



Vestlandsforskning

Boks 163, 6851 Sogndal

Tlf. 57 67 61 50

Internett: www.vestforsk.no

VF-notat 3/05

Ikke-teknologiske barrierer for hydrogen som energibærer i transport

Av

Otto Andersen

VF notat

Notat tittel: Ikke-teknologiske barrierer for hydrogensom energibærer i transport	Notat nr: 3/05
	Dato: Februar 2005
	Gradering: Åpen
Prosjekttittel: HyNor – Hydrogenveien i Norge	Tal sider:
Forskarar: Otto Andersen	Prosjektansvarleg: Erling Holden
Oppdragsgjevar: Stor-Oslo Lokaltrafikk	Emneord: hydrogen, transport, ikke-teknologiske barrierer
Samandrag: Notatet gir en presentasjon av ikke-teknologiske barrierer knyttet til bruk av hydrogen i transport. Det er gjort en systematisering av ulike typer ikke-teknologiske barrierer, basert på en gjennomgang av tidligere utførte og pågående prosjekter. Rapporten gir således en presentasjon av hvordan temaet ikke-teknologiske barrierer for hydrogen i transport er behandlet, både nasjonalt og internasjonalt.	
Andre publikasjonar frå prosjektet:	
ISBN nr: ISSN: 0804-8835	Pris : Kr 100,-

Forord

Dette er en kunnskapsrapport om ikke-teknologiske barrierer for hydrogen som energibærer i transport. Arbeidet er begrenset til transportanvendelser av hydrogen, slik at spesifikke barrierer knyttet til stasjonær hydrogenbruk ikke er inkludert. Det er gjort en systematisering av ikke-teknologiske barrierer, basert på en gjennomgang av en rekke tidligere utførte og pågående prosjekter. Rapporten gir således en presentasjon av hvordan temaet ikke-teknologiske barrierer for hydrogen i transport er behandlet, både nasjonalt og internasjonalt.

Arbeidet utgjør en start på en samlet studie over prosjekter som peker på viktigheten av ikke-teknologiske barrierer knyttet til hydrogen i transport.

Otto Andersen har stått for gjennomføringen av arbeidet og utarbeidelsen av notatet.

Erling Holden har vært faglig hovedansvarlig for arbeidet.

Vestlandsforskning
Sogndal, februar 2005
Erling Holden

Innhold

1.	Hva gjøres i dette notatet?	1
2.	Innledende om barrierer for hydrogen i transport	1
2.1.	Dimensjon 1	2
2.2.	Dimensjon 2	3
3.	Delsystem: Hydrogenproduksjon og -distribusjon.....	6
3.1.	Sikkerhetsaspekter.....	6
3.2.	Miljøkonsekvenser	6
3.3.	Regelverk / manglende regelverk.....	9
3.4.	Høye kostnader.....	9
3.5.	Manglende publikumsaksept.....	10
3.6.	Andre ikke-teknologiske barrierer	11
4.	Delsystem: Kjøretøy-produksjon	11
4.1.	Miljøkonsekvenser	11
4.2.	Høye kostnader.....	12
5.	Delsystem: Transportsystemet	16
5.1.	Sikkerhetsaspekter.....	16
5.2.	Miljøkonsekvenser	17
5.3.	Regelverk / manglende regelverk.....	17
5.4.	Manglende publikumsaksept.....	18
5.5.	Høye kostnader.....	19
6.	Prosjekter om ikke-teknologiske barrierer, på tvers av tredelingen i 1. dimensjon	22
6.1.	HySociety	22
6.2.	EoI utformet av IEF E Istituto di Economia	23
6.3.	HyWays	24
6.4.	Nordic Hydrogen Foresight.....	24
6.5.	L-B-Systemtechnik studier.....	25
6.6.	Sosiologiske studier.....	30
7.	Oppsummering	31
8.	Forslag til videre arbeid.....	34
9.	Referanser.....	35
10.	Kontaktpersoner	38

1. Hva gjøres i dette notatet?

Notatet presenterer resultatene fra en analyse av ikke-teknologiske barrierer knyttet til anvendelse av hydrogen i transport. Dette gjøres på to måter.

- Det lages en systematikk for ikke-teknologiske barrierer, basert på tidligere og pågående studier og prosjekter.
- Det etableres kunnskap om prosjekter og studier som avdekker og kartlegger ikke-teknologiske barrierer.

De to oppgavene er utført ved at vi har forsøkt å finne fram til studier som omhandler barrierer knyttet til de ikke-teknologiske systemkomponentene, samt at vi har vurdert hva som kan sies om samspill mellom teknologiske og ikke-teknologiske barrierer. For dette har vi som basis i vesentlig grad benyttet oss av arbeider som Vestlandsforskning tidligere har utarbeidet om teknologiske barrierer og økonomiske aspekter knyttet til anvendelse av hydrogenenergi i transport (Andersen, 2003; 2004). I tillegg er det gjort en gjennomgang av tidligere og pågående studier som omhandler ikke-teknologiske barrierer for anvendelse av hydrogen i transport.

2. Innledende om barrierer for hydrogen i transport

”International Partnership for the Hydrogen Economy” (IPHE) ble etablert i 2003. 15 land og Europakommisjonen deltar i dette partnerskapet. IPHE fokuserer på fellesinteresser og hindringer knyttet til en hydrogenøkonomi, innen områdene forskning, utvikling og demonstrasjonsprosjekter, hydrogen politikk og reguleringer, og kommersialisering av hydrogenbaserte energiteknologier.

IPHE sin komité for implementering og kontaktbygging har utarbeidet et såkalt ”scoping paper” for å sikre bedre betingelser for forskningsprogrammer, identifisere prioriteter og potensielle barrierer som må overkommes for utviklingen av hydrogenteknologier. En viktig del av dette dokumentet omfatter ikke-teknologiske barrierer knyttet til hydrogen implementering (Moisan, 2004). I dokumentet blir det fremhevet at samfunnsmessige aspekter må inkluderes på et tidlig stadium i forskning og utvikling knyttet til en overgang til hydrogenøkonomi. Især understrekes to tema:

- Analyse av interessenters handlinger (”stakeholder behaviour”) og strategi mot hydrogenenergi-teknologier for å forstå og handle i forhold til potensielle ”allierte” og ”opponenter”
- Analyse av betingelser for aksept hovedsakelig gjennom faktiske utprøvinger. På denne måte bør sosiologisk analyse ledsage alle demonstrasjonsprosjekter og rapporteres.

Dette bidrar til at det er viktig å få mer kunnskap om barrierene tilknyttet hydrogenimplementering. Vårt arbeid inngår i en større etablering av et rammeverk for studier av slike ikke-teknologiske barrierer.

Når vi skal analysere barrierer for hydrogenenergi tar vi utgangspunkt i livsløps- eller energikjede-tilnærminger. Dette innebærer at det kan være barrierer knyttet til alle ledd fra der energikilden produseres fram til der den omdannes til mekanisk energi i framdriften av

transportmidlenes hjul. Den nyere internasjonale termen for slike analyser er *Well to Wheel*, fra brønn til hjul. Det er en term vi anvender under forkortelsen *WTW-analyser*. WTW-analyser er en egnet inngang til systematiske analyser og vurderinger av økonomiske og samfunnsmessige barrierer, altså såkalte ikke-teknologiske barrierer. Slike analyser er en nødvendig forutsetning for å klarlegge hvilke former for teknologiutvikling, politikk og virkemidler som kreves for å overvinne barrierene, dvs for å klarlegge vilkårene for en bredere samfunnsmessig implementeringsprosess av alternativene. Denne typen systemstudier, for hydrogenbasert brenselcelleteknologi i transportsektoren og med basis i WTW-analyser har blitt gjennomført av Vestlandsforskning i flere år, bl.a. gjennom det strategiske instituttprogrammet for Norges forskningsråd som kombinerer teknologisk og samfunnsvitenskaplig disiplinkunnskap, EU-prosjektet HyWays om et Europeisk "veikart" for hydrogen, og i prosjektet HyNor – Hydrogenveien i Norge.

2.1. Dimensjon 1

Barrierer knyttet til storskala demonstrasjonsprosjekter med hydrogenenergi i transport kan analyseres som hindringer og utfordringer relatert til det som *Hughes* (1983, 1999) betegner som *teknologiske systemer*. I følge hans studier inneholder de teknologiske systemene uryddige og komplekse problemløsningskomponenter, som er både skapt av samfunnet og er med på å forme samfunnet. Men dette innebærer ikke at de kun er samfunnsmessige systemer. Blant komponentene finnes også fysiske artefakter; i vårt case batterier, brenselceller og elektriske motorer. Hughes kaller disse for tekniske systemkomponenter. Men de teknologiske systemene inkluderer også bilindustri, energiselskaper, forskningslaboratorier og -institutter, konsulenter og miljøorganisasjoner. Storskala demonstrasjonsprosjekter med hydrogenenergi i transport kan betraktes å utfordre tre slike teknologiske systemer. De er:

- *Hydrogenproduksjon- og distribusjonssystemet*
- *Kjøretøy-produksjonssystemet*
- *Transportsystemet*

De tre hovedsystemene i denne inndelingen, som representerer 1. dimensjon i vår systematikk, er selvsagt tett sammenbundet, og de møter hverandre i demonstrasjonsprosjektene organisering og implementeringsstruktur. Men de kan likevel bli tilnærmet og analysert som separate teknologiske systemer. Alle tre er på ulike måter både skapt av samfunnet og de er med på å forme samfunnet, og består av ulike teknologiske og ikke- teknologiske systemkomponenter.

Hydrogenproduksjon- og distribusjonssystemet består av samfunnsmessig infrastruktur knyttet til produksjon av energibæreren hydrogen fra ulike energikilder. Dette omfatter elektrolyse drevet med elektrisitet fra fornybare kilder som vannkraft, sol, eller vind. Det kan også omfatte utnyttning av ikke-fornybare energiresurser som ved for eksempel dampreforming av naturgass. I tillegg inkluderes systemene knyttet til distribusjon av hydrogenet fram til transportanvendelsen (kjøretøyene ved fyllstasjonen).

Kjøretøy-produksjonssystemet består av prosessene og samfunnsmessig infrastruktur knyttet til utvikling og produksjon av ulike typer hydrogenbaserte kjøretøy. Dette inkluderer forskning knyttet til utvikling av ulike komponenter i hydrogenkjøretøy, for eksempel hydrogenbaserte

bremselceller, hydrogenbaserte forbrenningsmotorer, systemer for lagring av hydrogen om bord i kjøretøyene.

Transportsystemet utgjøres av komponentene av samfunnet som inngår i anvendelsen av hydrogen som drivstoff i transport. Dette omfatter i første rekke anvendelsen av kjøretøyene som benytter hydrogen som energibærer. Men transportsystemet omfatter også den tilknyttede infrastrukturen som gjør det mulig å anvende hydrogen i kjøretøyene. Dette inkluderer verksteder, parkeringsanlegg etc.

Dette arbeidet er i hovedsak begrenset til ikke-teknologiske barrierer knyttet til implementering av hydrogenenergi i transport. Vi behandler således ikke-teknologiske barrierer knyttet til hvert av de tre hovedsystemene (1. dimensjon). Dette innebærer at vi *ikke* omtaler de rene teknologiske barrierer knyttet til implementering av hydrogenenergi i transport. Men vi ser imidlertid på om det er samspill mellom de teknologiske og de ikke-teknologiske barrierene.

2.2. Dimensjon 2

2. dimensjon i vår systematikk består av en inndeling i ulike typer ikke-teknologiske barrierer som kan knyttes til hver av de tre hovedsystemene i 1. dimensjon. Disse barrierene kan vi inndeles i følgende kategorier:

- Sikkerhetsaspekter
- Miljøkonsekvenser
- Regelverk / manglende regelverk
- Politikk / manglende politisk enighet
- Høye kostnader
- Manglende publikumsaksept
- Andre

Sikkerhetsaspektene knyttet til hydrogenenergi utgjør de mest åpenbare ikke-teknologiske barrierene. Dette er bunnet i flere forhold. For det første er hydrogengassen eksplosiv. Den kalles da også knallgass, ettersom den over en viss konsentrasjon i luft reagerer eksplosivt med oksygen. I tillegg assosieres hydrogen med hydrogenbomber og ulykken med luftskipet Hindenburg i 1937¹ og romferga Challenger i 1986. Dette medfører at det blir satt stor fokus på sikkerhet knyttet til bruk av hydrogen som drivstoff. Standarder for sikkerhet blir for eksempel i EU's "High Level Group for Hydrogen and Fuel Cell Technologies fremhevet som en viktig ikke-teknologisk barriere (EC, 2003). I dette notatet blir det redegjort for sikkerhet som barriere knyttet til de 1. dimensjon-systemene hvor denne barrieren er fremtredende.

Miljøkonsekvenser som barriere for hydrogenenergi kan inndeles i tre hovedkategorier:

¹ Det blir hevdet at Hindenburg ulykken ikke var en hydrogen-eksplosjon, men at ulykken ble forårsaket av brann i den svært lettantennelige malingen som dekket overflaten på luftskipet (Schmidtchen, 2002).

1) Ressurstilknyttede miljøkonsekvenser.

De ressurstilknyttede miljøkonsekvensene er knyttet til energibruk og materialbruk i de ulike teknologiske systemene i 1. dimensjon. Høyt WtW energibruk ved noen hydrogenkjeder, samt utarming av jordskorpens innhold av knappe materialressurser som f.eks. edelmetaller som platina og palladium representerer denne formen for miljøkonsekvenser.

2) Forurensingstilknyttede miljøkonsekvenser.

Forurensingstilknyttede miljøkonsekvenser omfatter i første rekke klimagassutslipp i form av utslipp av CO₂ fra utnyttelse av ikke-fornybare energiressurser, men også utslipp av andre klimagasser som fluorokarboner, metan og lystgass fra en rekke andre kilder. I tillegg kommer utslipp av forurensing med lokal og regional betydning, som kan være tilknyttet de ulike teknologiske systemene i 1. dimensjon. Et eksempel er ved utvinning av platina til bruk i elektroder, en utvinning som resulterer i store mengder forurenset gruveslam og grunnvann. Benyttes kjernekraft for å produsere elektrisiteten som driver vannelektrolysen er barrierene i form av fare for spredning av radioaktivitet, både til luft ved ulykker.

3) Arealtilknyttede miljøkonsekvenser.

Vannkraftutbygging er et eksempel hvor store arealer berøres, et annet er vindmølleparker, et tredje er bioenergi-baserte systemer, og et fjerde er større systemer for oppfangning av solenergi.

Regelverk / manglende regelverk trekkes fram som en viktig ikke-teknologisk barriere i NOU 2004:11 "Hydrogen som fremtidens energibærer". Dette er spesielt knyttet til sertifisering av teknologi og løsninger:

"I dag opplever man at regelverk og standarder for produksjon og bruk av hydrogen er svært forskjellige fra land til land, i den grad det i det hele tatt eksisterer. Ulike regelverk kan både være et hinder i kommersialisering, men også et middel for konkurransevidning."
(NOU, 2004:11, s.74)

Det heter videre:

"Regelverk og sikkerhetsproblematikk knyttet til lagring og håndtering av hydrogen er også en barriere som må håndteres parallelt med utviklingen av ny lagringsteknologi. Dette er dessuten sentrale temaer for utviklingen av markeder på hydrogenområdet og hvilke teknologier som vil kunne vinne frem. Regelverk og sikkerhet er derfor områder hvor det er viktig å ta del i det internasjonale arbeidet allerede nå."
(NOU, 2004:11, s.75)

Det konkluderes i NOU 2004:11 med at fremskynding av den internasjonale utviklingen innen internasjonal harmonisering av standarder og regelverk for hydrogenbruk vil være et viktig bidrag til fjerning av en betydelig barriere som ellers vil kunne forsinke introduksjon av miljøvennlig nullutslippsteknologi for transportsektoren med mange år. Mangel på felles regelverk og standarder for sikkerhet (som også gir muligheter for forsikring) utgjør en viktig institusjonell barriere.

