**Beregning af tysk back-up behov ved elforsyning baseret på sol,**

**vind, hydro og biomasse baseret på tyske timetal for 2023**.

**Summary**

På sit parti, Venstres Landsmøde i november 2008 udtrykte statsminister Anders Fogh Rasmussen sit energipolitikske mål med sin totalt absurde erklæring om ”at han garanterede et fossilfrit Danmark i 2050.” Manden er begavet og cand. oecon. så tænksomme folk tog sig til hovedet og spurgte sig hvad manden dog havde tænkt sig. Vidste han ikke, at det var kullene, der for 300 år siden satte os i stand til langsomt at kæmpe os ud af fattigdom, sult og tuberkulose. Siden er absurditeten også blevet til generel EU-politik.

Det bør dog måske tilføjes, at da Danmark ikke har megen energitung industri tilbage, så ville vi, takket være det omstændighed at vi er et lille land omgivet af lande med meget større elsystemer end vort eget kunne klare os med en elforsyning baseret på vind+sol+biomasse+hydro og import af biobrændsel.

En Mulighed, som vort naboland Tyskland hverken har eller kan have. Så jeg har med dette lille skrift prøvet at undersøge mulighederne for at Tyskland kunne udvide sin ”grønne elproduktion”, dels så denne dækkede elforbruget og dels, hvis den grønne elproduktion forøgedes til de dobbelte af det nuværende elforbrug.

Denne fordobling af elproduktionen ville give en ydelse på 100 GW. 25% af Tysklands energiforbrug og ville altså på ingen måde gøre Tyskland fossilfrit.

Vind+sol+biomasse+hydro ydede i Tyskland i 2023 imellem 120% og 16 % af strømforbruget. Denne meget varierende ydelse medfører, at man må finde metoder til opbevaring af økostrøm. Tre metoder er i spil.

1. At gemme elektricitet ved at lukke for vandet til vandkraftværkerne, når det blæser og solen skinner.
2. At skrue op og ned for biomasse kraftværker.
3. At lagre strøm i batterier.
4. At anvende overskydende elektricitet til brintfremstilling.

De to første alternativer udnyttes allerede, og kapaciteterne kan næppe udbygges væsentligt.

Jeg håber at have påvist at både batterier og elektrolyse er prohibitivt dyrt. Og konkluderer, at et fossilffrit samfund er nonsens. Jeg har ikke grundigt undersøgt atomkraft, men dog påvist, at til trods for at atomkraft er marginalt dyrere end vindkraft, så kan prisforskellen langt fra betale omkostninger til lagring af den usikre vindkraft.

**Detailler omkring vind og sol i Tyskland**

Vi forsøger med dette lille notat, at skaffe os et overblik over den europæiske energipolitik, og arbejder fortrinsvis med tyske tal. Danmark er i denne sammenhæng ret uinteressant. Vi ligger imellem lande med meget større elsystemer end vort eget, hvilket giver os en meget lettere adgang til at kompensere for de voldsomme og ustyrlige svingninger i den grønne elproduktion, og vi er små nok til at kunne basere en stor del af vor energiforsyning på importeret biomasse. En mulighed, som Tyskland af indlysende grunde ikke kan have. Hvortil kommer, at EU kommissionen netop har udgivet en rapport, hvor man kan læse

https://ing.dk/artikel/udsigt-til-eu-stramninger-kan-true-dansk-biomasseforbrug?utm\_source=nyhedsbrev&utm\_medium=email&utm\_campaign=ing\_daglig

”Danmarks forbrug af biomasse til energi ligger ifølge rådet på over 30 GJ pr. indbygger, hvorimod IPCC peger på, at et bæredygtigt forbrug af biomasse højst kan være 10 GJ/år (317 watt) pr. verdensborger i 2050.”

I 2022 brugte en dansker i gennemsnit 3,6 kW, heraf 600 watt biomasse.

Så hvad nu lille land? Hvis vi hverken vil bruge fossile brændsler eller atomkraft, har vi kun vind og sol tilbage. Nedenstående forsøger jeg at belyse, hvilke problemer det vil give.

Figurerne 1 og 2 nedenfor viser grøn tysk strøms andel af elforbruget, time for time i 1. og 3. kvartal 2023. Der er 168 timer svarende til en uge imellem de lodrette delelinier.

