

EKSPERTHØRING - 400 KV-FORBINDELSE MELLEM IDOMLUND OG DEN DANSK-TYSKE GRÆNSE



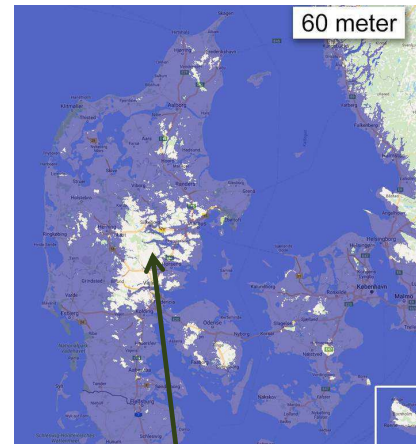
BJÖRN ANDRESEN

CV

- ❑ Aarhus University Professor (Docent) & Head of Electrical Engineering group
- ❑ Siemens Department Head – Wind Power Plants Head of PLM Power Plants
- ❑ Gamesa Wind Engineering Section Manager – Electrical Area
- ❑ Vestas Wind Systems A/S Head of Power control

Andre Aktiviteter

- ❑ Formand for Dansk Standard S508 – Forsyningssystemer for elektrisk energi
- ❑ Medlem af Rådet for EI- og Gasteknisk Sikkerhed i Sikkerhedsstyrelsen/Erhvervs- og Vækstministeriet
- ❑ Formand for flere IEC standarder bl.a. 61400-21 Series – Måling og vurdering af elektriske egenskaber
- ❑ Liaison Officer for flere IEC tekniske komitéer under IEC bl.a. TC 8/SC8a, TC73 (System aspekter og forsyningssikkerhed, Nettilslutning og Kortslutningsberegninger) m.m.
- ❑ Medlem af Akademisk Råd på Aarhus Universitet (ST)



My PPP



AGENDA

- Hvorfor Vedvarende energi
- Hvorfor Transmissionsforbindelser
- Hvorfor ikke vente
- Hvordan - Kabel, luftledninger, HVDC, GIL,
- Hvilke alternativer findes
- Hvad er teknisk muligt at kabellægge
- Hvad mangler i rapporten og analysen
- Hvad er min anbefaling
- Hvilke spørgsmål har deltagerne i denne eksperthøring



Hvad
Hvorfor
Hvordan
Hvilke

DISCLAIMER / ANSVARSFRASKRIVELSE



- ❑ Overordnede vurderinger og anbefalinger er baseret på mit ekspertviden indenfor området
- ❑ Analysen og kommentarer er baseret på de to rapporter:
 - [Energinet.dk - Rapport - Technical issues related to new transmissions lines in Denmark - West coast line from German border to Endrup and Endrup-Idomlund, September 2018](#)
 - [WSP - Assessment of technical alternatives to strengthen the 400 kV Transmission grid - December 2018](#)
 - Samt offentlig tilgængelige analyser, artikler og rapporter omkring emnet
- ❑ Der er ikke foretaget en dybere teknisk analyse af systemet, som beskrevet i rapporten

HVAD SKRIVER PRESSEN M.M.



Efter kabellægning for milliarder:
170 km nye luftledninger på vej

<https://ing.dk/artikel/efter-kabellægning-milliarder-170-km-nye-luftledninger-paa-vej-211793>

”Mangler du strøm? Jeg har masser af strøm. Jeg får min mobiltelefon opladet hver eneste dag, der er ingen problemer i det”.

<https://jyllands-posten.dk/premium/indblik/Indland/ECE11706959/eksperter-afviser-argument-for-ledninger-det-giver-ikke-mening/>

Energinet direktør på stort borgermøde:
Højspændingskabler kan sprænge elpærer
og ødelægge køleskabe

AF: [BENNY BAAGØ](#) Publiceret 27. august 2018 kl. 21:50
<https://www.jv.dk/varde/Energinetdirektoer-paa-stort-borgermoede-Hoejspaendingskabler-kan-spraenge-elpaerer-og-oedelaegge-koeleskabe/artikel/2638568>

35 meter høje elmaster gennem Jylland kan undgås
<https://www.tvmidtvest.dk/artikel/35-meter-hoeje-elmaster-gennem-jylland-kan-undgaas>

Good news! Europe's electric grid will still work even
as the world crumbles.

<http://ingenioer.au.dk/en/current/news/view/artikel/good-news-europes-electric-grid-will-still-work-even-as-the-world-crumbles/>

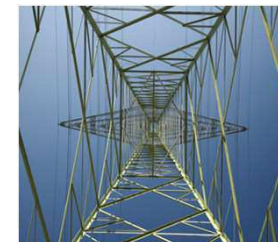
International rapport:
Havvind kan forsyne verden med strøm

<https://winddenmark.dk/nyheder/international-rapport-havvind-kan-forsyne-verden-med-strom>

Strengthening of the existing transmission grid,
including building new interconnection lines, is a
prerequisite for achieving the European climate
targets

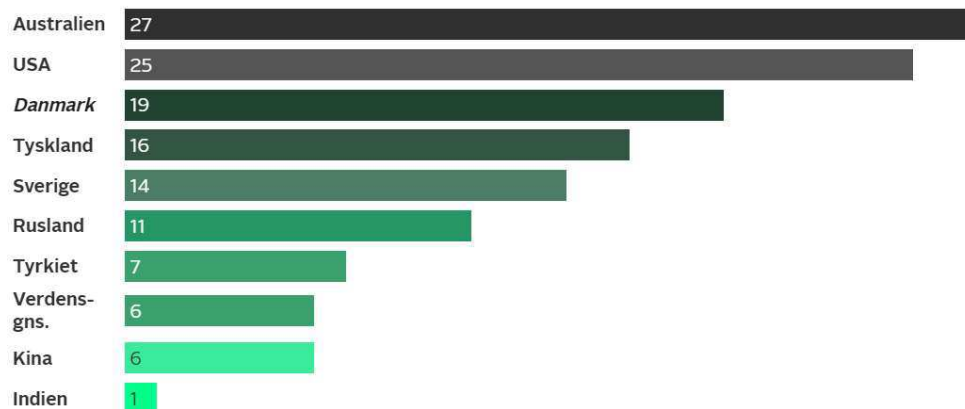
<https://www.entsoe.eu/2019/05/20/network-development-enforcement-and-incentives/>