Politikk / manglende politisk enighet har stor betydning for bruken av alternative drivstoffer generelt. Manglende politisk enighet om energipolitikk kan betraktes som en barriere, mens det finnes flere eksempler hvor energipolitisk enighet har hatt stor betydning for økt bruk av alternative drivstoffer. Spesielt nasjonal energipolitikk har hatt stor betydning. Dette kan eksemplifiseres ved den store satsingen på etanol i Brasil, hydrogen på Island, og biodrivstoff

(etanol og biogass) i Sverige. Nasjonal energisikkerhet og politisk enighet om å gjøre landene uavhengig av energiimport har vært viktige faktorer bak disse satsingene. Men også EU-politikk i form av virkemidler som set-aside politikk for energivækster, biodrivstoffdirektivet² og EU Energy Research Policy er viktige strategier for å overvinne barrierene mot økt bruk av alternative drivstoffer.

Høye kostnader framtrer i dag som en av de aller vesentligste barrierene for bruk av hydrogenenergi i transport. Vi har vist tidligere at dette gjelder både for hydrogenproduksjon, hydrogendistribusjon, kjøretøy og anvendelsen av hydrogenet (Andersen, 2003). Kostnadene er en svært viktig barriere spesielt for kjøretøyene som baserer seg på brenselcelledrift, men også produksjonskostnadene for hydrogen trenger å komme ned betydelig før implementeringen kan skje i vesentlig skala. I notatet blir kostnadene som barriere derfor viet relativt stor oppmerksomhet og i detaljert form for hver av de tre delsystemene hydrogenproduksjon, hydrogendistribusjon, kjøretøy og anvendelsen av hydrogenet.

Manglende publikumsaksept er en viktig ikke-teknologisk barriere, som gjenspeiler sikkerhetsproblematikken knyttet til bruk av hydrogen. Dette påpekes i NOU 2004:11 hvor manglende brukeraksept og kunnskapsmangel hos beslutningstakere og hos publikum blir betraktet som en viktig barriere. Det heter her at:

”Brukernes usikkerhet i forhold til å ta i bruk ny teknologi må adresseres.”
(NOU 2004:11, Vedlegg 2, s.8)

Zero peker i sitt hydrogennotat på at manglende offentlig aksept er en viktig barriere (Palm et al., 2003). Det påpekes at publikumsaksept for hydrogen som en sikker og funksjonell løsning er nødvendig, samt at offentligheten ikke har god nok forståelse for at det kreves radikale endringer på drivstoffsidene for å imøtekomme energi- og miljøutfordringene knyttet til transport. Det hevdes at hydrogen kan representere et viktig bidrag i denne sammenheng. Det pekes videre på manglende offentlig forståelse for behovet for alternativer til dagens konvensjonelle drivstoff, og manglende aksept for at langsiktig satsing på hydrogen krever at det iverksettes tiltak ut over det som kan oppnås med dagens tradisjonelle virkemidler.

Europakommisjonen lister opp følgende viktige ikke-teknologiske barrierer som må overvinnnes for at hydrogen skal implementeres i større skala (EC, 2004):

- Manglende oppmerksomhet hos publikum
- Mangel på harmoniserte standarder og praksis
- Mangel på rettslige og finansielle incentiver som f.eks. internalisering av kostnader.
- Mangel på sosioøkonomisk kunnskap om endrede industrielle strukturer
- Usikkerhet om krav til menneskelige ressurser og utdanningssystemene

I dette notatet omtales publikumsaksept knyttet til de 1. dimensjon-systemene hvor denne barrieren er fremtredende.

Andre ikke-teknologiske barrierer i 2. dimensjon av systematikken omfatter manglende infrastruktur for hydrogen, usikkerhet om hvilke markedsvolum som kan forventes m.m.

² Direktivet om økt bruk av biodrivstoff i transport (Directive 2003/30/EC) innebærer at EU-landene skal erstatte 2 % av mineraloljebasert drivstoff med biodrivstoff i løpet av 2005, økende til 5,75 % i 2010.

Ved å kombinere de to dimensjonene av ikke-teknologiske barrierer får vi således følgende matrise for vår analyse:

	Delsystem: <i>H₂-produksjon- og distribusjon</i>	Delsystem: <i>Kjøretøyproduksjon</i>	Delsystem: <i>Anvendelse av H₂ i transportsystemet</i>
Sikkerhetsaspekter			
Miljøkonsekvenser			
Regelverk / manglende regelverk			
Politikk / manglende politisk enighet			
Høye kostnader			
Manglende publikumsaksept			
Andre			

I oppsummeringskapitlet (Kap. 6) er matrisen fylt ut med ulike prosjekter som omhandler barrierene i de to dimensjonene. En versjon av matrisen er også fylt ut med de ulike barrierene som kan identifiseres med inndelingen i de to dimensjonene som utgangspunkt.

3. Delsystem: Hydrogenproduksjon og -distribusjon

3.1. Sikkerhetsaspekter

For systemer for kombinert produksjon og distribusjon av hydrogen i en hydrogenfyllstasjon og for generelle hydrogenfyllstasjoner har EIHP vurdert dispenserens som det delsystemet hvor det er knyttet størst helse-, miljø- og sikkerhetsrisiko til (Selmer-Olsen, 2004; Nilsen mfl., 2003). Det blir fremhevet at opplæring av personell som betjener dispenserens er en strategi som kan redusere risikoen betydelig.

3.2. Miljøkonsekvenser

Selv om hydrogen som drivstoff ofte blir omtalt som en nullutslippsteknologi betyr ikke det at det ikke kan knyttes miljøkonsekvenser til en overgang til hydrogensamfunnet. Spesielt for produksjonen og distribusjonen av hydrogen kan miljøkonsekvenser vise seg å utgjøre vesentlige barrierer. Dette kan omfatte alle tre kategoriene miljøkonsekvenser; ressurstilknyttede, forurensningstilknyttede og arealtilknyttede.

Ressurstilknyttede miljøkonsekvenser

Er hydrogenproduksjonen basert på dampreforming av naturgass eller raffinering av mineralolje er framtidig knapphet på petroleumsbaserte energiresurser en begrensning for langsiktigheten av en hydrogenproduksjon basert på disse kjedene.

Også for hydrogenproduksjon basert på elektrolyse av vann kan det pekes på ressurstilknyttede miljøkonsekvenser. Høyt elektrisitetsbruk til å drive elektrolysen er spesielt problematisk hvis elektrisiteten er produsert fra ikke-fornybare energiresurser som kull, kjernekraft, fossil olje og naturgass. Framtidig knapphet på ikke-fornybare energiresurser utgjør således en barriere på sikt også for denne teknologien.

Distribusjonen av hydrogen kan også gi ressurstilknyttede miljøkonsekvenser, spesielt ved store sentraliserte systemer for hydrogenproduksjon. Transport av hydrogengass over lange avstander med tankbiler kan bidra til svært høyt WtW energibruk. Den store energibruken ved veibasert transport av hydrogen kan således betraktes som en barriere for hydrogenproduksjon i sentraliserte systemer. En strategi for å overvinne denne barrieren er isteden å utvikle desentraliserte systemer med kombinert hydrogenproduksjon og fyllestasjon, slik som det for eksempel gjøres i Reykjavik (*Figur 1*) og Stockholm (*Figur 2*).

Figur 1 Kombinert hydrogenproduksjon og fyllestasjon i Reykjavik



Figur 2 Kombinert hydrogenproduksjon (til venstre) og fyllestasjon (til høyre) i Stockholm



Forurensingstilknyttede miljøkonsekvenser

For en hydrogenproduksjon som baserer seg på fossile energiresurser, enten direkte gjennom reformering av naturgass, eller indirekte ved produksjon av elektrisitet til vannelektrolyse, omfatter forurensingstilknyttede miljøkonsekvenser i første rekke klimagassutslipp i form av utslipp av CO₂. Deponering av CO₂ for å hindre utslipp til atmosfæren er det fremdeles knyttet stor usikkerhet til, og mangelen på forsvarlig håndtering som ikke gir bidrag til klimagassutslipp er en barriere for denne teknologien.

For distribusjon av hydrogen, spesielt ved sentraliserte produksjonssystemer, som også påpekt i avsnittet om ressursbaserte miljøkonsekvenser ovenfor, er luftforurensing fra transporten å betrakte som en viktig barriere. Dette er spesielt framtreddende for veibasert transport av hydrogen, men også transport med tankskip kan vi betydelige luftforurensinger. Dette gjelder både i form av utslipp av klimagasser, men også utslipp av forurensing med regionale og lokale konsekvenser.

En annen av de forurensingstilknyttede miljøkonsekvensene ved hydrogenproduksjon som må kunne betraktes å utgjøre en vesentlig barriere oppstår når det benyttes kjernekraft for å produsere elektrisiteten som driver vannelektrolysen. Barrieren utgjøres av fare for spredning av radioaktivitet, både til luft ved ulykker (f.eks. Chernobyl, Three Mile Island) og til den faste jord ved avfallsdeponering, samt til vann ved avfallshåndtering (f.eks. Sellafield). I tillegg inngår i denne energikjeden den økende bruk av utarmet uran i krigsammunisjon (Gulf-krigen i 1991, Kosovo i 1999, Irak i 2004) som gir betydelige og langvarige konsekvenser for helse og miljø.

Arealtilknyttede miljøkonsekvenser

En overgang til større anvendelse av hydrogenenergi vil kunne legge press på økt anvendelse av vannkraft som kilde til elektrisitet for elektrolysebasert hydrogenproduksjon. Økt vannkraftutbygging er et eksempel på en arealtilknyttet miljøkonsekvens som således kan komme til å utgjøre en enda viktigere framtidig barriere i Norge.

I mange andre land, men også i Norge, er overgangen til hydrogensamfunnet koblet mot en stor utbygging av vindkraft, for å benytte fornybar elektrisitet til vannelektrolyse i hydrogenproduksjonen. Dette er ikke problemfritt og det er motstand i deler av befolkningen, bl.a. i Norge, mot storstilet satsing på vindkraft ("vindmølleparker"). Man kan således snakke

om en ikke-teknologiske barriere i form av slik motstand, som er bunnet i landskapsforringelse, støygenerering og infrastruktur med bl.a. anlegging av tilkomstveier.

Hydrogenproduksjon basert på vannelektrolyse drevet av bioenergi legger også beslag på store arealer som også kan ha andre aktuelle anvendelsesformål. Spesielt dyrking av energivekster for bioenergiproduksjon er en arealintensiv aktivitet. Den barrieren som det store arealbehovet utgjør for bioenergi vil kunne overvinnes ved strategier som heller retter seg inn på anvendelse av avfall som ressursgrunnlag.

En storstilet utbygging av systemer hydrogenproduksjon basert på vannelektrolyse drevet av solenergi legger også beslag på store landarealer. Dette er spesielt tilfelle i land og regioner med få soldager, hvor større arealer med solfangere er nødvendig for å fange inn solenergien.

3.3. Regelverk / manglende regelverk

Knyttet til produksjon- og distribusjonssystemene for hydrogen blir aksepterte koder og standarder for godkjenning i "High Level Group for Hydrogen and Fuel Cell Technologies" fremhevet som en viktig ikke-teknologisk barriere (EC, 2003).

EU-prosjektet EIHP (European Integrated Hydrogen Project) fokuserer i hovedsak på lovgivning og regelverk knyttet til hydrogenkjøretøyer, men inkluderer også hydrogen infrastruktur som f.eks. fyllestasjoner. EIHP1 (1998-2000) gjennomførte en analyse av regelverk i ulike Europeiske land og identifiserte behovene for harmoniserte standarder og regelverk. Som en del av EIHP2 (2001-04) lagde Hydro en oversikt over koder og standarder som inkluderte hydrogen og tilknyttet infrastruktur i form av lagrings- og fyllesystemer (Hugstmyr, 2003). En egen rapport om standarder og reguleringer knyttet til fyllestasjoner for hydrogengass ble utarbeidet av Air Liquide, Air Products, BP, DNV, Linde, Norsk Hydro, Shell Hydrogen og Vandenborre Hydrogen Systems (EIHP2, 2004).

Manglende standarder på området hydrogeninfrastruktur blir også av Zero fremhevet som en viktig barriere (Palm et al., 2003).

Koder og standarder knyttet til implementering av infrastruktur for hydrogen er en av de ikke-teknologiske barrierene som HySociety-prosjektet behandler.

HyNor har en egen gruppe for infrastruktur/fyllestasjon som skal klargjøre hvilke regler, retningslinjer og erfaring som er relevant for etablering av hydrogen fyllestasjoner i Norge. Målsetningen er å utvikle en "ABC for etablering av hydrogen fyllestasjoner i Norge".

3.4. Høye kostnader

I Bellona-rapporten "Hydrogen – status og muligheter" omtales høy pris på hydrogenutstyr som en av de viktigste barrierene (Kruse et al., 2002).

Prismessig konkurranse fra andre alternative drivstoffer i markedet nevnes som en viktig barriere av Bellona (Kruse et al., 2002). Metanol og naturgass trekkes fram spesielt, og betraktes som alvorlige barrierer og ikke som det blir hevdet fra mange hold at de kan fungere

som brobyggere inn i hydrogensamfunnet. Dette pga at de ikke bidrar til vesentlig reduksjon av klimagassutslippene. Spesielt ille er dette ved naturgassen som faktisk kan øke disse utslippene bl.a. pga at noe uforbrent metan slippes ut i eksosen. Metan er som kjent en kraftig drivhusgass.

Kostnadmessig konkurranse og usikkerhet trekkes fram av Zero (Palm et al., 2003). Den store usikkerheten knyttet til hydrogenkostnader blir betraktet som en barriere i dag. Dette er bundet i de mange ulike typene nye energibærere som er aktuelle, samt spørsmålet om hva som alene kan oppnåes med forbedringer av konvensjonelle drivstoff og drivverk.

En studie gjort i USA av Thomas et al. (1998b) viser at hvis hydrogen skal kunne produseres til en pris som er konkurransedyktig med bensinbilers drivstoffkostnad må dette skje i storskala anlegg for dampreforming av naturgass. Dette krever imidlertid at anleggene er lokalisert nær kilder for billig naturgass. Fra slike anlegg vil det kunne være mulig å produsere hydrogen til en pris på 3 USD/kg, som ville gi drivstoffkostnader for en brenselcellebil av type Ford AIV Sable i samme prisområde som for en sammenlignbar bensindrevet bil. At et slikt anlegg skal kunne produsere hydrogen til en så lav pris krever imidlertid at minst 5.400 biler fyller hydrogen ved anlegget. Studien påpeker at det trolig vil gå svært mange år før så mange brenselcellebiler vil kunne finnes i nærheten av et enkelt storskala anlegg. Utplasserte produksjonsanlegg er derfor å foretrekke, men kostnadene per produsert hydrogenmengde blir vesentlig større for småskala anlegg. Et anlegg som betjener 360 brenselcellebiler vil for eksempel ikke kunne produsere hydrogen til en pris lavere enn 11 USD/kg, som tilsvarer tre ganger de gjennomsnittlige drivstoffkostnadene for en bensindrevet bil. I følge beregninger på kostnader ved masseproduksjon av småskala elektrolyse- og dampreformeringsanlegg vil utplassering av slike anlegg imidlertid kunne bringe kostnadene ned mot konkurransedyktig nivå i forhold til bensinbiler.

Studien "The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?" representerer et relativt kritisk syn på mulighetene for å etablere en "hydrogenøkonomi" (Bossel et al., 2003). Studien er basert på de WtW-begrensningene molekylært hydrogen har som et økonomisk alternativ i energimarkedet. Studien konkluderer med at kostnadene på energibruken knyttet til produksjon, oppbevaring (innpakning) og lagring, distribusjon (transport og levering) av hydrogengass er så store at det blir nødvendig å finne andre løsninger. Kostnadene fremhves således som den største barrieren for at hydrogen kan konkurrere i markedet mot andre alternative drivstoff som for eksempel etanol, metanol og dimetyleter (DME).

