

Benchmarkingtest, standardisering og koordinering af elektrolyseprojekter

EUDP Journal nr. 64011-0328

Slutrapport, november 2014

Projektpartnere:



Støttet af:



Tilsagnshaver (projektansvarlig):

Partnerskabet for brint og brændselsceller

Rosenørns Alle 9

DK-1970 Frederiksberg

Projektleder: Aksel Mortensgaard

Telefon: +45 39 20 20 03

E-mail: akmo@hydrogennet.dk / jj@hydrogennet.dk

Benchmarkingtest, standardisering og koordinering af elektrolyseprojekter

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	5
2	Sammenfatning	6
3	Partnere og bidrag	7
3.1	IRD A/S	8
3.2	H2 Logic A/S	9
3.3	GreenHydrogen.dk ApS	10
3.4	DTU Energi.....	11
3.5	Partnerskabet for brint og brændselsceller	12
4	Arbejdspakke 0 – Projektledelse og administration	13
4.1	Task 0.1 Projektstyring	14
4.2	Task 0.2 Projektaftale mellem parterne.....	15
4.3	Task 0.3 Rapportering	15
4.4	Task 0.4 Økonomistyring	16
5	Arbejdspakke 1 – Udvikling af Benchmarkingtest	17
	Task 1.1 Konsultation af brugere.....	18
5.1	Task 1.2 Udkast til industristandarder	20
5.2	Task 1.3 Review	21
5.3	Task 1.4 Revideret industristandard	23
6	Arbejdspakke 2 – Erfaringsudveksling	28
6.1	Task 2.1 Oversigt over standarder og krav for elektrolyseanlæg.....	29
6.2	Task 2.2 Erfaringsudveksling om tekniske løsninger	32
6.3	Task 2.3 Årlig workshop og symposier	33
7	Arbejdspakke 3 – Formidling og perspektivering	36
7.1	Task 3.1 Rapport om projektresultater og perspektiver	37
7.2	Task 3.2 Formidling af projektresultater	42
7.3	Task 3.3 Identificering af nye tiltag for udvikling og kommercialisering	43
8	Konklusion og anbefalinger	45
9	Referencer og links	47
10	Bilag	48
	Benchmarkingtest, standardisering og koordinering af elektrolyseprojekter	3

1 Indledning

Projektet har til formål at udvikle fælles grundlag for benchmarkingtest og standarder for de danske EUDP-11-støttede projekter inden for elektrolyse (Hyprovide). Koordinering skal sikre en effektiv energiteknologisk udvikling blandt komponentudviklere, systemintegratorer og producenter og forhindre, at der sker unødigt dobbeltarbejde blandt potentielle interessenter inden for området.

Projektperiode: 1. januar 2012 - 31. august 2014

I omstillingen af det danske energisystem fra overvejende, at være baseret på fossile brændsler som olie, naturgas og kul til primært at benytte vedvarende energi, ventes elektrolyse at spille en afgørende rolle. Brintfremstilling gennem elektrolyse vil formentlig på sigt være den mest hensigtsmæssige proces til at sikre balance i energisystemet, hvor der forventes større udsving i elektricitetsproduktionen med en øget andel af vindenergi. Derudover løser elektrolyse en række udfordringer i forbindelse med energi til transportsektoren.

Elektrolyseteknologien står foran et markedsgennembrud, hvor der i Danmark arbejdes på tre lovende teknologier: lavtemperaturelektrolyse (PEMEC), alkalisk elektrolyse (AEC) og højtemperaturelektrolyse (SOEC). Afgørende for markedsintrouktionen er, at de danske teknologier følger de internationale standarder på områder, og ikke mindst at der sikres en fortsat positiv udvikling af standarder, med dansk indflydelse. En dansk deltagelse i processen vil gøre, at de danske interesser inddrages, at de danske virksomheder har kendskab til forslag og ændringer, og at grænseflader mellem elektrolyseteknologi-producenter, systemintegratorer og systemanvendelsen/slutbrugeren bliver så veldefinerede som muligt, hvilket vil fremme udbredelsen af teknologien, som er i fokus for de danske virksomheder.

Hovedansøgerne bag tre EUDP-11-projekter, Greenhydrogen A/S, H2 Logic A/S og IRD A/S, repræsenterer en stor del af værdikæden, som både teknologi-producenter og systemintegratorer. For at styrke de individuelle projekter ansøgte Partnerskabet for brint og brændselsceller og DTU Energi sammen med de danske virksomheder, om et projekt til sikring af erfaringsudveksling, og for at fremme udviklingen af fælles standarder og en platform for benchmarking af elektrolyseteknologier.

2 Sammenfatning

Projektet 'Benchmarkingtest, standardisering og koordinering af elektrolyseprojekter' har i høj grad opnået sit mål om koordinering blandt tre store elektrolyseprojekter under EUDP. Der er i projektet blevet afholdt erfaringsudvekslingsmøder mellem komponentudviklere, systemintegratorer og producenter, hvilket har resulteret til forståelse og udvikling af teknologien. Som en del af projektet er der afholdt workshops, hvor en bred skare af nationale og internationale interessenter har deltaget og projektets resultater er blevet præsenteret.

Arbejdet med at udvikle en fælles dansk industristandard for benchmarking af elektrolyseanlæg, har vist sig vanskeligt, grundet usikkerhed omkring hvad det reelle behov var, men projektet har dannet overblik over hvilke standarder der eksisterer på området, og hvor der er behov for yderligere indsats. Projektpartnerne har i dialog med andre elektrolyseproducenter, kunder m.v. udarbejdet en benchmarkingparameterliste, som synliggør hvilke områder der har behov for fortsat fokus på, Tabel 1. Projektpartnerne har en fælles forståelse af, at især parametre relateret til levetid og degradering mangler i nuværende standarder, eller i form af en industristandard. Men projektpartnerne er samtidigt erkendende overfor udfordringerne ved at opnå enighed omkring hvordan disse skal både defineres og testes. Yderligere er det værd at bemærke at virksomhederne efterspørger mulighed for at kunne sammenholde forskellige elektrolyseanlægs ydelse rettet mod specifikke anvendelser, såsom elektrolyse til brinttankstationer, mikrokraftvarmeanlæg (m. elektrolyse) og storskala-elektrolyseanlæg.

Tabel 1 - Benchmarkingparametre som ikke er indeholdt i gældende standarder

Parametre
<ul style="list-style-type: none">• Levetid af stak/system [drifttimer]• Degradering eller behov for overspænding [% årlig]• Beregnede effektiviteter [kWh/nm³]• Produktionsændringstid m.v. [minutter]• Applikationsspecifikke data [-]

Elektrolyse vurderes som værende en central del af fremtidens fossilfrie energisystem og ses anvendelig både i forbindelse med optankningsstationer til køretøjer og central og decentral kraftvarmeproduktion. Her kan teknologien omdanne fluktuerende vind, sol og bølgekraft til ilt og lagringsdygtigt brint. Brinten har herefter en række anvendelsesmuligheder, hvad enten den bruges som ren brint, er med til at opgradere andre gasser eller om den sammen med forgasningsgas konverteres til grønne syntetiske brændstoffer.

3 Partnere og bidrag

Hyprovide koordineringsprojektets tre sideløbende projekter:

Hydrogen fremstillet ved elektrolyse - LT-PEMEC teknologien - IRD A/S (64011-0107)

HyProvide large-scale alkaline electrolyser - GreenHydrogen.dk ApS (64011-0105)

Hyprovide - HRS "Brintoptankning for biler" - H2 Logic A/S (64011-0106)

Dette EUDP-medfinansierede projekt har haft til formål at udvikle et fælles grundlag for benchmarkingtests og standarder – nationalt samt internationalt på sigt. Endvidere er formålet at sikre erfaringsudveksling mellem de sideløbende elektrolyseprojekter. Projektets partnere – er GreenHydrogen.dk ApS, H2 Logic A/S og IRD A/S og Partnerskabet for brint og brændselsceller (herefter Partnerskabet). Partnerskabet har været overordnet projektleder, DTU Energi har fungeret som arbejdspakkeleder og Dansk Gasteknisk Center A/S har som ekstern leverandør, leveret dele af de i rapporten præsenterede resultater. Desuden har Haldor Topsoe, som arbejder med højtemperaturelektrolyse (SOEC) også deltaget i projektet.

Ansøgningen til dette projekt blev indsendt med henblik på at sikre synergi mellem tre elektrolyseprojekter bevilliget af EUDP i 2011. Projektpartnerne så oplagte muligheder i at løse fælles udfordringer indenfor både tekniske problemstillinger, standardisering, samt lovgivning- og godkendelsesspørgsmål.

De tre partners elektrolyseprojekter omhandler hver deres teknologi, og tre forskellige anvendelsesområder, hvorfor der i koordineringsarbejdet har været fokus på at repræsentere denne bredde.

3.1 IRD A/S

IRD A/S er en højteknologisk virksomhed der er engageret i forskning, udvikling og produktion af brændselscelleteknologi. Gennem stærke kompetencer inden for elektrokemi, kemi og materialekendskab samt stærk ingeniørmæssig kunnen inden for elektronik og mekanik, har IRD forvandlet ideer til patenter. Denne udvikling gennem ti år, har ført til kommercielle brændselscelleprodukter.

Hydrogen fremstillet ved elektrolyse – LT-PEMEC teknologien - IRD A/S (64011-0107)

Projektkonsortiet består af IRD Fuel Cells, elforsyningselskaberne TRE-FOR og SEAS NVE, AAU Institut for Energiteknik og firmaerne MovingEnergy og 1stMile. Projektet har til formål at udvikle og demonstrere et lavtemperatur (LT) PEM-elektrolyseanlæg til brug sammen med et LT-PEM mikrokraftvarmeanlæg (μ CHP) integreret i et Smart Grid.

Status på projektet

Grænseflader mellem systemerne og samspillet med det fremtidige Smart Grid er undersøgt. På systemsiden er membranen, membranintegrationen, MEA-sammensætningen (membrane electrode assembly) og MEA fremstillingsprocesserne blevet optimeret. Elektrolysestakke er fremstillet og testet til 100 bar. Stakdesignet er yderligere forbedret ud fra nye avancerede FEM-beregninger (finite element method). Systemkomponenter er identificeret og udviklet. Højtrykslager til brint er identificeret. Elektrolyse testsystemer er opbygget, hvor de udviklede komponenter afprøves og tilpasses. MEA test har kørt i mere end 21.000 timer. Hele elektrolysesystemer har kørt i mere end 500 timer. Opbygning af de endelige elektrolysesystemer er igangsat, for at det udviklede LT-PEM elektrolysesystem, kan testes og demonstreres alene og i forbindelse med LT-PEM μ CHP system i et Smart Grid Lite-scenarie.

Bidrag til projektet

IRD har bidraget med erfaringsudveksling omkring standarder og løsninger ved møder og workshops med hensyn til blandt andet balance of plant, vandbehandling, nettilslutning og integration med Smart Grid, samt inverterteknologi og godkendelser. Endvidere har IRD bidraget med formidling af projektresultater gennem deltagelse i møder med projektpartnere, elektrolysestrategifølgegruppemøder og workshops både nationalt og internationalt. IRD har i sin deltagelse i projektet sikret, at fokus også blev rettet mod elektrolyseanlæg til brug i mikrokraftvarmeanlæg med brintlagring (μ CHP(FC/EC)).

3.2 H2 Logic A/S

H2 Logic er en førende producent af brinttankstationer der sikrer elektriske brændselscellekøretøjer samme hurtige optankning og lange rækkevidde som benzin og diesel i dag. H2 Logic er i dag en blandt få førende virksomheder i verden indenfor brintoptankning, med en markedsandel på 40 % af alle nye brint tankstationer i Europa i 2013. H2 Logic er et profitabelt firma i konstant vækst siden 2003 og beskæftiger 38 personer med et højt specialiseringsniveau indenfor brint.

HyProvide - HRS brintoptankning for biler – H2 Logic (64011-0106)

Med HyProvide-HRS projektet sigter H2 Logic mod at videreudvikle dets 700 bar brinttankstations teknologi mod at nå kommercielle målsætninger, hvilket kan muliggøre salg af brint som brændstof til brændselscelleelektriske køretøjer. H2 Logic vil bruge HyProvide-HRS til at udføre dedikeret R&D af et brintoptankningssystem som kan konfigureres til en samlet tankstation. Ligeledes skal en understøttende brintproduktion specificeres i samarbejde med GreenHydrogen.dk ligesom at benchmarkingtest og evaluering af et anlæg skal gennemføres.

Status på projektet

Projektet har udviklet og testet en række komponenter og delsystemer som indgår i en brinttankstation, med det sigte at reducere omkostninger og øge kapaciteten. Et elektrolyseanlæg fra Greenhydrogen.dk er blevet optimeret og tilpasset i forhold til at muliggøre integration og afprøvning i en brint tankstation fra H2 Logic. I projektet er der løbende blevet arbejdet med planlægning og sikring af fortsatte F&U aktiviteter og kommercialisering af udviklingsresultaterne. Samlet er 5 nye F&U projekter med et totalbudget på 100 millioner kroner blevet iværksat i løbet af projektperioden, med støtte fra EUDP, DSF og FCH JU.

