

Vandforbrug til elektrolyse

Notat
Oktober 2022

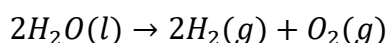
NOTAT

Vandforbrug til brintelektrolyse

I et dansk perspektiv kan brint introduceres til det danske gasnet. Injektion af brint kan reducere den samlede carbondioxidemission ved anvendelse af karbonbaserede brændsler. Samtidigt kan brint også afhjælpe problematikken med lagring af elektrisk energi, hvor brinten produceres via elektrolyse af vand og lagres i store brinttanke [1] eller i gasnettet. Dette notat beskriver kortfattet elektrolysebrintproduktionens forbrug af vand og rensning af det anvendte vand med udgangspunkt i Energistyrelsens Teknologikatalog [2] og anden litteratur.

Vandforbrug

Teknologien, der muliggør produktion af brint fra vedvarende elektricitet, er brintelektrolyse, hvor vand spaltes til henholdsvis brint- og iltmolekyler, se nedenstående



Ved simpel masseberegning af ovenstående ligning omdanner elektrolysen cirka 8,94 kg vand til 1 kg brint. Denne store vægtbaserede ratio af vand til brint skyldes, at størstedelen af vandets masse omdannes til iltmolekyler. I praksis vil vandforbruget være højere, end det ovenstående indikerer, pga. vandtab fra elektrolysens effektivitet og indirekte nedkøling af elektrolysecellen [3].

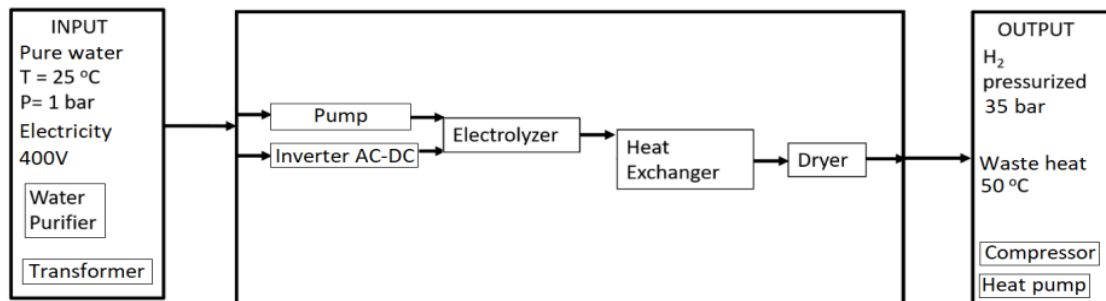
De eksisterende teknologier for elektrolyse af vand til brint er AEC (alkalisk elektrolysecelle), PEMEC (proton-udvekslings-membran-elektrolysecelle) og SOEC (faststof-oxid-elektrolysecelle). I Tabel 1 kan tekniske specifikationer ses for de nævnte elektrolyseteknologier, dog skal det bemærkes, at de estimerede størrelser kun indbefatter midterste kasse i Figur 1.

Tabel 1 Specifikationer for forskellige elektrolyseceller anno 2020 [1] [2]. Bemærk, at vandforbruget er defineret ud fra den introducerede mængde elektrisk strøm. 3-5% indikerer mer tab fra den teoretiske vægtbaseret ratio.

	AEC	PEMEC	SOEC
Elektrisk effekt (LHV)	63-70 (%)	56-60 (%)	74-81 (%)
Responstid	Sekunder	Millisekunder	Sekunder
Renhed af vand	5 µS/cm	0,2 µS/cm	1 µS/cm
Renhed af brintoutput	>99%	>99%	>99%
Vandforbrug (3-5%)	180 (kg/MWh _{ind})	157 (kg/MWh _{ind})	209 (kg/MWh _{ind})

Et større AEC-anlæg er planlagt af HySynergy [4], som vil kunne producere brint svarende til 20 MW. Effektiviteten på et AEC-anlæg er på 63 %, hvilket vil sige, at den elektriske energi, der

skulle introduceres til produktionen, ville være omkring 31,7 MW. Beregnet med det angivne vandforbrug fra Tabel 1 giver det et samlet vandforbrug på cirka 20.600 tons vand. Der kan altså konkluderes et større vandforbrug tilknyttet denne form for brintproduktion.



Figur 1 Diagram over et generisk PEMEC- og alkalisk elektrolyseanlæg [2].

Renhed af vand

Foruden vandforbruget indbefatter denne form for brintproduktion også vandbehandling af det vand, som skal introduceres til elektrolyseproduktionen, se Figur 1. Renheden af vand angives normalt som ledningsevne (S/cm^2), da ledningsevnen er et udtryk for ion-koncentrationen i vandet. Elektrolysecellerne kan ikke fungere, hvis vandet indeholder for høje koncentrationer af salt-ioner. Særligt er dette gældende, se evt. Tabel 1, for alkaliske og membranbaserede elektrolysesystemer, da selv små koncentrationer af ioner kan hindre diffusionen af henholdsvis protoner og elektroner i det porøse transportlag, som på sigt vil ødelægge cellerne [5].