Det er indlysende, at der vil være et betydeligt behov for back-up, og under forudsætning af at biomasse og vandkraft allerede er udnyttet fuldt ud, er der kun en vej frem, en massiv udbygning af vind- og solarkraft.

Figur 1

Figur 2

I 2022 var Tysklands energiforbrug i alt 390 GW. I 2023 ydede vind + sol + biomasse + vandkraft i gennemsnit 31 GW, varierende mellem 67 GW og 7,6 GW. Og svarende til 8% af det totale energiforbrug.

Vind og sol alene i gennemsnit 22,5 GW, varierende ukontrollabelt mellem 60 GW og 0,6 GW. I gennemsnit svarende til 5,8% af energiforbruget. Der mangler stadig væk en del i at blive klimaneutral.

Der er i princippet 360 GW, der ikke er grønne. Hvis man ikke kan forøge anvendelsen af biobrændsel, og næppe heller af vandkraft vil vind og sol skulle forøges med en faktor 360/22,5 = 16.

Det er forstemmende at følge med i tysk TV og følge hvilken til kaos grænsende utilfredshed, der præger landet. Dette vil næppe mindskes, ved forceret udbygning af vind- + solenergi.

Stærke elnet fra land til land vil hjælpe, men løser ikke problemet, som det turde fremgå klart af nedenstående figur 3 og 4.

Figur 3

Figur 4

|  |
| --- |
| Fornybar elektricitets andel af elforbruget 1. og 3. kvartal 2023 |
|  | Tyskland | Tyskland+Danmark +Frankrig+Sverige |
| Periode | 2023 | 1. kvt.  | 2. kvt | 3. kvt | 4. kvt | 1. kvt.  | 2. kvt | 3. kvt | 4. kvt |
| Middel | % af elforbrug | 57 | 57 | 55 | 57 | 48 | 51 | 49 | 53 |
| Maks | 109 | 120 | 119 | 109 | 77 | 79 | 80 | 81 |
| Min | 16 | 17 | 18 | 16 | 24 | 24 | 23 | 26 |
| Stdafv | 22 | 19 | 22 | 22 | 13 | 11 | 13 | 13 |
| Stdafv % af middel | 39 | 34 | 40 | 39 | 27 | 22 | 27 | 25 |
| Timeantal | 2160 | 2184 | 2208 | 2160 | 2160 | 2184 | 2208 | 2208 |

Tabel 1

Det fremgår af tabel 1, at en sammenlægning af ydelserne fra flere lande, vil dæmpe svingningerne i den grønne strøms andel af elforbruget, men på ingen måde udligne det, og slet ikke overflødiggøre en back up, som meget uregelmæssigt men med stor hyppighed må kunne yde 70-80% af elforbruget.

**Beregning af tysk back-up behov ved elforsyning baseret på sol, vind, hydro og biomasse baseret på tyske timetal for 2023**.

Beregningsforudsætninger:

1. Timetal for elforbrug og produktion 2023 iflg, Entsoe.
2. Ydelses- og forbrugsprofil som i 2023. Disse profiler vil naturligvis være anderledes i andre perioder.
3. Der er udført en beregning for forbruget i 2023 og for et forbrug 1,25, 1,50, 1,75 og 2,00 gange dette forbrug.
4. Der regnes med uændret ydelse fra biomasse og hydro.
5. Resultatet af beregningerne viser lagerbehovet henholdsvis ved anvendelse af batterier som lagringsmedium og brint som lagringsmdium.
6. Der forudsættes et tab på 5% ved lagring af batterier og et tab på 5% ved træk fra batteriet. Batteriprisen sættes til 129 €/kWh.
7. Der forudsættes et elektrolysetab på 30% ved fremstilling af brint, og et tab på 50% ved omsætning af brint til elektricitet. Elektrolysetabet på 30 % kan der ikke gøres meget ved. Idet dette er beregnet ud fra brints nedre brændværdi -brændværdi uden udnyttelse af kondensationsvarme for den vanddamp, der dannes ved forbrændingen. Medregnes denne varme-mængde, får man 82 % af det teoretiske udbytte. Dette kan nok forbedres noget, men der er mange omkostninger, der ikke er medregnet. F.eks. energiforbruget til fremskaffelse og rensning af det vand, der medgår til elektrolyseprocessen. Til gengæld er effektiviteten af brint som brændsel formodentlig for højt sat. Rent bortset fra, at der endnu ikke eksisterer gasturbiner, der kan køre på ren brint.
8. Der observeres ved alle beregningerne et uhyrligt krav til lagrings- og ydelseskapaciteten. Under forudsætning af det nuværende elforbrug vil batterier skulle kunne modtage 76-169 GW og kunne yde 57-124 GW. Til sammenligning lå det gennemsnitlige tyske elforbrug i 2023 på 52,9 GW.
9. For brint tilsvarende en elektrolysekapacitet beregnet som produceret brint på 113-252 GW, og ydelsen for brintturbiner 56 - 121 GW.
10. Selve lagerkapaciteten vil for batterier skulle være 21-47 TWh svarende til henholdsvis 34 tusind € og 76 tusind € per indbygger. Til sammen-ligning har de svenske vandmagasiner en kapacitet på ca. 34 TWh.
11. Et brintlager ved 80 bar vil have et rumfang mellem 183 og 367 millioner m³, svarende til en kugle med en diameter på henholdsvis 705 m og 875 m.
12. En fremtidig fordobling af elforbruget og dækket af "grøn" strøm i Tyskland vil give en effekt på ialt 105 GW. Tysklands totale energiforbrug i 2022 var 390 GW. Mod 401 GW i 2021. Et fremtidigt ”fossilfrit Tyskland” vil i det væsentlige være et Tyskland baseret på grøn elektricitet, da der kun er stærkt begrænsede mængder biobrændsel til rådighed. Der er lang vej fra de 31 GW grøn el Tyskland producerede i 2023 til et energiforbrug på 390 GW. Medregnes tabene ved ellagring og PtX tør man formode at vejen vi være uendelig lang.

Det tyske elforbrug i 2022 var i gennemsnit 55,3 GW mod 52,9 GW i 2023. **Et fald på godt 4%.** Og måske forklaringen på de mange strejker i Tyskland med krav om betydelige lønforhøjelser og udbetaling af ”Klimageld” til mindre bemidlede.

Det danske elforbrug faldt tilsvarende fra 3997 MW i 2005 til 3957 MW i 2023, til trods for at befolkningstallet er steget med ca. 10% i perioden. Så omstillingen til el synes at gå ret trægt.

I tabel 2 nedenfor har vi forsøgt at beregne konsekvenserne at udbygge vind+ sol således at det nuværende elforbrug (2023) ville kunne dækkes af den nuværende vandkraft og biomasseafbrænding + en forøget produktion af vind og solenergi + et batterilager, der kunne opsamle energien ved overskud af vind og sol og levere elektricitet igen, når vind og sol + biomasse + vandkraft ikke vil være leverings-dygtige. Vi er gået ud fra, at vandkraft og biomasse allerede yder den regulerings-kraft, de kan, og at denne ikke kan udbygges væsentligt.

Vi har ikke regnet med, at elforbruget i nogen grad vil kunne reguleres, og dermed reducere problemerne med vind og sol. Det nuværende elforbrug vil næppe kunne reguleres væsentligt uden at skabe nye problemer, medens det vel går an at antage at et fremtidigt meget større elforbrug i nogen grad vil kunne reguleres.

|  |  |
| --- | --- |
| **Arbitrary Constants** | **Storage medium: Batteries** |
| Loss by storing | W/kW | 50 |
| Loss by recovering | W/kW | 50 |
| Cost Batteries | €/kWh | 129 |
| Electricity price | €/MWh | 110 |
| **Calculated** |
| **Load 2023 times** | Factor | 1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 |
| Future W+S Average | GW | 45,7 | 59,3 | 72,8 | 86,3 | 99,9 |
| Future W+S times 2023 | Factor | 2,03 | 2,63 | 3,23 | 3,83 | 4,43 |
| Future W+S Max | GW | 121,1 | 156,9 | 192,7 | 228,6 | 264 |
| Future W+S Min | GW | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,50 |
| Sum loss by storing | W/kW | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Loss Total | GW | 1,1 | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,33 |
| Loss Total | TWh/year | 9,2 | 12,0 | 14,8 | 17,6 | 20,4 |
| Loss Total | Bio €/year | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,2 |
| **Additional cost** | €/ MWh | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 |
| **New Electricity price** | 112,2 | 112,3 | 112,3 | 112,4 | 112,4 |
| **Additional per capita** | €/year | 12,7 | 16,5 | 20,3 | 24,2 | 28,1 |
| Cost Batteries | t €/cap | 31,6 | 40,9 | 50,1 | 59,4 | 68,6 |
| **Max Storage** | **TWh** | **19,7** | **25,4** | **31,2** | **36,9** | **42,7** |
| Days av.prod W+S | Days | 15,2 | 15,7 | 16,0 | 16,3 | 16,4 |
| **Max to Storage** | **GW** | **65,6** | **85,7** | **105,7** | **125,8** | **145,9** |
| **Max recovered** | **GW** | **53,6** | **69,3** | **84,9** | **100,5** | **116,2** |