3.5. Manglende publikumsaksept

Manglende publikumsaksept har vært en av faktorene som har bidratt til problemene knyttet til fyllestasjonen for hydrogen i CUTE-prosjektet i London. Protester fra naboer i nærområdene til hydrogenfyllestasjonen gjorde at prosjektet ble betydelig forsinket. Den langvarige prosessen mot godkjenning startet i 2001 og pågikk helt fram til byggestart for november 2004. Prosessen er beskrevet av Boyd (2004). Her går det fram at motstanden mot plasseringen av fyllestasjonen ikke ble tatt godt nok hensyn til i planprosessen. Klagene fra publikum omfattet:

- Arealet for planlagt fyllestasjon var grøntområde

- Skjemmende gjerder og belysning
- Frykt for ulykker. Hydrogenstasjonen ble i lokalavisene assosiert med Hindenburg og hydrogenbomber

Forsinkelsen i godkjenning av lokaliseringen førte til at en midlertidig fyllestasjon måtte tas i bruk for å starte busskjøringen i januar 2004. En av hovedlærdommene fra London-prosjektet er at manglende publikumsaksept hos lokalbefolkningen er en svært viktig barriere for etablering av hydrogenfyllestasjoner. Kun lokaliseringer hvor naboene er udelt positive bør vurderes. Er det allikevel slik at positiv aksept ikke er tilstede må dette arbeides med gjennom en møysommelig prosess som inkluderer folkemøter og informasjonskampanjer.

3.6. Andre ikke-teknologiske barrierer

I sitt hydrogennotat fra 2003 om miljøegenskaper, status og utfordringer viser Zero til manglende infrastrukturløsninger for hydrogen som en vesentlig barriere (Palm et al., 2003). Det vises til at det i dag ikke eksisterer infrastruktur for en bred anvendelse av hydrogen i transportsektoren, og denne må bygges opp over tid. Det påpekes at en trinnvis utbygging av hydrogenforsyningen representerer en betydelig utfordring knyttet til blant annet usikker kapasitetsutnyttelse i oppbyggingsfasen. Usikkerheten knytter seg til hvordan man kan sikre samfunnet en etablering av nødvendig infrastruktur for hydrogen. Dette er igjen knyttet til usikkerhet om når ulike markedsvolum av hydrogendrevne kjøretøy oppnås.

4. Delsystem: Kjøretøy-produksjon

Spesielt knyttet til produksjonssystemer for kjøretøy er det ofte vanskelig å skille sterkt mellom ikke-teknologiske og teknologiske barrierer. Det kan derfor heller være fornuftig å karakterisere disse barrierene ved større eller mindre grad av teknologisk fokusering. I dette kapitlet beskrives barriere knyttet til kjøretøyenes systemer for produksjon fram til ferdigstilling. Dette innebærer at kostnadene for kjøp av de ferdige kjøretøyene er inkludert og beskrevet her.

4.1. Miljøkonsekvenser

Til økt produksjon av brenselcellekjøretøy kreves økte mengder platinametaller til elektrodene i brenselcellene. Dette vil kunne medføre flere typer miljøproblemer. Ressurstilknyttede miljøproblemer er åpenbare ettersom platinametallene, som omfatter ruthenium, rhodium, palladium, osmium, iridium og platina, finnes kun i små mengder i naturen. Det skjer i dag utvinnig fra berggrunn med platinakonsentrasjon helt ned til 7 ppm. Frosch og Gallopoulos (1989, s. 99) viser til at det er nødvendig med et uttak av omtrent 20 millioner tonn masse for å produsere de 140 tonn rensed platina som nå brukes i USA per år. Utvinning av platina medfører derfor inngrep i store landområder og forflytning av store mengder masse, med andre ord store arealtilknyttede miljøproblemer. I tillegg og bidrar platinautvinningen til forurensningstilknnyttede miljøproblemer ved at det genereres millioner av tonn forurenset gruveslam og grunnvann (Høyer, 1997, s. 820).

4.2. Høye kostnader

Kostnadene ved brenselcellebilers drivsystem (inkl. eventuell reformer, brenselcellestakk og elektrisk motor) har vi gjort en innledende vurdering av tidligere (Andersen, 2003). Hovedkonklusjonene er at hvis brenselcellebilers drivsystem skal kunne ligge på samme kostnadsnivå som forbrenningsmotorenes, kreves det at kostnadene både på brenselcellestakk og evt. reformer reduseres kraftig. I tillegg har vi også redegjort mer generelt for økonomiske faktorer og forhold ved anvendelse av hydrogen i transport (Andersen, 2004). Hovedpunktene fra denne redegjørelsen er gjengitt i de neste avsnitt.

Kostnader for brenselceller

Analyser av de forventede kostnadene på framtidens brenselceller gir svært varierende resultat. Masseproduksjon vil imidlertid trolig kunne bringe kostnadene vesentlig ned. En vurdering som er gjort av Ashley (2002) tar utgangspunkt i at brenselcellestakken i en brenselcellebil må produsere 60-90 kW, for at bilen skal yte tilsvarende som en mellomstor personbil med forbrenningsmotor. I følge Ashley (Ibid.) ligger i dag prisen på brenselceller for personbiler på omkring 500 USD/kW, dvs. vil en egnet brenselcellestakk koste ca. 30-45.000 USD. Til sammenlikning ligger prisen for en forbrenningsmotor i en mellomstor personbil på 3.500 USD. Her er det altså snakk om en faktor på omtrent 10 forskjell i pris. Bilprodusenten Chrysler (sitert i Azar et al., 2000) har estimert at kostnadene på en brenselcellestakk kan komme ned på 200 USD/kW, med dagens produksjonsteknologi. Mer optimistiske tall finner vi i en detaljert studie utført av Directed Technologies, hvor det hevdes at kostnadene vil kunne komme helt ned i 20 USD/kW (Lomax, 1998).

Brenselcellefabrikanten Ballard har vurdert at kostnadene for brenselcellestakk til personbiler må ned på 20-35 USD/kW for at disse bilene skal kunne være konkurransedyktige i pris i forhold til biler med forbrenningsmotor (Ahlvik, pers. meddel. 2002). Ballard har imidlertid ikke klart å produsere en brenselcellestakk til under 3.000 USD/kW, som innebærer en faktor på 100 forskjell mellom dagens nivå og antatt konkurransedyktig pris på brenselceller. En kostnad på 3.000 USD/kW for elektrisitet fra brenselcelle er forøvrig også benyttet av Lloyd (1999), sitert i Azar (2000). Man må derfor kunne stille spørsmålstegn ved realitetene i den forannevnte oppgitte pris fra Ashley (2002) på 500 USD/kW for dagens brenselceller.

I Bellona-rapporten "Hydrogen – status og muligheter" omtales høy pris på brenselceller som en av de viktigste barrierene (Kruse et al., 2002). Spesielt framheves kostnadene på platina som brukes i elektrodene i brenselcellene. Dette påpekes også av Peters & Powell (2004) basert på en spørreundersøkelse av relevante aktører i Storbritannia. Selv om denne undersøkelsen fokuserte på stasjonær hydrogenenergi, er resultatene relevante også for transportanvendelser. Det hevdes her at det ofte er en langvarig kamp å redusere kostnadene på nye systemer før markedet er utviklet godt nok til at masseproduksjon er mulig. En av ekspert-responentene var av oppfatningen at for brenselceller er tiden atskillige år for å nå "kritisk masse" (d.v.s. produksjon av tilstrekkelig antall brenselceller til å vinne innpass i markedet, og gå med overskudd). En sterk økning av antall produserte brenselceller vil kreve sjeldne og spesielle materialer (f. eks edelmetaller til elektroder), som utgjør betydelige investeringer. Dette samsvarer med andre respondenter i undersøkelsen som var enig i at nødvendigheten av slike tidlige investeringer utgjør store barrierer.

Kostnader for lagring av hydrogen i kjøretøyene

Det er flere måter å lagre hydrogen på om bord i kjøretøyene. Hydrogen kan i første rekke lagres i form av komprimert gass eller nedkjølt væske. I tillegg pågår utvikling av metoder for å lagre hydrogen i metallhydrider eller adsorbent i karbonmaterialer. Av de ulike alternativer er lagring i form av komprimert gass det mest aktuelle valget per i dag. Estimaterne for kostnadene for slik lagring varierer mye. Berry & Aceves (1998) benytter en kostnad i området 0,18-0,36 USD/kWh mens Ogden et al. (1998) oppgir en pris på USD 1.000 for en 500 MJ tank, d.v.s. 0,56 USD/kWh. Azar et al. (2000), bruker også en kostnad på 0,56 USD/kWh, men antyder at en lavere kostnad kan være mulig hvis tankene blir resirkulert etter endt bruksperiode for bilene³. Kostnaden på 0,56 USD/kWh tilsvarer ca. 1.200 USD/bil.

Lagring av flytende hydrogen ville, i følge Azar et al. (Ibid) være mer kostbart, i første rekke p.g.a. energibruken for å kjøle ned og holde drivstoffet flytende. Lagring i form av metallhydrider vurderes som altfor kostbart til å være aktuelt for bruk i biler (Ibid). Derimot blir adsorpsjon i nanofibre betraktet som en teknologi som har et potensial for å kombinere høy lagringstetthet med lave kostnader. Dette er imidlertid kun basert på laboratorieforsøk, og det gjenstår å se om aktivert karbon og nanofibre kan lagre like mye energi (hydrogen) per volum og vekt som bensin (Petterson & Hjortsberg, 2000). Det er også uvisst i hvor stor grad lagringsmediet er oppladbart ("rechargable") og resirkulerbart. Petterson & Hjortsberg (Ibid.) bruker kostnadsestimater for karbon nanofibre og grafitt på henholdsvis 1 og 10 USD/kg. Forutsatt en energitetthet på 36 kWh/kg, vil materialkostnader på 0,03 og 0,28 USD/kWh, henholdsvis for karbon nanofibre og grafitt, kunne være mulig. Dette er til sammenlikning lavere enn Azar sitt estimat ovenfor på kostnader for gasstanker for komprimert hydrogen.

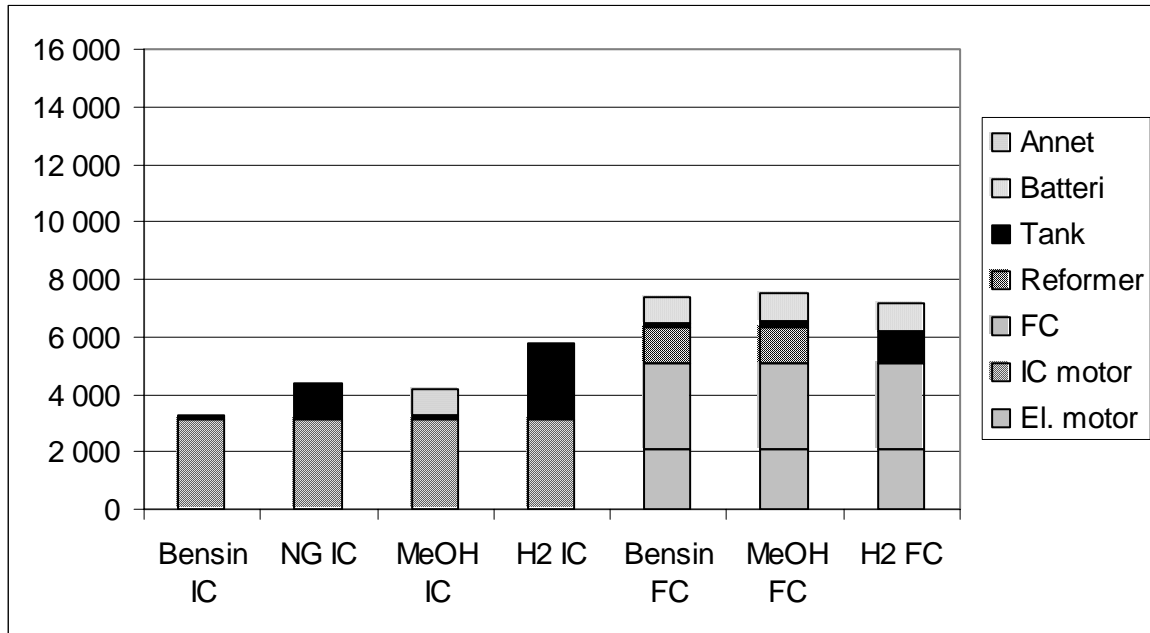
Kostnader for reformer

Hvis drivstoffet i brenselcellebilene er metanol (eller bensin) er det nødvendig med en kjemisk reformering til hydrogen som så ledes til brenselcellen. En eventuell vellykket framtidig utvikling av direkte metanol-brenselceller ville imidlertid kunne gjøre kravet om reformer unødvendig. I enda større grad enn som for brenselceller, er det knyttet stor usikkerhet til kostnadene på metanolreformer (Kalhammer et al., 1998). Azar et al. (2000) benytter imidlertid et estimat på 25 USD/kW i ekstra kostnader for metanolreformer. Kostnadene ved å produsere hydrogen fra metanol er imidlertid atskillig lavere enn tilsvarende produksjon fra naturgass i storskala stasjonære anlegg (Ibid.). Så mye som en faktor på 40x i forskjell nevnes. Dette har flere årsaker. For det første er det ikke nødvendig i transportanvendelser å fjerne CO₂ fra hydrogen, og det er heller ikke behov for kompressor. Termodynamisk er det også mer fordelaktig å reformere metanol til hydrogen enn tilsvarende reformering av metan. En siste grunn er at småskala metanolreforming muliggjør automatisert masseproduksjon, som kan innebære et potensial for å redusere kostnadene (Ibid.).

En sammenlikning av kostnader for ulike typer drivsystem for personbiler, basert på lavkostnadsnivået i scenarioet til Azar et al. (2000) er vist i *Figur 3*. Her er en fremtidig konkurransedyktig kostnad for brenselceller på 60 USD/kW lagt til grunn.

³ Analysen til Azar et al. (2000) er basert på et scenario hvor fra 2050 konvensjonell bruk av fossile brennstoffer gradvis utfases fra energisektoren (for å holde konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren under 400 ppm). Solenergi og dekarbonisering av fossile brenslser blir får økt betydning. Hydrogen innføres i transportsektoren og blir det dominerende drivstoffet i 2060-2070.