Valget af vandbehandlingsteknologi er afhængig af to parametre: Hvilken elektrolyseteknologi, der anvendes, samt typen af vand, der skal bruges til brintproduktionen. Rensningsteknologier til elektrolyse er som regel installeret på selve brintproduktionsfaciliteten, hvilket vil sige, at der kan anvendes omkringliggende vandressourcer. Derfor kan typen af vand også afhænge af elektrolyseanlæggets placering, da saltindholdet i vand afhænger af den geografiske placering af vandets kilde. Der findes kommercielle løsninger for rensningsteknologier, hvor bl.a. Eurowater er en del af markedet. Eurowaters teknologi kan levere en kapacitet på omkring 4500 l/h rensed vand ($<5 \mu S/cm$) til elektrolysen, hvor der kan anvendes vandværksvand [6].

Energiforbruget af vandbehandling til brintproduktionen afhænger også af typen af vand, der anvendes. Ifølge Eurowater forbruger vandbehandling af $1 m^3$ grundvand cirka 2 kWh, hvor vandbehandling af $1 m^3$ havvand forbruger omkring 7 kWh¹. Dette er dog relativt lavt sammenlignet

¹ Energiforbruget er estimeret, da præcise energiforbrug varierer fra projekt til projekt

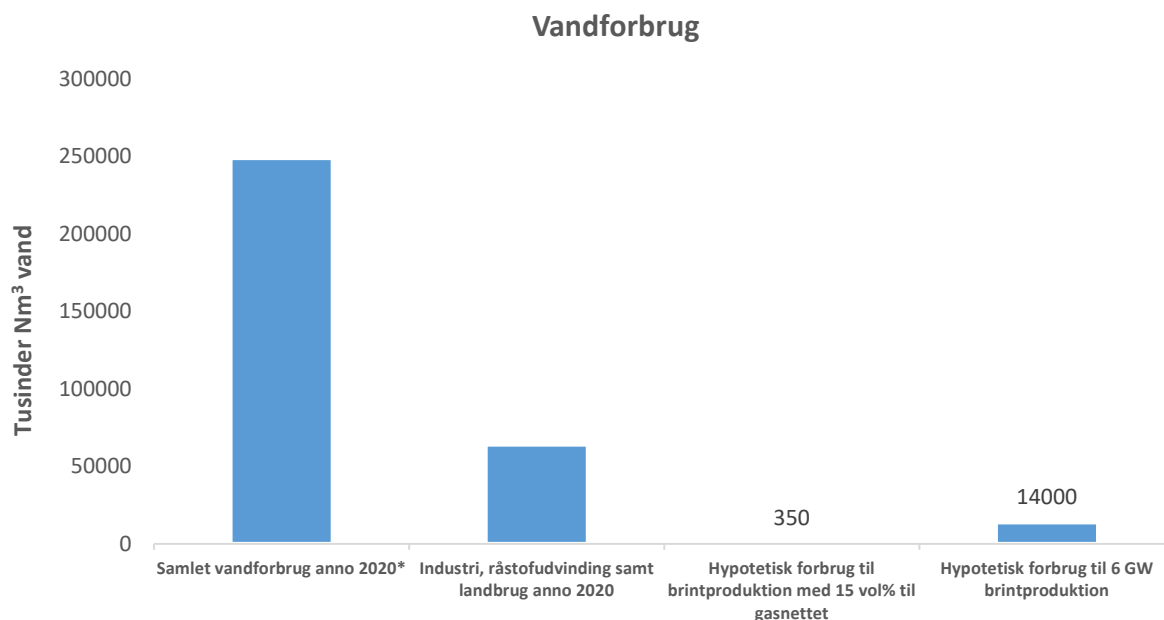
med elforbrug til selve elektrolysen, som kan forbruge helt op til 5000 kWh til 1 m³ rensat vand. Det vil sige, at vandbehandling af saltvand kun udgør ca. 0,14 % af elforbruget til elektrolysen [7].

Perspektivering af vandforbrug

Det er som sagt en mulighed at introducere brint til gasnettet, og en brintandel på op til 15 % (vol.) har været på tale. Desuden er der i Danmark brintprojekter svarende til 5-6 GW el. Sådanne brintproduktioner vil være forbundet med et betydeligt vandforbrug.

