 Om Projektet HIT

22.1 Bakgrund

EU-projektet "Hydrogen Infrastructure for transport", HIT benämns för den nationella nivån HIT NIP-SE och syftar till att i en bred process med svenska aktörer ta fram ett faktabaserat kunskapsunderlag kring vätgas som drivmedel för transporter, samt ett förslag på en plan för framväxten av infrastruktur i Sverige för åren 2014-2020.

HIT är ett projekt till 50 % finansierat av EU via TEN-Ts innovationsprogram, samt till 50 % av projektaktörerna. Projektaktörerna listas nedan.

HIT är i sin helhet ett projekt under EU:s TEN-T-program som avser ta fram en vätgasinfrastruktur för delar av Europa. Genom HIT ska olika länders implementationsplaner synkroniseras och bilda en transportkorridor genom Europa med vätgastankstationer och utefter vägen. Vikten av att tillhandahålla infrastruktur påpekas i Direktivet om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen (2014/94/EU), även om infrastruktur för vätgas där anges som valfritt. Inom HIT tas det även fram nationella planer för Danmark, Frankrike, Nederländerna. Andra länder som exempelvis Tyskland och Storbritannien har egna initiativ, men också ett samarbete med HIT-länderna.

Beställare av denna rapport är Vätgas Sverige som aktör i HIT-projektet för EU/TEN-T.

Projektet pågår 2013-2014.

22.2 Metod

Arbetet med HIT NIP-SE har dels genomförts i samarbete med samtliga projektaktörer, främst vid de 5 workshops som illustreras i figuren nedan, dels genom arbete och analys av Sweco. Under projektet har kontakter tagits med över 200 sannolikt berörda aktörer i Sverige för att informera om projektet.

Vid workshop 1 enades projektaktörerna om frågeställningar för projektet, samt prioritering för desamma.

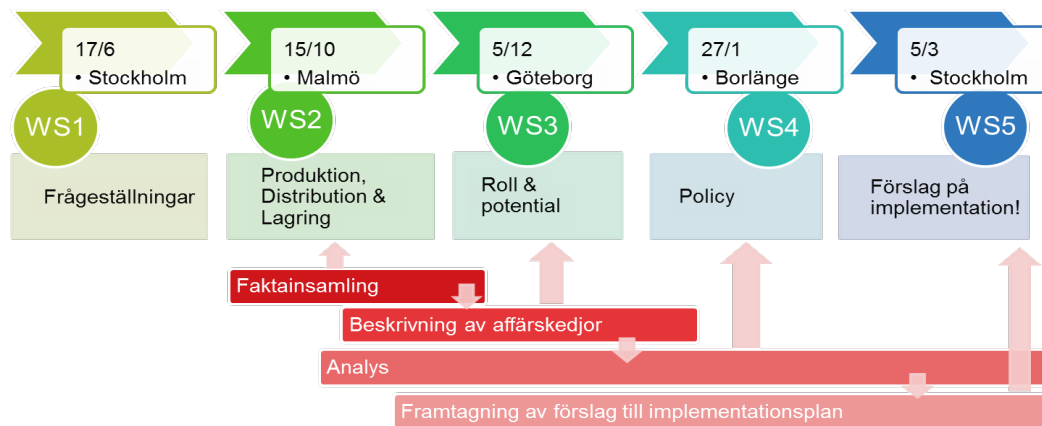
Till workshop 2 skrevs en faktarapport om teknikläget för vätgas och dess fordon.

Till workshop 3 genomfördes en energisystemanalys och till workshop 4 skrevs underlag om säkerhet och standarder, respektive underlag för policyanalysen.

Till workshop 5 presenterades en skiss på ett förslag till implementationsplan för gemensam bearbetning.

Från workshop 2 till 5 samlades projektaktörerna i arbetsgrupper för att utveckla affärskedjor eller regionala planer för vätgas, se bilaga 2-6.

Underlagsmaterial har tagits fram till varje workshop och där det både presenterats och bearbetats. Uppdateringar av respektive fakta eller analysområde har skett kontinuerligt i syfte att presentera en färdig rapport hösten 2014.



Figur 37 Arbetsprocessen för HIT NIP-SE (2013-2014).

22.3 Författare till delar av denna rapport

Huvudprojektledare på Sweco är Geert Schaap och Processledare för arbetet är Cecilia Wallmark. På Vätgas Sverige har framförallt Björn Aronsson, Sven Wolf och Erik Wiberg deltagit i projektarbetet.