Figur 3 Kostnader for ulike drivsystem. Lavkostnadsnivå (USD/kjøretøy)

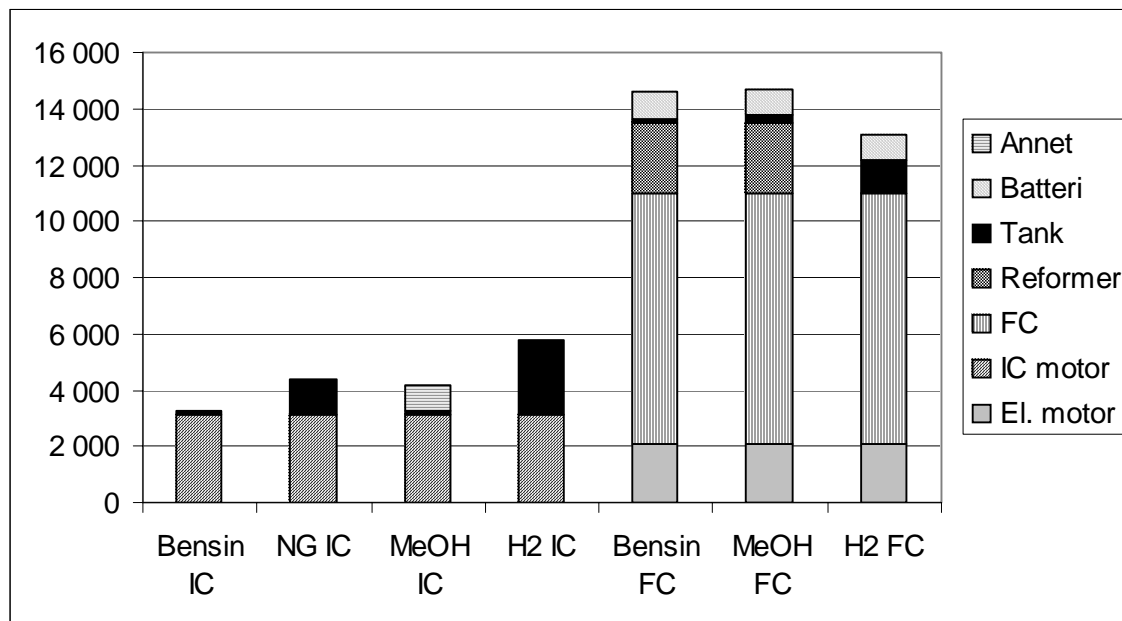


Kilde: Azar et al. (2000)

Forklaringer til figuren: IC = Forbrenningsmotor
 NG = Naturgass
 FC = Brenselcelle

Et høykostnadsnivå på brenselcellebilens drivsystemkomponenter kan også legge til grunn. Hvis brenselcellestakken og reformer forutsettes å innebære kostnader på henholdsvis 180 og 50 USD/kW, vil sammenlikningen se ut som i Figur 4.

Figur 4 Kostnader for ulike drivsystem. Høykostnadsnivå (USD/kjøretøy)



Kilde: Azar et al. (2000)

I høykostnadsnivået for brenselcellebilens sentrale drivsystemkomponenter er brenselcellekostnadene i framtiden antatt å kunne utgjøre mindre enn 10 % av dagens kostnader. Likevel vil kostnadene til brenselcellen bidra sterkt til den økte totalkostnaden for denne type biler.

Med utgangspunkt i kostnadene for ulike typer drivsystem (vist i *Figur 3*) konkluderer Azar et al. (Ibid) med at brenselcellebiler i framtida vil kunne være omtrent 3.000 USD dyrere enn biler med bensinforbrenningsmotor. Dette er i hovedsak grunnet i en antagelse om at framtidens brenselceller ville kunne koste omtrent 60 USD/kW. Kostnadene til brenselcellestakken i en hydrogendreven bil vil da utgjøre 48 % av de totale kostnadene for drivsystemet. Hvis derimot brenselcellekostnaden kommer helt ned i 20 USD/kW, vil kostnadsforskjellen i forhold til biler med bensinforbrenningsmotor være mye mindre, bare ca. 1.000 USD. Da ville kostnaden på brenselcellestakken bare utgjøre 27 % av de totale kostnadene for drivsystemet. Resultatene samsvarer med estimatene til Thomas et al. (1998a), som også finner at brenselcellebiler drevet med hydrogen vil bli noe dyrere enn biler med bensinforbrenningsmotor, med en forskjell på omtrent 2.000 USD⁴.

Thomas et al. (Ibid.) har også estimert hvor mye kostnadene til drivsystemet vil kunne komme til å utgjøre i forhold til totalkostnadene for hele bilen. Dette er vist i *Tabell 1*.

⁴ Beregningene til Thomas et al. (1998a) legger til grunn U.S. DOE sine kostnadsestimater for masseproduksjon av brenselcellebiler. Dette er basert på et scenario med en storskala bilproduksjon på 300.000 enheter årlig av samme modell.

Tabell 1 Estimerte kostnader til drivsystem i forhold til totalkostnadene for hel bil (USD/bil)

	Bensin IC	H2 FC	Bensin FC	MeOH FC
Drivsystem kostnader	2 476	4 655	7 614	5 552
Totale kjøretøy-kostnader	18 000	20 179	23 138	21 076
Drivsystemets andel av totale kostnader (%)	13,8	23,1	32,9	26,3

Kilde: Thomas et al. (1998a)

I dette estimatet vil kostnadene for drivsystemet utgjøre over 30 % av de totale kostnadene for en bensindreven brenselcellebil, men ca. 14 % for en bil med bensindrevent forbrenningsmotor. I en hydrogendreven brenselcellebil vil kostnadene for drivsystemet utgjøre 23 % av bilens totale kostnader, mens i en brenselcellebil med metanolreformer er de beregnet å kunne utgjøre 26 %.

De faktiske kostnadene for hydrogenkjøretøy som anvendes i demonstrasjonsforsøk i dag er svært høye. Toyota har f.eks. en type brenselcellebiler som leases ut til offentlige myndigheter i Tokyo og to universiteter i USA for en enhetspris på ca. 70.000 NOK/mnd. Dette er 10 ganger mer en det koster å lease en tilsvarende bensinbil, en Toyota Land Cruiser (Skramstad, pers. meddel.).

Investeringskostnadene for bussene i CUTE og ECTOS er også svært høye, og ligger på 10-11 millioner NOK for hver av bussene.

5. Delsystem: Transportsystemet

I dette kapitlet omtaler vi barrierer knyttet til anvendelse av hydrogen som drivstoff i de ulike kjøretøyene i transportsystemene. Det er således i hovedsak tale om barrierer knyttet til bruken av kjøretøyene samt den tilknyttede transportinfrastrukturen.

5.1. Sikkerhetsaspekter

Sikkerhet i forbindelse med håndtering av hydrogen i kjøretøyenes verksteder er av Bellona betraktet som en viktig ikke-teknologisk barriere ved en introduksjon av et større antall hydrogenkjøretøyer (Bellona, 2004). Det hevdes her at verksteder ønsker i mange tilfeller overhode ikke å håndtere biler med hydrogen ombord pga. frykt for brann og eksplosjon. Verkstedene har manglende kunnskap om forvarlig håndtering av kjøretøyenes ombordsystemer knyttet til hydrogen (flasker, rør og koblinger). Som en måte å overvinne denne barrieren på har Bellona foreslått overfor det regjeringsoppnevnte hydrogenutvalget at det etableres en strategi for opplæring av tekniske fagfolk på hydrogenhåndtering og sikkerhet. Kunnskapen på dette området ligger pr i dag, i følge Bellona, hos gassleverandører (f.eks. AGA).

Utvikling av sikkerhetskrav for brenselceller i skip har blitt initiert i det EU-støttede initiativet Fuel Cell Technology for Ships (FCSHIP). De norske aktørene er representert ved

Rederiforbundet, DNV, Marintek, Norsk Hydro, Color Line og Knutsen OAS. DNV har også gjort andre studier av risiko og sikkerhet knyttet til bruk av hydrogen i skip, bl.a. Tronstad (2003).

I CUTE og ECTOS blir det utviklet en metodologi for organisering av kvalitets- og sikkerhetsarbeid med hydrogen infrastruktur. Norsk Hydro leder dette arbeidet. Metodologien blir utviklet med basis i erfaringer fra CUTE og ECTOS, kombinert med generell industriell kunnskap om sikkerhet knyttet til hydrogeninfrastruktur (Hansen, 2002).

Stor-Oslo Lokaltrafikk fikk i 2000 gjennomført en sikkerhetsvurdering for anvendelse av hydrogenbuss (DNV, 2000). Vurderingen ble gjennomført av DNV og identifiserte de viktigste forventede sikkerhetsaspekter knyttet til bruk av hydrogen som drivstoff i busser. Risikovurderingen omfattet tanking, kjøring, opphold, samt service og vedlikehold i garasje/verksted. Vurderingen konkluderte med at risikonivået ville være akseptabelt forutsatt at en rekke forslag til reduksjon av risiko ble gjennomført. De påpekte spesielt at omfattende opplæring av personalet knyttet til de ulike aktivitetene av hydrogenbruken er essensielt for å håndtere risikoen ved hydrogenbruken. Allikevel konkluderte studien med at den forventede risikoen for en hydrogenbuss vil være noe større enn for en dieselbus under ellers samme forhold.

5.2. Miljøkonsekvenser

ECTOS og CUTE gjennomfører undersøkelser av typen *sosioøkonomiske miljøstudier*. Dette arbeidet ledes av University of Stuttgart (Technical Institute of Iceland er utførende på Island). Dette er en del av en LCA studie, samt en evaluering av hydrogenbussenes innvirkning på byenes miljø. Miljøparametre som luftforurensing i form av NO_x, SO_x, PM₁₀, PM_{2,5}, CO, O₃ blir kartlagt, for å gi et grunnlag for senere å kunne si noe om hvordan hydrogenbussene påvirker luftkvaliteten (Skúladóttir & Þórdarson, 2003).

Et viktig moment knyttet til miljøkonsekvenser fra bruk av hydrogen i forbrenningsmotorer er at det skjer eksosutslipp av NO_x som følge av reaksjon med nitrogenet i luft under forbrenningen. Selv om NO_x-utslippene er betydelig lavere enn ved bruk av bensin og diesel, så kan de ikke neglisjeres.

5.3. Regelverk / manglende regelverk

Bellona viser til at manglende regelverk for registrering og bruk av hydrogenkjøretøykjøretøy er en viktig barriere for implementering av hydrogenenergi i Norge (Bellona, 2004). Dette kan illustreres ved at det ikke har vært mulig for Bellona å oppnå godkjenning for sine to hydrogenbiler for bruk i Norge. DNV har i den forbindelse, på oppdrag for Vegdirektoratet ved Oslo Trafikkstasjon, og som en del av HyNor, vurdert sikkerheten og regelverket knyttet til disse bilene (Saugerud, 2004). Bilene er 1999-modell bensindrevne Mercedes Benz Sprinter (kassvogner) med forbrenningsmotor som er ombygd til å gå på hydrogen. Bilenes tanksystem for drivstoffet består av 3 stk 115 liters beholdere med hydrogengass med et trykk på 200 bar. Det foreslåtte grunnlaget for godkjenning som baserer seg på arbeid i prosjektet EIHP (European Integrated Hydrogen Project), gjennom UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) sitt arbeidsutvalg for forurensning og energi (WP.29/GRPE). Det

blir av DNV påpekt at EIHP fokuserer på komponenter og typegodkjenning, og dermed ikke så godt egnet for prototyper, slike som Bellona sine hydrogenbiler. Det blir konkludert med at et regelverk som tar utgangspunkt i risiko (i forhold til andre kjøretøy) med eksempler på egnete systemløsninger ville være bedre for prototyper.

Regelverk er også ett av temaene for prosjektet FellowSHIP (Fuel Cell Low Emission Ship). Hovedpartnere er Aker Kværner Elektro, DNV, Eidesvik, Wallenius Marine og Vik-Sandvik. Prosjektet har som hovedmål å designe og senere bygge brenselcellesystemer for hjelpemotor- og fremdriftsløsninger. Prosjektet har gjennomført en "konseptavklaring" som har inkludert regelverkmessige momenter. Dette har vært avgjørende for valg av utstys- og energileverandører. NTNU/ Sintef/Marintek er også aktuelle samarbeidspartnere/ underleverandører i dette prosjektet.

Sikkerhetsvurderingen som DNV i 2000 gjennomførte for Stor-Oslo Lokaltrafikk identifiserte de viktigste relevante standarder, reguleringer og retningslinjer som kan knyttes til bruk av hydrogen som drivstoff i busser (DNV, 2000). Dette kan betraktes som en del av en strategi for å overvinne den barrieren regelverk utgjør for hydrogenanvendelser i transport. Hovedkonklusjonene gikk på at busser kjøpt direkte fra produsent må være bygd i henhold til norsk regelverk for å bli godkjent for bruk i Norge. Alternativt kan en buss som er godkjent og registrert i et annet land bli brukt i Norge etter godkjenning fra Vegdirektoratet og Toll- og avgiftsdirektoratet. Hydrogenfyllstasjoner krever tillatelse fra Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB). DSB har en rekke krav som må oppfylles for slike hydrogenanlegg, bl.a. spesifisert i "Forskrift om brannfarlig eller trykksatt stoff", "Forskrift om transport av farlig gods på veg og jernbane" og "Forskrift om trykkpåkjent utstyr".

5.4. Manglende publikumsaksept

Bellona påpeker at en av de viktigste ikke-teknologiske barrierene er knyttet til allmennhetens manglende oppfatning av å ta i bruk hydrogen som et drivstoff (Bellona, 2004). Det hevdes at jo tidligere man introduserer hydrogen, oppnår erfaringer, bygger opp kompetanse, tillit og aksept, desto større er sjansene for å lykkes med hydrogensatsingen. Utstrakt informasjonsarbeid pekes på i denne sammenhengen som en strategi for å overvinne denne viktige ikke-teknologiske barrieren.

ECTOS

Som en viktig del av ECTOS-prosjektet har aksepten for hydrogen som drivstoff i bussene blitt undersøkt. Helt fra starten av prosjektet har aksepten vært ganske stor (Skulason, pers. meddel. 10.02.04). Innledningsvis ble det gjort en større undersøkelse hvor hele 93 % av de spurte hadde en positiv oppfatning av hydrogen som erstatning for fossilt drivstoff. Denne og videre undersøkelser av publikums oppfatning er blitt gjennomført ved telefonintervjuer, samt personlige intervjuer og spørreskjemaundersøkelser om bord i bussene og blant beboere langs bussrutene (INE, 2004a; 2004b).

Barrierer i Norge identifisert i HyWays

I HyWays prosjektet det identifisert en viktig ikke-teknologiske barriere knyttet til at industrien og befolkningen er vant til et å få kjøpt billig elektrisitet. Potensielt høyere kostnader for hydrogenenergi kan dermed fungere som en hindring for at sluttbrukerne vil

velge å anvende denne energibæreren, framfor andre billigere alternativer (f.eks. forbedrede framtidige el-biler).

Publikumsaksept i Sveits analysert av de sveitsiske energimyndighetene

I 1994 lanserte energimyndighetene i Sveits (Swiss Federal Office of Energy - SFOE) en konkurranse med hensikt å skaffe kunnskap om bruken av lette elektriske kjøretøy (på italiensk: Veicoli Elettrici Leggeri – derav betegnelsen VEL). Målet var å identifisere en kommune som kunne gjennomføre et demonstrasjonsprosjekt for utprøving av elektriske lette elektriske kjøretøy. SFOE mottok anbud fra i alt 34 kommuner, og av disse ble Mendrisio vurdert å ha de beste forutsetninger. Prosjektet hadde som målsetning å registrere 350 lette elektriske kjøretøy som utgjør 8 % av det totale antall kjøretøy i prosjektorrådet (Mendrisio - nabo-landsbyer). For å nå dette ble prosjektet subsidiert slik at brukere fikk kjøpe bilene for 60% av normalprisen. Prosjektet, som fikk benevnelsen VEL1, ble gjennomført i perioden juni 1995 – juni 2001. Prosjektet ble fulgt opp av VEL2, som skal gå til 2005 og er ikke begrenset til elektriske kjøretøy, men inkluderer alle kjøretøy som tilfredstiller følgende kriterier:

- Vei-gående kjøretøy på under 3,5 tonn
- CO₂ -utslipp under 120 g/km
- Euro 4

VEL2 har således som målsetning å fremme bruken av energieffektive kjøretøy, og inkluderer personbiler drevet med hydrogen. Som i VEL1 subsidieres kjøp av slike biler, fram til 2005 da det forutsettes at bilene er fullintegret i markedet (www.vel2.ch).