Bidrag til projektet

H2 Logic har bidraget med erfaring indenfor elektrolyseanlæg til brinttankstationsmarkedet, hvor H2 Logic er systemintegrator af elektrolyseanlæg. H2 Logic har stor erfaring med forskellige elektrolyseanlæg på markedet i dag, ligesom at selskabet har indsigt i specifikke krav og behov til elektrolyseanlæg. H2 Logic har udviklet en elektrolyse-kravspecifikation som anvendes til screening og sammenligning af elektrolyseanlæg, og denne specifikation har været udgangspunkt for benchmark-parametrene udarbejdet i projektet.

3.3 GreenHydrogen.dk ApS

GreenHydrogen.dk ApS blev grundlagt i 2007 og har følgende hovedaktionærer: Strandmøllen A/S, Borean Innovation A/S og EnergiMidt Udvikling A/S. GreenHydrogen.dk producerer elektrolysesystemer til fremstilling af brint og har kompetencer inden for udvikling og fremstillingen af komplette systemer. Elektrolysesystemer fra Greenhydrogen.dk kan drives af strøm fra el-nettet, men har også muligheden for at blive drevet direkte af strøm fra alternative energikilder, som solceller eller vindmøller i systemer der ikke er koblet på el-nettet, for produktion af 100 % grøn brint.

HyProvide large-scale alkaline electrolyser - GreenHydrogen.dk (64011-0105)

Det overordnede mål er at udvikle et koncept for alkaliske elektrolyseanlæg i megawatt-størrelse til brintproduktion. Målet er at skabe skalerbare modulære elektrolyseanlæg. Dette projekt fungerer som det første af tre faser i produktudviklingen, og formålet med denne fase er således at verificere hvorvidt det er muligt at øge produktionskapaciteten af GreenHydrogen.dks nuværende elektrolyse anlæg til MW størrelse.

Status på projektet

I projektet har GreenHydrogen.dk udviklet en ny elektrolyseplatform (MW platform) som består af et 250 KW 60 Nm³/h elektrolysemoduler med tilhørende AC/DC-forsyning, servicemodul og styringsplatform. Alt efter behov for kapacitet og ønske om forsyningssikkerhed kan anlæggene kobles parallelt. På nuværende stadie er første version af grundmodulet på 250 KW blevet udviklet, og er under test i Greenhydrogen.dks egne testfaciliteter. De foreløbige test viser at målene med hensyn til virkningsgrader på anlægget er 87% på stak og 82% på system ved 400 mA/cm²@ 80 °C, hvilket er bedre end forventet, i henhold til vores roadmap.

Bidrag til projektet

GreenHydrogen.dk har bidraget med viden omkring godkendelse og certificering, mere specifikt i arbejdet med at danne overblik over de standarder, man som producent af store elektrolyseanlæg skal leve op til. Det var på GreenHydrogen.dks initiativ at opgaven om at definere en benchmarktest opstod, og GreenHydrogen.dk har leveret til kravspecifikationen af det første arbejdsdokument. GreenHydrogen.dk har projektet igennem haft en tæt dialog med især H2 Logic, om systemintegration af elektrolyseanlæg i tankstationer og indenfor komponenter, udvælgelse af kritiske komponenter og erfaringer med komponenters holdbarhed. GreenHydrogen.dk har formidlet resultater på de workshops der er blevet afholdt med indlæg om alkalisk elektrolyse.

3.4 DTU Energi

DTU Energi forsker i energiteknologier til konvertering og lagring af energi. DTU forsker både i lavtemperaturelektrolyse (PEM-EC og AEC) og højtemperaturelektrolyse (SOEC). Endvidere deltager de i en lang række nationale og internationale forskningsprojekter, og er gennem FCH Test Center også involveret i projekter omhandlende standardisering.

Derudover er DTU medlem af Dansk Standards standardudvalg S-605, som beskæftiger sig med arbejdet med standarder indenfor området brint og brændselsceller, herunder elektrolyse som en væsentlig aktivitet. DTU's rolle med deltagelse er både med henblik på at være opdateret med de seneste udviklinger internationalt, samt at kunne påvirke arbejdet med input fra nationale og internationale forskningsprojekter.

Bidrag til projektet

DTU har bidraget til projektet som arbejdsplanleder, forestået erfaringsudvekslingen og været med til at arrangere workshops. Gennem projektet har DTU kunnet trække på erfaringer fra EU-projekter omhandlende udvikling af testprocedurer og DTU's netværk indenfor brint og brændselsceller. I Dette netværk indgår blandt andet Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking, hvor benchmarking og standardisering indenfor elektrolyse er kommet i fokus. DTU har i arbejdet med udvikling af benchmarkingtest og standarder, formidlet om projektet og dets resultater ved internationale industrimesser og i bilaterale diskussioner med internationale producenter af elektrolyseanlæg og systemintegratorer.

DTU Energi har i løbet af projektet etableret gode forbindelser til foruden de danske aktører, også europæiske elektrolysefirmaer og forskningsinstitutioner. Arbejdet med standarder og udvikling af testprocedurer er mere i fokus på grund af dette koordineringsprojekt, og den danske indflydelse fremadrettet styrket.

DTU Energis rolle som facilitator for erfaringsudveksling har sikret at væsentlige emner er blevet bragt på dagsordenen og indsats prioriteret efter behovet. Der har f.eks. været mange forskellige emner i spil til workshops, men gennem dialog og flere telefonmøder er det blevet sikret at det var de mest relevante for alle og presserende emner som blev taget op.

3.5 Partnerskabet for brint og brændselsceller

Partnerskabet for brint og brændselsceller er en organisation der samler danske producenter, forskningsinstitutioner, netværksorganisationer og myndigheder under et fælles mål: at fremme anvendelsen af brint og brændselsceller i Danmark. Dette gøres gennem forskning, udvikling, demonstration og kommercialisering af brint og brændselsceller. Partnerskabets medlemmer beskæftiger sig alle med aspekter indenfor brint og brændselsceller, og de har derfor store interesser i, at få teknologien bag brint og brændselsceller hjulpet frem i en sådan grad og hast, at brint og brændselsceller kan konkurrere på markedet for alternativ energi.

Bidrag til projektet

Partnerskabet har bidraget til projektet gennem projektledelse og gennemførelse af administrative opgaver, herunder økonomi, koordinering og formidling af projektets fremdrift og resultater. Det har været særdeles ressourcekrævende at få udarbejdet en samarbejdsaftale med fælles konsensus blandt alle projektdeltagerne.

Partnerskabet har, i samarbejde med DTU, gennemført to succesfulde workshops omhandlende henholdsvis certificering og brintsikkerhed, med dansk og international deltagelse. Endvidere er Partnerskabet intensivt indgået i planlægningen af den internationale konference som i 2012 blev afholdt i København.

Der er anvendt mange ressourcer på at perspektivere betydningen af elektrolyse i forhold til energimyndigheder, politikere og offentlighed. Dette for at medvirke til at teknologiområdet får den nødvendige bevågenhed så produkterne opnår den støtte og indlejring som er nødvendig for at nå helt frem til markederne.

Partnerskabets brede kontaktflade, hvor blandt andet FCH Joint Undertaking indgår som en vigtig international organisation, har været værdifuld i dette koordinerende projekt. Der har været kontakt til relevante ansvarlige aktører inden for elektrolyseområdet på europæisk plan gennem Partnerskabets netværk, hvilket har resulteret i fortsat diskussion på området internationalt.

Endelig har Partnerskabet forestået den løbende kontakt til EUDP sekretariatet vedrørende tidsfrister, årsrapporter og anmodninger om udbetalinger.

4 Arbejdspakke 0 – Projektledelse og administration

WPO – Projektledelse og administration

Arbejdspakkeleder: Partnerskabet for brint og brændselsceller

Arbejdspakkens formål: Generel ledelse og administration af projektet, herunder rapportering og juridiske og økonomiske aspekter, samt kommunikation mellem projektparterne og EUDP.

Tabel 2: Arbejdspakkeopgaver

Task nr.	Navn	Beskrivelse	Leverancer
Task 0.1	Projektstyring	Opfølgning på fremdrift. Konflikthåndtering og kommunikation mellem projektparterne og EUDP	D0.2, D0.9
Task 0.2	Projektaftale mellem parterne	Indledningsvis indgås en aftale mellem projektparterne, der beskriver fortrolighed og rettigheder	D0.1
Task 0.3	Rapportering	Udarbejdelse og indsendelse af årsrapporter og slutrapport	D0.4, D0.5, D0.6, D0.7
Task 0.4	Økonomistyring	Opfølgning på den samlede projektøkonomi. Indsendelse af regnskab og anmodninger	D0.3, D0.8

Tabel 3: Arbejdspakkeleverancer

Nr.	Beskrivelse	Type	Indleveret
D0.1	Projektaftale mellem projektparterne	Skriftlig aftale	14. december 2011
D0.2	EUDP Acceptskema og Projektinformationsskema	Skema	15. december 2011
D0.3	Kvartalsvis anmodning om udbetaling	Anmodning	Efter behov
D0.4	1. årsrapport	Rapport	5. juli 2012
D0.5	2. årsrapport	Rapport	5. juli 2013
D0.6	3. årsrapport	Rapport	15. august 2014
D0.7	Slutrapport	Rapport	28. november 2014
D0.8	Slutregnskab	Regnskab	28. november 2014
D0.9	EUDP Afslutningsskema	Skema	28. november 2014

4.1 Task 0.1 Projektstyring

Der har gennem projektet jævnligt været afholdt styregruppemøder, hvor fremskridtet i projektet har været diskuteret, ressourcer og tidsplan behandlet, samt diskussion af åbne spørgsmål og leverancer. Arbejdspakkelederne, Partnerskabet og DTU, har desuden mødtes (fysisk eller telefonisk) fire gange om året. Dette har sikret en stabil ramme for projektet, der har indvirket til at projektet nu afsluttes til godkendte tidsfrist. Partnerskabet har, som arbejdspakkeleder, været ansvarlig for opstart af projektet, den løbende kontakt til EUDP, afholdelse af kick-off møde, etablering af styregruppe samt de løbende rapporteringer indbygget i projektet.

Udover DTU, Partnerskabet, H2 Logic, Greenhydrogen.dk og IRD, har også Haldor Topsoe været en væsentlig deltager i projektet. Haldor Topsoe frabad sig tidligt at indgå i projektet som ansøger, men ville i stedet gerne inkluderes i selve projektarbejdet. Så det er med rette hele den danske elektrolyseindustri som har været inkluderet i projektet. Haldor Topsøe har deltaget i erfaringsudveksling og workshops.

Tabel 4 - Projektplan - Gantt diagram

Ar	2012												2013												2014											
	Kalendermåned	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Jul		
Projektmåned nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32				
Projektets arbejdspakker																																				
WP 0 - Projektledelse og administration																																				
Task 0.1 - Projektstyring																																				
Task 0.2 - Projektaftale mellem parterne																																				
Task 0.3 - Rapportering																																				
Task 0.4 - Økonomistyring																																				
WP 1 - Udvikling af benchmarkingtest																																				
Task 1.1 - Konsultation af brugere																																				
Task 1.2 - Udkast til industristandard																																				
Task 1.3 - Review																																				
Task 1.4 - Revideret industristandard																																				
WP 2 - Erfaringsudveksling - standarder og løsninger																																				
Task 2.1 - Oversigt over standarder og krav for elektrolyseanlæg																																				
Task 2.2 - Erfaringsudveksling om tekniske løsninger																																				
Task 2.3 - Årlig workshop																																				
WP 3 - Formidling af resultater og perspektiver																																				
Task 3.1 - Rapport om projektresultater og perspektiver																																				
Task 3.2 - Formidling af projektresultater																																				
Task 3.3 - Identificering af nye tiltag for udvikling og kommercialisering																																				
Milepæle																																				
M1. Udkast til industristandard sendt til brugere																																				
M2. Revideret industristandard udarbejdet																																				
M3. Oversigt over standarder og krav for elektrolyseanlæg																																				
M4. Rapport om projektresultater og perspektiver																																				

I løbet af projektet har projektpartnerne ønsket at ændre på leveringstidspunkterne af enkelte milepæle, og Partnerskabet har kommunikeret med bevillingsgiver. Der har været forståelse fra EUDP-sekretariatet i forbindelse med ændringerne. Oversigt over projektet med timing af milepæle efter godkendte ændringer kan ses af Tabel 4. Alle ændringer, samt begrundelser kan findes i bilag i kapitel 10.