- Kapitlet Teknikstatus och bakgrund har i huvudsak skapats av Erik Wiberg, Vätgas Sverige, Mårten Larsson, KTH, Farzad Mohseni och Cecilia Wallmark, Sweco.
- Kapitlet om standarder har författats av Thomas Berg på SP.
- Kapitlet om säkerhet kommer under hösten 2014.
- Kapitlet om policy och styrmedel har författats av Mårten Larsson, KTH.
- Kapitlet om energisystemanalys har i huvudsak skapats av Farzad Mohseni, Sweco, Mårten Larsson, KTH och Cecilia Wallmark, Sweco.
- Kapitlen ingående i förslaget på implementationsplan och övriga delar har i huvudsak skrivits av Cecilia Wallmark och Farzad Mohseni, Sweco. Mattias Nordström och Geert Schaap har bidragit till arbetet.

Huvuddelarna har författats under perioden oktober 2013-april 2014. Notera att två olika versioner av direktivförslaget för alternativa bränslen varit aktuella under denna period [EC 2013 och EC 2014], men i huvudsak är denna rapport uppdaterad för att avspegla den senare.

22.4 Projektaktörer

Nedan listas HIT NIP-SE:s projektaktörer. Dessa har bjudits in till projektets workshops och gett värdefulla bidrag både i form av kunskap och kreativa diskussioner.

23 Referenser

ACAL Energy, 2013

<http://www.acalenergy.co.uk/news/release/acal-energy-system-breaks-the-10000-hour-endurance-barrier/en>

Agnolucci 2007

Paolo Agnolucci, 2007. *Hydrogen Infrastructure for the Transport Sector* International Symposium on Solar-Hydrogen-Fuel Cells 2005 32 (15): 3526–44.

AirProducts, 2014

<http://www.airproducts.com/company/news-center/2014/01/0129-air-products-innovative-smartfuel-technology-next-step-in-hydrogen-infrastructure-deployment.aspx>, senast hämtad 2014-05-16

Apportgas 2013

Jämför naturgaspriser

<http://apportgas.se/pris/>

Benjaminsson och Nilsson 2009

Johan Benjaminsson och Ronny Nilsson *Distributionsformer För Naturgas Och Biogas I Sverige* Grontmij 2009

Bleischwitz och Bader 2010

Raimund Bleischwitz, och Nikolas Bader, *Policies for the transition towards a hydrogen economy: the EU case* Energy Policy, Volume 38, Issue 10, October 2010, Pages 5388-5398

Bossel 2006

Ulf Bossel *Does a Hydrogen Economy Make Sense?* Proceedings of the IEEE October 2006

Campanari 2009

Stefano Campanari, Giampaolo Manzolini och Fernando Garcia de la Iglesia *Energy analysis of electric vehicles using batteries or fuel cells through well-to-wheel driving cycle simulations* Journal of Power Sources 2009 Vol 186 sid.464-477

Colella m.fl. 2005

W.G. Colella, M.Z. Jacobson och D.M. Golden *Switching to a U.S. hydrogen fuel cell vehicle fleet: The resultant change in emissions, energy use, and greenhouse gases* Journal of Power Sources, Volume 150, 4 October 2005, sid. 150-181

Dahmen et al., 2009

N. Dahmen , E. Dinjus och A. Kruse *Fuels - Hydrogen Production | Biomass: Thermochemical Processes*, Encyclopedia of Electrochemical Power Sources 2009, sid. 259-267,

Daimler 2013

H2 Mobility initiative: Leading industrial companies agree on an action plan for the construction of a hydrogen refuelling network in Germany 2013

<http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-656547-1-1636552-1-0-1-0-0-1-12639-0-0-1-0-0-0-0-0.html?TS=1381222113689> Senast hämtad: 2014-04-16

Dharik 2014

Dharik S. Mallapragada, Gang Duan och Rakesh Agrawal *From shale gas to renewable energy based transportation solutions* Energy Policy 2014, Vol 67, sid. 499-507

DOE 2008

Effects of transition to a hydrogen economy on employment in the United States U.S Department of Energy 2008

http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/epact1820_employment_study.pdf

DOE 2009

Energy requirements for hydrogen gas compression and liquefaction as related to vehicle storage needs Department of Energy 2009

http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/9013_energy_requirements_for_hydrogen_gas_compression.pdf