CO₂ - DK



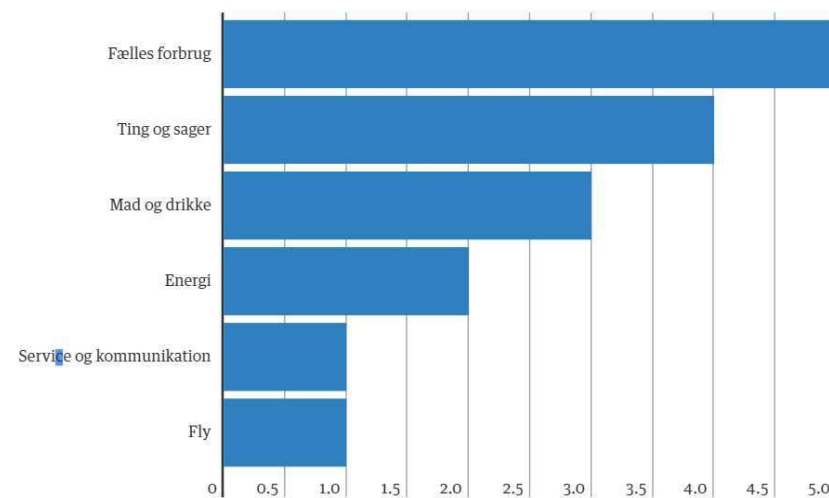
CO₂-aftryk pr. indbygger i forskellige lande

Angivet i ton pr. år. Tallene dækker alle drivhusgasser omregnet til tilsvarende CO₂-udledning - såkaldte CO₂-ækvivalenter.



Kilde: The Global Resource Footprint of Nations

Udledning af drivhusgasser i ton.



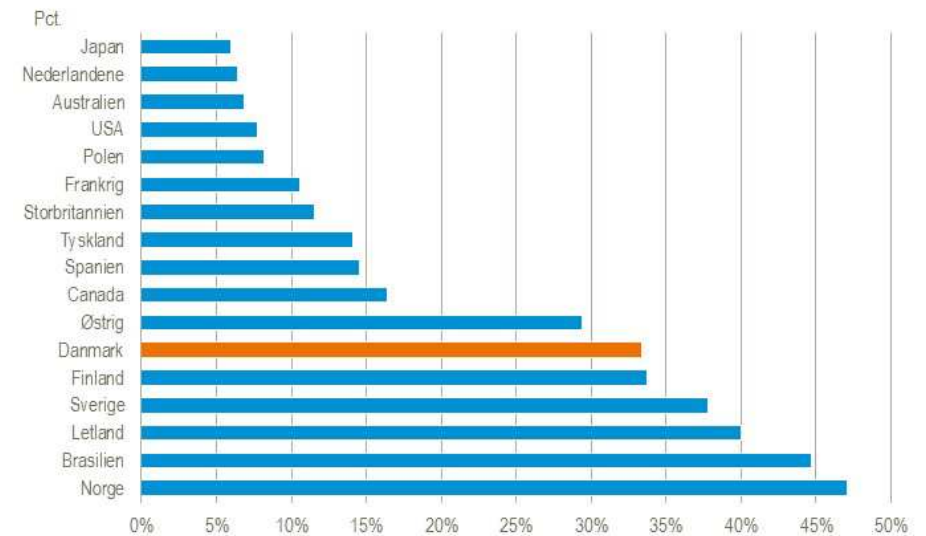
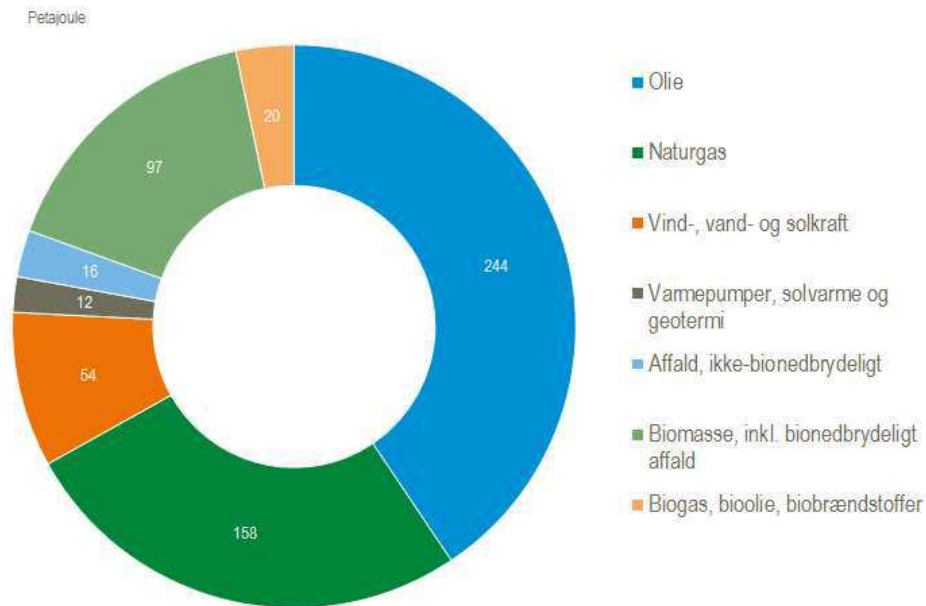
Kilde: Concito

HVOR LANGT ER VI KOMMET MED VEDVARENDE ENERGI



PRODUKTION AF PRIMÆR ENERGI. 2018

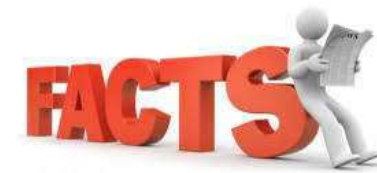
VEDVARENDE ENERGIS ANDEL AF ENERGIFORBRUGET. (2018)



Kilde: www.statistikbanken.dk/ene2HO

<https://www.dst.dk/da/Statistik/>

30 ÅR INTERNET



30 yrs
WORLD WIDE WEB

Fakta:

Installeret vindkraft total 600 GW
Installeret PV total ca. 600 GW

Total energi produktion fra vind og sol ca. 2 % af verdens energiforbrug (Source: www.ren21.net)