Partnerskabet og styregruppen har undervejs i projektet indset, at ikke alle opgaver er blevet løst som planlagt. Dette skyldes hovedsagligt at projektdeltagerne er kommet frem til, at der var en forskel mellem arbejdsbeskrivelse i ansøgningen og de reelle behov. Styregruppen har derfor taget beslutning om ændring i opgaverne efter samråd med EUDP.

Derudover har projektpartnerne ønsket delvist at fravige fra en større opgave i forhold til arbejdsbeskrivelsen. Det omhandler Task 3.1 – Rapport om projektræsultater og perspektiver, som oprindeligt indeholdt indsamling af resultater fra de enkelte partners Hyprovide-projekter. Denne skulle fungere som input til Energistyrelsens løbende opdatering af deres teknologikatalog. Opsamling af projektræsultater sker i et andet EUDP-projekt, *"Analyser for kommerialisering af brintteknologier"*. En godkendelse herfor er sket mundtligt med Majken Salomon Hess. I *"Analyser for kommerialisering af brintteknologier"* arbejdes der effektivt på, at kvalificere teknologiblade til Energistyrelsens teknologikatalog. Erfaringer draget i nærværende elektrolysekoordineringsprojekt, bliver i høj grad anvendt.

Perspektiveringsrapporten (M4) blev påbegyndt som del af Partnerskabets sammenskrivningen i 2012 af den nye strategi, *"Energikonvertering, lagring og balancering, Stort potentiale i brint og brændselsceller"*, december 2012. Perspektiveringen blev færdiggjort som del af slutrapporten. Dette vurderedes af arbejdspakkelederen som den bedste løsning, da vi her kan sætte alle projektets resultater i perspektiv. Perspektiveringsrapporten er en del af afsnit 7.1.

Projektpartnerne har også fået tilsagn til at leverancen M2 *"Revideret industristandard"* indleveres samtidigt med slutrapporten. Grundet at leverancen ikke er et reelt teknisk dokument, men konklusionen på arbejdet med benchmarking, er leverancen indeholdt i slutrapporten, kapitel 0.

4.2 Task 0.2 Projektaftale mellem parterne

Partnerskabet har stået for udarbejdelse af samarbejdsaftale mellem projektpartnerne. Aftalen behandler forhold vedrørende fortrolighed og rettigheder. Denne er godkendt og underskrevet af alle parter. Forhold omkring patentering er allerede beskrevet i de respektive Hyprovide-projekter og det har derfor ikke været nødvendigt, at udarbejde aftale herom.

Projektaftalen blev endeligt færdiggjort og underskrevet af alle parter i juni 2013.

4.3 Task 0.3 Rapportering

I bilag i kapitel 10 findes en komplet oversigt over samtlige leverancer og indleveringsdatoer. Partnerskabet har, som en del af arbejdspakkelederrollen, forestået koordineringen af diverse rapportering. Heriblandt er årsrapporteringerne, hvor Partnerskabet har modtaget input fra projektpartnerne og herefter sammenskrevet og tilføjet.

Alle rapporter er blevet indsendt til EUDP-sekretariatet efter godkendte Gantt diagram. Årsrapporten datosat til 31. juli 2014 blev desværre forsinket grundet en intern kommunikationsfejl, og først afleveret 15. august 2014.

Slutrapporten afleveres i henhold til EUDP-regler, umiddelbart efter tidspunktet for projektafslutning.

4.4 Task 0.4 Økonomistyring

Partnerskabet har forestået de regnskabsmæssige opgaver, indsamlet anmodninger fra projektpartnerne, indsendt anmodning om udbetaling til EUDP og efter udbetaling, betalt projektpartnerne. I Tabel 5 ses en økonomisk oversigt over det samlede regnskab. Ved at se på det godkendte budget og de akkumulerede udgifter kan det konkluderes, at disse to faktorer stemmer overens med en afvigelse på ca. 30.000 kr. Nogle projektparter har gået ud over deres budget, mens andre har brugt mindre.

Tabel 5 – Regnskabsoversigt for projektet

Part	Deltager	Godkendt budget	Godkendt tilsagn	Tilsagn i %	Akkumulerede udgifter	Korrigerede akkumulerede udgifter	Berettiget tilskud
1	Partnerskabet for bring og brændselsceller	375.000	275.000	73,33 %	429.919,67	359.774,63	263.834,73
2	RISØ DTU	815.040	650.000	79,75 %	769.878,87	768.246,90	612.682,18
3	IRD A/S	366.350	200.000	54,59 %	333.751,15	267.080,50	145.806,20
4	GreenHydrogen.dk	297.798	163.789	55 %	331.486,92	285.272,53	156.899,99
5	H2Logic	301.000	165.550	55 %	322.782,70	301.000,00	165.555,00
Total		2.155.188	1.454.339	67,48 %	2.187.819,31	1.981.374,56	1.344.773,09

5 Arbejdspakke 1 – Udvikling af Benchmarkingtest

WP1 – Udvikling af benchmarkingtest

Arbejdspakkeleder: DTU

Arbejdspakkens formål: Udvikling af fælles industristandard med henblik på benchmarking af forskellige elektrolyseanlæg og -teknologier, nationalt såvel som internationalt.

Tabel 6: Arbejdspakkeopgaver

Task nr.	Navn	Beskrivelse	Leverancer
Task 1.1	Konsultation af brugere	Slutbrugere høres om specifikationer, krav og relevante parametre til en industristandard for test af performance og forventet levetid af elektrolyseanlæg	-
Task 1.2	Udkast til industristandard	Første udkast til dansk industristandard på området udarbejdes	M1
Task 1.3	Review	Udkastet sendes til review i brugergruppen	-
Task 1.4	Revideret industristandard	Udkast til industristandard revideres	M2

Tabel 7: Arbejdspakkeleverancer

Nr.	Beskrivelse	Type	Indleveret
M1	Udkast til industristandard sendt til brugere	Standardudkast	31.maj 2013
M2	Revideret industristandard udarbejdet	Revideret standard	

Task 1.1 Konsultation af brugere

Der var fra starten af projektet brug for afklaring om, hvorvidt der var behov for en ny industristandard eller opdaterede procedurer til eksisterende standarder. En rundspørge blandt projektparterne blev gennemført med henblik på, at udarbejde materialet, som sidenhen skulle kommunikeres til slutbrugere.

Hurtigt blev det klart, at der var forskellig opfattelse af behovet for en benchmarkingtest og udvikling af en standard på området. Sideløbende blev der arbejdet på Task 2.1, 'Oversigt over standarder og krav for elektrolyseanlæg', som allerede i det tidlige arbejde, tilsvarende afdækkede en forskellig brug af standarder indenfor elektrolyse i Danmark.

Der skal i denne slutrapport sondres mellem begreberne benchmarkingtest, standard og certificering. Projektet har arbejdet med alle tre begreber, intensivt.

En benchmarkingtest er ikke et fagudtryk, men - som beskrevet i projektbeskrivelsen - er det en testprocedure eller flere testprocedurer, som egner sig til at teste afgørende funktionsparametre for elektrolyseanlæg. Dette udføres på en dokumentarbar og troværdig facon.

I projektbeskrivelsen er der ligeledes refereret til standarden '22734-1:2008, Hydrogen generators using water electrolysis. Industrial and commercial applications'. Denne standard er branchens forsøg på at opstille én samlet standard. Denne gør det enklere for elektrolyseteknologiproducenter at certificere deres produkt, men standarden er ikke harmoniseret i forhold til EU's direktiver på nuværende tidspunkt. En teknisk standard er derudover anerkendt som værende en måde at sikre kompatibilitet mellem produkter og systemer, og sikre entydigt beskrevne testmetoder til måling af for eksempel ydeevne. I dette projekt beskæftiger vi os udelukkende med standarder udviklet af IEC, ISO eller JIS.

Dette projekt har endvidere også beskæftiget sig med certificering, primært i arbejdsopgave 2.

Projektpartneren H2 Logic har, i arbejdet med udvælgelse af leverandører af elektrolyseanlæg, udarbejdet en liste over sammenligningsparametre. Projektpartnerne udvalgte 17 parametre som umiddelbare afgørende parametre i forbindelse med benchmarking med det formål, at sikre sammenlignelighed mellem forskellige elektrolyseanlæg, se Tabel 8.

Tabel 8 - Udgangspunkt for diskussion af benchmarkingparametre

	Spec. no.	Specification parameter
Production rates	1	Maximum production capacity [Nm ³ H ₂ /hour] @ 100% production rate
	2	Minimum production capacity [Nm ³ H ₂ /hour] @ lowest possible production rate
	3	Production capacity @ optimal operation point [Nm ³ H ₂ /hour] Ensuring optimal balance between efficiency & lifetime (suppliers recommendation)
	4	Production capacity dynamic range [% range]
Start-up/Shutdown time	5	Ram-up time to maximum capacity from cold start [Sec. or Min.]
	6	Ram-up time to maximum capacity from standby [Sec. or Min.]
	7	Ram-up/down time between minimum to maximum capacity [Sec. or Min.]
Outlet pressures	9	Minimum nominal hydrogen outlet pressure [barg]:
	10	Maximum nominal hydrogen outlet pressure [barg]:
Foot print	11	Total system electricity consumption @ optimal operation point [kWh/Nm ³ H ₂): Including all peripheries (hydrogen purification/drying etc.)
	12	Annual increase in electricity consumption due to cell degradation [% increase]: % increase of total system electricity consumption - one year @ 24 hours operation
Product life time	13	Guaranteed life time electrolyser cell stack [no. of operation hours]:
	14	Proven/experienced life time electrolyser cell stack [no. of operation hours]:
	15	Guaranteed life time entire system [no. of operation hours]:
	16	Proven/experienced life time entire system [no. of operation hours]:
	17	State conditions for life time [e.g. production cycle/rate & no. of start/stops]:

Den oprindelige benchmarking-parameterliste er blevet foreholdt primært elektrolyseteknologiproducenter, systemintegratorer og diskuteret med interesseorganisationer. Diskussionerne er forgået med henblik på at vurdere, hvordan aktører i branchen forholder sig til både de gældende internationale standarder, eventuelle industristandarder og hvor de mener benchmarkingparameterlisten står i relation til disse.

Som det kan ses af Tabel 8, er de første parametre fokuserede på grænsefladen rundt om elektrolyseanlægget. Derved er de også forholdsvis teknologiafhængige, og lever op til målet for projektet, netop at kunne sammenligne på tværs af leverandører og sågar teknologier. Det som også kan ses på den oprindelige liste, er at flere af parametrene ikke er fast definerede. Især når det kommer til holdbarhed og levetid er der en stor usikkerhed, og der er på nuværende tidspunkt ikke er nogen fastlagt definition eller testprocedure rettet mod netop disse parametre.

Når virksomheder, forskningsinstitutioner og bevillingsgivere er blevet bedt om at forholde sig til parametrene på listen, har responsen generelt været anerkendende overfor problemstillingen. De

overordnede parametre som for eksempel ydeevne (produktionskapacitet) som benyttes i branchen i dag, er som sådan pålidelige nok. Udfordringen opstår omkring relaterede parametre, såsom levetid, serviceintervaller m.v., som også bør inddrages, da det påvirker den samlede økonomi af anlægget.

De fleste producenter der er blevet adspurgt i forbindelse med projektet beretter om, at de på nuværende tidspunkt lever fuldt ud op til elektrolysestandarderne '22734-1' eller '22734-2', men at deres konkurrenter ligeledes lever op til standarden. De adspurgte producenter ser dog en tendens til at deres konkurrenter performer væsentligt værre, uden det dog fremgår af deres datablade.

Bevillingsgivere, myndigheder og interesseorganisationer efterlyser tilsvarende også pålideligt data, til brug i både langsigtede planer (road maps), forpligtende mål for projekter, samt intern benchmarking mod road maps.

5.1 Task 1.2 Udkast til industristandarder

Denne opgave viste sig at blive den opgave, som størstedelen af arbejdsprogrammets ressourcer kom til at gå til. Dog er målene for milepælen ikke direkte indfriet, da projektet ikke har udarbejdet et decideret udkast til en industristandard. I stedet er der dog kommet klarhed over hvilke parametre der er behov for indarbejdes i - enten en ny standard, en revideret standard eller i en industristandard.

Når man ser på hvad elektrolyseproducenter, foruden de danske producenter, opgiver i deres produktdatablade eller markedsføringsmateriale, er der stor forskel hvor detaljeret information man kan få. Typisk omhandler databladene primært de overordnede parametre, såsom strømforbrug, produktionskapacitet, brintrenhed/-kvalitet, trykforhold og fysiske dimensioner. Der er blandt projektpartnerne enighed om, at der er behov for en standardiseret måde at opgive disse data på. Denne måde må gerne tilføje yderligere detaljelag, så der ikke mindst er sikret en klarhed over de bagvedlæggende testmetoder til afprøvning af performancetal. Af Tabel 9, kan man se udvalgte parametre i task 1.2, 'Udvidede benchmarkingparameterliste', den fulde liste kan findes i bilag i kapitel 10.