DOE och EPA 2013

U.S Department of Energy och U.S Environmental Protection Agency

www.fueleconomy.gov senast hämtad 2014-04-16

Dornburg och Faaij 2001

V Dornburg, och A. P.C. Faaij *Efficiency and economy of wood-fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies* Biomass and Bioenergy 2001, Vol 21, sid. 91–108

Dufour & Moreno 2013

J. Moreno och J. Dufour *Life cycle assessment of hydrogen production from biomass gasification. Evaluation of different Spanish feedstock* International Journal of Hydrogen Energy 2013, Vol 38, sid. 7616-7622

EC 2003

Hydrogen Energy and Fuel Cells: A Vision of Our Future. EC High Level Working Group on Hydrogen and Fuel Cells Europeiska Kommissionen 2003

http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/hydrogen-report_en.pdf

EC 2009

Regulation (EC) No 443/2009 of the European Parliament and of the council Europeiska Kommissionen 2009

[http://eur-](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2009R0443:20130508:EN:HTML)

[lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2009R0443:20130508:EN:HTML](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2009R0443:20130508:EN:HTML)

EC 2011a

Future transport fuels Europeiska Kommissionen 2011

<http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cts/doc/2011-01-25-future-transport-fuels-report.pdf>

EC 2011b

Infrastructure for alternative fuels Europeiska Kommissionen 2011

http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cts/future-transport-fuels_en.htm

EC, 2013

European Commission 2013 *Proposal of the European Parliament and of the council on the deployment of alternative fuels infrastructure* Brussels, COM(2013) 18/2

EC, 2014

Clean air policy

Europeiska Kommissionen 2014

Eckerle et al. 2012

Tyson Eckerle och Remy Garderet m.fl *Incentivizing Hydrogen Infrastructure Investment* Energy Independence Now

http://www.einow.org/images/stories/factsheets/ein_california_h2_infrastructure_cost.pdf

Elbilsupphandling

<http://www.elbilsupphandling.se/>, senast hämtad 2014-04-16

Elforsk 2009

Laddning av eldrivna fordon - State of the art 2008 Elforsk rapport 09:60, Elforsk 2009

Elforsk 2013

Teknikbevakning av bränsleceller för fordon 2012 Elforsk rapport 13:25, Elforsk 2013

Energikunskap 2013

Energimyndighetens infosida

<http://www.energikunskap.se/sv/FAKTABASEN/Vad-ar-energi/>, senast hämtad 2014-04-16

Energimyndigheten 2013

Energiläget 2013

<https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=2785>, senast hämtad 2014-04-16

EON 2013

<http://www.eon.se/privatkund/Produkter-och-priser/Fordonsgas/Priser/>, senast hämtad 2014-04-16

Eriksson, L., & Forward, S. E. 2011

Is the intention to travel in a pro-environmental manner and the intention to use the car determined by different factors? Transportation Research Part D, 16, 372-376.

Eurostat

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_production_and_supply_statistics, senast hämtad 2014-04-16

EU 2014

Europaparlamentets och rådets Direktiv 2014/94/EU av den 22 oktober 2014 om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen. Europeiska unionens officiella tidning 2014

Fayaz et al. 2012

H. Fayaz, R. Saidur, N. Razali, F.S. Anuar, A.R. Saleman, och M.R. Islam *An overview of hydrogen as a vehicle fuel* Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012 Vol 16, sid. 5511-5528

Franco och Casarosa 2002

Alessandro Franco och Claudio Casarosa *On some perspectives for increasing the efficiency of combined cycle power plants* Applied Thermal Engineering 2002, Vol 22, sid 1501-1518

Fuel Cell Today, 2012

Two wheelers and the demand for fuel cells

<http://www.fuelcelltoday.com/analysis/analyst-views/2012/12-08-01-two-wheelers-and-the-demand-for-fuel-cells>, senast hämtad 2014-04-16

Gardiner 2002

Monterey R. Gardiner och Andrew Burke *Comparison of hydrogen storage technologies: A focus on energy required for hydrogen input* Institute of transportation studies

http://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/47_2_Boston_10-02_0218.pdf

Gasbilen

<http://www.gasbilen.se/Att-tank-a-pa-miljon/Fordonsgas-i-siffror/TankstallenUtveckling>, senast hämtad 2014-04-16