For at vurdere dette vandforbrug er der taget udgangspunkt i det nuværende (2020) årlige gasforbrug på 95 PJ og en iblandingsprocent på 15 % (vol.). Fra værdier givet i Tabel 1 for et alkalisk elektrolyseanlæg kan mængden af det vand, der skal anvendes til brintproduktionen, bestemmes. Figur 2 viser vandforbruget anno 2020 [8] samt den hypotetiske mængde vand, der skal forbruges, hvis 15 % (vol.) brint skal injiceres til gasnettet.

I forbindelse med den europæiske "Green Deal" skal Danmark forøge brintkapaciteten til 4-6 GW², hvilket vil sige, at hvis denne produktion holdes konstant ved 6 GW i et år med alkaliske elektrolyseceller, vil vandforbruget sammenlignet med vandforbruget anno 2020 udgøre knap 5,6 %, se nedenstående Figur 2.



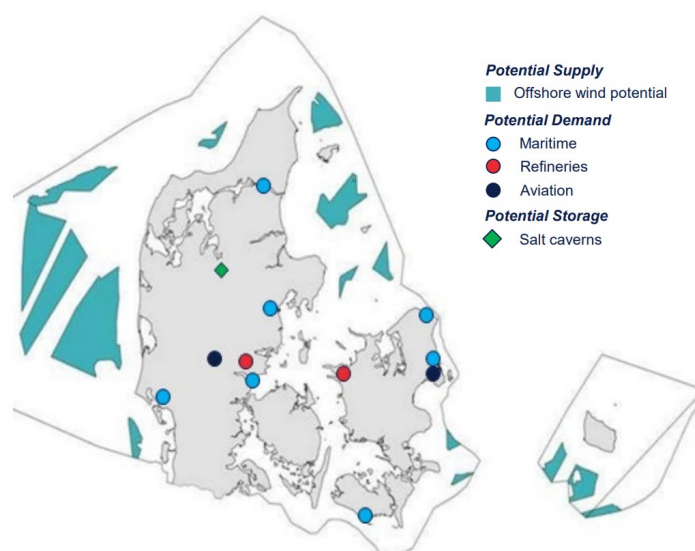
Figur 2 Vandforbrug både samlet for 2020, for industri, landbrug og råstofudvinding og de udregnede hypotetiske forbrug. Driften for 6 GW kapaciteten holdes konstant.

² 6 GW ved konstant drift i et år svarer til en fordobling af det nuværende gasforbrug i Danmark

Figur 2 viser et ret lavt vandforbrug i forhold til det nationalt samlede forbrug, dog skal det tages i betragtning, at vandforbruget bliver udtaget lokalt, hvilket vil sige, at den geografiske placering af faciliteten skal gennemtænkes, både med hensyn til deponering af koncentreret saltvand fra vandbehandlingen og med hensyn til uønsket allokering af vand til brintproduktionen. Ud fra Figur 2 er det dog også usandsynligt, at vandforbruget til brintproduktionen vil holdes konstant, da driftstimerne mere sandsynligt vil følge elpriserne og produktionen af vedvarende strøm [9].

Selvom undersøgelsen indikerer et lavt forøget nationalt vandforbrug, så sammenlignes der med forbrug af kostbart grundvand. Tidligere nævnt er det muligt at anvende andre vandressourcer til et relativt lavt energiforbrug, og ifølge reference [10] handler den egentlige problematik for elektrolysen om, hvor godt brintproduktionens anvendte vand kan renses. Ved brug af kommercielle membranteknologier vil det være muligt at anvende havvand fra omkringliggende have, hvor forbruget af vand svarende til 2,3 Gt brint kun vil være omkring 30 ppb (dele per milliard) af verdens tilgængelige vandressourcer.

DNV har udført beregninger for de fremtidige beliggenheder af PtX-anlæg i Danmark [11]. Her er det taget udgangspunkt i optimeringer af eventuelle placeringer ud fra tilgængelige offshore vindenergiproduktioner, se Figur 3. Det er klart fra analysen, at elektrolyseproduktionen kommer til at ligge ved kystnære områder, hvilket vil give en naturlig tilgængelighed af havvand, der ved et lille energiforbrug kan renses til anvendelse i en elektrolysesammenhæng.



Figur 3 Kort over fremtidige lokationer af PtX-anlæg i Danmark [11].

Pris

I Energistyrelsens Teknologikatalog [2] er der foretaget en CAPEX³ -undersøgelse for forskellige elektrolyseanlæg, dog inkluderes vandbehandlingen af elektrolysen ikke. Der er derfor regnet videre på Teknologikatalogets CAPEX, hvor rensningsenergien for saltvand fra Eurowater er inddraget, og hvor investeringsprisen for et generisk rensningsanlæg er omkring 1-5 % af entreprisen. Ved inddragelse af en rente på 5 % og 2.500 driftstimer vil brintprisen for et 100 MW elektrolyseanlæg være omkring 0,6 kr. per kWh. Uanset om der er tale om en investering på 1 eller 5 % af entreprisen, så ligger den promillemæssige forskel mellem 2 og 4, se eventuelt

Tabel 2. Det vil sige, at prisafhængigheden primært indbefatter investeringen samt effektiviteten af selve brintelektrolyseanlægget.