Tabel 2

**Forklaring tabel 2:**

I **tabel 3** herunder vises et anslået tab ved opladning og afladning af et batteri. VI er gået ud fra at der mistes 50 W/kW eller 5 % både ved opladning og afladning. Prisen for et batteri 129 €/kWh er den seneste pris jeg har kunnet finde på internettet. Denne kan muligvis blive noget lavere i fremtiden, men vil under alle omstændigheder være betydelig.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Loss by storing | W/kW | 50 |
| Loss by recovering | W/kW | 50 |
| Cost Batteries | €/kWh | 129 |
| Electricity price | €/MWh | 110 |

Tabel 3

Elprisen er sat til 110 €/mWh svarende til 82,5 øre/kWh. Nok noget højere end prisen ab vindmølle, men det er jo ikke gratis at transportere strøm fra Nordsøen til Sydtyskland.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Load 2023 times | Factor | 1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 |
| Future W+S Average | GW | 45,7 | 59,3 | 72,8 | 86,3 | 99,9 |
| Future W+S times 2023 | Factor | 2,03 | 2,63 | 3,23 | 3,83 | 4,43 |
| Future W+S Max | GW | 121,1 | 156,9 | 192,7 | 228,6 | 264 |
| Future W+S Min | GW | 1,1 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,50 |

Tabel 4

Beregningerne er udført under antagelse af, at grøn el + et lagersystem skal kunne dække forbruget i 2023 gange henholdsvis 1,00; 1,25; 1,50; 1,75 og 2,0.

Næste linie viser de beregnede fremtidige gennemsnitlige ydelser fra vind og sol.

Derefter vises med hvilken faktor den nuværende (2023) ydelse fra vind+ sol skal forøges for at nå disse mål.

De to sidste linier viser de beregnede maksimale og minimale ydelser fra et fremtidigt vind- + solarsystem.

**Tabel 5** herunder viser de beregnede lagringstab.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Sum loss by storing | W/kW | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 97,5 |
| Loss Total | GW | 1,1 | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,33 |
| Loss Total | TWh/year | 9,2 | 12,0 | 14,8 | 17,6 | 20,4 |
| Loss Total | Billion €/year | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,2 |

Tabel 5

Det er ikke omkostningsfrit at oplade og aflade en akkumulator, og den vil også aflade med tiden. Vi har sat tabet til 5% ved opladning og det samme ved afladning, hvorved tabet sammenlagt vil blive 9,75 % af den tilførte elmængde. Den sidste linie viser, hvor mange milliarder € tabet bliver per år.

I 2023 ydede tysk vind+solar i gennemsnit 22,5 GW. Iflg. tabel 4 skal denne ydelse forøges til 45,7 GW, hvis man vi have elforbruget besørget vind + sol + biomasse + hydro.

Finnernes sidste atomkraftværk Olkiluoto 3 kostede 81 milliarder kroner og yder regelmæssigt 1500 MW, svarende til 7,5 milliarder €/GW.

Ville man i stedet fremskaffe de manglende 23 GW ved atomkraft, ville investeringen blive 23 \* 7,5 = **172 Milliarder €.**

Den sidste vindmøllepark, vi har tal for, er Krigers Flak, der kostede ikke under 9 milliarder kroner og i gennemsnit yder 300 MW svarende 4 milliarder €/GW.