Gerssen-Gondelach och Faaij 2012

Sarah J. Gerssen-Gondelach och André P.C. Faaij

Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term Journal of Power Sources 2012

Gilles 2013

Max Gilles *GM and Honda to collaborate on making next-generation fuel cell tech*

<http://www.autoweek.com/article/20130702/green/130709966>, senast hämtad 2014-04-16

GM 2012

General Motors *Military Unveils Fleet of GM Fuel Cell Vehicles in Hawaii*

http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2012/Feb/0222_fuelcell.html, senast hämtad 2014-04-22

Green Car Congress 2013

Green Car Congress 2013, 2

Greene 2013

David L. Greene *Status and Prospects of the Global Automotive Fuel Cell Industry and Plans for Deployment of Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Refueling Infrastructure* Oak Ridge National Laboratory 2013

Helms m.fl. 2010

H. Helms, M. Pehnt, U. Lambrecht och A. Liebich *Electric vehicle and plug-in hybrid energy efficiency and life cycle emissions* 18th International Symposium Transport and Air Pollution. Session 3: Electro and Hybrid Vehicles 2010

HIT NIP-Dk, Feb 2014

Danmarks Nationella Implementationsplan för vätgas, 2014

Hjalmarsson 2011

Linnea Hjalmarsson, Mårten Larsson, Linda Olsson och Martina Wikström *Pathways to a renewable road transport system in Stockholm 2030*

Hong Huo 2009

Hong Huo, Ye Wu, Michael Wang *Total versus urban: Well-to-wheels assessment of criteria pollutant emissions from various vehicle/fuel systems* Atmospheric Environment 2009, Vol 43 Sid 1796-1804

Huang, 2006

Zhijia Huang, Xu Zhang *Well-to-wheels analysis of hydrogen based fuel-cell vehicle pathways in Shanghai* Energy 2006 Vol. 31 Sid. 471-489

Hughes och Agnolucci 2012

Hughes, N., och P. Agnolucci. *4.03 Hydrogen Economics and Policy* Comprehensive Renewable Energy 2012

Hui m.fl 2012

Hui Liu, Ali Almansoori, Michael Fowler, Ali Elkamel *Analysis of Ontario's hydrogen economy demands from hydrogen fuel cell vehicles* International Journal of Hydrogen Energy 2012, Vol. 37 Sid. 8905-8916

Hwang et al., 2013

Hwang JJ, Kuo JK, Wu W, Chang W, Lin C, Wang S. *Lifecycle performance assessment of fuel cell/battery electric vehicles*. International Journal of Hydrogen Energy 2013 Vol 38

Hyundai Motor Company

<http://www.hyundai.com.au/about-hyundai/news/articles/hyundai-ix35-fuel-cell>, senast hämtad 2014-04-22

HyWays 2007

European Commission DG Research 2007 *Final Report Socio / Economic Analysis Phase II* http://www.hyways.de/docs/deliverables/WP3/HyWays_D3.22_Draft-REPORT_V9_MAY2007.pdf, senast hämtad 2014-04-22

IFN, 2013

Jobbdynamiken i svenskt näringsliv 1990 till 2009 – teori och empiri, Institutet för Näringslivsforskning (IFN) 2013

IPHE, 2011

IPHE - International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy 2011 *Hydrogen and Fuel Cell Global Policy Update* http://www.iphe.net/docs/iphe_policy_update_120911_web.pdf

ITM 2012

MW energy storage 2012 <http://www.itm-power.com/news-item/mw-energy-storage/>, senast hämtad 2014-04-22

JRC 2013

Arno Huss, Heiko Maas, Heinz Hass Tank to Wheel Report, version 4 JRC - Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration 2013

Jenn-Jiang 2013

Jenn-Jiang Hwang, Jenn-Kun Kuo, Wei Wu, Wei-Ru Chang, Chih-Hong Lin och Song-En Wang *Lifecycle performance assessment of fuel cell/battery electric vehicles*, International Journal of Hydrogen Energy 2013 Vol. 38 Sid 3433-3446

Jenn-Jiang Hwang 2012

Jenn-Jiang Hwang *Sustainability study of hydrogen pathways for fuel cell vehicle applications* Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012 Vol. 19 Sid. 220-229

Jensen 2010

Jens Oluf Jensen, Qingfeng Li and Niels J. Bjerrum (2010). *The Energy Efficiency of Different Hydrogen Storage Techniques, Energy Efficiency*, Jenny Palm (Ed.), ISBN: 978-953-307-137-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/energy-efficiency/the-energy-efficiency-of-different-hydrogen-storage-techniques>

Konsumentverket 2013

<http://www.bilsvar.se/mercedes-benz-b-180-cdi-blueefficiency-aut-2014-38922>, senast hämtad 2014-04-22

Larsson m fl 2013

Mårten Larsson, Stefan Grönkvist och Per Alvfors *Barriers and drivers for upgraded biogas in Sweden. Conference proceedings* International Conf on Applied Energy 2013, Pretoria, Sydafrika.

