

# Norges HVDC gör Europa grönare

Västerbergslagens Ingeniörsklubb

2019-01-14

Tommy Hjort

[tommy.hjort@cervuspower.se](mailto:tommy.hjort@cervuspower.se)

# Innehåll

- Kort bakgrund
- Norges vattenkraft
- Länkar till utlandet
- Länkar till plattformar
- Närmare om Skagerrak 4
- Närmare om NordLink

# Tommy Hjort - Kort bakgrund

Inom HVDC (20+ år):

Montageövervakning, igångkörning, projektering (inkl HSEQ), delprojektledning, studier (förlust, oljud, RAM), marknadsföring och offerering

Inom vattenkraft (20+ år):

Lönsamhetsstudier, planering, projektering (inkl HSEQ), projektledning, prestandaverifiering, flerårsbudgetering och kraftproduktion

Konsult sedan 2008:

Cervus Power AB

# Skagerrak 1 & 2 – Tommy Hjort testar AC Filter 1976

27 OKTOBER 1976

## Vi aseater

### Likström i Skagerrack

Första veckan i oktober togs den s k Skagerrack-överföringen i drift. Tack vare ASEA-teknologi kan nu elektrisk ström överföras från Norge till Danmark – och tvärtom. Vid Kristiansand i Norge och Tjele i Danmark finns strömriktarstationerna som omvandlar växelströmmen till högspänd likström som sedan transporteras över Skagerrack i undervattenskabel.

bilden upprättar Tommy Hjort, LFU, telefonkontakt med kontrollstationen från sin arbetsplats bland kablar och brytare.

Se sidorna 4 och 5

### Ny flyglinje

På måndag får Västerås en internationell flygplats – då öppnas nämligen en flyglinje med Köpenhamn. Lijnen kommer emellertid att beröra de resande assarna, då morgonflyget till Köpenhamn har goda förbindelser med kontinenten och kvällsflyget hem har motsvarande anslutningar.

Se sidan 6

### 2 miljoner volt

Den provningsstation för ultrahöga spänningar som ASEA har byggt i Indiana, USA, tillsammans med American Electric Power (AEP) har nu invigts. Stationen har redan provkörts med maximal spänning



# Vattenkraft i Norge

- Kapaciteten är 30 000 MW
- Normalårsenergin är 120 TWh
- Årsnederbörd på Vestlandet 2 000 – 3 500 mm
- Årsnederbörd på Sørlandet 1 300 – 1 800 mm
- Stora magasin
- Stora fallhöjder
- Snabblupna Pelton- och Francisaggregat med positiv sughöjd
- Fina förutsättningar för pumpkraftverk

# Vattenkraftens egenskaper

- Kort starttid < 15 minuter
- Kort stopptid < 10 minuter
- Snabb reglering
- God verkningsgrad även vid dellast
- Energin lagrad i vattenreservoarer
- Vattnet finns i ett oändligt kretslopp

# Elektrisk Verkningsgrad

- Vattenkraft 90%
- Pumpkraft (cykel) 80%
- Batterier (cykel) 90-95%
- Kolkraft 35-40%
- Kärnkraft 35-40%
- Gaskombi 60%
- Vindkraft 35-40%
- Solkraft 15-20%

Norges utlandslänkar



# Krav på överföringar

Leverantör av strömriktarstationer är ofta också systemansvarig

## Förlustvärdering (exempel)

- Tomgångsförluster \$13,000/kW
- Belastningsförluster \$11,000/kW

## Tillgänglighet (exempel)

- Energitillgänglighet 99% \$1,900,000/%
- Forcerade avbrott 5 p. a. \$ 115,000/fel