Lavere end for atomkraft. Javist. Men hertil er at indvende, at transmissions-ledninger fra tyske havområder til de vindstille områder i Sydtyskland ikke er gratis. Den uundgåelige energilagring/back-up kapacitet heller ikke. Vælges batteriløsningen vil denne iflg. 6 nedenfor koste 32.000 € per tysker **i alt 2560 milliarder € + 96 milliarder til ny vindkraft + elledninger!**

Endelig var Olkiluoto 3 en prototype, der ved masseproduktion burde kunne blive betydeligt billigere. Og både koreanere og russere kan bygge atomkraftværker til ca. den halve pris. Hvorfor kan europæere så ikke?

Tallene ovenfor er naturligvis meget usikre, men sørrelsesordenen kan ikke være helt forkert.

I øvrigt er materialeforbruget, især metalforbruget, for vindkraft betydeligt højere end for atomkraft. Europæisk klima/miljøpolitik har i det væsentlige fordrevet produktion af metaller fra Europa. Så kinesere og andet godtfolk vil fremover kunne fastsætte prisen for disse. Dette burde kunne stemme store metalforbrugere til alvor.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Additional cost | €/ MWh | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 |
| New Electricity price | 112,2 | 112,3 | 112,3 | 112,4 | 112,4 |
| Additional per capita | €/year | 12,7 | 16,5 | 20,3 | 24,2 | 28,1 |
| Cost Batteries | t €/cap | 31,6 | 40,9 | 50,1 | 59,4 | 68,6 |

Tabel 6

**Tabel 6 ovenfor** viser elprisens beregnede stigning som følge af lagertabet, den resulterende elpris og ekstraregningen per tysker.

Endelig viser den sidste linie hvor mange tusinde € batteriregningen per tysker vil løbe op i. Allerede i dag udbetales der ”Klimageld” til ”Geringverdiener”. Det vil ikke blive nemt at finansiere den fremtidige ”Klimageld”.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Max Storage | TWh | 19,7 | 25,4 | 31,2 | 36,9 | 42,7 |
| Days av.prod W+S | Days | 15,2 | 15,7 | 16,0 | 16,3 | 16,4 |
| Max to Storage | **GW** | **65,6** | **85,7** | **105,7** | **125,8** | **145,9** |
| Max recovered | **GW** | **53,6** | **69,3** | **84,9** | **100,5** | **116,2** |

Tabel 7

**Tabel 7** ovenfor viser lagerbehovet for de forskellige scenarier, altså hvilken batterikapacitet, der vil være behov for. Tallet 19,7 GW er ikke i sig selv meget sigende, men sammenholdes det med batteriomkostningen per indbygger nederst i tabel 6, vil man forstå at omkostningen vil være betydelig. Til sammenligning er lagerkapaciteten i de svenske vandmagasiner ca. 34 TWh. Så vi befinder os ikke i småtingsafdelingen.

Lagerbehovet svarer til 15-16 dages gennemsnitsproduktion. Man støder af og til på begejstrede beskrivelser af nye store batterier, med en kapacitet på nogle hundrede MWh, når det går højt. Til sammenligning er det danske elforbrug ca. 4000 MWh/h. Så et batteri på f.eks. 1000 MWh, vil altså kunne dække det danske elforbrug i 15 minutter.

I skrivende stund den 02.03.2024 kl 16,15 var det danske elforbrug 4137 MW, og vindydelsen 459 MW. Kl. 8,01 var forbruget 4112 MW og vindydelsen 2704 MW.

[https://www.svk.se/om-kraftsystemet/kontrollrummet](https://www.svk.se/om-kraftsystemet/kontrollrummet%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20)

så det må være klart, at vindkraft kræver et solidt back up system.

Biomasse:

<https://ing.dk/artikel/udsigt-til-eu-stramninger-kan-true-dansk-biomasseforbrug>

# I denne artikel i Ingeniøren den 29.02.2024 hævdes det at udsigt til EU-stramninger kan true dansk biomasseforbrug. Ret alvorligt idet importeret biomasse i 2022 tegnede sig for 2086 MW mod vind- og solkraftens 2525 MW

# https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/maanedlig-og-aarlig-energistatistik

Så hvad nu lille land? Kan vi forlade os på import ved strømmangel, træk på et ellager, eller hvad?

Ved betragtning af dataene for tysk behov, vil det være rimeligt, at antage, at Tyskland i hvert fald ikke vil kunne dække sit back-up behov ved import.