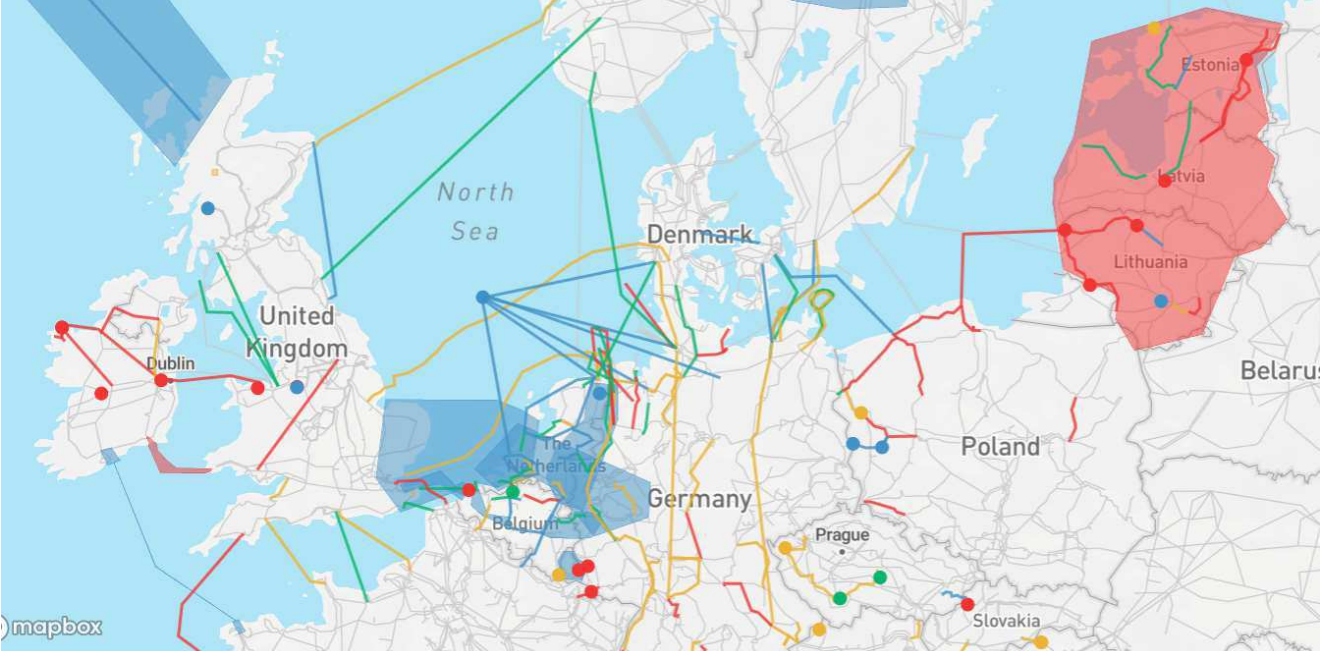
Verdens energi forbrug er øget med 2,3 % i 2018 (www.iea.org)

Samtlige installerede solceller og vindturbiner på verdensplan kan ikke engang dække verdens stigende energiforbrug.

- Ikke engang energiforbrug på internet, mobiltelefon, PC, .. (ca. 2000 TWh)

Source: nature.com (Sep.2018)

ENTSO-E OMRÅDE NYE TRANSMISSIONSLINJER



<https://tyndp.entsoe.eu/tyndp2018/projects/>

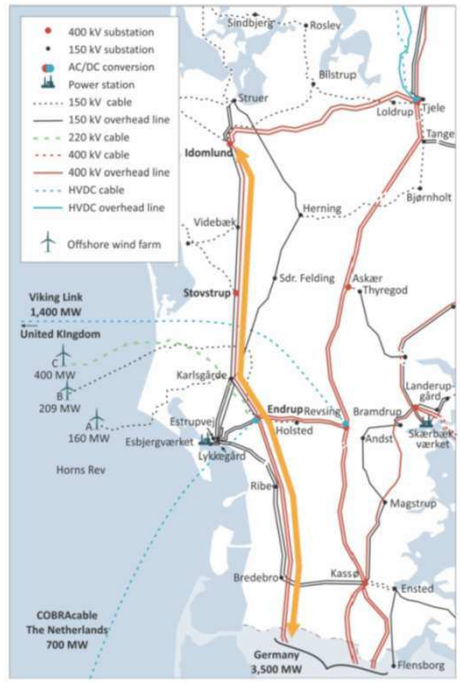


Figure 6- Technical issues related to new transmissions lines in Denmark



HVORFOR TRANSMISSIONSLINJER



El-transmissionsnettet kan betragtes som elektricitetens 'motorveje', som sikrer transporten af el-produktion ud til de enkelte forbrugsområder og til og fra vores nabolande.



THE DANISH POWER SYSTEM

No country performs better than Denmark when it comes to balancing energy security, equity and sustainability. Denmark's energy system ranks number one in the world with a triple-A energy score according to the new World Energy Trilemma Index published by the UN's World Energy Council.

Source (6-2-2019)
<https://investindk.com/insights/denmark-has-the-worlds-best-energy-system>

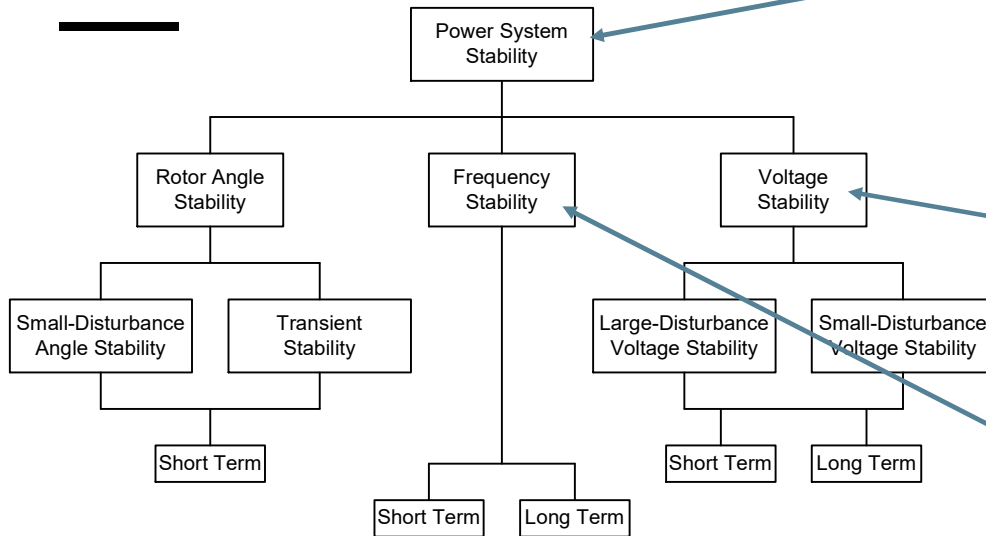
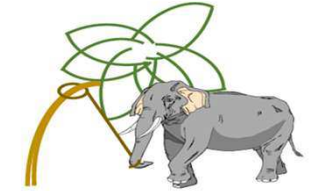
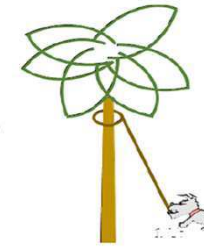
JYLLANDS POSTEN

19.01.2017 KL. 18:05

"The world's best electrical power system" is a magnet for global data centers"