Som en del av VEL1-studien ble det gjennomført en undersøkelse av publikumsaksept for utprøvingen, samt betalingsvilligheten blant potensielle kjøpere av lette elektriske kjøretøy (Ulli-Beer og Haefeli, 2001). Flere hundre personer ble spurt om deres syn på framtida til ulike bilteknologier. Publikums tiltro på framtidas ulike biltyper fordelte seg slik:

1. Energi-effektive biler	87%
2. Hybridbiler	73%
3. Brenselcellebiler	42%
4. Konvensjonelle biler	35%

Spørreundersøkelsen vist at biler med konvensjonelle motorsystemer med høyt energiforbruk ikke lenger betraktes som en bærekraftig løsning. En stor andel av publikum har tro på mer energieffektive biler, spesielt hybridbiler, i framtida. Det er større usikkerhet knyttet til biler som baseres på brenselcelleteknologi, som bare to av fem gir lovende framtidsutsikter. Denne relativt lave tiltro til brenselcellebiler i spørreundersøkelsen peker mot at den manglende publikumsaksepten for denne teknologien må kunne betraktes som en vesentlig barriere for anvendelse av hydrogen i transport.

5.5. Høye kostnader

University of Stuttgart studie

Som en del av "Accompanying studies" i CUTE-prosjektet har University of Stuttgart i samarbeid med "Fuel Cell Centre of Competence and Innovation (FC³I) gjennomført en

studie av hydrogen infrastruktur i et scenario for 2020 (Faltenbacher et al., 2003). Forutsetningene i scenariet for 2020 er at av totalt 334.000 personbiler skal 15 %, d.v.s. 50.100 biler, bli drevet av brenselceller. Gjennomsnittlig drivstofforbruket på brenselcellebiler er satt til 1 kg H₂/100km, som innebærer et energiforbruk på 0,33 kWh/km. En årlig kjørelengde på 12.000 km er videre forutsatt. Dette medfører et årlig behov for 6.000 tonn hydrogen. Dette er forutsatt dekket ved at 80 % kommer fra utplassert dampreforming av naturgass, 10 % fra utplasserte elektrolysesystem og 10 % fra hydrogen tilkjørt med tankbil fra sentralt dampreformeringsanlegg.

Det er anslått at hver av de 70 utplasserte dampreformeringsystemene vil koste 1,5 millioner USD. Prisen på produsert hydrogen er beregnet til 0,7 USD/m³ (avgifter ekskludert).

Elektrolysesystemene er basert på fornybar energi (vind, sol). Investeringskostnadene for hver av de 8 utplasserte elektrolyseenhetene er beregnet til 1,77 millioner USD. Prisen på hydrogen fra elektrolysesystemene er anslått til 0,8 USD/m³ (avgifter ekskludert).

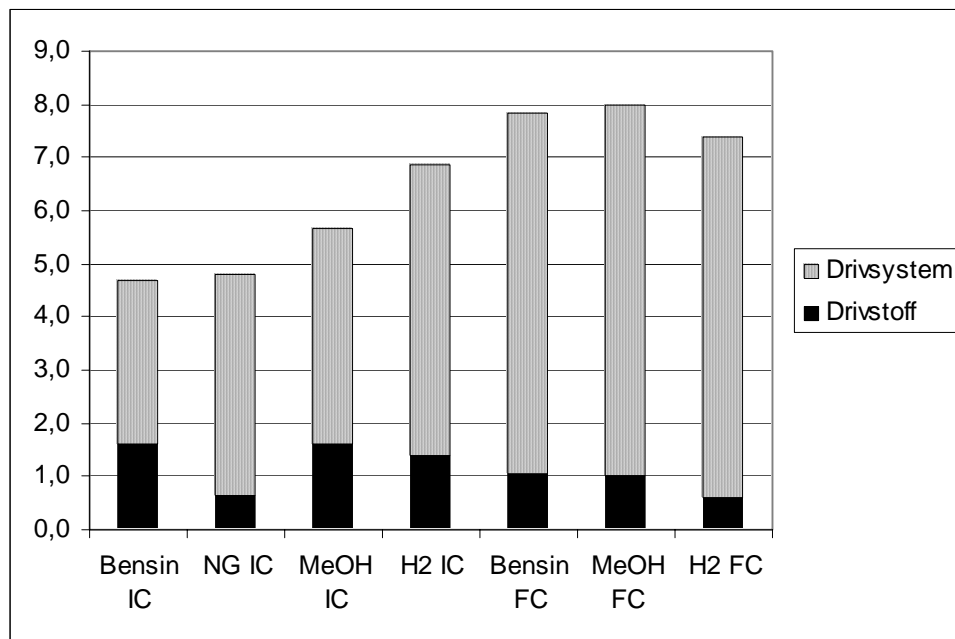
Halvparten av den tilkjørte hydrogenmengden er forutsatt å være i gassform, mens den andre halvdel vil være flytende hydrogen. Det er antatt at det vil være 7 fyllestasjoner hvor det er mulig å tanke både GH₂ og LH₂ (5 % av bilene er forutsatt å benytte LH₂). Prisen for GH₂ er antatt å være 1,95 USD/m³, mens LH₂ er beregnet å ville koste 1,83 USD/m³.

Studien konkluderer med at det er kostnadmessig mulig å forsyne tilstrekkelig hydrogen på denne måten forutsatt at det ved hver av dagens 85 bensinstasjoner blir mulighet for å fylle GH₂ og/eller LH₂. Det er beregnet at forventet drivstoffkostnad da vil ligge rundt 8 USD/100km. Studien benytter til sammenligning en drivstoffkostnad for en tilsvarende bensinbil (Mercedes-Benz A140) på 8,9 USD/100km og 5,3 USD/100km for dieselbil (Mercedes-Benz A160 CDI).

Kostnader drivsystem + drivstoff

Azar et al. (2000) har lagt sammen forventet kostnad per kjøretøykilometer for en bils drivsystem og bilens beregnede livsløps-drivstofforbruk i scenariet for 2050-2070. Dette er gjort for hydrogendrevne brenselcellebiler i sammenlikning med biler basert på andre typer drivsystem. I *Figur 5* er resultatene av en slik sammenstilling vist. Metanol og hydrogen er forutsatt produsert fra naturgass.

Figur 5 Kostnader for drivsystem pluss drivstoff for ulike typer biler (US¢/vkm)



Kilde: Azar et al. (2000)

Sammenlikningen viser at brenselcellebilene kan forventes å ha vesentlig høyere kostnader per kjøretøykilometer enn biler med bensin- eller naturgassdrevne forbrenningsmotor. Drivstofforbruket anslås å utgjøre en relativt liten del av de totale kostnadene. Metanol- og hydrogendrevne biler med forbrenningsmotor vil ha høyere totale kostnader enn tilsvarende biler drevet av bensin eller naturgass, men ikke så høye som for brenselcellebiler.

Om vedlikehold av bussene i CUTE og ECTOS

Bussene i CUTE og ECTOS skal kjøres i 2 år. Deretter er det ikke bestemt hva som skal gjøres med dem. Fra Icelandic New Energy uttrykkes det som mest sannsynlig at ECTOS-bussene kommer til å kjøres utover 2-års testperioden, men bare så lenge brenselcellestakken fortsetter å virke. Det er ikke planer for hvordan det skal finansieres å få denne erstattet etter endt levetid. Busselskapet som kjører bussene er i hvert fall ikke forberedt på å ta på seg slike utgifter (Icelandic New Energy, pers meddell 6.1.04).

DiamlerChrysler har levert bussene med en vedlikeholdsgaranti på de viktigste komponentene. Dette innebærer at hvis for eksempel brenselcellestakken slutter å fungere, vil DiamlerChrysler reparere/erstatte denne kostnadsfritt. Tilsvarende garanti er gitt for Dynatec-komponentene (H₂-flaskene med tilbehør). Resten av vedlikeholdet er imidlertid fullt og helt busselskapenes ansvar. Dette har ført til at kostnader for vedlikehold er blitt atskillig større enn forventet i ECTOS og flere av CUTE-byene (Icelandic New Energy, pers meddell 6.1.04). Busselskapet som kjører ECTOS-bussene har 2 personer som er ansatt på heltid for å utføre vedlikeholdet på de tre hydrogenbussene. I tillegg må bussjåførene utføre mye ekstra arbeid. Hydrogenbussene i Reykjavik har i tillegg til dette hatt alvorlige problemer, som leverandøren ikke har dekket kostnadene for å rette opp. Bl.a. har en ventil på en av bussene gått i stykker, noe som har ført til at tilsvarende ventil måtte erstattes på alle tre bussene. Ventilene måtte tilsendes fra Canada, og dette innebar at bussene var ute av drift fem dager i

strek. Ventilene var ikke TUV-sertifisert, og derfor ble de ikke erstattet kostnadsfritt av DiamlerChrysler.

En generell erfaring så langt i ECTOS har vært at det er vanskelig å få detaljert informasjon om de ulike busskomponentene, i den grad de ikke regnes som hovedkomponenter med leverandørgaranti. Det har også vært uklareheter knyttet til ansvarsfordelingen for utgiftene ved reparasjon av enkeltkomponenter, noe som er illustrert ved den manglende TUV-sertifisering på ventilene som måtte erstattes. Dette har bidratt til at kostnader knyttet til vedlikehold av hydrogenbussene utgjør en svært kompleks side av ECTOS prosjektet (Ibid.).

Hydrogenforbruk i busser - CUTE

Egen beregning av driftskostnader for CUTE-bussene i Stockholm basert på drivstofforbruket er gjort med utgangspunkt i pris på innkjøpt strøm til å drive elektrolysen. Denne beløper seg til 60 SEK per kjørte mil (Miljöförvaltningen, pers. meddel.). Tidligere indikasjoner på drivstofforbruket i CUTE-bussene var at spesielt for byene i varmt klima (Madrid og Barcelona) kreves det at airconditioning benyttes store deler av dagen, og dette fører til uforutsett høyt drivstofforbruk.

Senere er det imidlertid observert større fluktuasjoner i bussenes drivstofforbruk i de ulike byene hvor forsøkene pågår (H2 World, 2004). Bl.a. i Stockholm ble det målt høyere forbruk i begynnelsen, så gradvis lavere mot et nivå nærmere gjennomsnittet for alle 9 byene. Dette innebærer at barrierer i form av høye kostnader knyttet til drivstofforbruket i hydrogenbussene må betraktes med usikkerhet foreløpig. Det uttrykkes en foreløpig uvisshet om årsakene til de varierende tallene på drivstofforbruk i disse forsøkene (Ibid.).

Kostnadsbarrierer i HyWays

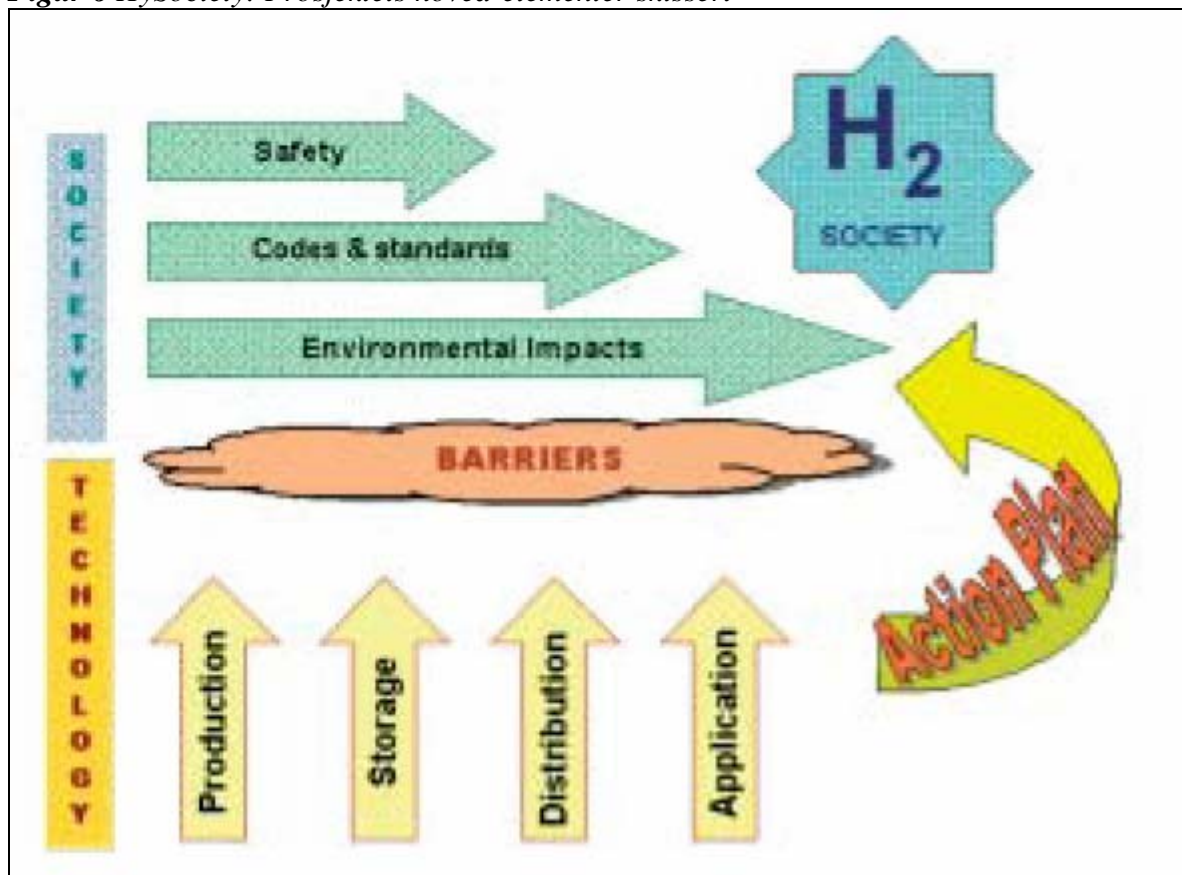
Høyere pris hydrogenenergi for industrien og publikum, som er vandt til å få billig elektrisitet, er nevnt som en ikke-teknologisk barriere på området publikumsaksept. Dette kan imidlertid også betraktes som en økonomisk barriere knyttet til bruken av hydrogenenergi, som er spesielt relevant for Norge.

6. Prosjekter om ikke-teknologiske barrierer, på tvers av tredelingen i 1. dimensjon

6.1. HySociety

HySociety er et EU-prosjekt ("Accompanying measure") under det 5. rammeprogrammet. Prosjektet startet opp i februar 2003 og skal gå ut januar 2005. 20 organisasjoner og 14 land er involvert i prosjektet som koordineres av Instituto Superior Technico (IST) i Lisboa. Hensikten med prosjektet er å kartlegge barrierer, vurdere teknologier, og foreslå politiske virkemidler som kreves for å etablere en europeisk hydrogenøkonomi. Sentralt i prosjektet er forståelsen av samfunnsmessige barrierer, teknologier og aspekter av sosial, økonomisk og miljømessig karakter. I tillegg til å analysere betingelser og barrierer, ligger det også i prosjektet at det skal foreslås tiltak for å overvinne de identifiserte barrierene. Dette er vist i *Figur 6* ved at det skal utvikles en "Action plan" for å komme over barrierene.

Figur 6 HySociety: Prosjektets hoved-elementer skissert



Kilde: EC brosjyre (http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/efchp_hydrogen21.pdf)

Av ikke-teknologiske barrierer i HySociety nevnes:

- Koder og standarder knyttet til implementering av infrastruktur
- Sikkerhet
- Sosiale og økonomiske forhold
- Industrielle strukturer
- Den allmenne oppfatning av hydrogen (publikumsaksept)

6.2. Eol utformet av IEFE Istituto di Economia

Et annet prosjektinitiativ som også bør nevnes er en "Expression of Interest" (EoI) utformet av IEFE Istituto di Economia e politica dell'energia e dell'ambiente (Italia) med tittelen "SEmPER.net - Sustainable Energy by means of Policy and Economic Research network". Her fokuseres det på institusjonelle, økonomiske og juridiske barrierer som må overvinnes for å tilrettelegge for et marked for fornybare energi inkludert hydrogen (HyNet, 2002).