Linien ”max to storage” i tabel 7 ovenfor viser, hvor store eloverskud der vil kunne forekomme ved de forskellige scenarier og angiver værdierne 66-146 GW. Det tyske elforbrug i 2023 var i gennemsnit 53 GW. Et lagersystem stort nok til at modtage en effekt svarende til hele det tyske elforbrug kan man vanskeligt forestille sig.

Man kan vælge at skære toppen af, og dermed miste strøm, og i princippet vælge at bygge endnu flere vindmøller til at kompensere for tabet. En skrue uden ende.

Afgangen fra lageret er mindre, af to grunde. For det første tabes der som ovenfor vist omtrent 10% af strømmen ved lagringen, og for det andet er forbrugsmønstret mindre varierende end vind- og solkraften.

Så der vil skulle kunne regenereres fra 54 GW til 116 GW. Også et utænkeligt niveau.

Nedenstående figurer 5 - 7 referer til 100% dækning ved grøn strøm, baseret på tallene fra 2023. og med batterier som lagermedium.

Figur 5

Den røde kurve viser time for time det tyske strømforbrug i 1. kvartal 2023, og hvorledes den grønne ydelseskurve ville se ud ved uændret hydro + biomasse og samtidig forøgelse af vind+solar så det nuværende strømbehov kunne dækkes ved hjælp af et batterilager.

Det ses, at ydelsen, den blå kurve, er i meget ringe overensstemmelse med forbruget. Den røde kurve. Og at man skal være en hård benægter for at benægte, at dette ikke er et alvorligt problem.

Figur 6

Figur 6 viser energilagerets energiindhold angivet i GWh i løbet af året.

Figur 7

Figur 7 viser til gang og afgang fra elektricitetslageret. Vi har ikke specielt forstand på batterier, men vil dog antage, at de voldsomme ændringer ikke vil være befordrende for batteriets levetid.

Vi er ret sikre på at beregningerne ud fra de givne tal og forudsætninger er korrekte. Forudsætningerne kan naturligvis diskuteres, men er dog baserede på, tanker og tal der er fremme i tiden. Først og fremmest ideen om, at vi skal være ”klimaneutrale” i en ikke for fjern fremtid.

Resultaterne er absurde hinsides enhver forestillingsevne.

P. Sørensen Fugholm kunne have spurgt ”***Hvems er skylden og hvaffor?***

Jeg stiller mig det samme spørgsmål.

**Brint som lagermedium**

|  |  |
| --- | --- |
| Arbitrary Constants | Storage medium Hydrogen |
| Loss by storing | W/kW | 300 |  |
| Loss by recovering | W/kW | 500 |
| Electricity price | €/MWh | 110 |
| Load 2023 times | Factor | **1** | **1,25** | **1,5** | **1,75** | **2** |
| Future W+S Average | GW | 57,9 | 75,1 | 92,4 | 109,6 | 126,9 |
| Future W+S times 2023 | Factor | 2,57 | 3,33 | 4,10 | 4,86 | 5,63 |
| Future W+S Max | GW | 153 | 199 | 245 | 290 | 336 |
| Future W+S Min | GW | 1,45 | 1,88 | 2,3 | 2,7 | 3,18 |
| Loss by electrolysis | W/kW | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| Los by electricity prod. | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Sum loss by storing | 650 | 650 | 650 | 650 | 650 |
| Loss Total | GW | 6,58 | 8,6 | 10,6 | 12,6 | 14,60 |
| Loss Total | TWh/year | 57,6 | 75 | 93 | 110 | 127,9 |
| Loss Total | Billion €/year | 6,3 | 8,3 | 10,2 | 12,1 | 14,1 |
| Additional cost | €/ MWh | 27,5 | 28,7 | 29,5 | 30,1 | 30,5 |
| Electricity price | 137,5 | 138,7 | 139,5 | 140,1 | 140,5 |
| Additional per capita | €/year | 159,1 | 207,7 | 256,2 | 304,8 | 353,4 |
| Max Storage | **TWh** | **24,6** | **31,9** | **39,2** | **46,4** | **53,7** |
| Days av.prod w+S | Days | 15,5 | 15,9 | 16,2 | 16,4 | 16,6 |
| Max to Storage | **GW** | **96,2** | **125,6** | **155,1** | **184,6** | **214,0** |
| Max recovered | **GW** | **52,2** | **67,5** | **82,7** | **97,9** | **113,1** |
| Hydrogen Max Storage at 80 Bar | 1000 tons | 559 | 724 | 890 | 1.056 | 1.221 |
| Mio m³ | 83 | 108 | 133 | 158 | 182 |