Tabel 9 - Udvidet parameterliste

	No.	Specification parameter
<i>Production Rates</i>	16	Hydrogen - Maximum production capacity [Nm ³ H ₂ /hour]
	17	Hydrogen - Minimum production capacity [Nm ³ H ₂ /hour]
	18	Hydrogen - Peak production capacity [n/a or Nm ³ H ₂ /hour]
	19	Hydrogen – Norminal production capacity [Nm ³ H ₂ /hour]
	20	Production capacity dynamic range [% range]
	21	Oxygen - Maximum production capacity [Nm ³ O ₂ /hour]
<i>Start-up / Shut-down time</i>	22	Ram-up time to max capacity from cold start [Sec. or Min.]
	23	Ram-up time to maxi capacity from standby [Sec. or Min.]
	24	Ramp time between min to max capacity [Sec. or Min.]
<i>Energetical foot print</i>	30	Total norminal system electricity consumption [kWh/Nm ³ H ₂]:
	33	Increase in electricity consumption, degradation [% increase]:
	35	Current density @ recommended operating point [mA/cm ²]
	36	Current density @ minimal operating point [mA/cm ²]
	37	Minimum System Efficiency (at Minimum Output)
	38	Minimum System Efficiency (at Maximum Output)
	39	Minimum System Efficiency (at Recommended Output)
	40	Minimum System Efficiency (at Peak Output)
	41	Guaranteed life time of ec stack [no. of operation hours]:
	42	Proven/experienced life time ec stack [no. of operation hours]:
<i>Product life time</i>	43	Guaranteed life time entire system [no. of operation hours]:
	44	Proven/experienced life time system [no. of operation hours]:
	45	Conditions for life time [e.g. production cycle/rate]:
	46	H ₂ purity after electrolyzer (%)
	47	O ₂ purity after electrolyzer (%)
<i>Purity</i>	48	H ₂ purity after purification (%)
	49	O ₂ -content in H ₂
	50	H ₂ O-content in H ₂
	51	N ₂ -content in H ₂

5.2 Task 1.3 Review

Partnerne har i projektperioden løbende diskuteret behovet for en industristandard eller en revideret international ISO standard. Den udvidede benchmarkingparameterliste (M1) er blevet anvendt som udgangspunkt, og diskussionen har omhandlet hvorvidt industriens/partnernes behov allerede var mødt i gældende standarder, og hvordan man fremadrettet alternativt kunne forestille sig behovene dækket.

I et forsøg på at få vurderet hvorvidt de gældende ISO standarder dækker de vigtigste behov for standarder, vurderede styregruppen, at der var behov for yderligere input. Herefter blev Dansk Gasteknisk Center (DGC) inddraget i projektet og har sidenhen udarbejdet en rapport hvor væsentlige dele fra benchmarkingparameterlisten (M1), holdes op mod gældende standarder. Rapporten kan findes som et bilag i kapitel 10.

Rapporten fra DGC indeholder; en opgavebeskrivelse, en tilrettet parameterliste, en screening af elektrolyseproducenters oplyste parametre, hvilke standarder og direktiver virksomhederne kommunikerer at de lever op til, og en gennemgang af standarderne '22734-1' og '22734-2'.

I rapporten blev DGC bedt om at lave en gennemgang af de to standarder, med fokus på at vurdere hvor egnet de er til brug i sammenligning af forskellige elektrolyseanlæg til hhv. beboelsesbrug eller industriel anvendelse. For de af benchmarkingparameterlisten udvalgte parametre, vil DGC diskutere om det giver mening at forsøge at få indeholdt dem i standarderne.

Tabel 10 - Væsentligste parametre i datablade og i standarder (frit efter DGC rapport)

Performance parameter	Manufacturer				ISO 22734-1, -2	
	Manufacturers specification (measuring standard)				Part of standard	Measuring standard
	Hydrogenics		Proton Onsite			
Net production rate	X	(-)	X	(ISO 22734)	X	4 choices
Output pressure [barg]	X	(-)	X	(-)	X	-
Efficiency [kWh _e /Nm ³]	X	(-)	X	(-)	-	-
Hydrogen purity [%]	X	(-)	X	(ISO 14687-1, -2)	X	ISO 14687-1, -2
Impurities [ppm, ppb]	X	(-)	X	(ISO 14687-1, -2)	X	ISO 14687-1, -2
Flow range [%]	X	(-)	X	(-)	-	-
Hydrogen output temperature [°C]	-	(-)	-	(-)	X	-

Af Tabel 10, ses, at udvalgte elektrolyseteknologi-producenter nok opgiver nøgleparametre på de fleste områder, men at der ikke er oplyst hvilke afprøvningsmetoder der refereres til, med undtagelse af brintkvalitet og urenheder, samt brintproduktionsraten for én af virksomhederne.

Rapporten fra DGC konkluderer også, at flere af de væsentlige parametre er indeholdt i standarden '22734-1' og '22734-3', mens en hel del parametre fra listen ikke er indeholdt. Disse udeladte parametre er typisk parametre hvor ydeevne under særlige driftsforhold ønskes eller til anlæg til speciel anvendelse. DGC konkluderer, at til sådan anvendelse vil gældende standarder ikke være egnede, endvidere at standardisering af sådanne parametre ikke er oplagt.

Slutteligt konkluderer rapporten, at man med fordel kan arbejde på at få for eksempel et effektivitetsparameter med i standarden, ved en revidering af standarden.

5.3 Task 1.4 Revideret industristandard

Dette afsnit indeholder formelt milepæl M2, 'Revideret industristandard'.

På baggrund af både rapporten fra DGC, erfaringer opnået gennem arbejdet med benchmarkingparameterlisten og diskussion med elektrolysevirksomheder og bevillingsgivere, er det undervejs i projektet blevet erkendt, at udarbejde en decideret national industristandard ligger ud over det ressourcemæssige grundlag i dette projekt. Endvidere har projektdeltagerne fra projektets start, ikke haft det rette vidensgrundlag.

Der foreligger på nuværende tidspunkt internationale industristandarder som beskriver de helt overordnede parametre til elektrolyseanlæg. Det er hensigten, at dette projekts resultater skal medvirke til at påvirke en revidering af disse, eller tilføjelsen af en ny relateret standard, der adresserer de mangler dette projekt har belyst.

Prenormativ forskning

På europæisk plan eksisterer der på nuværende tidspunkt flere projekter omhandlende det såkaldte 'prenormativ forskning'. Der forskes en hel del på brændselscelleområdet, men også indenfor elektrolyse. Under elektrolyse fokuseres der på udvikling af testprocedurer og beskrivelser tiltænkt at fungere i en international standard eller som en industristandard. Det arbejde foregår primært på komponentniveau. Formålet med de prenormative forskningsprojekter er todelt; at udvikle ensartede testprocedurer for ydeevne, levetid og sikkerhed til brug i forståelse og udvikling, og at have procedurer der tillader at benchmarke forskellige producenters produkter mod hinanden.

Elektrolyse har både i projektet "Solid Oxide Cell and Stack Testing, Safety and Quality Assurance" (SOCTESQA) [1] og andre igangværende projekter og projektforslag til Horizon 2020, et større fokus på udvikling af testprocedurer. Her skabes en ensartethed som beskriver de relevante anvendelser, for eksempel elektrolyse til brug for balancering af elektricitetsnetværket. I projektet SOCTESQA er foreslået flere testprocedurer udviklet, som vil være anvendelige i forhold til at kunne sikre korrekte data til benchmarking, såsom:

- Current-voltage characteristics
- Endurance test under constant current
- Endurance test under varying current

Indledende oversigt over testprocedurer, som også er fokuseret på elektrolyse, kan findes på SOCTESQA-projektets hjemmeside [1].

Myndigheder

Fra et myndighedsperspektiv er det også meget vigtigt at have opdaterede og valide data på de teknologier som støttes. Dette til dels for at have data til brug i prognoser og planlægning, for eksempel Energistyrelsens teknologikatalog [2], og for at benchmarke forskning- og udviklingsprojekter, både mod hinanden og overfor de målsætninger der er sat i projektet og som nationale eller internationale teknologimål. Energistyrelsen og Energinet.dk har udarbejdet et teknologikatalog hvori der findes konkrete mål for elektrolyseydelse, -levetid og -anlægsomkostninger. Målene strækker sig frem mod 2030. Der findes separate datablade for alkalisk, PEM- og højtemperaturolektrolyse.

I Tabel 11 ses et datablad omhandlende alkalisk elektrolyse. Sammenholder man Energistyrelsens parametre med benchmarkingparameterlisten, er der sammenfald – på nær data omkring investeringsomkostninger, drift og vedligehold.

Tabel 11 - Datablad om alkalisk elektrolyse fra Energistyrelsen og Energinet.dk

Technology	Electrolyser AEC					
	2015	2020	2030	2050	Note	Ref
Energy/technical data						
Generating capacity for one unit (MW)	< 3.4					1
Efficiency, electricity to hydrogen (%)	43-66	50-68	53-70		A	3
Electricity consumption (kWh/Nm ³)	4.5-7.0	4.4-6.0	4.3-5.7			3
Useful heat out (kWh/Nm ³)	0.78				B	1
Operating temperature (°C)	60-80	60-80	60-90			3
Technical lifetime (years)	20-30	25-30	30			3
Construction time (years)						
Environment						
Financial data						
Specific investment (M€/MW)	1.4	1.0			C	2
Total O&M (% of investment per year)	4	4	4			4

Ved et symposium omhandlende elektrolyse [3], arrangeret af Partnerskabet i 2012, var Hyprovide repræsenteret ved en postersession. En kontakt i FCH Joint Undertaking startede en længere korrespondance omhandlende netop standarder og udvikling af testmetoder til benchmarking af elektrolyseteknologier. FCH JU's interesse var primært at kunne sammenholde projektresultater med teknologimål. Dette arbejde fortsættes nu i FCH JU, og dette projekt har givet input. Disse input er senest givet ved en workshop om standardisering indenfor brintteknologier kaldet "Putting Science into Standards: Power-to-Hydrogen and HCNG" [4]. I relation til dette har FCH JU bedt to konsulentfirmaer udarbejde en rapport om udvikling af elektrolyseteknologier. Det er blevet til rapporten "Development of Water Electrolysis in the European Union" [5] omhandlende *Key Performance Indicators* (KPI) og teknologi-økonomiske analyser, med henblik på at give FCH2 JU basis til at prioritere forskningsindsatsen, samt at få

en indikation af hvor de væsentligste barrierer mod kommercialisering findes. Tilsvarende til teknologikataloget fra Energistyrelsen, arbejder rapporten bestilt af FCH JU også med en række parametre omkring ydeevne, anlægsomkostninger, drift og vedligehold.

Tabel 12 – Key Performance Indicators fra EU rapport [5]

Key Performance Indicators	
<ul style="list-style-type: none">• Effektivitet og levetid• Anlægsomkostninger• Tryk	<ul style="list-style-type: none">• Udstyrsstørrelse• Driftomkostninger• Dynamisk og fleksibel drift

Behov for industristandard

Med udgangspunkt i den udvidede benchmarkingparameterliste, er der ved projektets afslutning sorteret i parameterlisten ud fra følgende kategorier:

- Dækket af 22734-1 eller 22734-2 (**22734**)
- Variation af driftsforhold (**Variation**)
- Fakta, ikke behov for afprøvning (**Descriptive**)
- System specifikt (**System specific**)
- Ikke dækket (**Not covered**)