6.3. HyWays

Prosjektet HyWays ble startet opp i april 2004 med et konsortium bestående av 30 partnere representert fra industri, energibyråer og forskningsinstitutter i Europa. Målsetningen med HyWays er å utvikle et "veikart" for hydrogenenergi i Europa. Prosjektet ledes av L-B-Systemtechnik (Tyskland) og er medfinansiert av EU kommisjonen (DG Research), som en del av det 6. rammeprogram. Vestlandsforskning er nasjonal representant for Norge. Norske industripartnere er Norsk Hydro, Statkraft og Det Norske Veritas. Fase 1 i prosjektet går fram til desember 2005. En første versjon av veikartet som omfatter de første 6 deltakerland (Frankrike, Tyskland, Hellas, Italia, Norge og Nederland) blir sluttproduktet av Fase I. Den komplette og validerte versjonen blir ferdig i april 2007.

HyWays kombinerer teknologidatabaser og sosioøkonomiske studier for å evaluere utvalgte scenarier. Scenariene skal føre fram til anbefalinger om et europeisk hydrogenenergiveikart for framtidige bærekraftige hydrogenenergisystemer. De skal gjenspeile faktiske forhold i de ulike deltakerlandene. Veikartet vil være basert på data og kunnskap om europeisk industri, forskning og politikk. I tillegg skal det systematisk beskrive framtidige utviklingssteg mot en storskala introduksjon av hydrogen som energibærer. Spesifikke forhold, barrierer og forutsetninger i hvert land vil bli vurdert i samarbeid med nasjonal ekspertise.

HyWays-prosjektet skal utvikle seks spesifikke scenarier, et for hvert land, ettersom mulighetene og barrierene er forskjellige i de ulike landene. Som en del av dette skal også de viktigste barrierene for implementering av hydrogenenergi kartlegges i de deltakende landene. Som i HySociety er det Instituto Superior Technico (IST) i Lisboa ansvarlig for denne delen av prosjektet. De inngår i et arbeid hvor samfunnsmessige forhold knyttet til innfasingen av hydrogen i Europa beskrives for å lage et så riktig bilde som mulig av hvordan implementeringen kan skje. Ikke-teknologiske barrierer er her vurdert som svært viktige potensielle hindringer for innfasingen av hydrogen.

For Norge er de viktigste ikke- teknologiske barrierene identifisert til å være:

- Norge har ikke egen utvikling og produksjon av kjøretøy. Dette kan være en flaskehals for introduksjonen av hydrogen, og Norge kan gjøre lite for å påvirke mulighetene for å overvinne denne barrieren.
- Den lave befolkningstettheten i Norge krever store hydrogeninfrastrukturinvesteringer for å tilfredsstille det høye mobilitetsnivå, spesielt fritidsmobiliteten.
- Norge er en stor eksportør av energi. I mange andre europeiske land (f. eks Island, Tyskland) er konverteringen til hydrogenenergi en måte å redusere avhengigheten av energiimport på. Dette motiverende aspektet har ikke stor betydning i Norge.

6.4. Nordic Hydrogen Foresight

Prosjektet Nordic Hydrogen Foresight involverer 16 partnere i Norden, hvorav 3 fra Norge (Norsk Hydro, Sintef, NTNU). Prosjektet har som målsetning å identifisere og presentere

sosio-tekniske scenarier og visjoner som skal illustrere mulighetene for et hydrogensamfunn i tidsrammen 2003-2030. Prosjektet skal også utvikle ”veikart” for implementering av hydrogenenergi i Norden. Tilknyttet dette arbeidet er det også identifisert en oversikt over barrierer for realisering av visjonene. Barrierene er blitt prioritert gjennom intervjuer med eksperter og workshops (Dannemand Andersen et al., 2004). Barrierer ble identifisert i to hovedgrupperinger:

- Vitenskap og utdanning (vitenskapelig forskning, utdanning, kompetansebygging etc.)
- Myndigheter (energi- og industripolitikk, offentlig FoU, tidlig marked, standardisering, sikkerhet)

De identifiserte barrierene er:

- Vitenskap og utdanning
 - Knyttet til *hydrogenproduksjon- og distribusjonssystemet*
 - Mangel på fleksibel desentralisert H₂-produksjon
 - Mangel på kjøretøy
 - Høye H₂-produksjonskostnader
 - Høye kostnader og kort levetid på brenselceller
 - Uegnet teknologi
 - Konservative forbrukere
 - Konservatisme i vindkraftselskaper
 - Knyttet til *transportsystemet*
 - Mangel på studenter innen relevante fag på Universiteter.
 - Begrenset antall produsenter av transportkjøretøy og komponenter
 - Lang tidshorison for kommersialisering av høytemperatur-brenselceller
- Myndigheter
 - Knyttet til *hydrogenproduksjon- og distribusjonssystemet*
 - Manglende publikumsaksept
 - Lav pris på fossilt drivstoff
 - Manglende forskningsressurser
 - Mangel på konsistent myndighetspolitikk og industrielt engasjement
 - Ingen eksisterende infrastruktur

6.5. L-B-Systemteknik studier

Som bidrag til studie av den barrieren kostnader utgjør er arbeidene til LBST viktige. De har utført en av de større analysene av kostnader knyttet til hydrogenkjøretøy (Huber & Altman, 1999). I denne studien, som vi også har presentert i Andersen (2004), ble det lagt til grunn de ulike alternativene for hydrogeninfrastruktur i U.S. DOE ”Hydrogen Infrastructure Report” (DOE, 1997). Disse ble supplert med noen alternativer basert på hydrogen produsert fra biomasse, og tilpasset tyske forhold m.h.t. råvarekostnader og økonomiske forutsetninger. Det ble benyttet et såkalt ”Scenario 270 tpd”, som innebærer et tysk marked hvor inntil 690.000 brenselcellebiler skal forsynes med hydrogen. Den gjennomsnittlige kjørelengde for

brenselcellebilene ble satt lik snittet i 1997 på 12.500 km/år for biler med forbrenningsmotor. Den nødvendige mengden hydrogen kan oppnås ved enten en storskala H₂-produksjonsenhet med kapasitet på 270 tonn per dag (tpd), eller ved 100.000 utplasserte småskala elektrolysesystemer hver med kapasitet på 2,7 kg per dag. Ulike karakteristika og effektivitet av utvalgte brenselcellebiler i Tyskland og USA ble tatt hensyn til i beregning av kostnader per kilometer kjørt med brenselcellebiler i sammenlikning med biler med forbrenningsmotor. Data som ble anvendt i de ulike alternativene for hydrogenproduksjon er vist i *Tabell 2*.

Tabell 2 Data på parametere knyttet til ulike alternativer for hydrogenproduksjon i Tyskland og USA

	USA	Tyskland	Enhet
LH ₂ -distribusjon med tankbil	0,020	0,104	USD/kg/100 km
LH ₂ -distribusjon avstand	805	500	km
CGH ₂ -distribusjon i rørledning (pipeline)	346.313	310.575	USD/km
Biomasse	0,0071-0,0095	0,013	USD/kWh
Elektrisitet (forbruk inntil 0,15 GWh/år)	0,035-0,083	0,12	USD/kWh
Elektrisitet (forbruk inntil 4,6 GWh/år)	0,035-0,083	0,097	USD/kWh
Elektrisitet (forbruk inntil 1.350 GWh/år)	0,035-0,083	0,065	USD/kWh
Naturgass	0,007-0,015	0,019	USD/kWh
Metanol	0,046	0,040	USD/kWh
Tung fyringsolje	103,04	159,20	USD/tonn
Kjølevann	0,044	0,090	USD/m ³

Kilde: Huber & Altman (1999)

For å vurdere kostnadene per kjørte kilometer for brenselcellebilene ble det benyttet forutsetninger om biler som forventes å være tilgjengelige i 2005. De viktigste antagelser om brenselcellebilene er vist i *Tabell 3*.

Tabell 3 Antagelser om typiske brenselcellebiler i 2005

	USA	Tyskland	Enhet
Vekt	1344	1250	Kg
Toppfart	137	160	km/t
Rekkevidde	611	450	km
Brenselcelleeffektivitet	44-61	50-60	%
Brenselcelleeffekt (output)	40	67	kW
Drivstofforbruk	0,31	0,35	kWh/km

Kilde: Huber & Altman (1999)

For biler med forbrenningsmotor ble det benyttet data vist i *Tabell 4*.

Tabell 4 Data for biler med forbrenningsmotor

	USA	Tyskland	Enhet
Vekt	1344	1130	Kg
Bensinforbruk	0,90	0,56	kWh/km
Dieselforbruk	n.a.	0,45	kWh/km
Bensinpris	0,04	0,11	USD/kWh
Dieselpris	n.a.	0,07	USD/kWh

Kilde: Huber & Altman (1999)

Beregningene av kostnadene for hydrogen ble gjort ved å benytte tyske parametere for energipris (naturgass, elektrisitet, biomasse, metanol, tung fyringsolje), avgifter og inflasjon. Hydrogenkostnadene (mineraloljeavgift ekskludert) ble sammenliknet med tyske bensinpriser (mineraloljeavgift inkludert). En analyse av en rekke ulike alternativer for hydrogenproduksjon viser at kostnadene på levert hydrogen i Tyskland varierer mellom 0,056 og 0,384 USD/kWh, mens tilsvarende kostnader i USA ligger mellom 0,065 og 0,360 USD/kWh. De ulike alternativene for hydrogen infrastruktur, utnyttelsesgrad, energikilde og distribusjon er vist i *Vedlegg 1*. Ved å beregne kostnadene per kjørte kilometer i de ulike alternativene, kommer det i studien fram at hydrogen produsert med elektrolyse gir brenselcellebilene i de fleste tilfelle en vesentlig høyere drivstoffkostnad enn for bensinbiler med forbrenningsmotor. *Figur 7* viser resultatene for en del av de analyserte alternativene i Tyskland. Elektrolysealternativene gir drivstoffkostnader i området 5,94 – 13,38 USD/100 km (*Tabell 5*). Til sammenligning er gjennomsnittlige drivstoffkostnader for en bensinbil 5,98 USD/100 km og for en diesebil 3,15 USD/100 km. Gasifisering av biomasse ser i studien ut til å kunne gi det rimeligste hydrogenet, med drivstoffkostnader i området 2,30 – 2,18 USD/100 km.

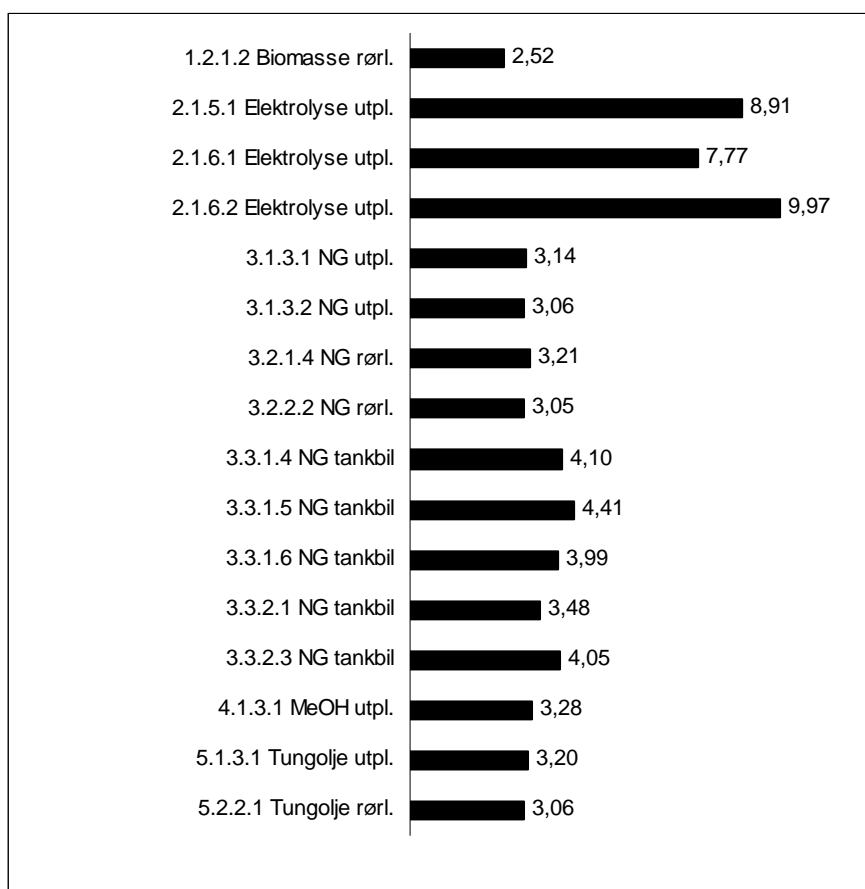
Tabell 5 Drivstoffkostnader ved ulike hovedtyper hydrogeninfrastruktur i Tyskland

Alternativ	Kostnad (USD/100km)
Elektrolyse	5,94 – 13,38
Gasifisering av biomasse	2,30 – 2,18
Reformering av naturgass ved utplasserte systemer	1,96 – 11,48
Storskala dampreforming av naturgass + rørledning	3,05 – 4,29
Storskala dampreforming av naturgass til LH ₂ + tankbil distr.	3,48 – 4,74
Utplassert MeOH reformering	3,28 – 12,27
POX – reformering av tungolje	3,06 – 4,81

Kilde: Huber & Altman (1999)

Reformering av naturgass ved utplasserte systemer viser et mye større spenn i de beregnede kostnadene, og er beregnet til å ligge i området 1,96 – 11,48 USD/100 km. Ved bruk av storskala dampreforming av naturgass med metan-reformer (SMR) og distribusjon i rørledning ligger drivstoffkostnadene i området 3,05 – 4,29 USD/100 km. Storskala dampreforming av naturgass med SMR og komprimering til LH₂ med distribusjon i tankbil gir resultat i området 3,48 - 4,74 USD/100 km. Utplassert metanolreforming vil i studien gi drivstoffkostnader i området 3,28 – 12,27 USD/100 km, mens resultatet for tungoljereformering er 3,06 – 4,81 USD/100 km.

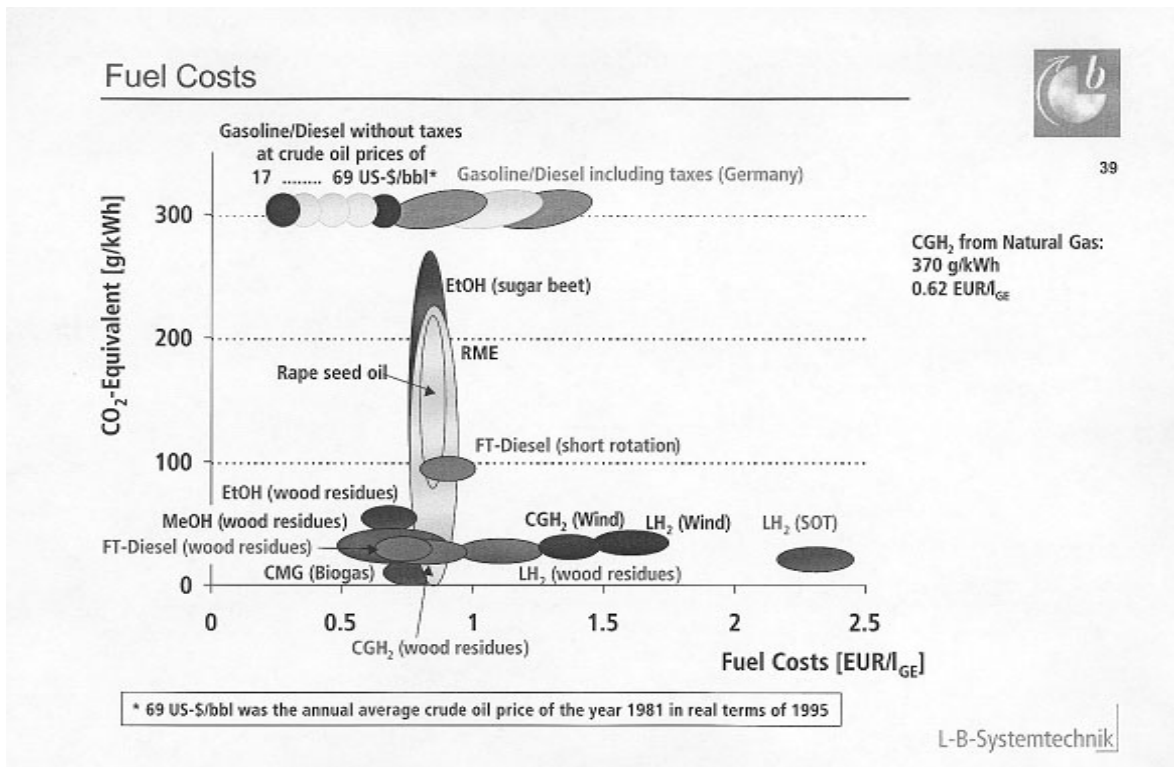
Figur 7 Drivstoffkostnader per kjørte kilometer for brenselcellebiler i Tyskland. 2005 scenario (USD/100km)



I USA er produksjonskostnadene for hydrogen beregnet til å være noe lavere enn i Tyskland, unntatt når metanol benyttes som utgangspunkt. Den lave prisen på bensin i USA gjør brenselcellebiler mindre konkurransedyktige i forhold til biler med forbrenningsmotor. I USA er drivstoffkostnadene for hydrogenrevne brenselcellebiler beregnet til å ligge mellom 1,99 og 11,15 USD/100 km for de ulike alternativene. Tilsvarende for Tyskland er 1,96-13,38 USD/100km.