Lindfeldt et al. 2010

Erik G. Lindfeldt, Maria Saxe, Mimmi Magnusson, Farzad Mohseni, 2010. Strategies for a road transport system based on renewable resources – The case of an import-independent Sweden in 2025 Applied Energy 2010:87;1836–1845

Marko m.fl. 2005

Marko P. Hekkert, Franka H.J.F. Hendriks, Andre P.C. Faaij och Maarten L. Neelis *Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development* Energy Policy 2005 Vol. 33 Sid. 579-594

McKinsey 2012

McKinsey 2012 *Urban buses: alternative powertrains for Europe, A fact-based analysis of the role of diesel hybrid, hydrogen fuel cell, trolley and battery electric powertrains*

McDowall och Eames 2006

McDowall, William, and Malcolm Eames *Forecasts, Scenarios, Visions, Backcasts and Roadmaps to the Hydrogen Economy: A Review of the Hydrogen Futures Literature*. Hydrogen 2006:34.

Mierlo m.fl. 2006

J. Van Mierlo, G. Maggetto och Ph. Lataire *Which energy source for road transport in the future? A comparison of battery, hybrid and fuel cell vehicles* Energy Conversion and Management 2006, Vol 47 Sid. 2748-2760

Miljödepartementet 2009

Miljödepartementet 2009 En sammanhållen svensk klimat- och energipolitik - Klimat prop. 2008/09:162

Mohseni et al. 2013

Farzad Mohseni, Martin Görling, Per Alvfors *The competitiveness of synthetic natural gas as a propellant in the Swedish fuel market* Energy Policy 2013:52

Moreno m.fl. 2012

F. Moreno, M. Muñoz, J. Arroyo, O. Magén, C. Monn och I. Suelves *Efficiency and emissions in a vehicle spark ignition engine fueled with hydrogen and methane blends* International Journal of Hydrogen Energy 2012 Vol. 37 Sid 11495-11503

Mozzafarianm.fl. 2003

Mozzafarian M och Zwart R. *Feasibility of Biomass/Waste-Related SNG Production Technologies. Final report*. Energy Research Center of the Netherlands, Biomass Systems; 2003 Jul. Report No.: ECN-C--03-066.

Naturvårdsverket 2009

Index över nya bilars klimatpåverkan 2008 Naturvårdsverket Rapport 5946

Naturvårdsverket, 2010

Effekter av investeringsprogrammen LIP och KLIMP Naturvårdsverket Rapport nr 6357

Nissan 2011

Nissan 2011 *Nissan Develops Next Generation Fuel Cell Stack* http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2011/_STORY/111013-01-e.html, senast hämtad 2014-04-22

Norwegian Hydrogen Council, 2012

Action Plan 2012–2015

NREL 2001

Pamela Spath och Margaret Mann *Life Cycle Assessment of Renewable Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming* U.S National Research Laboratory 2001, NREL/TP-570-27637

NREL 2002

Hydrogen Supply: Cost Estimate for Hydrogen Pathways Scoping Analysis U.S National Research Laboratory 2002 <http://www.nrel.gov/docs/fy03osti/32525.pdf>

NREL 2003

Preliminary Screening — Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas U.S National Research Laboratory 2003

NREL 2004

Pamela Spath och Margaret Mann *Life Cycle Assessment of Renewable Hydrogen Production via Wind/Electrolysis* U.S National Research Laboratory 2004, NREL, NREL/MP-560-35404

NREL 2009

Current (2009) State-of-the-Art Hydrogen Production Cost Estimate Using Water Electrolysis U.S National Research Laboratory 2009 <http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/46676.pdf>

NREL, 2012

Hydrogen Fuel Cell Bus Technology State of the Art Review. Fuel Cell Buses in U.S. Transit Fleets: Current Status 2012 U.S National Research Laboratory 2012