Livslängd  $\geq$  40 år

# HVDC in Norway



**NSL** (in operation 2021)  
1400 MW,  $\pm 500$ kV, VSC  
(Norway-UK)



**NordLink** (in operat. 2020)  
1400 MW,  $\pm 500$ kV,  
VSC (Norway-Germany)



**NorNed** (2008)  
700 MW,  $\pm 450$ kV,  
LCC (Norway-the Netherlands)

**Skagerrak 1 and 2**  
(1976 and 1977)  
LCC, 2 x 250 MW, 250kV  
Norway-Denmark



**Skagerrak 3** (1993)  
LCC, 500 MW, 350kV  
Norway-Denmark



**Skagerrak 4** (2014)  
VSC, 715 MW, 500kV  
Norway-Denmark



# Interconnectors to foreign countries – Why?



**Increase security of supply**

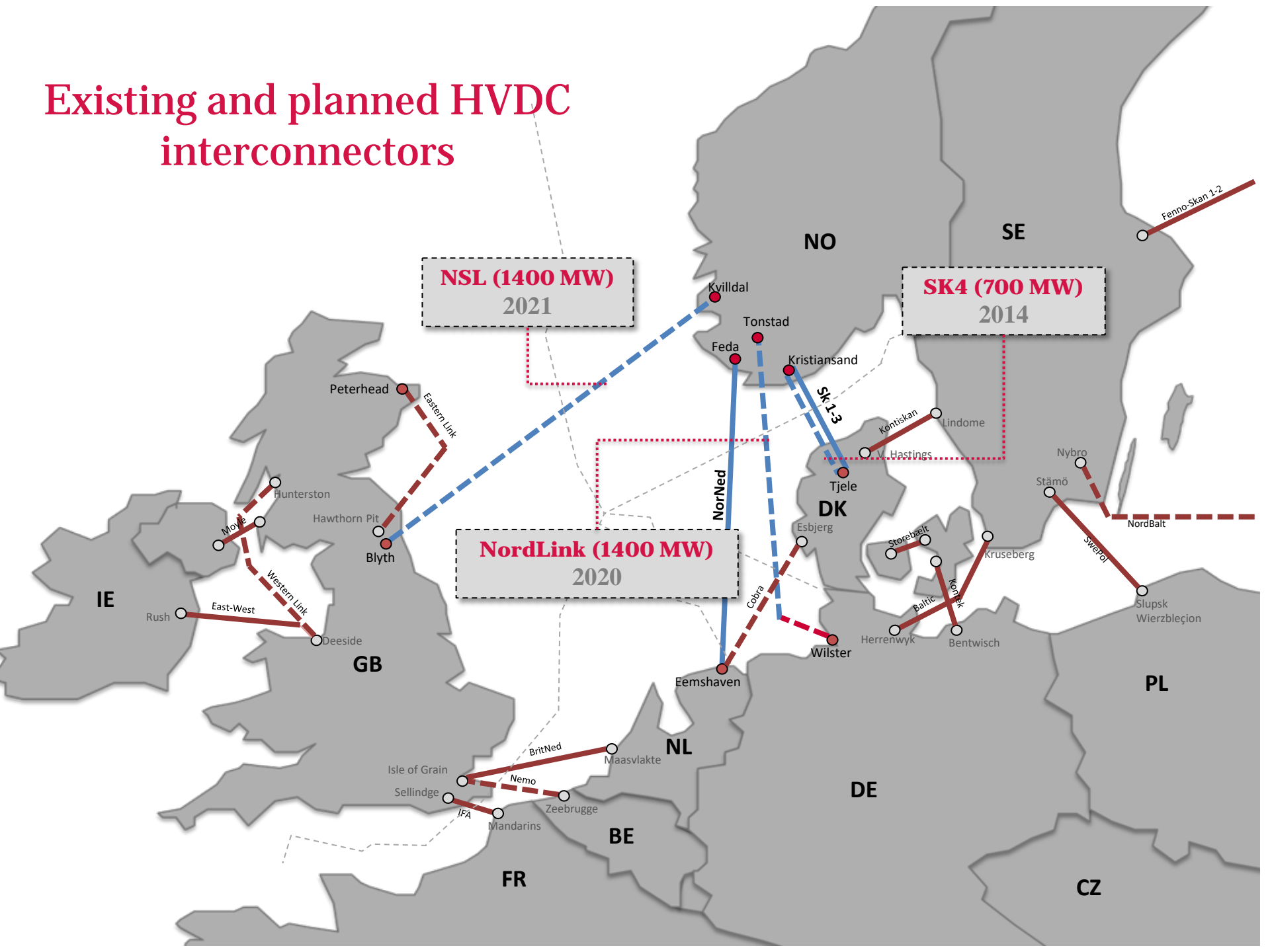


**Facilitate increased value of Norwegian energy**



**Contribute to an environmentally friendly energy system**

# Existing and planned HVDC interconnectors



# Överföringsriktningar

- Export vid hög last och låg vindkraftproduktion hos andra land
- Import vid låg last och hög vindkraftproduktion hos andra land
- Import under torrår
- Överföring av kraft mellan UK och EU och vice versa via Norge beroende på vindkraftproduktion

# Systemaspekter

- Samtidig import på flera länkar medför låg kortslutningseffekt i nätet
- Synkronkompensatorer kan hjälpa