SYSTEM STABILITET



Stærk eller svag system
Figure: NREL/GE

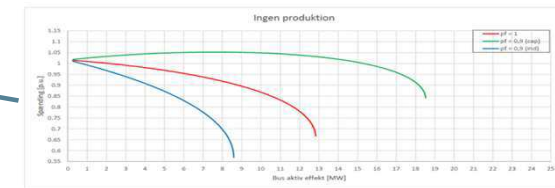
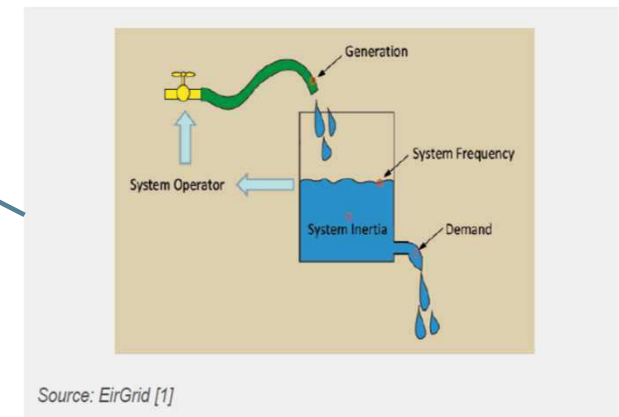
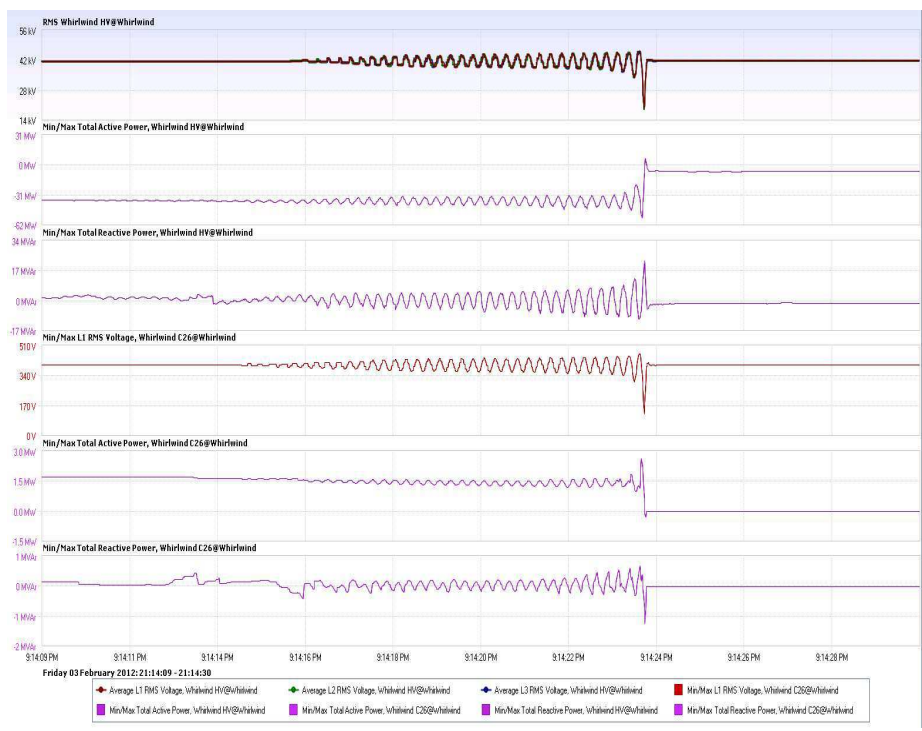
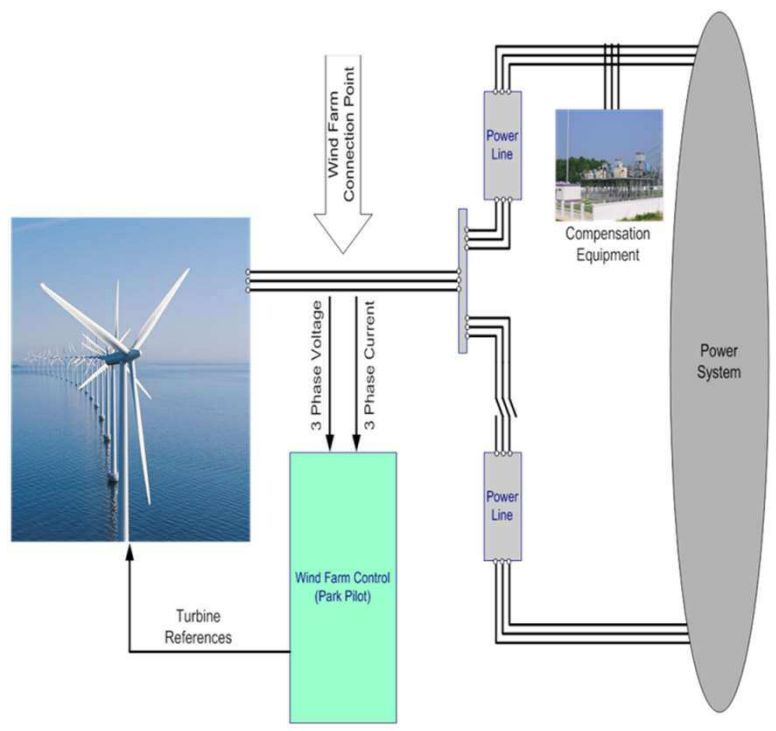


Figure 1 – Classification of power system stability according to IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions (© IEEE 2004)



KORTSLUTNINGSNIVEAU PROBLEMER – SVAGE NET



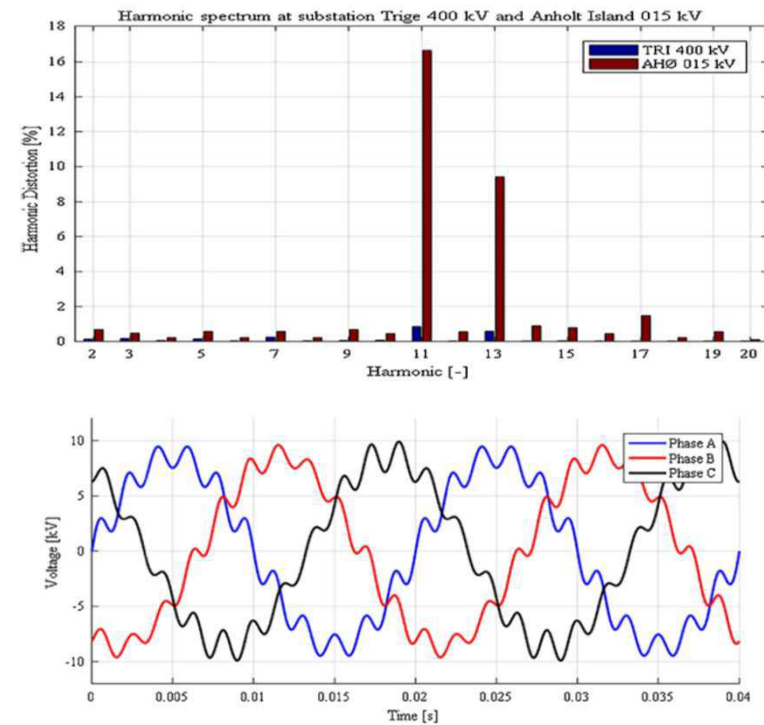
Operation of full-converter wind turbines in low SCR applications, Bo,Y, Ma, H. Yazghi, N, Andresen, B; IEEE PES GM, Vancouver, July 2013