Tabel 2 CAPEX fra Energistyrelsens Teknologikatalog, hvor vandbehandlingen af saltvand er inddraget. Bemærk, at elprisen ikke inkluderer elomkostninger og skat.

Procent vandbehandlingsinvestering af entreprisen (%)	Elpris (DKK/MWh)	Brintpris (DKK/MWh H ₂)
-*	3000*	5042*
1	3000	5053
1	800	1554
1	200	600
5	3000	5062
5	800	1562
5	200	608

*Angiver prisen uden rensning af vand

Konklusion

Der er foretaget en undersøgelse af vandforbruget relateret til en brintproduktion via elektrolyse på henholdsvis 15 % (vol.) injektion til gasnettet og en produktion på 6 GW. Her vil det nationale vandforbrug anno 2020 stige med henholdsvis 0,14 % og 5,6 %. Analysen viser, at selvom elektrolyseproduktionen har en 8,9 vand til brint-masseratio samt en lav effektivitet tilknyttet, så kan der produceres dobbelt så meget brint som det nuværende gasforbrug med en stigning af det national vandforbrug svarende til kun 6 %.

Der kan opstå problematikker med hensyn til det lokale vandforbrug omkring et elektrolyseanlæg, særligt hvis der anvendes sparsomme vandkilder, såsom grundvand. Ifølge en analyse af DNV vil den fremtidige elektrolyseproduktion ligge ved kystnæreområder. Her vil der være en naturlig tilgængelighed af saltvand, hvilket kan anvendes uden belastning af det lokale forbrug af grundvand.

³ CAPEX: Capital Expenditure (Investeringsomkostninger)

Det er dyrere at anvende saltvand end grundvand til elektrolysen. Forskellen er dog beskeden, idet de forøgede omkostninger pga. anvendelse af saltvand vil øge den samlede omkostning til brintproduktion med ca. 2-4 promille.

Kontaktoplysninger vedr. kommercielle løsninger for vandbehandling

- **Henrik Tækker Madsen, Eurowater**, tlf. +45 48 20 10 00, hema.dk@silhorko.dk
- **CleanTEQ**, tlf. +61 421060370, wmclean@cleanteqwater.dk

Hørsholm, 06.10.2022

Emil Christensen

Referencer

- [1] O. Schmidt a,b,* , A. Gambhir a, I. Staffell b, A. Hawkes c, J. Nelson a, S. Few, »Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study,« Science Direct, London, 2017.
- [2] Energistyrelsen, »Technology Data - Renewable fuels,« 2017.
- [3] M. E. Webber, »The water intensity of the transitional hydrogen economy,« 2007.
- [4] HySynergy, »HySynergy PtX facility,« Everfuel, [Online]. Available: <https://www.everfuel.com/projects/hysynergy/>. [Senest hentet eller vist den 17 08 2022].
- [5] Thomas Lickert, Maximilian L.Kiermaier, Kolja Bromberger, »On the influence of the anodic porous transport layer on PEM electrolysis performance at high current densities,« Elsevier, 2020.
- [6] Eurowater, »Water treatment for hydrogen production,« Eurowater , [Online]. Available: <https://www.eurowater.com/en/hydrogen-production>. [Senest hentet eller vist den 17 08 2022].
- [7] E. Henrik Tækker Madsen, Interviewee, *Spørgsmål om energiforbrug*. [Interview]. 24 08 2022.
- [8] D. Statistik, »Forbrug af vand (Fysiske vandregnskab) efter vandtype, branche og tid,« 2020.
- [9] D. Energi, »Scenarier for omkostninger til brintproduktion,« 2916.
- [10] Rebecca R. Beswick, Alexandra M. Oliveira, and Yushan Yan, »Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem?,« ACS, 2021.
- [11] DNV, »Techno-Economic Analysis of a Danish Hydrogen Infrastructure,« 2022. [Online]. Available: <https://evida.dk/media/an1dmo1k/dnv-report-energy-system-modelling-for-hydrogen-production-and-offtake.pdf> . [Senest hentet eller vist den 21 09 2022].
- [12] Energinet, »DET DANSKE GASSYSTEM KAN LAGRE VINDENERGI,« [Online]. Available: <https://energinet.dk/Om-nyheder/Nyheder/2019/05/21/Det-danske-gassystem-kan-lagre-vindenergi>. [Senest hentet eller vist den 18 08 2022].