Tabel 8

**Forklaring tabel 8:**

Tebel nedenfor viser et anslået tab ved elektrolyse og elfremstilling ved brint. Vi er gået ud fra at der mistes 300 W/kW eller 30 % ved elektrolyseprocessen, og 500 W/kW eller 50% ved elproduktion ved hjælp af en gasturbineopladning, i alt et tab på 65 %. Og vil lige indskyde, at der, så vidt det har været muligt at finde ud af, endnu ikke eksisterer gasturbiner der kan fungere med mere en 30 volumen % brint i en naturgasblanding. Naturgas har en betydeligt højere brændværdi per m³ end brint. Så 30 volumen % brint, betyder at 90% af energien vil komme fra methan/naturgas.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Loss by storing | W/kW | 300 |
| Loss by recovering | W/kW | 500 |
| Electricity price | €/MWh | 110 |

Tabel 9

Tabel ovenfor viser hvor stor en andel der tabes af den elektricitet, der føres til lager. Måske ansat til den høje side, men virkeligheden plejer ikke at være helt så gunstig som sælgere og professorer lover.

Elprisen er sat til 110 €/mWh svarende til 82,5 øre/kWh.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Load 2023 times | Factor | 1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 |
| Future W+S Average | GW | 57,9 | 75,1 | 92,4 | 109,6 | 126,9 |
| Future W+S times 2023 | Factor | 2,57 | 3,33 | 4,10 | 4,86 | 5,63 |
| Future W+S Max | GW | 153 | 199 | 245 | 290 | 336 |
| Future W+S Min | GW | 1,45 | 1,88 | 2,3 | 2,7 | 3,18 |

Tabel 10

Beregningerne er udført under antagelse af, at grøn el + et lagersystem skal kunne dække forbruget i 2023 gange henholdsvis 1,00; 1,25; 1,50; 1,75og 2,0.

Og at man anvender brint som energilager.

Anden linie viser de beregnede fremtidige gennemsnitlige ydelser fra vind og sol.

Derefter vises med hvilken faktor den nuværende (2023) ydelse fra vind+ sol skal forøges for at nå disse mål.

De to sidste linier viser de beregnede maksimale og minimale ydelser fra et fremtidigt vind- + solarsystem.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Loss Total | GW | 6,58 | 8,6 | 10,6 | 12,6 | 14,60 |
| Loss Total | TWh/year | 57,6 | 75 | 93 | 110 | 127,9 |
| Loss Total | Billion €/year | 6,3 | 8,3 | 10,2 | 12,1 | 14,1 |

Tabel 11

**Tabel 11** ovenfor viser tabet ved energilagring ved brint, og bør sammenholdes med tabel 5, der viser tabene af elektricitet ved batterilagring.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Loss Total | GW | 1,1 | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,33 |
| Loss Total | TWh/year | 9,2 | 12,0 | 14,8 | 17,6 | 20,4 |
| Loss Total | Billion €/year | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,2 |

**Tabel 5, tab ved batterilagring.**

Både den ene og den anden løsning må siges at have sine ulemper!

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Additional cost | €/ MWh | 27,5 | 28,7 | 29,5 | 30,1 | 30,5 |
| Electricity price | 137,5 | 138,7 | 139,5 | 140,1 | 140,5 |
| Additional per capita | €/year | 159,1 | 207,7 | 256,2 | 304,8 | 353,4 |

Tabel 12

**Tabel 12** ovenfor viser hvad energitabet kommer til at betyde for elprisen når man anvender brint som lagringsmedium. Og hvor stor udgift der i gennemsnit vil påføres den enkelte borger.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Max Storage | TWh | 24,6 | 31,9 | 39,2 | 46,4 | 53,7 |
| Days av.prod w+S | Days | 15,5 | 15,9 | 16,2 | 16,4 | 16,6 |
| Max to Storage | **GW** | **96,2** | **125,6** | **155,1** | **184,6** | **214,0** |
| Max recovered | **GW** | **52,2** | **67,5** | **82,7** | **97,9** | **113,1** |
| Hydrogen Max Storage at 80 Bar | 1000 tons | 559 | 724 | 890 | 1.056 | 1.221 |
| Mio m³ | 83 | 108 | 133 | 158 | 182 |

Tabel 13

Første linie i **tabel 13** viser den nødvendige lagerstørrelse ved anvendelse af brint som lagermedium. Antallet af TWh siger ikke nogen noget men til sammenligning kan anføres, at lagerkapaciteten i svenske vandmagasiner er ialt ca. 34 TWh.