EL-KVALITETS PROBLEMER

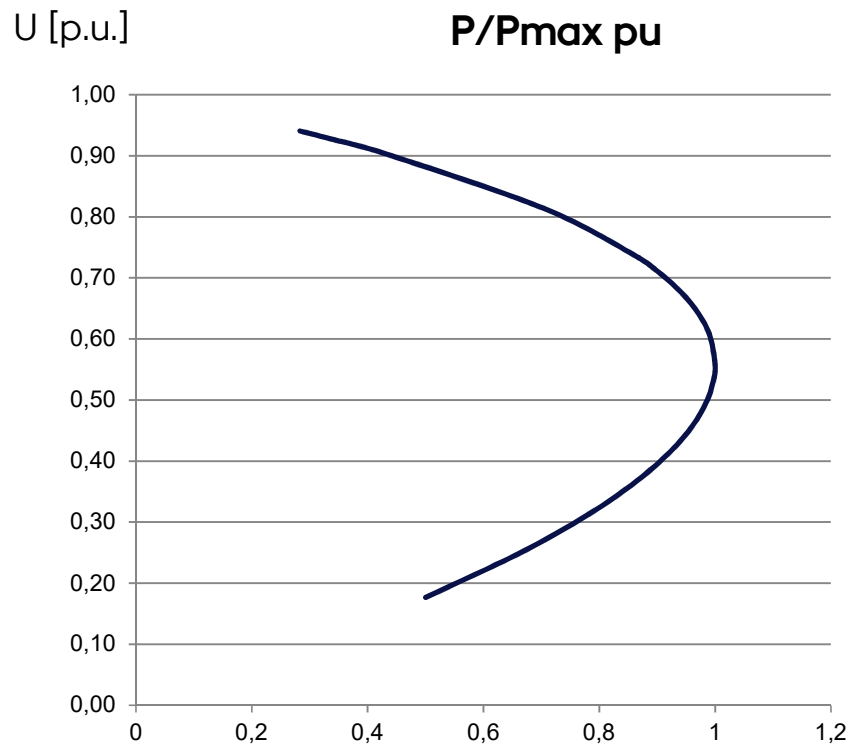
El- kvalitet

- Overtoner – harmoniske
- Resonansproblemer
- Spændingsvariationer
- Ubalance
- Transienter
- Flicker – lysvariationer



Source: Harmonic background amplification in long asymmetrical high voltage cable systems, Christian Flytkjær Jensen, Electric Power System Research, march 2018

HVORFOR 400 KV ?



Uden tabsbetragtning kan man estimere den aktive effekt som kan overføres over en transmissionslinje vha.:

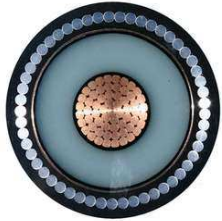
$$P_{max} = 0,5 * \frac{U^2}{X}$$

— P/Pmax pu

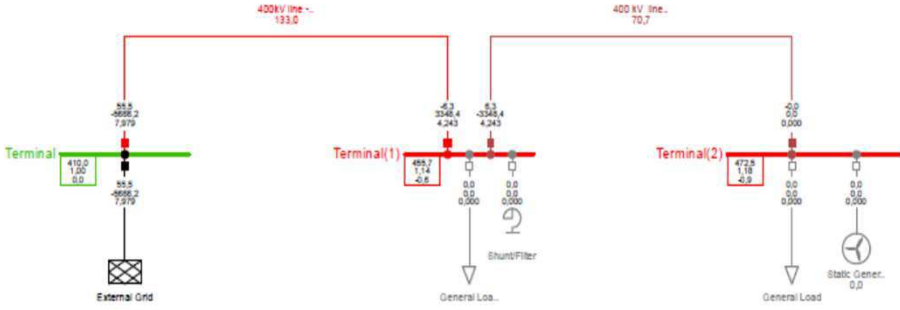
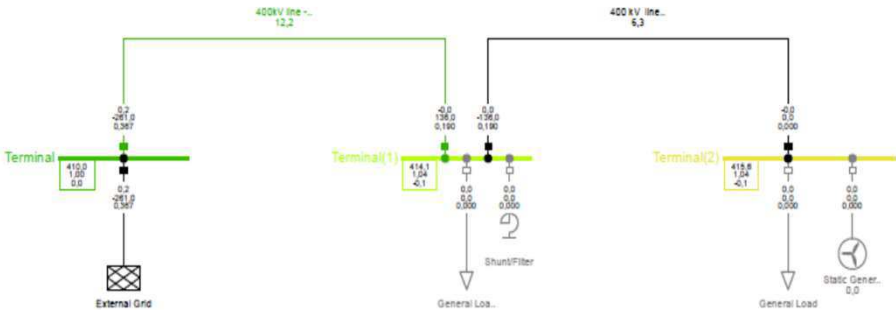
Den reaktive effekt som en transmissionslinje absorberer / producer kan udtrykkes ved:

$$Q = U^2 \omega C' - I^2 \omega L' \text{ [var/km]}$$

FORSKEL: KABEL - LUFTLEDNINGER



FORSKEL: KABEL – LUFTLEDNINGER - TOMGANG

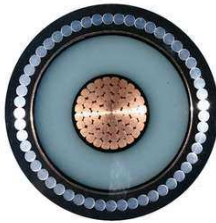


U= 410 KV
P= 0,2 MW
Q= 360 Mvar



U= 415 KV
P= 0 MW
Q= 0 Mvar

U= 410 KV
P= 55 MW
Q= 5660 Mvar



U= 472 KV
P= 0 MW
Q= 0 Mvar

FORSKEL: KABEL – LUFTLEDNINGER - MED BELASTNING & PRODUKTION

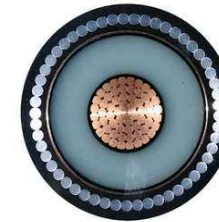


U= 410 KV
P= -483 MW
Q= 651 Mvar



U= 394 KV
P= 1500 MW
Q= -242 Mvar

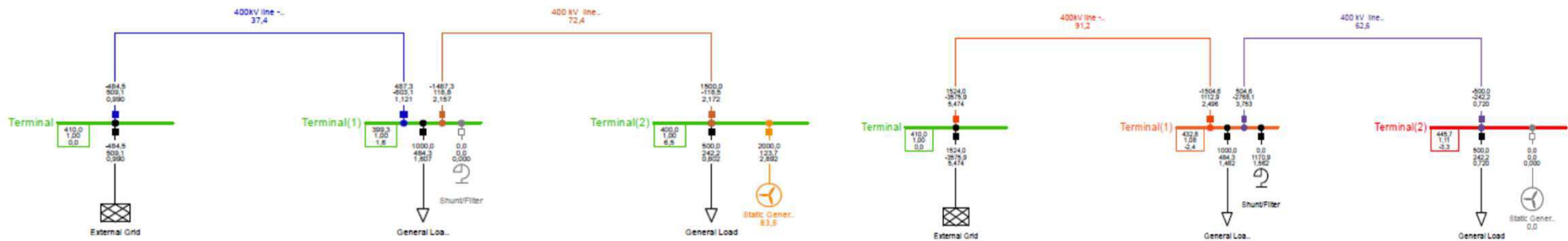
U= 410 KV
P= -456 MW
Q= -4892 Mvar



U= 463 KV
P= 1500 MW
Q= -242 Mvar

FORSKEL: KABEL – LUFTLEDNINGER

- MED BELASTNING & PRODUKTION & KOMPENSERING

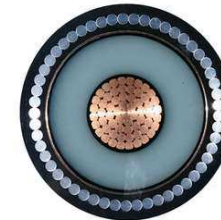


U= 410 KV
P= -450 MW
Q= 509 Mvar



U= 400 KV
P= 1500 MW
Q= -116 Mvar

U= 410 KV
P= 490 MW
Q= -1206 Mvar

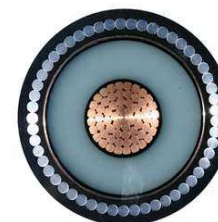
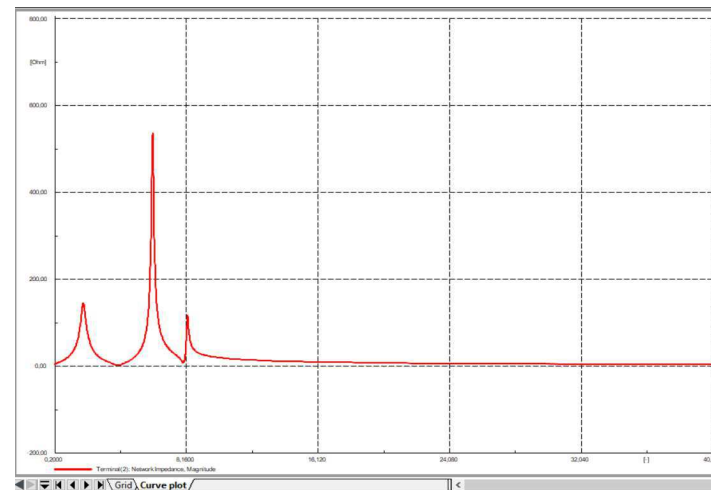
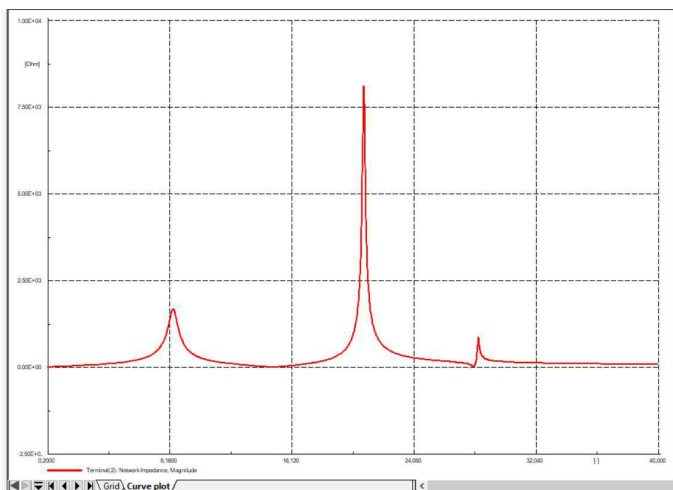


U= 410 KV
P= 1524 MW
Q= -3575 Mvar

U= 400 KV
P= 1500 MW
Q= -2272 Mvar

U= 446 KV
P= -500 MW
Q= -242 Mvar

ANDRE UDFORDRINGER – EL-KVALITET



HVDC – ER DET ET ALTERNATIVE ?



HVAC and HVDC cable comparison

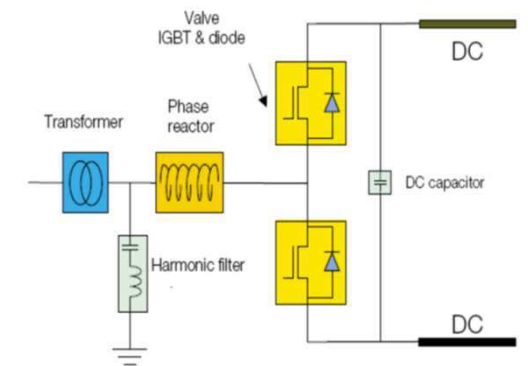
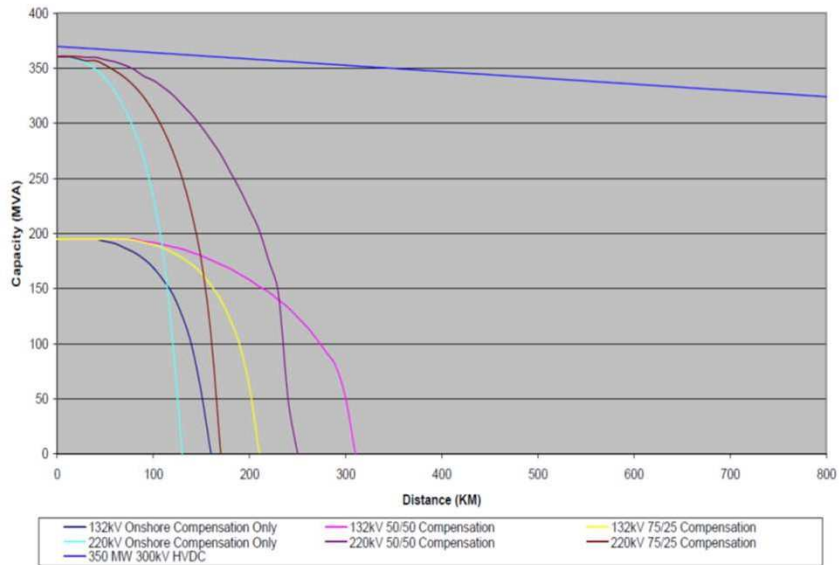


Figure 6 HVDC VSC Synchronous Monopole configuration
Image courtesy of ABB

Billede: www.abb.com

www.abb.com

Document Name: 2335 D5.1 Site Requirements and Connection Report v1.00 PUBLIC.doc

ANDRE LØSNINGER ?