- Samtidig export på flera länkar medför hög kortslutningseffekt i nätet
- Synkronkompensatorer kan stjälpas eftersom driftcentralen högst ovilligt kopplar bort dem
- 420 kV nätet är dimensionerat för 40 kA

# Prisbild för elen

- Torrår inträffar väldigt sällan
- Övrig tid har elen ett markant högre pris när kraften går från Norge jämfört med när den går till Norge
- Oavsett effektriktning tar HVDC-länkens ägare in en överföringsavgift per MWh
- Mycket höga kostnader vid oplanerade avbrott

# Kristiansand Strømretterstasjon

## Skagerrak 1, 2, 3, 4

RPC-komplex stasjon: LCC, VSC, SVC,  
synkronkomp., shunt reaktorer m LK, auto-  
transf., AC filter, 132 kV, 300 kV, 420 kV



# Eemshaven converter station, The Netherlands



# NorNed converter station at Feda

AC filter and  
shunt capacitor yard

300kV substation

Valve hall



# NordLink

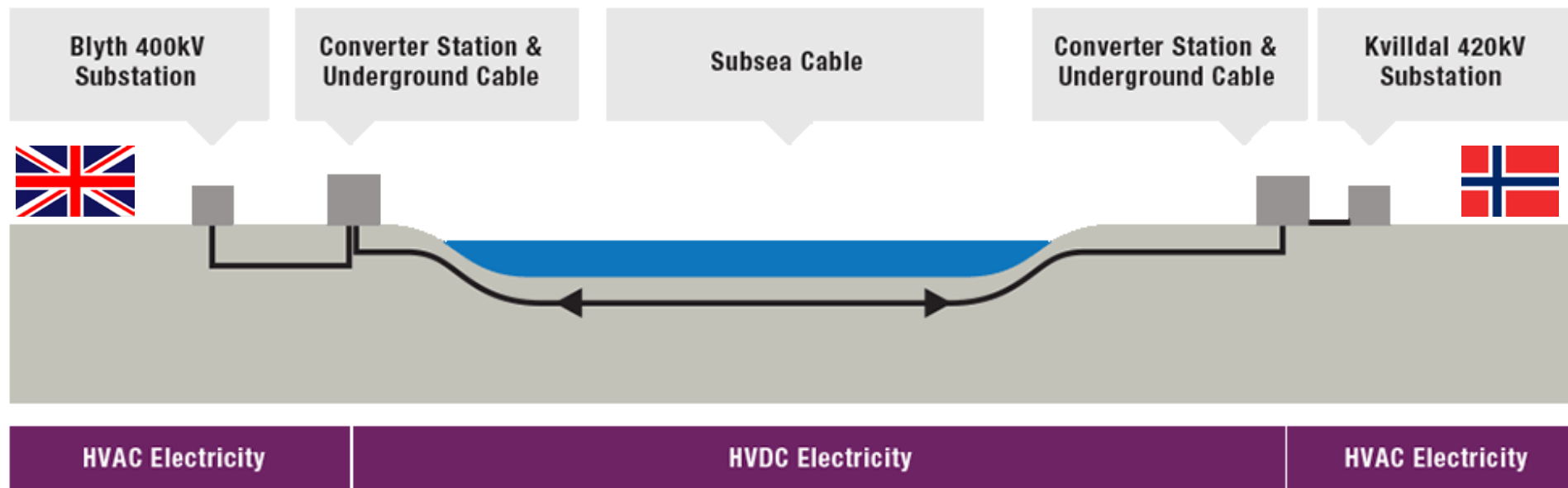
- VSC converter
  - 1400 MW
  - $\pm 500$  kV DC
  - Metallic return
  - Partners:  
Statnett + TenneT + KfW
  - Completion 2020
- Tonstad – Wilster
  - 53 km overhead line (Norway)
  - Two 516 km subsea cables
  - Two 55 km land cables (Germany)
  - Mass-impregnated cables