Linie to viser hvor mange døgns gennemsnitlige produktion, der skal kunne lagres. Tallet svarer meget godt til hvad jeg har set i både en tysk og en amerikansk artikel om niveauet for nødvendig strømlagring. Midt tal er endda lidt lavereDet er endda lidt lavere.

”Max to storage” angiver kapaciteten for brintelektrolysatorerne. 96,2-214 GW. Til sammenligning er Haldor Topsøe i gang med i Herning at bygge en fabrik til fremstilling af elektrolysatorer, hvis kapacitet opgives til 0,5 GW per år. Det vil for denne fabrik altså vare 96/0,5= 192 år at fremstille tilstrækkelig kapacitet til det lavest valgte niveau for brintfremstilling.

Man kan også anføre at 96,2 GW svarer til omtrent det dobbelte af det tyske gennemsnitlige elforbrug. Så vi befinder os ikke i småtingsafdelingen.

Det samme gælder for ”Max recovered”. Niveauet svarer til det gennemsnitlige tyske elforbrug. Gasturbinefabrikanterne har grund til begejstring.

Diagrammerne 8-10 nedenfor referer til en grøn elproduktion svarende til forbruget i 2023 og med brint som lagringsmedium og med et strømforbrug svarende til det nuværende.

Figur 8

Figur 9

Figur 10

**”Den tyske industri skriger på grøn brint”**

forlyder det, så det må jo være rigtigt nok. Tysklands samlede energiforbrug er omkring 400 GW. (400 milliarder Joule per sekund). Så vi har regnet på hvordan vi skulle kunne fragte brint svarende til en ydelse på 5% af dette altså 20 GW over en distance 700 km til et forbrugssted i Tyskland.

Brint er vanskeligt at transportere, bl.a fordi energiindholdet per kubikmeter kun er ca. 1/3 af energiindholdet i en kubikmeter naturgas. Der er også andre problemer. Først og fremmest at almindeligt stål ikke er modstandsdygtigt overfor brint, idet brint under tryk selv ved stuetemperatur reagerer med stålets kulstofindhold og dermed skørner dette, så trykbeholderes ikke bare kan, men vil eksplodere på et tidspunkt.

Rørdiameteren for den nævnte brintydelse kan ikke være meget mindre end 2000 mm.

Af hensyn til klimaet har man fordrevet den europæiske stålindustri til lande, der ikke bekymrer sig om klimaet, således at EU nu kun producere godt 100 millioner tons stål om året, medens Kina med en 2-3 gange så stor befolkning producerer over 1000 millioner tons om året.

Den nævnte rørledning vil med et meget upræcist, men ikke helt urimeligt skøn, kræve en stålmængde på en kvart million tons. Specialstål vel at mærke. Og den transporterede brintmængde vil svare til ca. 5% af det tyske energiforbrug.

Regner man med 70% elektrolyseeffektivitet og at havvindmøllekapaciteten kommer til at svare til vore nyeste og største vindmølleparker, Norddjurs, Hornsrev 3 og Kriegers flak vil man ud fra 2023 tallene, der angiver en kapacitetsudnyttelse på 45,1%, 46,3% og 45,9% kunne regne med at skulle bygge havvindmøller med en samlet nominel kapacitet på 20/0,7/0,5 = **57 GW** til en pris på næppe under 30 milliarder per GW, i alt omkring 1700 milliarder kroner.

Dog en slags penge. Hvortil så kommer et ukendt men milliardstort beløb til den ene eller anden slags ellager. Batterier, brint, PtX.

**Det hele forekommer at være rablende vanvittigt. Udtænkt af talblinde populister.**

Fra uventet hold, energiministeren, er der blevet sagt noget fornuftigt i denne sag, nemlig at danske skatteydere ikke skal betale for at forsyne Tysk industri med brint.

Søren Kjærsgård

Virum den 10.03.2024.