STORAGE TYPES – BATTERIES

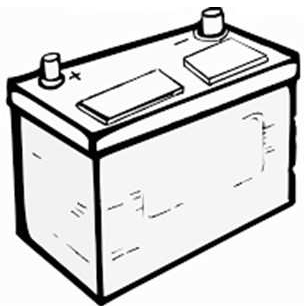
Battery - storage station in DK – to cover 2 months of el energy consumption ?



● 3 Petajoule [PJ] / year (2017)
● 4 TWh (per year)



months



Lithium-Ion



● Tesla power wall has a capacity of 14 kWh
● Price around 50.000 DKK

Total: 407 Mill Power Wall's
Price: 20.000 Billions DKK

162 year production from TESLAS GIGA factory

DK – VANDKRAFT

Hydro- storage station in DK – to cover 2 months of el energy consumption ?

123 Petajoule [PJ] - year (2017)

5,7 TWh

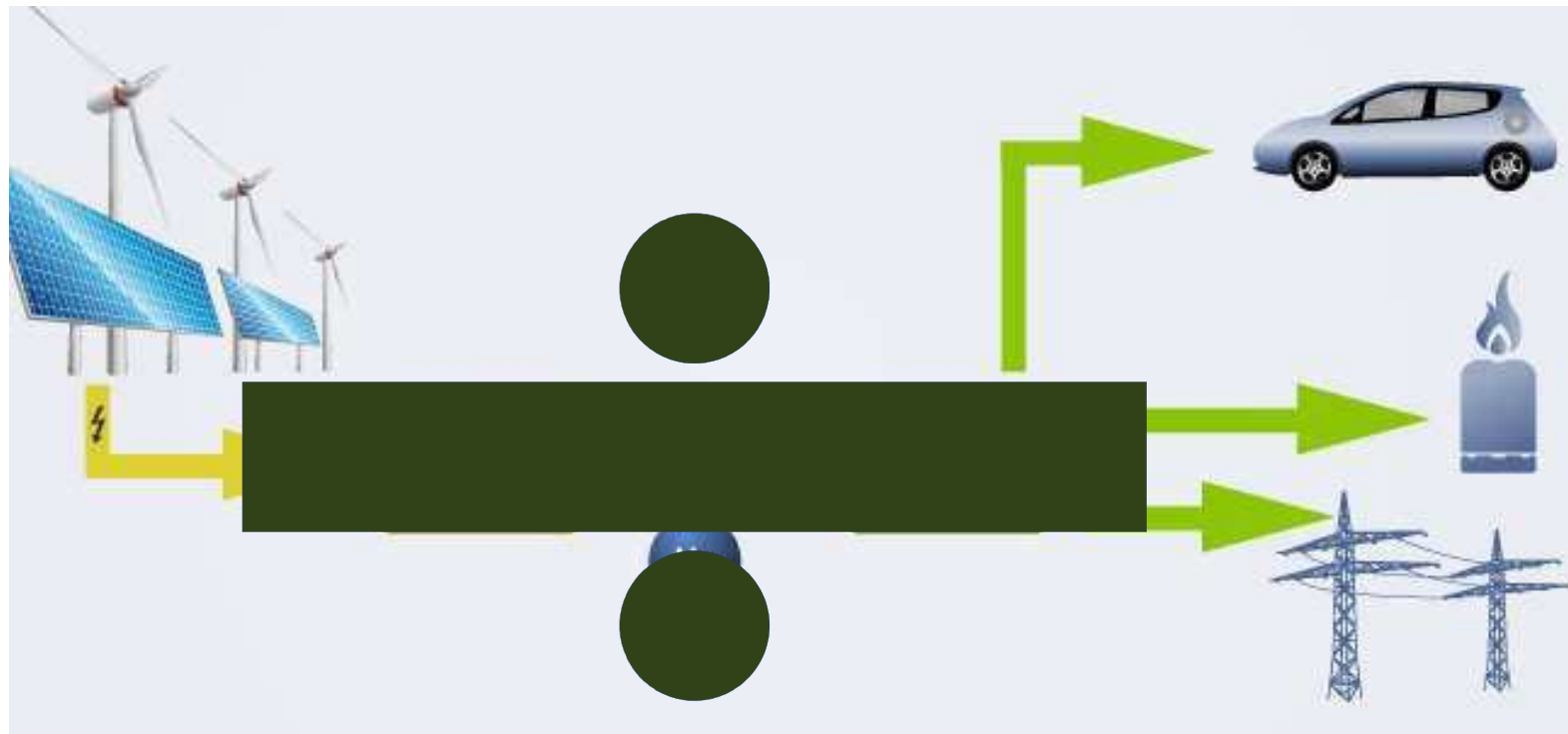


$$P_{El} = (1 - f)\eta_G\eta_T \rho g Q H$$

The system would need a area of around **1360 Km² (37 *37 km)**

If we use a height (H) of around 90 m
And a water level of around 30 m

STORAGE TYPES – POWER TO GAS



Source: German, the illustration above shows the process of power-to-gas conversion

ENERGINET RAPPORT

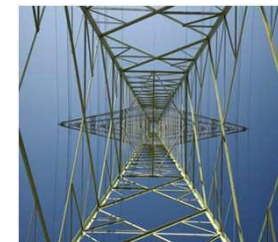
REPORT

TECHNICAL ISSUES RELATED TO NEW TRANSMISSION LINES IN DENMARK

West Coast Line from German border to Endrup and
Endrup-Idomlund



KOMMENTAR RAPPORT ENERGINET



Technology	HVAC OHL	HVAC UGC	HVAC GIL	HVDC
Usability	5	3	3	2
Technical considerations	5	1	3	1
Construction schedule	5	4	1	1
Environmental impact	1	4	3	4
Financial aspects	5	3	1	1



- Mangler lidt flere analyser, f.eks. I etableringsfasen, driftsfasen etc.
- Jf. rapporten mest baseret på estimeringen, ikke reelle priser desuden mangler f.eks. CAPEX og OPEX betragtningen

Table 8 Summary analysis matrix.