Nyström m.fl. 2007

I. Nyström, E. Ahlgren, M. Börjesson, E. Fahlén, S. Harvey och D Ingman *Biokombi Rya - biobränsleförgasning satt i system, Slutrapport från projektet Biokombi Rya* Chalmers EnergiCentrum 2007 Rapport nr. CEC 2007:2

Näringsdepartementet 2013

Lagrådsremiss - Kvotplikt för biodrivmedel Näringsdepartementet 2013 <http://www.regeringen.se/sb/d/17070/a/218325>

Rechtin 2013

Mark Rechtin, Automotive News 2013 *Toyota 2015 fuel cell vehicle to cost between \$50,000 and \$100,000* <http://www.autonews.com/apps/pbcs.dll/article?AID=/20130430/OEM06/130439981/toyota-2015-fuel-cell-vehicle-to-cost-between-50000-and-100000#axzz2gZ4OpezC>, senast hämtad 2014-04-22

Reuters 2013

Reuters 2013 *Daimler group to spend \$500 mln on filling stations for fuel-cell cars* <http://www.reuters.com/article/2013/09/30/germany-daimler-fuelcells-fillingstation-idUSL6N0HQ27X20130930>, senast hämtad 2014-04-22

Setterwall et al 2003

Fredrik Setterwall, Victoria Martin, Dmitrey Glebov och Mikael Andersson *Lågtemperaturdriven absorptionskylmaskin* [http://www.effsys2.se/Tidigare%20program/EFFSYS%201/4.%20Kylsystem/L%C3%A5gtemperaturdriven%20absorptionskyla%20\(H1\)/SR-H1-L%C3%A5gtemperaturdriven%20absorptionskyla.pdf](http://www.effsys2.se/Tidigare%20program/EFFSYS%201/4.%20Kylsystem/L%C3%A5gtemperaturdriven%20absorptionskyla%20(H1)/SR-H1-L%C3%A5gtemperaturdriven%20absorptionskyla.pdf)

SFS 1999

Inkomstskattelag (1999:1229)

SFS 2005

"Pumplagen" <http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/20051248.HTM>.

SHHP 2013

H2 Stations <http://www.scandinavianhydrogen.org/h2-stations>, senast hämtad 2014-04-22

Skatteverket, 2014a

Fordonsskatt

<http://www.skatteverket.se/privat/skatter/biltrafik/fordonsskatt.4.18e1b10334ebe8bc80003864.html>

Skatteverket 2014b

Skattebefrielse för biodrivmedel

<https://www.skatteverket.se/foretag/skatter/punktskatter/energiskatter/skattebefrielseforbiodrivmedel.4.2b543913a42158acf800021393.html>

Smith-Bingham 2013

Richard Smith-Bingham 2013, Powerpointpresentation *Risks and risk sharing for refueling infrastructure development, hydrogen roadmap workshop*

http://www.iea.org/media/workshops/2013/hydrogenroadmap/Day2Session2.4SmithBingham_risksandrisksharingRSBfordistribution.pdf, senast hämtad 2014-04-22

SOU 2013:84

Betänkande *Fossilfrihet på väg*

SP Rapport 2014:72

Thomas Berg, *Analys av vätgassäkerhet i tunnlar och undermarksanläggningar : SP Rapport 2014:72*

SPBI

Svenska Petroleum och Biodrivmedelinstitutet

<http://spbi.se/statistik/forsaljningsstallen/forsaljningsstallen-med-fornybara-drivmedel/>, senast hämtad 2014-04-22

Sweco 2012

Consequenses of the sulphur directive

http://www.svensktnaringsliv.se/multimedia/archive/00033/Consequences_of_the_33781a.pdf, senast hämtad 2014-04-22

Svensk Energi a

Henrik Wingfors, Powerpointpresentation 2012 *Vilka utsläpp ger el?*

http://www.stockholm.se/Global/Frist%C3%A5ende%20webbplatser/Milj%C3%B6f%C3%B6rvaltningen/Milj%C3%B6bilar/Dokument/Seminarier%20och%20presentationer/eltransport_20121127/Vilka_utslapp_ger_el_Henrik_Wingfors.pdf, senast hämtad 2014-04-22

Svensk Energi b

Vägledning angående ursprungsmärkning av el

<http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/%C3%96verenskommelser%20och%20avtal/Vagledning-2012-angaende-ursprungsmarkning-av-el.pdf>, senast hämtad 2014-04-22