Tabel 13 - Udvidet benchmarkingparameterliste - sorteret

	Spec. no.	Specification parameter	Sortering
General product information	1	Electrolyser technology [<i>Alkaline, PEM, or other</i>]	Descriptive
	2	Norminal operating temperature [<i>°C</i>]	Descriptive
	3	Electrolyte type [<i>KOH, NaOH, Nafion®</i>]	Descriptive
	4	System Working Pressure [<i>bar</i>]	Descriptive
	5	Ambient Operating Temperature [<i>°C</i>]	Descriptive
	6	Power Rating (Maximum production) [<i>kW</i>]	22734
	7	Electrical Power Supply [<i>AC/DC</i>]	Descriptive
	9	Voltage [<i>V</i>]	22734
	Input conditions	11	Feed Water type [<i>Deionised water, ...</i>]
12		Required electric conductivity (maximum) at RT [<i>µS/cm</i>]	Descriptive
13		Feed water contaminants levels - Si, TOC, Na	Descriptive
14		Feed water cons. rate at Maximum Output [<i>Liter/Nm³ H₂</i>]	Descriptive
Production Rates	16	Hydrogen - Maximum production capacity [<i>Nm³ H₂/hour</i>]	Variation
	17	Hydrogen - Minimum production capacity [<i>Nm³ H₂/hour</i>]	Variation
	18	Hydrogen - Peak production capacity [<i>n/a or Nm³ H₂/hour</i>]	Variation
	19	Hydrogen – Norminal production capacity [<i>Nm³ H₂/hour</i>]	22734
	20	Production capacity dynamic range [<i>% range</i>]	Descriptive
Start-up / Shut-down time	21	Oxygen - Maximum production capacity [<i>Nm³ O₂/hour</i>]	22734
	22	Ram-up time to max capacity from cold start [<i>Sec. or Min.</i>]	Not covered
	23	Ram-up time to maxi capacity from standby [<i>Sec. or Min.</i>]	Not covered
	24	Ramp time between min to max capacity [<i>Sec. or Min.</i>]	Not covered
Outlet pressures	25	Minimum nominel hydrogen outlet pressure	Variation
	26	Maximum nominel hydrogen outlet pressure	Variation
	27	H ₂ outlet pressure after electrolyser	22734
	28	Maximum H ₂ outlet pressure after compressor	System specific
	29	Maximum H ₂ outlet pressure after hydrogen purification	System specific
Energetical foot print	30	Total norminal system electricity consumption [<i>kWh/Nm³ H₂</i>]:	Calculated
	31	Power consumption at maximum capacity [<i>kWh/Nm³ H₂</i>]	Variation
	32	Power consumption at minimum capacity [<i>kWh/Nm³ H₂</i>]	Variation
	33	Increase in electricity consumption, degradation [<i>% increase</i>]:	Not covered
	34	Current density @ maximum operating point [<i>mA/cm²</i>]	Calculated
	35	Current density @ recommended operating point [<i>mA/cm²</i>]	Calculated
	36	Current density @ minimal operating point [<i>mA/cm²</i>]	Calculated
	37	Minimum System Efficiency (at Minimum Output)	Calculated
	38	Minimum System Efficiency (at Maximum Output)	Calculated
	39	Minimum System Efficiency (at Recommended Output)	Calculated
Product life time	40	Minimum System Efficiency (at Peak Output)	Calculated
	41	Guaranteed life time of ec stack [<i>no. of operation hours</i>]:	Descriptive
	42	Proven/experienced life time ec stack [<i>no. of operation hours</i>]:	Descriptive
	43	Guaranteed life time entire system [<i>no. of operation hours</i>]:	Descriptive
	44	Proven/experienced life time system [<i>no. of operation hours</i>]:	Descriptive
Purity	45	Conditions for life time [<i>e.g. production cycle/rate</i>]:	Descriptive
	46	H ₂ purity after electrolyzer (%)	22734
	47	O ₂ purity after electrolyzer (%)	22734
	48	H ₂ purity after purification (%)	System specific
	49	O ₂ -content in H ₂	Not covered
	50	H ₂ O-content in H ₂	Not covered
Dimensions	51	N ₂ -content in H ₂	Not covered
	52	Dimensions [<i>height, width, depth</i>]	Descriptive
	53	Weight [<i>kg</i>]	Descriptive

Konklusionen på behovet for en benchmarkingtest er, på baggrund af ovenstående tabel, at der er en række parametre som ikke er dækket af omtalte elektrolysestandard, og som er så afgørende for elektrolyseanlæggets funktion, at der er behov for at beskrive hvordan og under hvilke forhold de måles eller er angivet. Dette gør sig specifikt gældende hvor standarderne angiver hvad der skal måles, men der ikke altid er opgivet under hvilke fyldestgørende betingelser.

Derudover er der en række parametre, som reelt kan beregnes på baggrund af de driftsparametre som opgives under 22734-standarden, f.eks. effektivitet. De vil, som også DGC-rapporten indikerer, kunne tilføjes standarden. Slutteligt er der parametre som omhandler udvidelse af ydeevnedata, til at inkludere mere applikationsspecifikke data, såsom minimum produktionsrate.

Tabel 14 - Parametre til videreførelse

Parametre
<ul style="list-style-type: none">• Produktionsændringstid m.v. [minutter]• Degradering eller behov for overspænding [% årlig]• Levetid af stack/system [drifttimer]• Beregnede effektiviteter [kWh/nm³]• Applikationsspecifikke data [-]

I Tabel 14 er der parametre angående effektivitet, produktionsændringstid, og eventuelt applikationsspecifikke driftsvariationer, som kan forsøges inddraget i eksisterende standard 22734-1 eller 22734-2, det vil være mindre ændringer eller tilføjelser, og det er sandsynligt at der vil kunne skabes enighed om dette.

For yderligere detaljeret understøttelse af testprocedurer, kan der arbejdes frem mod at etablere en ny arbejdsgruppe under ISO TC197. Denne gruppe kunne udarbejde en standard tilsvarende for eksempel ISO 16110-2:2010 "Test methods for performance" som netop omhandler ydeevne (blot til elektrolyseanlæg baseret på brændstof og ikke vand-elektrolyse).

Med hensyn til parametre der omhandler levetid af stack/system og degradering, er der behov for yderligere prenormativ forskning, samt konsensus i branchen om en metode der retfærdigt kan måle dette. Det er fortsat ikke lykkedes at nå til enighed om testmetoder for levetid indenfor brændselsceller, hvilket illustrerer udfordringen. Der er blevet foreslået accelereret levetidstest, hvilken flere danske partnere også har været involveret i tidligere, for eksempel i projektet "Test and Approval Center for Fuel Cell and Hydrogen Technologies" [6]

6 Arbejdspakke 2 – Erfaringsudveksling

WP2 – Erfaringsudveksling – standarder og løsninger

Arbejdspakkeleder: DTU

Arbejdspakkens formål: Skabe overblik over de krav og standarder, som elektrolyseanlæg skal overholde. Videndeling og erfaringsudveksling omkring hvilke tekniske løsninger man kan anvende for at opfylde kravene. Komponentudvikling, systemudvikling samt systemintegration baseret på erfaringsudveksling og en fælles koordineret indsats.

Tabel 15: Opgaver – Arbejdspakke 2

Task nr.	Navn	Beskrivelse	Leverancer
Task 2.1	Oversigt over standarder og krav for elektrolyseanlæg	Der udarbejdes en oversigt over standarder og krav for elektrolyseanlæg	M3
Task 2.2	Erfaringsudveksling om tekniske løsninger	Videndeling og erfaringsudveksling mellem partnerne	.
Task 2.3	Årlig workshop	Årlige workshops med deltagelse af projektledere, teknikere m.v. fra alle involverede parter	-

Tabel 16: Leverancer - Arbejdspakke 2

Nr.	Beskrivelse	Type	Indleveret
M3	Oversigt over standarder og krav for elektrolyseanlæg udarbejdet	Rapport	05. juli 2013

6.1 Task 2.1 Oversigt over standarder og krav for elektrolyseanlæg

Grundlæggende skal producenter af elektrolyseanlæg forholde sig til gældende nationale og internationale standarder, samt lokal lovgivning, angående produktsikkerhed og sikkerhed under drift. Derudover kan der være specifikke standarder for eksempelvis brintkvalitet, som til nogen anvendelse skal benyttes.

Derfor blev der udarbejdet en oversigt over relevante standarder og andre godkendelseskrav, men med fokus på elektrolyseanlæg. Projektleverancen M3 giver et overblik specifikt over standarder indenfor elektrolyse, dvs. ikke alle standarder er påkrævet at leve op til EU-direktiver, selvom at flere af disse er dækket af eksempelvis 22734-1 og -2. Projektleverancen refererer i stor udstrækning til en rapport udarbejdet af Dansk Gasteknisk Center i 2012; "Myndighedshåndtering for stationære brint og brændselscelleprojekter udenfor procesindustrien" [7].

Table 17 - Standarder under ISO TC 197 (opdateret 2014)

	Standard	Description
ISO TC 197	DS/ISO 13984:2005 DS/ISO 13985:2012	Liquid hydrogen - Land vehicles fuel tank
ISO TC 197	DS/ISO/PAS 15594:2005	Airport hydrogen fuelling facilit
ISO TC 197	ISO 17268	Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices
ISO TC 197	ISO 15869	Gaseous hydrogen and hydrogen blends – Land vehicle fuel tanks
ISO TC 197	ISO 22734-1 ISO 22734-2	Hydrogen generators using water electrolysis
ISO TC 197	DS/ISO 16110-1:2007 DS/ISO 16110-2:2012	Hydrogen generators using fuel processing technologies
ISO TC 197	DS/ISO 16111:2012	Transportable gas storage devices - Hydrogen absorbed in reversible metal hydride
ISO TC 197	ISO 20100	Gaseous hydrogen – Fueling stations
ISO TC 197	ISO 14687-1	All applications except proton exchange membrane (PEM) fuel cell for road vehicles
ISO TC 197	ISO 14687-2	Hydrogen Fuel - Product Specification - PEM fuel cell applications for road vehicles
ISO TC 197	DS/ISO 26142:2012	Hydrogen detection apparatus - Stationary applications
ISO TC 197	ISO 14687-3	Hydrogen fuel - Product Specification - Proton

		exchange membrane (PEM) fuel cell applications for stationary appliances
ISO TC 197	ISO/TR 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems

Tabel 18 - Standarder under udarbejdelse i TC 197

Standard	Description	Status
ISO/DTR 15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems	Under development
ISO/AWI 19880-1	Gaseous hydrogen -- Fueling stations -- Part 1: General requirements	Under development
ISO/AWI 19880-2	Gaseous hydrogen -- Fueling stations -- Part 2: Dispensers	Under development
ISO/AWI 19880-3	Gaseous hydrogen -- Fueling stations -- Part 3: Valves	Under development
ISO/AWI 19880-4	Gaseous hydrogen -- Fueling stations -- Part 4: Compressors	Under development
ISO/AWI 19880-5	Gaseous hydrogen -- Fueling stations -- Part 5: Hoses	Under development
ISO/AWI 19880-6	Gaseous hydrogen -- Fueling stations -- Part 6: Fittings	Under development
ISO/AWI 19881	Gaseous Hydrogen -- Land Vehicle Fuel Tanks	Under development
ISO/AWI 19882	Gaseous hydrogen -- Land vehicle fuel tanks -- Thermally activated pressure relief devices	Under development
ISO/NP 19883	Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification	Under development
ISO/CD 19884	Gaseous hydrogen - Cylinders and tubes for stationary storage	Under development

I Tabel 17 og Tabel 18, ses en oversigt over de gældende standarder, samt standarder under udarbejdelse i relation til den tekniske komite 197 under International Standards Organization (ISO). ISO er en af de to største internationale standardiseringsorganisationer, hvor den anden er IEC, International Electrotechnical Commission. Den tekniske komite er den største som beskæftiger sig med brintproducerende anlæg, brinttankstationer, opbevaring m.v.

De danske interesser i TC 197 repræsenteres gennem det nationale standardiseringsudvalg S-605, som kan kommentere på forslag m.v. og som har stemmeret i TC 197. Derudover er primært én dansk virksomhed aktiv i selve arbejdsgrupperne i TC 197, hvorved indflydelse på udformningen af standarderne sikres.

Arbejdet med oversigten, samt de sideløbende diskussioner, jf. afsnit 6.2, har bidraget til en øget bevidsthed blandt projektpartnerne, om vigtigheden af at deltage. Som en konsekvens af dette har DTU og GreenHydrogen.dk involveret sig i den danske arbejdsgruppe S-605.

Efter koordineringsprojektets første workshop i 2012 vedrørende certificering, blev vigtigheden af, allerede i de indledende faser af et udviklingsforløb, at fokusere på certificering af det endelige produkt fremhævet. Dette er typisk noget som bliver nedprioriteret, men kan få katastrofale følger for tidsplanen og økonomien i et udviklingsprojekt. Flere af projektpartnerne har benyttet eksterne virksomheder til rådgivning omkring certificering og godkendelse, Dansk Gasteknisk Center har været brugt af projektpartnerne, ligesom der som konsekvens af workshoppen og arbejdet med certificering er blevet etableret et samarbejde mellem rådgivningsvirksomheden KIWA og Greenhydrogen.dk med henblik på at evaluere deres produktkoncepter på et tidligt stadie.

Grundlæggende omkring certificering og godkendelse, så skal de forskellige danske producenter i de fleste tilfælde CE-mærkes, og under alle omstændigheder leve op til en række EU-direktiver omkring produktsikkerhed. Såfremt produkterne skal CE-mærkes, er der en lang række direktiver der skal overholdes, såsom:

- Electromagnetic compatibility Directive (2004/108 EC)
- Low Voltage Directive (2006/95 EC)
- Machinery Directive (2006/42/EC)
- Pressure Equipment Directive (97/23/EC)

Virksomheden skal kunne dokumentere at de efterlever direktiverne, typisk gøres dette netop gennem at følge en international standard.