As stated in Chapter 6, alternatives C and D are not technical feasible, and thus, no price estimates have been prepared for these alternatives.

KOMMENTAR TIL ENERGINET RAPPORT



Project of common interest: **Interconnection between Endrup (DK) and Klixbüll (formerly Niebüll) (DE)**

1.3.1
PCI implementation plan
Northern Seas offshore grid

CATEGORY
Electricity

PROMOTERS
TenneT TSO GmbH (DE)
Energinet (DK)

1. Implementation status
Permitting

2. Timeline of the implementation plan (*)

2.1. Estimated timeline for the completion of feasibility and design studies for the project

Project stage	Start date	End date
Feasibility study	No data	No data
FEED study	No data	No data

The Endrup-Klixbüll interconnector is a prerequisite for the establishment of the 1,400 MW Viking Link. The interconnector will allow an increase in power flow across the border that might occur during the first few minutes after a grid-related contingency. This will facilitate a more efficient utilisation of generation capacity in Denmark and Germany by not requiring increased generation reserves to handle a tripping of Viking Link.

As previously described, it is agreed between TenneT TSO GmbH and Energinet that the Endrup-Klixbull interconnector must be built as a 400 kV transmission line. Consequently, 150 kV and 220 kV transmission alternatives are not considered relevant for the Endrup-Klixbull interconnector.

- Udbygningen allerede aftalt med Tyskland
- Hvis Viking link etableres, er det nødvendigt med udbygningen af transmissionslinjen
- Men der er kun anført, at nødvendigheden er pga. udbygningen til vedvarende energi – hvilke andre kraftværker bliver slukket (Side 21) - hvordan ser energiforsyningen ud i forhold til omstillingen af industrien, transportsektoren til VE systemer etc. ?



KOMMENTAR TIL ENERGINET RAPPORT



There are various power quality categories that cover waveform distortion and variations. For the purpose of this report, however, only harmonics are considered for further analysis and explanation.

Energinet's rapport side 100



El- kvalitet

- Hvordan ser det ud med de andre el-kvalitetsparametre på HVAC-UGC, -OHL, HVDC ?

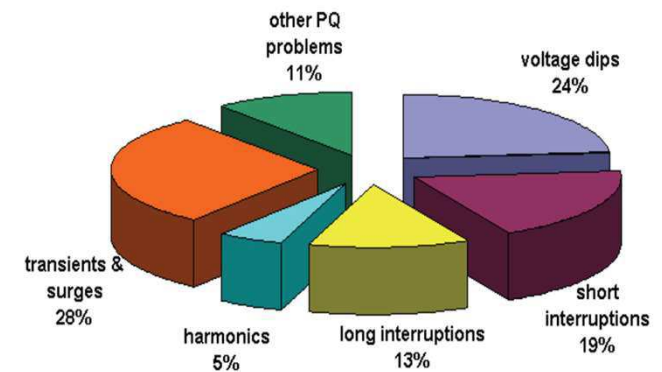


Fig. 8. Percentage share of PQ and interruption costs EU-25 countries

KOMMENTAR TIL WSP-RAPPORT



WSP

Independent Report

ASSESSMENT OF TECHNICAL ALTERNATIVES TO STRENGTHEN THE 400 KV TRANSMISSION GRID

KOMMENTAR TIL WSP RAPPORT



Table 1-1 – WSP High Level Comparison of Options

Technology Option	Alternative A	Alternative B	Alternative C	Alternative D	150 kV/ 220 kV cable	HVDC
Capacity	2500 MW per circuit	2500 MW per circuit	2500 MW per circuit	2500 MW per circuit	Not identified	2500 MW
Assumptions	Multiple UGC circuits needed to achieve capacity provided by OHL		Multiple cable circuits needed to achieve OHL capacity; requires ~8-9 reactive compensation stations		Many UGC circuits needed to achieve required capacity	Additional multi-terminal link needed for greater capacity
High Level CAPEX Estimate (mDKK)	2500 + other project related costs	2920 + other project related costs	Not known		Not known	9860 + other project related costs
Timeframe Estimate	2023	2023	2024	2024	Not known	Not known
Technology Risk/ Benefit	Well understood technology with low technical risk	Well understood technology with low technical risk	Risk of technology issues such as harmonics	Risk of technology issues such as harmonics	Risk of technology issues such as harmonics	Multi-terminal solution would have challenges but is not impossible



Jf. rapporten mest baseret på estimeringen, ikke reelle priser desuden mangler f.eks. CAPEX og OPEX betragtningen



El- kvalitet

- Hvordan ser det ud med de andre el-kvalitetsparametre på HVAC-UGC, -OHL, HVDC ?

KONKLUSIONER / ANMÆRKNINGER PÅ DE TO RAPPORTER



Energinet' s rapport

- ✓ Fint gennemarbejdet rapport – enig med konklusioner, men mangler en dybere analyse af investeringer både CAPEX og OPEX, samt CO₂ – konsekvensberegning.
- ✓ Begrundelsen til udbygningen er mest baseret på udbygningen med vedvarende energi – hvilke andre kraftværker bliver slukket, fremtidens energibehov etc. (Side 21) m.m.
- ✓ Hvordan vil de andre el-kvalitetsparametre ændre sig ved HVAC-OHL, UGC, HVDC, desuden mangler pålideligheds analysen.

WSP rapport

- ✓ Rapporten er fint og påpeger de samme punkter, som OPEX- omkostninger, El-kvalitets analyser m.m.
- ✓ Konklusioner er baseret på tidshorizonten 2023, for at imødekomme – etableringen af Viking-Link.

KONKLUSIONEN

- ✓ Er udbygningen af transmissionssystemet mellem Idomlund og den dansk-tyske grænse nødvendig ?
 - Kun vurderet ud fra de nævnte rapporter – Mangler informationer
 - Er de nævnte priser korrekte – Mangler informationer
 - Er analyserne i rapporten fyldestgørende – Mangler nogle baggrundsstudier
- ✓ Luftledninger er det teknisk bedste og billigste alternativ i forhold til udbygningen af 400 kV transmissionssystemet
- ✓ Alternative løsninger er ikke ”teknisk modne” med den ønskede tidshorisont.
- ✓ Kabellægningen og HVDC vil være teknisk muligt, men forbunden med en længere tidshorisont, meget større risici og større investeringer.

Hvis vi skal reducere CO₂ udledninger og lave en fælles europæisk løsning er udbygningen af transmissionssystemet en nødvendighed !

- Vi har ikke tid til at vente længere -



SPØRGSMÅL & KOMMENTAR





AARHUS
UNIVERSITY