Svensson 2007

Ann Mari Svensson, Steffen Møller-Holst, Ronny Glöckner och Ola Maurstad *Well-to-wheel study of passenger vehicles in the Norwegian energy system*, Energy 2007, Vol. 32 Sid. 437-445

SVK 2013

SVK Rapport 2013 *Integrering av vindkraft* <http://www.svk.se/PageFiles/54966/20130313-Integrering-av-vindkraft.pdf>, senast hämtad 2014-04-22

Thomas 2009

C.E. Thomas, *Fuel cell and battery electric vehicles compared* International Journal of Hydrogen Energy 2009, Vol. 34 Sid. 6005-6020,

Toyota 2012

TMC Announces Status of Its Environmental Technology Development, Future Plans <http://www2.toyota.co.jp/en/news/12/09/0924.pdf>, senast hämtad 2014-04-22

Toyota 2013a

YAHOO NEWS. 20 nov 2013 *Toyota vows fuel cell model by 2015 in green push* <http://news.yahoo.com/toyota-vows-fuel-cell-model-2015-green-push-085857590--finance.html>, senast hämtad 2014-04-22

Toyota 2013b

Automotive News Toyota predicts big cuts in fuel cell costs <http://www.autonews.com/article/20131014/OEM06/310149959/toyota-predicts-big-cuts-in-fuel-cell-costs#>, senast hämtad 2014-04-22

Trafikanalys 2013

Trafikanalys 2013, *Körsträckor 2012* <http://www.trafa.se/Statistik/Vagtrafik/Korstrackor/Korstrackor-baserade-pa-matarstallningsuppgifter/>, senast hämtad 2014-04-22

Trafikverket 2012

Trafikverket 2012 *Samhällsekonomiska principer och kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 5*

Transportstyrelsen 2014a

<http://www.transportstyrelsen.se/sv/Kontakta-oss/Stall-fragor-lamna-synpunkter-eller-information/Vanliga-fragor-till-Transportstyrelsen/Supermiljobilspremie/>, senast hämtad 2014-04-22

Transportstyrelsen 2014b

Statistik över koldioxidutsläpp 2012 <https://www.transportstyrelsen.se/sv/Press/Statistik/Vag/Statistik-over-koldioxidutslapp/Statistik-over-koldioxidutslapp-20111/>, senast hämtad 2014-04-22

Tschampa 2013

Bloomberg, Dorothee Tschampa 2013, *Daimler Adds Nissan as Partner on Ford Fuel-Cell Project* <http://www.bloomberg.com/news/2013-01-28/daimler-plans-joint-fuel-cell-project-with-nissan-ford.html>, senast hämtad 2014-04-22

UK H₂ Mobility, 2014

<http://www.ukh2mobility.co.uk/the-project/refuelling-infrastructure/>, senast hämtad 2014-05-16

van der Meijden m.fl. 2010

Christiaan M. van der Meijden, Hubert J. Veringa och Luc P.L.M. Rabou *The production of synthetic natural gas (SNG): A comparison of three wood gasification systems for energy balance and overall efficiency* Biomass and Bioenergy 2010, Vol. 34 Sid. 302-311

Wang m.fl. 2012

Yu Wang, Julia Kowal, Matthias Leuthold och Dirk Uwe Sauer *Storage system of renewable energy generated hydrogen for chemical industry* Energy Procedia 2012, Vol. 29 Sid. 657-667

Wei m.fl 2012

Wei Shen, Weijian Han, David Chock, Qinhu Chai och Aling Zhang *Well-to-wheels life-cycle analysis of alternative fuels and vehicle technologies in China* Energy Policy 2012, Vol. 49 Sid. 296-307

Wiberg 2012

Vätgas Sverige 2012, Erik Wiberg *Omvärldsanalys av vätgas i transportsektorn 2011/2012 – Policy i omvärlden och hur den kan appliceras i Sverige*

Wing 2013

Analyst View - Fuel Cell Electric Vehicles: Turns in the Road http://www.fuelcelltoday.com/media/1844538/13-02-13_fcev_turns_in_the_road.pdf, senast hämtad 2013-04-22

Wipke et al. 2012

K. Wipke, S. Sprik, J. Kurtz, T. Ramsden, C. Ainscough och G. Saur *National Fuel Cell Electric Vehicle Learning Demonstration - Final Report* National Renewable Energy Laboratory 2012