6.2 Task 2.2 Erfaringsudveksling om tekniske løsninger

Det har været hensigten med dette projekt, at sikre en synergieffekt mellem projektpartneres Hydrogen-projekter. Projekterne har dog vidt forskellig afgrænsning, da de omhandler forskellig elektrolyseteknologi, og de forskellige anvendelsesområder varierer også. Dog har projektpartnerne indledningsvis beskrevet følgende områder som mulige fællesnævnerne:

- Balance of plant
- Vandbehandling
- Nettilslutning og integration med smart grid
- Inverterteknologi
- Godkendelser.

I projektet er der afholdt månedlige erfaringsudvekslingsmøder, i den første halvdel af projektet primært, hvorefter kadencen er nedsat til kvartalsvise møder. Møderne har været afholdt telefonisk, og har haft til formål, at partnerne kunne diskutere aktuelle problemstillinger, samt temaer udvalgt i fællesskab.

En gennemgående problemstilling i projektet har været udfordringen med at finde systemkomponenter egnet til brug i elektrolyseanlæg. Dette gælder for samtlige projektpartnere, dvs. på tværs af teknologier og anlægsstørrelser.

Grundlæggende består problemet i, at det er vanskeligt at finde komponenter med de ønskede specifikationer til en pris som svarer til en masseproduceret komponent. De komponenter virksomhederne anvender, er typisk specialfremstillede, og prisen er mange faktorer højere end et hyldevarekomponent. Ligeledes har det været en udfordring at finde komponenter, hvor leverandøren kan stå inde for at komponenterne må anvendes til vores applikationer. Disse applikationer er specielle da ren oxygen og hydrogen forekommer i forbindelse med et stærkt basisk miljø. I projektet har der for eksempel været diskuteret konverter og inverterteknologi og de diskussioner har ført til, at vi ved den første workshop, se afsnit 6.3, havde dette som tema. Dette udviklede sig sidenhen til et samarbejde mellem GreenHydrogen.dk, Haldor Topsøe, Aalborg Universitet, Aarhus Universitet og LeanEco. Fokus for samarbejdet er udvikling af specialdesignede konvertere. Specifikt fokus var på Power-2-Electrolyse, med fokus på følgende systemydelse:

- Frekvensregulering
- Regulerkraft til balancering
- Fasekompensering til minimering af tab i elnet.

Målet er, at inverteren skal matche den valgte modulstørrelse på MW konceptet og samtidig skal kunne anvendes af Haldor Topsøe og andre fabrikanter af elektrolyseanlæg. Projektpartnerne og andre relevante aktører på området, ser det som en fordel på sigt at kunne anvende så ens komponenter/moduler som muligt. Dette vil bringe kostprisen ned på de forskellige komponenter/moduler, hvilket i sidste ende vil komme aktørerne og slutbrugeren til gode.

Et andet tema som også har været gennemgående i projektet, er godkendelse og samarbejde med lokale myndigheder. H2 Logic har givet godt input til diskussionen med deres arbejde i forbindelse med godkendelse af tankstationer. Her har de udarbejdet en rapport omkring beredskab, sammen med beredskabsstyrelsen - "Vejledning om indsats på brinttankstationer" [8]. Forholdet til myndighederne og udfordringer med at kommunikere viden om ny teknologi har været omdrejningspunktet i rapporten.

6.3 Task 2.3 Årlig workshop og symposier

De to afholdte workshops har udgjort en stor del af projektets erfaringsudveksling og formidling. Temaerne til arrangementerne er udvalgt i styregruppen og projektparterne har været behjælpelige med at foreslå firmaer og personer som relevante oplægsholdere og inviterede deltagere. Programmet for begge workshops kan findes i bilag i kapitel 10.

Workshop om certificering og konverterteknologi

I oktober 2012 afholdt projektet den første workshop. Foruden de to emner på programmet, var dette møde også tiltænkt som en status på igangværende Hyprovideprojekter, planer og perspektiver inden for elektrolyse. Aksel Hauge Pedersen fra Dong Energy præsenterede et perspektiv på elektrolyse med fokus på hvor i energisystemet elektrolyse har sit indpas, med fokus på el-til-gas (power to gas). Derudover var hovedemnerne nationale og internationale erfaringer med godkendelse og certificering af anlæg. Denne workshop har tilstedekommet øget samarbejde og kommunikation mellem danske og udenlandske parter. Processen med at certificere producenter blev klarlagt og medførte blandt andet, et samarbejde mellem GreenHydrogen.dk og den internationale virksomhed Kiwa i forbindelse med

Tabel 19: Deltagere på workshop 2012

Workshop 2012 - Deltagere:
Aalborg Universitet
Cemtec
DGC A/S
DONG Energy
DTU Elektro
DTU Energi
Energinet.dk
EPLAX GmbH
EUDP
GreenHydrogen.dk
Haldor Topsoe A/S
H2Logic A/S
AU Herning
IRD A/S

certificering af deres elektrolyseanlæg. I den forbindelse etablerede Kiwa sig kortvarigt i Hobro.

Deltagerne på workshoppen inkluderede projektdeltagerne, foredragsholdere og en lang række interessenter. Der deltog flere personer fra hver virksomhed, så for projektet var det også et væsentligt netværksarrangement, hvor kontakt mellem teknikere og projektledere m.v. blev udbygget.

ITM Power
KIWA Nederland BV
Partnerskabet for brint og brændselsceller
SEAS-NVE
Siemens A/S
TRE-FOR Entreprise A/S
Deltagerantal: 37

Workshop om brintsikkerhed [2]

I maj 2014 blev der afholdt endnu en workshop. Som opfølgning på længere tids diskussion omkring brintsikkerhed og forholdet til myndigheder i forbindelse med godkendelse af installationer, ønskede partnerne, at brintsikkerhed skulle være temaet for projektets sidste workshop.

Noglepersoner i Danmark var inviteret, hvilket inkluderede både Beredskabsstyrelsen og Københavns Brandvæsen. Tilsvarende første workshop, fik virksomhederne mulighed for at udbygge deres netværk med de væsentligste aktører på området.

Workshoppens diskussioner omhandlede grundlæggende interaktionen mellem producent og godkendende myndighed. Myndighedernes pointer var, at til trods for relativt få projekter, som for eksempel brinttankstationer, er der stor lydhørhed overfor producenternes argumenter, og myndighederne videndeler på tværs af deres organisationer og geografisk lokalisering. At inddrage myndighederne på et tidligt tidspunkt i en installationsproces kan være afgørende, så de rette personer rådføres.

Tabel 20: Deltagere på workshop 2014

Workshop 2014 - Deltagere:
Beredskabsstyrelsen
Dantherm Power A/S
DGC A/S
DTU Energi
DTU Management Engineering
GreenHydrogen.dk
H2Logic A/S
Haldor Topsoe A/S
IRD A/S
Krogh Consult
Københavns Brandvæsen
Partnerskabet for brint og brændselsceller
SEAS-NVE
Strandmøllen A/S
TRE-FOR Entreprise A/S
Deltagerantal: 24

IRD arbejder med lagring og brug af brint i husstande og her har godkendelse været såvel en vanskelig, omstændig og meget ressourcekrævende proces. Denne workshop har givet et godt overblik blandt andet gennem indlægget fra MovingEnergy: "Udfordringer ved lagring af brint ved private husstande" og anbefalinger til hvordan man griber processen an sammen med myndighederne.

Afholdt symposium

Der blev den 11. maj 2012 afholdt et internationalt symposium på Carlsberg i København med efterfølgende besøg den 12. maj 2012 på Campus Risø i Roskilde. Program for dagen kan findes i bilag i kapitel 10.

Symposiet blev primært planlagt af IRD A/S samt DTU Energikonvertering, men også med Partnerskabets aktive medvirken. Symposiet blev bl.a. støttet af den europæiske FCH JU i Bruxelles. Emnet var elektrolyse og brint som del af det fremtidige energisystem. Deltagere var især interessenter fra Norden, Europa og selvfølgelig Danmark, men også med øvrige internationale deltagere, f. eks fra Nordamerika.

Formålet med symposiet var at sætte international fokus på elektrolyse, herunder at sætte fokus på den betydelige danske indsats hermed. Der opnåedes hermed en fælles europæisk konsensus af det stade som elektrolyseudviklingen var nået frem til. Dette har også været grundlag for efterfølgende europæiske bestræbelser på initiering af en fælles indsats inden for standardisering, test, certificering etc.

7 Arbejdspakke 3 – Formidling og perspektivering

WP3 – Formidling af resultater og perspektiver

Arbejdspakkeleder: Partnerskabet for brint og brændselsceller

Arbejdspakkens formål: Fælles formidling af projekternes resultater, herunder fremtidsperspektiver for elektrolyseteknologier. At identificere og initiere yderligere nødvendige aktiviteter inden for udvikling og kommercialisering af teknologien.

Tabel 21: Opgaver - Arbejdspakke 3

Task nr.	Navn	Beskrivelse	Leverancer
Task 3.1	Rapport om projektresultater og perspektiver	Rapport om betydningen af elektrolyseteknologier i relation til det fremtidige energisystem, hvor Danmark er uafhængig af fossile brændstoffer	M4
Task 3.2	Formidling af projektresultater	Formidling af rapportens konklusioner nationalt og internationalt. Særligt skal der arbejdes for at formidle resultaterne til relevante arbejdsgrupper i det europæiske 'Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking' program	-
Task 3.3	Identificering af nye tiltag for udvikling og kommercialisering	Identificering og initiering af yderligere nødvendige aktiviteter inden for udvikling og kommercialisering af teknologien	-

Tabel 22: Leverancer - Arbejdspakke 3

Nr.	Beskrivelse	Type	Indleveret
M4	Rapport om projektresultater og perspektiver udarbejdet	Rapport	28. november 2014

7.1 Task 3.1 Rapport om projektresultater og perspektiver

Elektrolyseteknologiers betydning i relation til det fremtidige komplekse energisystem, i et Danmark uafhængigt af fossile brændsler, vil i det efterfølgende afsnit blive perspektiveret. Denne perspektivering vil samtidigt give et samlet overblik over de opnåede resultater under projektet. Arbejdet ligger hermed under arbejdsplanen 3 som M4/Task 3.1. Perspektivering er sket i strategiarbejdet, se bilag med Partnerskabet nationale strategi i kapitel 10.

Elektrolyseteknologier

Konverteringen af elektrisk energi til brint benævnes elektrolyse og er populært sagt karakteriseret som en omvendt brændselscelleproces. Brint og de meget brinholdige brændstoffer metan og metanol betegnes som energibærere. Konverteringsteknologier som brændselsceller og elektrolyse og brint og brinholdige energibærere betegnes ”**brintteknologier**”.

I Danmark har der været forsket og udviklet i brintteknologier i ca. 25 år, og danske virksomheder og universiteter er blandt de førende i verden på området.

Elektrolyseanlæg vil kunne produceres i stort set alle størrelser og kan indgå i vidt forskellige produkter. Produkter, hvori der indgår elektrolyseanlæg, forventes fremtidigt at have meget store markedspotentialer. Produkterne omhandler frembringelse af brint til anvendelse i et samtidigt indbygget brændselscelleanlæg samt til optankning af brint på brinttankstationer. På sigt vil brint som lagringsmedie, brint til brug ved methanisering af biogas, samt til fremstilling af flydende syntetiske brændstoffer, også kunne få en afgørende betydning. Disse medier for energilagring vil derved kunne balancere det fremtidige energisystem.