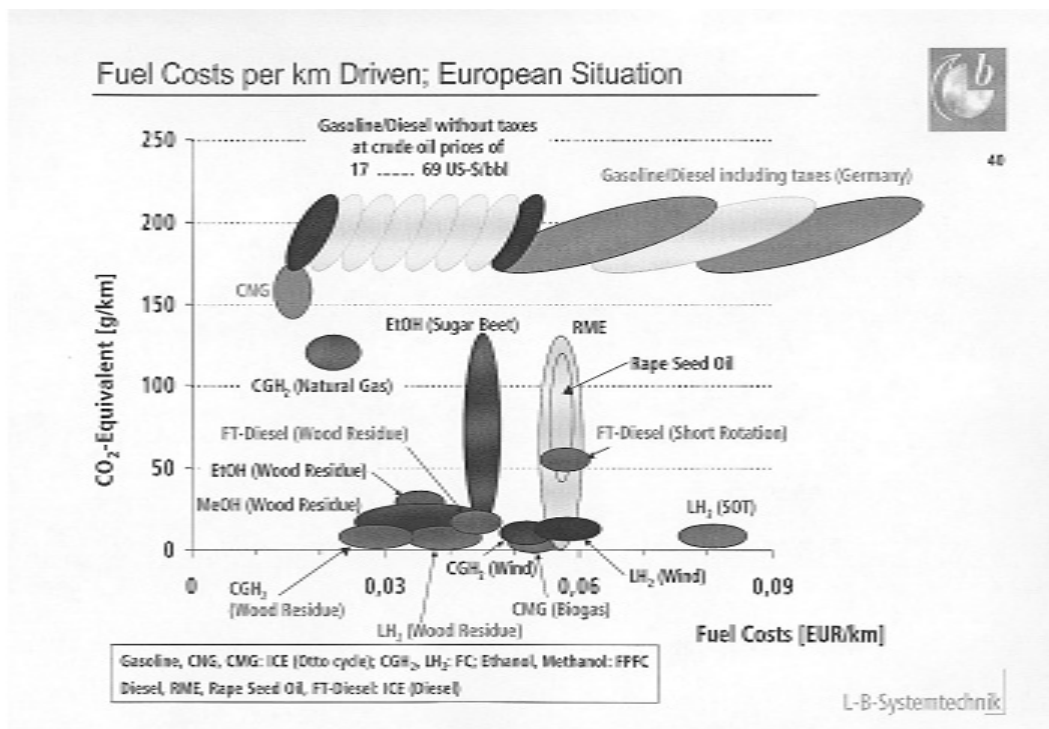
L-B-Systemtechnik har også gjort en nyere analyse av hydrogen som drivstoff (Altmann, 2003). Denne analysen inkluderer produksjon av hydrogen, energitilgjengelighet, Well-to-Wheel (WtW) utslipp og kostnader, samt utslippsscenarioer. Av betydning for usikkerheten knyttet til kostnadene på brenselcellekjøretøy framhever analysen at det er stor usikkerhet knyttet til energiforbruk ved produksjon av brenselcellekjøretøy. Dette har også betydning for WtW klimagassutslippet ved brenselcellekjøretøy, faktisk slik at en dobling (økning på 20 g CO₂-ekvivalenter) oppnås ved å benytte øvre estimerte verdier sammenlignet med lave estimater (Weiss et al., 2003; Pehnt, 2002). Sammenlikningen av drivstoffkostnader og drivhusgassutslipp for ulike systemer er vist i Figur 8 og Figur 9.

Figur 8 Drivstoffkostnader (EURO per liter bensin-ekvivalent) og drivhusgassutslipp (gram CO₂-ekvivalenter per kWh) for ulike systemer



Kilde: Altmann (2003)

Figur 9 Drivstoffkostnader og drivhusgassutslipp for ulike systemer (EURO og gram CO₂-ekvivalenter per kjørte kilometer)



Kilde: Altmann (2003)

Som det framgår av figuren er kostnadene per kjørte kilometer lavest for naturgass og bensin/diesel uten avgifter, men basert på det lavere prisområdet for råoljepriser. Hydrogen produsert fra naturgass kommer også bedre ut prismessig enn de andre hydrogenalternativene. Av "lav-klimagass" systemene har følgende drivstoff produsert fra trevirkerester lavest kostnad (nevnt fra lav til økende kostnad): komprimert hydrogen, metanol, etanol, flytende hydrogen, Fisher-Tropps diesel. Komprimert hydrogen produsert fra vindenergi, biogass og flytende hydrogen (produsert fra vind-energi) har høyere kostnad per kjørte kilometer. Flytende hydrogen produsert fra sol- eller termisk (SOT) energi har høyest kostnad, hvis en da ser bort fra det øverste området på bensin/diesel med avgifter inkludert. Både etanol produsert fra sukkerroe og biodiesel fra raps har stort spenn i klimagassutslipp, p.g.a. stor ulikhet i produksjonsforutsetninger. Kostnadmessig kommer etanol best ut av disse to, men har klart høyere kostnad enn hvis produsert fra trevirkerester. Kostnadene for kjøretøy er ikke inkludert i studien, grunnet for stor usikkerhet rundt dette (Altman, pers meddel.).

6.6. Sosiologiske studier

De franske VEL-studiene

Det er bred enighet om at overgangen til et "hydrogensamfunn" vil være en langvarig og omfattende prosess. Denne type teknologiske endringer skjer ikke ofte fordi de er kostbare og vanskelig å oppnå. Et hovedpoeng er at implementeringen av hydrogen ikke kun handler om introduksjon av et sett nye teknologier. Det involverer også arbeid med å bli kvitt teknologier som allerede er på plass og utfører viktige oppgaver. Således innebærer implementeringen en situasjon hvor et nytt teknologisk system må konkurrere og på en eller annen måte vise overlegenhet overfor et eksisterende system. Det finnes studier av historiske paralleller som er viktige i forståelsen av dette.

Callon (1980, 1987) analyserte de ambisiøse forsøkene med å utvikle et elbil-system i Frankrike tidlig på 1970-tallet, det såkalte *VEL* – systemet med elektriske biler. Det er også vært å legge merke til at ikke bare handlet *VEL* prosjektet om en batteridrevet bil, men var på sikt tenkt på som en *brenselcellebil* drevet med *hydrogen*. Det store markedet for privattransport var betraktet å være innen rekkevidde ved hjelp av gjennombrudd i brenselcelleteknologi og brenselcellebiler, samt utvikling av en ny infrastruktur for hydrogenenergi. En slik utvikling i nye grunnleggende teknologier for energiomdanning ble beskrevet som realistisk på slutten av 1980-tallet.

VEL-prosjektet forlot egentlig aldri laboratoriene og tegnebrettene. Ting skulle snart vise seg å gå svært feil. Det svært ambisiøse prosjektet tok bl.a. ikke hensyn til symbolverdien som personbiler utgjør, og ville redusere de prestisjetunge franske bilprodusentene (spesielt Renault) til generiske komponentprodusenter for elektriske biler. I tillegg tok ikke prosjektet godt nok hensyn til utfordringene som lå i å utvikle og forbedre en rekke nødvendige komponenter for el-bilene, som mer effektive batterier og brenselceller.

Motstand oppstod derfor på flere områder, mye likt geriljakrigføring i henhold til Callon. "Reverse salient" er et begrep benyttet av Hughes (1983, 1987) for å beskrive en slik

motstand i hans historiske analyse av den tidlige elektrifiseringen av USA og Vest-Europa, en prosess hvor elektrisitet måtte utkonkurrere det etablerte systemet basert på gass. "Reverse salient" er tatt fra krigsterminologi. I krigsterminologi er "salient" en framskridende kile som drives inn i fiendens frontlinje. Hughes argumenterer med at "reverse salients" blir utviklet når teknologiske systemer ekspanderer. De er komponenter i et system som har blitt liggende etter eller er ute av fase med de andre systemene. P.g.a. den ujevne og komplekse endring som forstås ved dette begrepet foretrekker han å benytte det mer visuelle – og instrumentelle – begrepet om flaskehals, et begrep som er mye anvendt i teori og analyser av transportsystemer. Suksessen til nye – eller alternative – teknologiske systemer avhenger av deres evne til å håndtere "reverse salients" når de dukker opp.

Slike case som det franske VEL –prosjektet – og storskala alternative hydrogenenergi-prosjekter – kan betegnes som radikale innovasjoner. De viser ingen tydelige skiller mellom de ulike fasene i innovasjonen, fra de mer begrensede vitenskapelige og tekniske sidene til de mer komplekse økonomiske, kommersielle og politiske; *"Helt fra starten blir teknologiske, vitenskapelige, samfunnsmessige, økonomiske, og politiske hensyn uatskillelig bundet sammen i en organisk helhet. Slike former for uensartethet og kompleksitet, som alle er enig finnes ved slutten av prosessen, er ikke gradvis introdusert underveis. De er tilstede fra starten"* (Callon 1987, p. 84). Dette understreker nødvendigheten av å analysere slike innovasjoner som komplekse og uensartede helheter, til og med fra starten.

Callon og Hughes understreker viktigheten av tekniske så vel som ikke-tekniske systemkomponenter som flaskehals eller barrierer ("reverse salients").

7. Oppsummering

Basert på gjennomgangen av ikke-teknologiske barrierer, og systematiseringen av barrierene i de to dimensjonene, kommer vi fram til: 1) Oversikt over studier og prosjekter som omhandler ikke-teknologiske barrierer i de to dimensjonene, 2) Eksempler på ikke-barrierer systematisert i de to dimensjonene. Dette er vist i de neste 2 tabeller:

Studie/prosjekt	Sub-system 1: <i>H₂-produksjon- og distribusjon</i>	Sub-system 2: <i>Kjøretøyproduksjon</i>	Sub-system 3: <i>Anvendelse av H₂ i transportsystemet</i>
Sikkerhetsaspekter	EIHP, HySociety, NOU (2004)	HySociety, NOU (2004)	Bellona (2004), FCSHIP, Tronstad (2003), CUTE, ECTOS, DNV (2000), HySociety, NOU (2004)
Miljøkonsekvenser	HySociety, Altmann (2003), Weiss et al. (2003)	Frosch og Gallopoulos (1989), Høyer (1997), HySociety, Altmann (2003), Weiss et al. (2003), Pehnt (2002)	ECTOS, CUTE, HySociety, Altmann (2003)
Regelverk / manglende regelverk	EC (2003), EIHP, Palm et al. (2003), HySociety, HyNor, NOU (2004)	HySociety	Bellona (2004), Saugerud (2004), FellowSHIP, HySociety, SEmPER.net, NOU (2004)
Politikk / manglende politisk enighet	Nordic Hydrogen Foresight, ECTOS		
Høye kostnader	Kruse et al. (2002), Palm et al. (2003), Thomas et al. (1998b), Bossel et al. (2003), HySociety, HyWays, Nordic Hydrogen Foresight, Huber & Altman (1999), Altmann (2003)	Andersen (2003, 2004), Ashley (2002), Azar et al. (2000), Lomax (1998), Lloyd (1999), Kruse et al. (2002), Peters & Powell (2004), Berry & Aceves (1998), Ogden et al. (1998), Petterson & Hjortsberg (2000), Kalhammer et al. (1998), Thomas et al. (1998a), HySociety, HyWays	Faltenbacher et al. (2003), Azar et al. (2000), H2 World (2004), HySociety, SEmPER.net, HyWays, Huber & Altman (1999), Altmann (2003)
Manglende publikumsaksept	Boyd (2004), HySociety, HyWays, Nordic Hydrogen Foresight,	HySociety,	Bellona (2004), INE (2004a), INE (2004b), Ulli-Ber og Haefeli (2001), HySociety, HyWays
Andre	Palm et al. (2003), HySociety, Callon (1980, 1987), Hughes (1983, 1987)	HySociety, Hughes (1983, 1987), Callon (1980, 1987)	HySociety, SEmPER.net, HyWays

Barrierer	Sub-system 1: H₂-produksjon- og distribusjon	Sub-system 2: Kjøretøyproduksjon	Sub-system 3: Anvendelse av H₂ i transportsystemet
Sikkerhets-aspekter	Ukyndig personell ved dispenser		Manglende kunnskap om H ₂ -håndtering generelt, i verksteder spesielt
Miljø-konsekvenser	For reformering av naturgass: Framtidig knapphet på petroleumsbaserte energiressurser. Høyt elektrisitetsbruk til å drive elektrolysen. I sentraliserte systemer: Høyt WtW energibruk fra transport av hydrogengass over lange avstander. Stor forurensing fra transporten. CO ₂ - utslipp fra reformering av naturgass. Deponering av CO ₂ energikrevende Vindkraft-, kjernekraft-, vannkraftmotstand. Bio- og solenergi arealkrevende	Miljøproblemer fra økt utvinning av platinametaller	Eksosutslipp av NO _x fra hydrogen forbrenningsmotorer
Regelverk / manglende regelverk	Manglende koder og standarder for infrastruktur		Manglende regelverk for registrering og bruk av H ₂ -kjøretøy Mangel på felles regelverk og standarder for sikkerhet
Politikk / manglende politisk enighet	Mangel på konsistent myndighetspolitikk Mangel på konsistent industrielt engasjement		
Høye kostnader	Høy pris på H ₂ -utstyr Konkurranse fra andre alternative drivstoffer Høye kostnader ved elektrolyse Småskala dampreformering kostbar Lav befolkningstetthet gir høye kostnader per innbygger Lav pris på fossile drivstoff Dyr transport av hydrogengass	Høye kostnader for brenselceller Høye kostnader for H ₂ -lagring i kjøretøy Høye kostnader for reformer Høye kostnader på demonstrasjons-kjøretøy	Høy pris på H ₂ -energi Høye vedlikeholdskostnader på demonstrasjonskjøretøy Kort levetid på brenselceller Varierende drivstofforbruk i demonstrasjonskjøretøy
Manglende publikumsaksept	Frykt for ulykker ved fyllestasjoner		Allmennhetens manglende oppfatning om fordelene ved H ₂ Manglende tiltro til brenselcelleteknologi Publikum vant til billig elektrisitet
Andre	Usikkerhet om alternativene Norge er stor eksportør av fossil energi (hydrogenenergi er ikke en måte å redusere importavhengighet på) "Reverse salients"	"Reverse salients"	

8. Forslag til videre arbeid

En videreføring av arbeidet med ikke-teknologiske barrierer knyttet til HyNor bør bestå av to hovedkomponenter:

- 1) Utvikle mer systematisk kunnskap om ikke-teknologiske barrierer. Mer kunnskap om ikke-teknologiske barrierer gir nødvendig grunnlag for hydrogenimplementering i framtida. Slik kunnskap kan skaffes til veie ved å ytterlig studere tidligere arbeider og andre pågående prosjekter/studier om ikke-teknologiske barrierer knyttet til implementering av hydrogenenergi i transport.
- 2) En annen måte å skaffe til veie mer kunnskap om ikke-teknologiske barrierer for hydrogenenergi i transport er å systematisk kartlegge og analysere de ikke-teknologiske barrierene i form av en følgestudie av HyNor-prosjektet. Man kan tenke seg to hovedmål med dette:
 - a. *Få umiddelbar kunnskap om ikke-teknologiske barrierer knyttet til faktisk implementering av hydrogen i transportsektoren*

En slik evaluering gjennom følgestudie av HyNor vil frambringe umiddelbar kunnskap om hvilke utfordringer og barrierer et hydrogenprosjekt møter underveis når det skal ut i den virkelige verden. Det gjelder ikke minst motiver og holdninger til aktørene i prosjektets mange små og store deler. Det er kun gjennom å studere et prosjekt mens det faktisk gjennomføres at vi kan få den virkelig nyttige kunnskapen om dette.
 - b. *Gi systematisk og kontinuerlig tilbakeføring av kunnskap til HyNor-prosjektet underveis om ikke-teknologiske barrierer*

En slik følgestudie vil gi muligheter for tilbakeføring av kunnskapen til HyNor-prosjektet underveis, slik at man forhåpentligvis kan unngå de verste feilgrepene og styre prosjektet videre forbi store og små hindringer. Det vil også gi muligheter for å oppdage eventuelle konflikter tidlig og konfrontere dem i stedet for å få ”celler” som kan motarbeide prosjektets gang.