Woodrow et al. 2011

Alden Woodrow, Hannah Murnen, Ivor Castelino och Kyle Sandburg *H₂ from H₂O- A market assessment for a catalyst technology that produces hydrogen from water*

Woodyard, 2013

USA today 3 juli 2013, Chris Woodyard <http://www.usatoday.com/story/money/cars/2013/07/02/honda-gm-general-motors-hydrogen-fuel-cells/2481809/>, senast hämtad 2014-04-22

WSP 2013

WSP 2013 *Realiserbar biogaspotential i Sverige år 2030 genom rötning och förgasning*

vti 2014

Sonja Forward och Jonna Nyberg, Förnybara drivmedel – Möjligheter och hinder sett utifrån privatbilisters och aktörers perspektiv, vti Rapport 845, 2014-01

Yazdanie, 2014

Mashaël Yazdanie, Fabrizio Noembrini, Lionel Dossetto och Konstantinos Boulouchos A comparative analysis of well-to-wheel primary energy demand and greenhouse gas emissions for the operation of alternative and conventional vehicles in Switzerland, considering various energy carrier production pathways Journal of Power Sources 2014, Vol. 249 Sid. 333-348

Zaetta, R. och Madden, B. 2010

Next Hylights 2010, R. Zaetta, och B. Madden 2010 *Hydrogen Fuel Cell Bus Technology State of the Art Review Ver 3.1'*

Ytterligare lästips

www.hit-tent.eu

www.hit-2-corridors.eu

SIP Article 1

Towards a comprehensive hydrogen infrastructure for fuel cell electric cars in view of EU GHG reduction targets

Marcel Weeda, Hein de Wilde, Reinhold Wurster, Ulrich Bünger, Geert Schaap, Cecilia Wallmark and Floris Mulder, 2014-09-29

Larsson et al., 2014

Mårten Larsson, Farzad Mohseni, Cecilia Wallmark, Stefan Grönkvist, Per Alvfors 2014, *Energy system analysis of the implications of hydrogen fuel cell vehicles in the Swedish road transport system, WHEC 2014*

Nyman, 2013

Joakim Nyman 2013, *Bränsleceller - en sammanfattande översikt från ett elektromobilitetsperspektiv* Swedish ICT, Viktoria, Omvärldsanalys 6

Bergman et al, 2013

Sten Bergman, StonePower AB, Helena Berg och Peter Georén *Kostnadsutveckling hos batterier och bränsleceller fram till 2025 en sammanställning*

Svensson, 2013

Oscar Svensson 2013, examensarbete LTH, *Strategier för vätgasframtider*

Hedström et al., 2006

Lars Hedström, Maria Saxe, Anders Folkesson, Cecilia Wallmark, Kristina Haraldsson, Mårten Bryngelsson and Per Alvfors *Key Factors in Planning a Sustainable Energy Future Including Hydrogen and Fuel Cells* Bulletin of Science Technology Society 2006, Vol. 26 Sid. 264-277

Föreslagna mottagare av rapportens slutsatser

Denna rapport bör helt eller delvis spridas till bla följande grupper [enligt resultat från HIT Workshop 2] de markerade med *) är prioriterade:

- Politiker*
 - Infrastrukturminister
- Myndigheter
 - Energimyndigheten
 - Trafikverket
 - Transportstyrelsen
- Journalister
- Kommuner*
- Fordonsägare
 - Flottor
- Allmänheten
- Företag
 - Energibolag
 - Tillverkare
 - Transportbolag
- Europa
 - Andra projekt
- Experter/sakkunniga
 - Exempelvis utredare åt regering/departement

Tips från EU/TEN-T-projektledningen gällande spridning av slutsatserna från denna rapport:

1. Representatives of the involved national ministries (ideally of: -Transport, - Economic Affairs, -Finances)
2. Representative of the TEN-T EA
3. Representative of the ISP
4. National TEN-T coordinator
5. HIT coordinator and NIP coordinators other countries
6. The national H₂ producers
7. H₂ station builders
8. H₂ stations operators
9. OEM representatives: -FCV busses and -City distribution vehicles
10. OEM representatives: -FCV passenger cars
11. Representatives of (national) Regions or Municipalities which are engaged in the implementation of H₂
12. Lease companies
13. Car user organisations
14. National H₂ research organisations
15. National environmental organisations