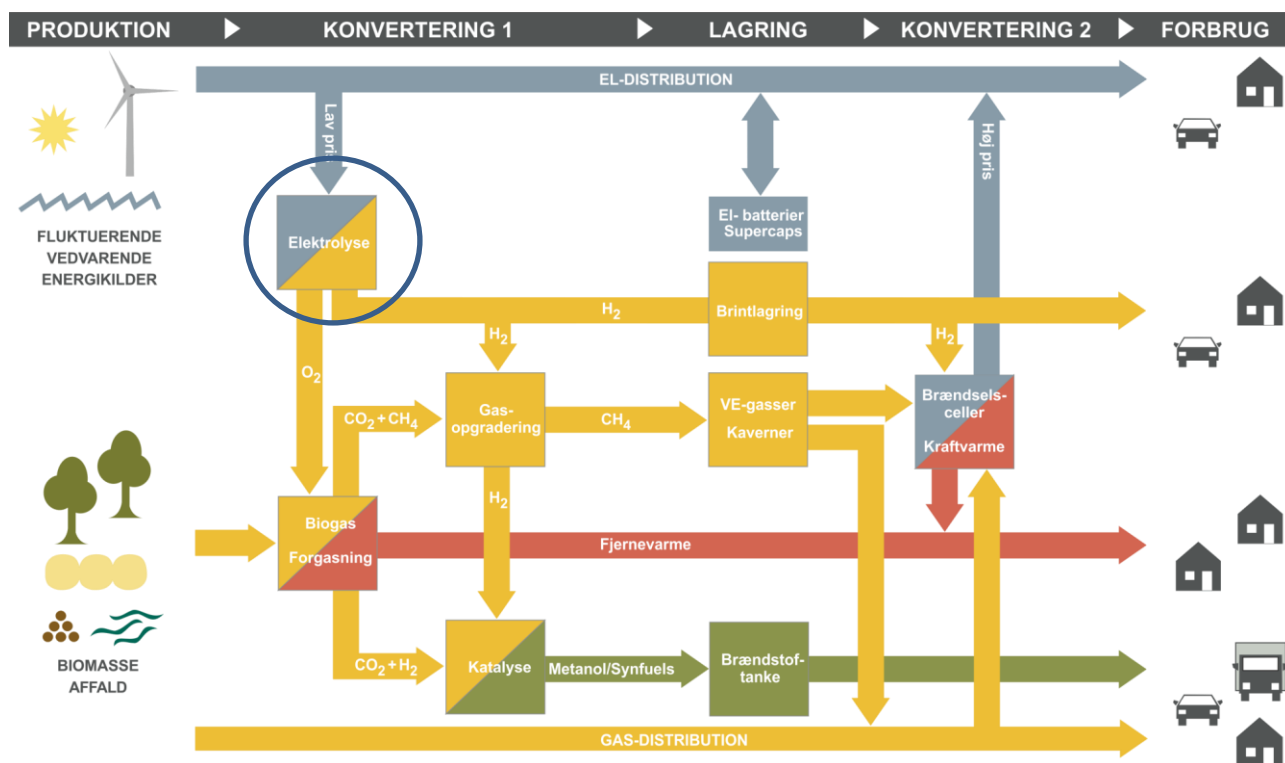
Vigtigheden af standardisering

For projektdeltagerne har det koordinationsarbejde der er udført som del af projektløsningen vedrørende standarder bidraget til, at skabe sikkerhed for, at teknologier der afhænger af elektrolyse kan bringes frem til markedet. Dette gælder for eksempel brinttankstationer og brintbaseret mikrokraftvarme. Basale dele af teknologien videreudvikles fortsat og har skabt så gode resultater, at en egentlig kommercialisering kan foregå inden for de kommende år. Det er vigtigt fortsat at udvikle den fælles tilgang til test og benchmarking, og det arbejde der lægges i at skabe fælles standarder herfor. De fælles standarder er forsøgt indplaceret i en europæisk sammenhæng, men implementering af nye standarder er internationalt en meget stor og tung opgave at løfte.

Elektrolyse i det fremtidige energisystem

Sideløbende med dette koordineringsprojekt for elektrolyse, arbejder Partnerskabet for brint og brændselsceller med at placere brint og brændselsceller – og dermed elektrolyse – i det fremtidige samlede energisystem. I den såkaldte energi-værdikæde spiller elektrolyseprocessen en meget central rolle. Her kan elektrolyse konvertere fluktuerende energikilder til energibærere der kan lagre energi. Fluktuerende vind, sol og bølgekraft omdannes via elektrolyse til ilt og lagringsdygtig brint. Dette kan ske, hvis der er en overproduktion af elektricitet i forhold til hvad de danske forbrugere anvender, og prisen derved falder, eller hvis det på anden måde i fremtiden bliver mere fordelagtigt at lagre brint umiddelbart efter produktion af elektriciteten. Brintteknologien elektrolyse kan således vise sig som en afgørende teknologi til at sikre bæredygtig brintproduktion i geografiske områder med stor andel af fluktuerende vedvarende elektricitet i elsystemet.

Figur 1 – Brint og brændselscellers rolle i et fremtidigt energisystem



På Figur 1 ses elektrolyses placering i energi-værdikæden. Figuren præsenterer brint og brændselscellers rolle i et fremtidigt energisystem. Samspillet mellem el, gas og varme i energikæden fra produktion til forbrug fremgår ligeledes.

Behovet for en sådan indplacering af elektrolyse har bl.a. resulteret i at Partnerskabet i december 2012 udarbejdede en national strategi for brintteknologisk forskning, udvikling og demonstration. Strategien

giver en status for brint- og brændselscelleområdet, beskriver områdets fremtidige potentialer, og konkretiserer dets fremtidige behov for teknologisk udvikling – herunder elektrolyse.

I produktionstrinnet introduceres fluktuerende vedvarende energi i elnettet fra vind, sol og bølger, som præsenteret øverst i figuren til venstre. Ligeledes introduceres biomasse i systemet, som præsenteret nederst i figuren til venstre. Biomasse består af den grønne skov, den gule halm, det brune affald og den blå fra havet.

Fluktuerende vind, sol og bølgekraft omdannes via elektrolyse til ilt og lagringsdygtig brint. Biomasse forgasses til biogas, som ved hjælp af brint kan opgraderes til enten VE-gas af naturgaskvalitet eller grønne syntetiske brændstoffer.

Den producerede brint og VE-gasser kan lagres i det eksisterende naturgasnet, i kaverner og i tanke. De grønne syntetiske brændstoffer kan lagres som de fossile brændstoffer, vi kender i dag. Gasserne og brændstofferne kan i modsætning til el lagres i længere tid og skal ikke anvendes med det samme. Energi kan også lagres i større mængder som varme eller i små mængder i batterier (f.eks. i elbiler).

Brændselsceller konverterer igen brint og VE-gasser til elektricitet via brændselsceller. Konverteringstab i form af varme kan anvendes i fjernvarmenettet.

Brint, andre VE-gasser såsom biogas af naturgaskvalitet, og grønne syntetiske brændstoffer kan igennem motorer og brændselsceller levere miljørigtige mobile og stationære energiløsninger. Mobile energiløsninger indbefatter "on road" såvel som "off road" anvendelser. Stationære anvendelser inkluderer centrale og decentrale kraftværker, husstandsbaseeret mikrokraftvarme, nødstrømsanlæg samt en række af øvrige anvendelser på nært forestående markeder.

Repræsentanter fra IRD A/S, H2 Logic og DTU Energikonvertering har, blandt andre, været med til at udarbejde denne førnævnte nationale strategi. Det har hele vejen været tiltænkt, at denne strategi skulle spille ind som perspektivering af elektrolyse i fremtidens energisystem ved projektet "Benchmarkingtest, standardisering og koordinering af elektrolyseprojekter". Strategien er vedhæftet i bilag i kapitel 10.

En stærkere stemme

En anden side af perspektivering, er perspektivering af projektsamarbejdet og hvordan dette indvirker på det fremtidige elektrolysearbejde i Danmark. Her tænkes der på andre resultater der er kommet ud af projektet, end de rent tekniske vedrørende standardisering.

Arbejdet med elektrolyse i Danmark er grundet dette koordinationsprojekt, blevet væsentligt mere integreret. Der er skabt tætte bånd mellem samarbejdspartnere, god indsigt i regelsæt og lovgivning, samt

en aktiv indtrædelse i organisationen Dansk Standard. Projektet har medvirket til at sikre en effektiv energiteknologisk udvikling blandt komponentudviklere, systemintegratorer og producenter.

Det har i dette projekt ikke været muligt direkte at indvirke på fastsættelsen af internationale standarder, i den grad det var ønsket fra projektets start. Til gengæld skal det bemærkes, at dette intensiverede koordinationsarbejde nu bevirker, at parterne taler med en større stemme end før projektets start. Dette gøres både nationalt og blandt internationale parter.

Standardiseringsbestrebelse vil fortsætte ud over de bestrebelse som har været gjort i regi af dette projekt.

Perspektivering internationalt

Produkterne testes og markedsføres først lokalt eller nationalt, og på dette grundlag etableres en markant stigning i afsætningen af disse produkter til udenlandske markeder.

International set er der forskellige bud på den globale stigning af beskæftigede inden for brint- og brændselscelleområdet. *Fuel Cells 2000* har for brintteknologier samstemmende med andre prognoser fra USA, Europa, Korea og Japan, fremsat forventning til, at beskæftigelsen inden for produktionsvirksomhed vil øges fra cirka 40.000 beskæftigede i dag, til 700.000 beskæftigede inden for de kommende ti år.

Danmark er i dag blandt de førende lande inden for forskning, udvikling og demonstration af brintteknologier – sammen med USA, Canada, Tyskland, Korea og Japan.

Kommercialisering af brintteknologier

Brintteknologier, herunder elektrolyse, er i dag på et stadie, hvor der sker en accelererende produktintroduktion på nichemarkederne, og hvor der er udsigter til, at yderligere nichemarkeder vil følge inden 2016. I konsekvens heraf er mange producenter i dag i stand til at give konkrete bud på markedsperspektiver for produkterne. Parterne vurderer, at det frem til 2025 er muligt at øge eksport og antallet af arbejdspladser til op mod 23 mia. kr., og det anslås muligt, at skabe 12.500 arbejdspladser i Danmark.

Omkring 2025 vil også større anlæg inden for elektrolyse- og brændselscellebaseret kraftvarme være modne til at kunne indgå og spille en betydelig rolle i det fremtidige energisystem.

En introduktion på nichemarkeder er essentielt for brintteknologiområdet. Igennem nichemarkederne kan der skabes et markedsgrundlag for elektrolyse-, brint- og brændselscellebaserede produkter, og der oparbejdes et industrielt kendskab til og en efterspørgsel på brændselscellebaserede produkter. Med en markedsintroduktion og efterfølgende opbygning af en omsætning etableres en serieproduktion med

produktionslinjer og automatisering, der efterfølgende kan resultere i prisreduktion. Udvikling og implementering af produkter til nichemarkeder er således et vigtigt fokusområde for branchen i de kommende år. Alle elementer, der understøtter en markedsintroduktion på nichemarkeder, er væsentlige.

Produkterne testes og markedsføres først lokalt eller nationalt, og på dette grundlag etableres en markant stigning i afsætningen af disse produkter til udenlandske markeder.

Samlet set forventes brintteknologier at bidrage væsentligt til de politiske målsætninger om grøn vækst. Derved skabes konkrete og mærkbare effekter af de offentlige midler investeret i teknologiområdet.

Fremtid udvikling af brintteknologier – teknologikatalog og roadmaps

Teknologikatalog og roadmaps for elektrolyseteknologier er mellem EUDP sekretariatet og Partnerskabet besluttet overflyttet og udføres p.t. under EUDP projektet, "Analyser for kommercialisering af brintteknologier" [9] der blev iværksat primo 2014.

"Analyser for kommercialisering af brintteknologier" har til formål, at analysere og redegøre for, hvor der er behov for at fremme yderligere brintteknologisk udvikling. Dette gøres for at integrere brintteknologierne i det danske energisystem. Kritiske teknologiske og økonomiske flaskehalse for brintteknologierne vil blive identificeret og vurderet sammen med betydende rammevilkår og barrierer. Projektets formål er at analysere og redegøre for, hvor der er behov for at fremme yderligere brintteknologisk udvikling, så brintteknologierne kan integreres i det danske energisystem. Analysen vil ske på basis af modelberegninger, hvor kritiske teknologiske og økonomiske flaskehalse for brintteknologierne vil blive identificeret og vurderet. Betydende rammevilkår og barrierer for introduktion i energisystemet vil blive identificeret.

Projektet vil danne basis for, at brintteknologiske roadmaps kan opdateres og yderligere kvalificeres og nye udarbejdes. Analysen vil give de medvirkende virksomheder et markant bedre grundlag for at prognosticere deres vilkår for kommercialisering og udvikle deres virksomhedsstrategier. De fremkomne resultater vil have stor betydning for interessenternes beslutning om investering i større demonstrationsanlæg samt for implementering i det fremtidige energisystem.

Projektets opdaterede data for brintteknologierne vil desuden udgøre et solidt grundlag for opdatering af Energistyrelsens Energiteknologikatalog.

Partnerskabet med dets medlemmer vil indgå med indspil af teknologiske nøgledata og udvikling af opdaterede og nye roadmaps.

7.2 Task 3.2 Formidling af projektresultater

For et projekt som dette, er løbende formidling af resultater, en stor del af arbejdet. Dette er i høj grad sket gennem projektets løbetid, både internt mellem projektparterne og eksternt til en bred kreds af interessenter.

Kronologisk oversigt over større formidlingsbegivenheder

Som skrevet i årsrapporten fra 2013, blev nærværende koordineringsprojekt præsenteret ved FCH JU Stakeholders General Assembly i Paris i oktober 2012. Deltagelse ved denne begivenhed, medførte blandt andet en indgående dialog vedrørende FCH JU's arbejde med, at tilvejebringe et sammenligningsgrundlag for alle relevante elektrolyseteknologier. FCH JU har med stor interesse fulgt arbejdet i de danske Hyprovide-projekter og ser det som naturligt, at lade resultaterne fra projektet indgå i deres arbejde på elektrolyseområdet.

Som nævnt tidligere i slutrapporten, blev der i oktober 2012 afholdt en workshop for alle interne parter i projektet. Her deltog endvidere samarbejdspartnere af koordineringsprojektet samt internationalt inviterede gæster fra blandt andet ITEM Power og KIWA. Ved workshoppen blev mål og resultater i alle Hyprovide-projekter præsenteret. Der var stor interesse for denne workshop som blev afholdt den 4. oktober 2012 kl. 9.30 – 16.30 Hos Haldor Topsøe A/S, Nymøllevej 55, 2800 Kgs. Lyngby.