9. Referanser

- Altman, M. (2003): *Hydrogen Fuel – Hydrogen Production, Energy Availability Potentials, Well-to-Wheel Emissions and Costs, Emission Scenarios*. L-B-Systemtechnik GmbH, Daimlerstrasse 15, D-85521 Ottobrunn, www.lbst.de.
http://www.hyweb.de/Wissen/pdf/Brussels_Altmann_24SEP2003.pdf
- Andersen, O. (2003): *Bruk av hydrogen i transport. Teknologiske barrierer ved brenselceller*. Vf-rapport 1/2003. Vestlandsforskning, Sogndal.
- Andersen, O. (2004): *Økonomiske faktorer og forhold ved anvendelse av hydrogen i transport*. Vf-notat 10/2004. Vestlandsforskning, Sogndal.
- Ashley, S. (2002): Fuel cells start to look real. *Automotive Engineering International Online*. Society of American Engineers.
(<http://www.sae.org/automag/features/fuelcells/index.htm>).
- Azar, C., Lindgren, K. and Andersson, B. (2000): *Hydrogen or methanol in the transportation sector?* KFB-Rapport 2000:35. The Swedish Transport and Communications Research Board (KFB), Stockholm.
- Bellona (2004): *Innspill til Hydrogenutvalget*. Bellona 12/02/2004,
(<http://www.bellona.no/no/32591.html>).
- Berry, G.D. & Aceves, S.M. (1998): Onboard storage alternatives for hydrogen vehicles. *Energy and fuels*, 12 (1), 49-55.
- Bijker, W.E., Hughes, T.P. and Pinch, T. (1987): *The Social Construction of Technological Systems*. Massachusetts, US: MIT Press, Seventh printing.
- Bossel, U., Eliasson, B. and Taylor, G. (2003): *The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?* Final Report. 15. April 2003.
(http://www.efcf.com/reports/E02_Hydrogen_Economy_Report.pdf).
- Boyd, R.W. (2004): *The story of how the London CUTE bus trial refuelling site won national and local approvals*. Presentation at Fuel Cell Seminar San Antonio, Texas, 1-5 November 2004. (<http://www.hydrogensafety.info/articles/RobertBoyd-ShortCourse-2004.pdf>).
- Callon, M. (1980): The State and Technical Innovation: A Case Study of the Electrical Vehicle in France. *Research Policy* 9: 358-376.
- Callon, M. (1987): Society in the Making: The Study of Technology as a Tool for Sociological Analysis. In: *Bijker et al* (1987).
- Dannemand Andersen, P., Greve, O., og Jørgensen, B. H. (2004): *Nordic H₂ Energy Roadmaps*. Nordic H₂ Energy Foresight. Working Paper, 2nd draft. March 2004.
(<http://www.h2foresight.info/Events/Nordic%20H2%20Energy%20Roadmaps%20v2.pdf>).
- DNV (2000): *Safety Assessment of Hydrogen Buses. Prestudy*. Report No. 2000-3525. Revision No. 02. Det Norske Veritas.
- DOE (1997): *Hydrogen Infrastructure Report*. Prepared for The Ford Motor Company. July 1997. Under Prime Contract No. DE-AC02-94CE50389 U.S. Department of Energy. Office of Transportation Technologies.
- EIHP (2004): *Gaseous Hydrogen Vehicle Fuelling Stations*. EIHP WP2: Refuelling Station Group. (Downloadable from www.eihp.org).

- European Commission (2003): *Hydrogen Energy and Fuel Cells: A Vision of our Future*. Final report of the High Level Group for Hydrogen and Fuel Cells Technologies. European Commission. (http://www.hynet.info/ecactiv/docs/highlg/hydrogen-report_en.pdf)
- European Commission (2004): *R&D needed for hydrogen*. (http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt/nn_rt_hy/article_1144_en.htm)
- Frosch, R.A. and Gallopoulos, N.G. (1989): Strategies for Manufacturing. *Scientific American*, September, p. 94-102.
- Faltenbacher, M., Schaible, B. and Wacker, M. (2003): *How to supply fuel cell cars in Stuttgart with hydrogen – a view into the year 2020*. Fuel Cell Centre of Competence and Innovation (FC³I). Kontaktperson: Br. Schaible; Tel.: +49 (711) 6862-566; kibz@brennstoffzellen-initiative.de.
- H2World (2004): *CUTE evaluation*. H2World – The Journal for Sustainable Hydrogen. October 2004, p. 27.
- Hansen, A. M. (2002): *CUTE – 2002. Quality & Safety*. Report to the hydrogen bus project in Oslo. December 2002.
- Huber, A. and Altman, M. (1999): *Hydrogen Production Costs for Fuel Cell Vehicle Applications*. Fuel Cell Systems for Transportation, Final Report 1997 – 1999. L-B Systemtechnik GmbH, Daimlerstrasse 15, D-85521 Ottobrunn, www.lbst.de.
- Hughes, T.P. (1983): *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*. Baltimore, US: John Hopkins University Press
- Hughes, T.P. (1987): The Evolution of Large Technological Systems. In: *Bijker et al* (eds 1987).
- Hugstmyr, I. (2003): *EIHP2 WP 2.1 – Codes and Standards*. (Downloadable from www.eihp.org).
- HyNet (2002): *Evaluation of hydrogen related Expressions of Interest (EoI) in preparation of FP6*. Sustainable Energy by means of Policy and Economic Research network - SEmPER.net. IEFÉ - Istituto di Economia e politica dell'energia e dell'ambiente. (http://www.hynet.info/hyactiv/docs/Evaluation_%20of_hydrogen_related_EoIs_V2.pdf).
- Høyer, K.G. (1997): Recycling: Issues and Possibilities. I *The Global Environment. Science, Technology and Management*, Brune. D., Chapman, D.V., Gwynne, M.D. and Pacyna, J.M. (red.), VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, s. 817-832.
- Icelandic New Energy (2004a): ECTOS – Ecological City Transport System. Second Newsletter. Edited by Icelandic New Energy.
- Icelandic New Energy (2004b): ECTOS. Third Newsletter. Icelandic New Energy. March 2004.
- Kalhammer, F.R., Prokopius, P.R., Roan, V.P. and Voecks, G.E. (1998): *Status and Prospects of Fuel Cells as Automobile Engines*. A Report of the Fuel Cell Technical Advisory Panel. State of California Air Resources Board, Sacramento, California.
- Kruse, B., Grinna, S. og Buch, C. (2002): *Hydrogen. Status og muligheter*. Rapport 6 – 2002. ISBN 82-92318-04-6. Bellona. (http://www.bellona.no/data/f/0/23/01/8_9811_0/hydro7_m_cover.pdf).

- Lloyd, A.C. (1999): The power plant in your basement. *Scientific American*, July, 281 (1), 80-86.
- Lomax Jr, F.D., James, B.D., Baum, G.N. and Thomas, C.E.S. (1998): *Detailed Manufacturing Costs for Polymer Electrolytic Membrane (PEM) Fuel Cells for Light Duty Vehicles*. Directed Technologies, Inc. Arlington, Virginia.
- Moisan, F. (2004): *IPHE. Implementation-Liaison Committee. Socio-economics of hydrogen*. Presentation at IPHE ILC Committee Meeting, Reykjavik, Iceland, September 22-25, 2004. (<http://www.iphe.net/ILC-IcelandPresentations.htm>).
- Nilsen, S. og Andersen, H.S. (2003): *Risk Assessment of Hydrogen Refuelling Station Concepts Based on Onsite Production*. EIHP2 Topic 5: Cross cutting themes - Safety. (Downloadable from www.eihp.org).
- NOU (2004:11): *Hydrogen som fremtidens energibærer*. Norges Offentlige utredninger.
- Ogden, J.M., Steinbugler, M.M and Kreutz, T.G. (1998): A comparison of hydrogen, methanol and gasoline as fuels for fuel cell vehicles: Implications for vehicle design and infrastructure development. *Journal of Power Systems*, 79, 143-168.
- Palm, T., Kruse, B., Håndlykken, E. og Buch, C. (2003): *Hydrogen. Miljøegenskaper, status og utfordringer. Status for bruk av hydrogen i veitransport. Miljøegenskaper sammenliknet med andre drivstoff. Barrierer for introduksjon av hydrogen i transportsektoren*. Januar 2003. Zero Emission Resource Organisation. (<http://www.zero.no/pdf/hydrogennotat.pdf>).
- Pehnt, M. (2002): *Ganzheitliche Bilanzierung von Brennstoffzellen in der Energie- und Verkehrstechnik*. VDI Verlag, Düsseldorf 2002.
- Peters, M. & Powell, J. (2004): *Fuel cells for a sustainable future II: Stakeholder attitudes to the barriers and opportunities for stationary fuel cell technologies in the UK*. Tyndall Centre Working Paper No. 64. Tyndall Centre for Climate Change Research / Centre for Social and Economic Research on the Global Environment (CSERGE).
- Petterson, J. and Hjortsberg, O. (2000): *Hydrogen storage alternatives – A technological and economic assessment*. Volvo Technological Development, Göteborg, and the Swedish Transport and Communications Research Board (KFB), Stockholm.
- Saugerud, O.T. (2004): *Godkjenning av hydrogenkjøretøy*. Presentasjon på Norsk hydrogenforum konferanse i Oslo 1. desember, 2004. (http://www.HyNor.no/pdf/HyNor_konf_OHrsum.pdf)
- Schmidtchen, U. (2002): *Hydrogen safety*. EIHP, Brussels, 2. October 2002. (<http://www.dpi.wa.gov.au/fuelcells/presentations/germanhydrogen/p2.html>)
- Selmer-Olsen, S. (2004): *European Integrated Hydrogen Project – Phase II. Results from RBMI Workshop, London 29-30th January 2004*. Sub-task 2.4. Health Environmental and Safety (HES). (Downloadable from www.eihp.org).
- Skúladóttir, B & Þórdarson, H. (2003): *ECTOS. Environmental Evaluation of Air Quality. Midterm report*. ITÍ0312/HTD12. 8HE0101. ECTOS Delivery 7. October 2003. Technological Institute of Iceland.
- Thomas, C.E.S., James, B.D., Lomax Jr, F.D. and Kuhn Jr, I.F. (1998a): *Integrated analysis of hydrogen passenger vehicle transportation pathways*. In Proceedings of the 1998 US DOE Hydrogen Programme Review. Directed Technologies, Inc. Arlington, Virginia.

Thomas, C.E.S., Kuhn, I.F., James, B.D., Lomax, F.D. and Baum, G.N. (1998b): Affordable Hydrogen Supply Pathways for Fuel Cell Vehicles. *Int. J. Hydrogen Energy*, 23 (6), 507-516.

Tronstad, T. og Byrknes, J. (2003): *Fuel Cells in Ships: Safety & Reliability*. (http://www.dnv.com/binaries/Fuel%20Cells%20in%20Ships%20-%20Safety%20and%20Reliability_tcm4-20784.pdf)

Ulli-Beer, S. & Haefeli, U. (2001): *Poll of the general public in the partner communes 1997/98, 1999 and 2001*. Swiss Energy / Commune di Mendrisio. (http://www.vel2.ch/content_db/documenti_pdf/poll_of_general_public.pdf).

Weiss, M.A, Heywood, J.B., Schafer, A. and Natarajan, V.K. (2003): *Comparative Assesment of Fuel Cell Cars*. MIT, February, 2003.

10. Kontaktpersoner

Arnason, Bragi. University of Iceland.

Ahlvik, Peter, Ecotraffic, Stockholm

Altmann, Matthias, L-B-Systemtechnik, Tel +49/89/608110-38

Hugosson, Björn. Miljöförvaltningen, Stockholms Stad

Skramstad, Per Arne, Toyota Norge AS

Skulason, Jon Bjørn. NyOrka, Iceland.

Kort beskrivelse av ulike alternativer for hydrogeninfrastruktur vurdert i Huber & Altman (1999).

ID nr.	Hydrogen infrastruktur	Utnyttelses-grad (%)	Energikilde	Distribusjon
1.2.1.2	Biomasse gasifiseringsanlegg fra WM + rørledning og fyllestasjoner fra AirProducts (se 3.2.1.1)	90	Biomasse	48 km rørledning
2.1.5.1	Masseprodusert stor "fast-fill" flåtefyllestasjon	68	Elektrisitet	Utplassert
2.1.6.1	Masseprodusert kontinuerlig hjemmeelektrolyse	100	Elektrisitet	Utplassert
2.1.6.2	Masseprodusert HVRA 500	48	Elektrisitet	Utplassert
3.1.3.1	Masseprodusert utplassert SMR	69	Naturgass	Utplassert
3.1.3.2	Masseprodusert utplassert SMR	83	Naturgass	Utplassert
3.2.1.4	SMR + 10 rørledninger og 100 fyllestasjoner	69	Naturgass	48 km rørledning
3.2.2.2	SMR + rørledning og 10 fyllestasjoner	69	Naturgass	48 km rørledning
3.3.1.4	SMR + kompressor + LH ₂ tankbil + 89 3tpd fyllestasjoner	91	Naturgass	48 km tankbil
3.3.1.5	SMR + kompressor + LH ₂ tankbil + 89 3tpd fyllestasjoner	91	Naturgass	805 km tankbil
3.3.1.6	SMR + kompressor + LH ₂ tankbil + 100 fyllestasjoner	83	Naturgass	805 km tankbil
3.3.2.1	SMR + kompressor + LH ₂ tankbil + 53 0,5tpd fyllestasjoner	90	Naturgass	48 km tankbil
3.3.2.3	SMR + kompressor + LH ₂ tankbil + 10 fyllestasjoner	83	Naturgass	805 km tankbil
4.1.3.1	Masseprodusert utplassert MeOH reformer	69	MeOH	Utplassert
5.1.3.1	Masseprodusert utplassert POX ⁵	69	Tungolje	Utplassert
5.2.2.1	Masseprodusert utplassert POX	69	Tungolje	48 km rørledning

⁵ Partiell oksydering