På Hannover Fair 2013 blev koordineringsprojektet præsenteret ved to præsentationer på Technical Forum. Projektet havde desuden en stand på messen, som blev bemanded af DTU. Dette var et led i projektets formål om, at indsamle bedst mulig viden samt at tiltrække samarbejdsparter til projektets faglige fokus. Se bilag i kapitel 10. Internationalt har IRD formidlet projektresultater omhandlende højtryks μ -PEM-elektrolyse. Denne formidling er sket gennem workshoppen "*Progress in PEMFC Stack Testing Procedures 2014*" i Oldenburg, Tyskland.

På Hannover Messe i april 2014 blev projektet præsenteret kort ved en præsentation på Technical Forum. Ligeledes bemandede DTU en stand på messen, hvor projektet blev præsenteret og diskuteret med interesserede messedeltagere.

Workshoppen den 2. maj 2014 omhandlende brintsikkerhed var, som tidligere nævnt, en stor succes. Også her var flere relevante aktører inviterede hvilket løftede debatten. Repræsentanter fra Sikkerhedsstyrelsen og Københavns Brandvæsen gav debatten en dybde og der var gensidig anerkendelse af hverandres arbejde med brint og brintsikkerhed. Ligeledes var repræsentanter for projektet HySafe deltagende og kunne give de nyeste opdateringer på deres arbejde med brintsikkerhed internationalt.

Almen formidling

Projektets parter har i deres dagligdag været med til at formidle resultater fra projektet videre. Dette er gjort ved at bringe Hyprovide-koordineringsprojektet op ved møder med kunder, og i faglige diskussioner med relevante parter. Denne form for formidling er også central, da det får resultaterne ud blandt en bred kreds af interessenter, der arbejder med dette teknologifelt til dagligt og kan sætte deres nye viden i spil. Endvidere er GreenHydrogen.dk gået ind i Dansk Standard og kan dermed formidle deres viden i dette forum. Der planlægges i forlængelse af projektets afslutning, at præsentere resultater ved mulige lejligheder, for eksempel det kommende møde i standardiseringsudvalg S-605 hos Dansk Standard.

Formidlingen af projektets resultater stopper langt fra ved projektafslutning. En af effekterne af indeværende projekt er nemlig nye og tæt knyttede relationer mellem projektparterne. Disse nye bekendtskaber er nu ikke længere væk end et telefonopkald. Endvidere er der oparbejdet viden som kan bruges i andre sammenhænge – muligvis i nye givtige projektsamarbejder.

Tabel 23 - Oversigt over formidlingsaktiviteter

Dato	Aktivitet	Form	Projektpartnere
4/10 2012	Workshop 1, Certificering og konverterteknologi	Workshop	Alle projektparter
12/10 2012	FCH JU General Assembly 2012	Drøftelser med FCH JU- leder	DTU
8-12/4 2013	Hannover Messe 2013	Deltagelse med stand og præsentation. Der var god kommunikation med mange relevante parter	DTU stod for standen, andre projektparter deltog i messen
7-11/4 2014	Hannover Messe 2014	Deltagelse ved postersession og netværksarbejde.	DTU
2/5 2014	Workshop 2, Brintsikkerhed Dansk Standard S-605 udvalgs møde	Workshop	Alle
28-29/1 2014	'Progress in PEMFC stack testing procedures', Oldenburg, Tyskland	Workshop	IRD A/S
28/8 2014	Præsentation af MW Koncept ved Driving Green messe	Præsentation	GreenHydrogen.dk
September 2014	Artikel i BioPress, 'Effektiv brintfremstilling'	Artikel	GreenHydrogen.dk
Løbende	Partnerskabets hjemmeside, hydrogenet.dk	Skriftlig formidling	Partnerskabet
Løbende	DTU's hjemmeside, FCH.dk	Skriftlig formidling	DTU

7.3 Task 3.3 Identificering af nye tiltag for udvikling og kommercialisering

Dette projekt har afklaret den danske elektrolyseindustri ønsker indenfor standardisering og benchmarking. Branchen efterlyser helt klart værktøj til sammenligning af elektrolyseanlæg på baggrund af

veldefinerede data, som vejen mod kommercialisering. Veldefinerede data omkring ydeevne og levetid er afgørende for at virksomheder kan konkurrere på lige vilkår, og set fra systemintegratorernes synspunkt, er veldefinerede benchmarkingdata en forudsætning for, at kunne vælge leverandører på markedsvilkår. Et veloplyst beslutningsgrundlag vil ikke kræve en dyb og indgående relation til leverandøren og vil ikke være så risikabel, som et leverandørvalg på nuværende tidspunkt er, på grund af den store gensidige investering det forudsætter. For at fremme den udvikling har projektet identificeret et sæt parametre, hvilke er afgørende at inddrage i fremtidige standarder eller industristandarder. Den konkrete beskrivelse af testprocedurer m.v. er ikke afklaret, så fremadrettet er en af de første opgaver at beskrive parametrene på en måde der gør det muligt at finde metoder til at teste og dokumentere resultaterne. Dette kan for eksempel gøres med referencer til andre standarder.

Ved møde i ISO udvalget TC197 afholdt i Paris i slutningen af 2013, blev det besluttet, at revidere både standard 22734-1 og 22734-2, med henblik på også at samle dem i én standard. Grunden herfor er, at det er meget lidt der adskiller dem. Processen er ved at blive forberedt, og det er oplagt at der igennem det danske arbejdsudvalg S-605 stilles ændringsforslag eller kommenteres på udkast. Indsatsen på området bør løftes af en eller flere af projektpartnerne, hvor næsten alle sidder i udvalget. Såfremt det viser sig at der er behov for at deltage aktivt i arbejdsgruppen under TC197, kræver det et andet omfang af indsats, og her er det usikkert hvem der skal løfte opgaven videre. En mulig deltager kunne være H2 Logic, som har stor erfaring med arbejdet i TC 197 fra flere andre arbejdsudvalg.

Projekt har vist, at især data omkring levetid af elektrolysesystemer er et vigtigt parameter for de danske virksomheder, men at løsningen ikke er helt så ligetil. På systemniveau er der mange komponenter som kan være årsagen til lavere ydeevne over tid, der i blandt elektrolysestakken, og forståelsen af samspillet mellem alle komponenterne er ikke trivielt. I industrien benyttes nogen gange data omkring forventet øget strømforbrug på grund af lave ydelse af elektrolysestakken. Det kan være at denne parameter er den bedste, da den fortæller omkring ydelsestab over tid og hvordan man vil definere levetiden kan man afgøre afhængig af applikation. Udviklingen af en testprocedure for elektrolysesystemet kan startes som et dansk projekt, evt. blot mellem industripartnerne og forsøges bragt videre op, eller der kan skeles EU-projekter på området.

8 Konklusion og anbefalinger

Benchmarking

Elektrolyseteknologien står foran et markedsgennembrud. Afgørende for denne markedsintroduktionen er, at de danske teknologier følger de relevante internationale standarder. Standarder har grundlæggende til formål at fjerne barrierer for samhandel og reducere omkostninger forbundet med integration af produkter og ydelser, samt at sikre at produkter lever op til lovgivning m.v. I tilfældet med elektrolyse er standarder med til at sikre at der for eksempel kun benyttes én type tankdysse på brinttankstationer, hvilket reducerer omkostningerne hos producenter af udstyr både til tankstationer, men også brintbiler osv. Dette projekt har identificeret parametre i grænsefladen mellem elektrolyseanlægsproducenter og systemintegratorer/slutkunder, hvor der enten ikke eksisterer gældende standarder og testprotokoller, eller hvor de eksisterende standarder ikke er tilpas præcise i formuleringen til at være brugbare i virkeligheden.

I forhold til det videre arbejde med benchmarking og standarder vedrørende elektrolyse, anbefales det at fokusere på følgende:

- At projektdeltagere involverer sig i standardiseringsarbejdet, især den igangværende revision af ISO 22734-1 og 22734-2. Denne revision omhandler elektrolyseanlæg generelt, både sikkerhed, ydeevne og kvalitet. Det at få indflydelse på igangværende revisioner er væsentligt enklere end at få helt nye emner på dagsordenen internationalt. Der er derfor oplagt at de af virksomhederne som allerede er medlemmer af standardiseringsudvalg S-605, benytter lejligheden til at komme med et koordineret indspil til arbejdsgruppen. De af projektpartnerne som ikke indgår i udvalget på nuværende tidspunkt, anbefales at overveje indmeldelse. Derudover kan det også overvejes at involvere sig direkte i det tekniske arbejde i arbejdsgruppen, som teknisk ekspert.
- Angående udfordringen omkring definition af levetid og aldring af systemer og komponenter, foreslås det at benytte kommende relevante udbud fra for eksempel FCH JU under Horizon 2020, til at etablere konsortier til at adressere udfordringen. For elektrolyseanlæg er levetid af selve elektrolysestakken/komponenten naturligvis afgørende, men det er ikke nødvendigvis udelukkende staklevetid som er relevant.
- En større opgave, som vil kræve væsentlige ressourcer er arbejdet med at etablere et nyt arbejdsudvalg i ISO TC197 omhandlende ydeevne, herunder meget specifikke definitioner på målemetoder. Det anbefales at indarbejde standardiseringsarbejde i forskning- og udviklingsprogrammer.

Erfaringsudveksling og formidling

Grundlæggende har de workshops som er afholdt i projektet, været en stor succes. Der har på forhånd været enighed om temaerne og behovet for denne erfaringsudveksling har i høj grad været tilstede. Ud over at få konkret input til temaerne, har arrangementerne givet mulighed for at udvide projektpartnerens netværk blandt nationale og internationale virksomheder og organisationer. De afholdte arrangementer i projektet har haft en størrelse som har sikret dialog gennem udvalgte deltagere og en intimitet eller fortrolighed, men dermed ikke sagt at større arrangementer ikke også kan være givtige. I 2012 afholdt Partnerskabet sammen med IRD, DTU og Sintef (norsk forskningsinstitution) et internationalt symposium omkring elektrolyse og brint [2], med foredrag, poster-præsentationer, netværksdannelseaktiviteter m.v. Også dette arrangement bidrog til at forbinde de danske aktiviteter med et internationalt netværk. På denne baggrund anbefales det at fokusere på at:

- Virksomheder og forskningsinstitutioner inkluderer workshops og symposier for branchen når muligt i nye ansøgte projekter, ligesom at der fra bevillingsgivere imødekommes forslag om formidlings- og netværksskabende aktiviteter i forskning- og udviklingsprogrammer.
- At danske virksomheder fortsat arbejder bilateralt i projekter med at løse fælles udfordringer, såsom udvikling af specifikke komponenter i samspil med relevante leverandører.

Projektet har også gennem netværk- og formidlingsaktiviteter skabt fokus på elektrolyse og udfordringerne forud for markedsgennembrud, deriblandt certificering og godkendelse. De danske virksomheder og forskningsinstitutioner har en væsentlig rolle at spille i at udbrede kendskabet til teknologierne til myndigheder og godkendende institutioner, samt levere input til for eksempel regeringens energikatalog.

9 Referencer og links

- [1] <http://www.soctesqa.eu/>
- [2] http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog_jan_2014v4a.pdf
- [3] <http://www.hydrogenet.dk/elektrolysesymposium2011>
- [4] <https://ec.europa.eu/jrc/en/event/workshop/workshop-putting-science-standards-power-hydrogen-and-hcng/presentations-keynotes-conclusions>
- [5] http://www.fch-ju.eu/sites/default/files/study%20electrolyser_0-Logos_0.pdf
- [6] http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:122176/datastreams/file_0f6f59ef-b175-40a6-9505-5d158b88585d/content
- [7] http://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R1213_myndighedshaandtering_sofc.pdf
- [8] <http://brs.dk/viden/publikationer/Documents/2014%20vejledning%20om%20redningsberedskabets%20indsats%20p%C3%A5%20brinttankstationer.pdf>
- [9] <http://www.energiteknologi.dk/da/project/analyser-kommerialisering-af-brintteknologier>

10 Bilag

Bilag 1: Oversigt over leverancer og deadlines

Bilag 2: Oversigt over ændringer i projektperioden

Bilag 3: M1, Benchmarkingparameterliste

Bilag 4: Oversigt over standarder og certificering

Bilag 5: DGC rapport, review af ISO 22734-1 og -2

Bilag 6.a: Workshopprogram 1, 2012

Bilag 6.b: Workshopprogram 2, 2014

Bilag 7: Partnerskabets nationale strategi

Bilag 8: Hannover Fair 2013, rapport fra DTU Testcenter

Bilag 9: Program for symposium 2012