# NSL

- Kvilldal – Blyth
- Length 700 km
- No metallic- or sea return
- Mass-impregnated cables
- 1400 MW
- 500 kV

- VSC technology
- Order 2015
- Completion 2021
- Partners:  
Statnett + National Grid





Troll, Valhall & the Utsira High  
The North Sea

# ELECTRIFICATION OF OFFSHORE OIL- AND GAS PLATFORMS FROM SHORE BY HVDC TRANSMISSION

# El till plattformar

- Främsta motiveringen är skatt på emission av  $\text{NO}_x$
- Även reduktion av emission av  $\text{CO}_2$
- Vid långa kablar används HVDC
- Vid korta kablar används AC vid 50 Hz
- Studier finns för längre AC kablar vid  $16 \frac{2}{3}$  Hz

# Troll A platform

Tallest (472 m) structure that has ever been moved to another position

- 2005: Troll A 1 & 2 (Statoil)
  - VSC, 88MW,  $\pm 60$ kV DC voltage
  - Two 70 km submarine cables
  - AC voltage 132kV (Kollsnes) and 56kV (Troll)
- 2015: Troll A 3 & 4 (Statoil)
  - VSC, 100 MW,  $\pm 60$ kV DC voltage
  - Two 70 km submarine cables
  - AC voltage 132kV (Kollsnes) and 66kV (Troll)

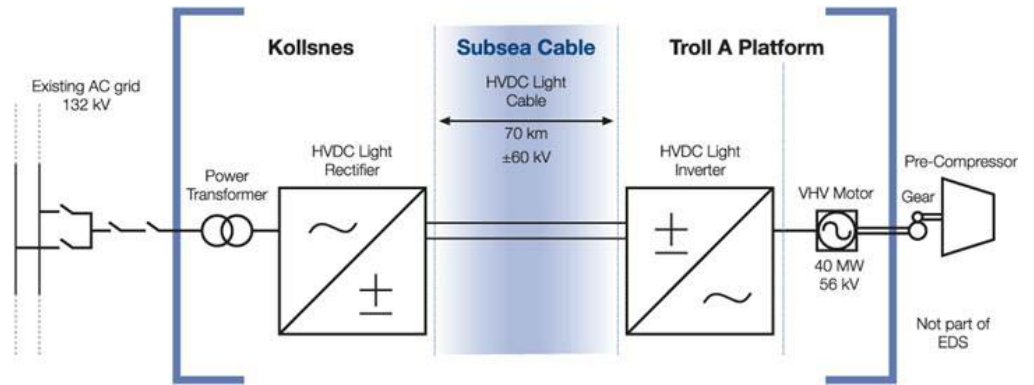


# Troll A HVDC connection (2005)

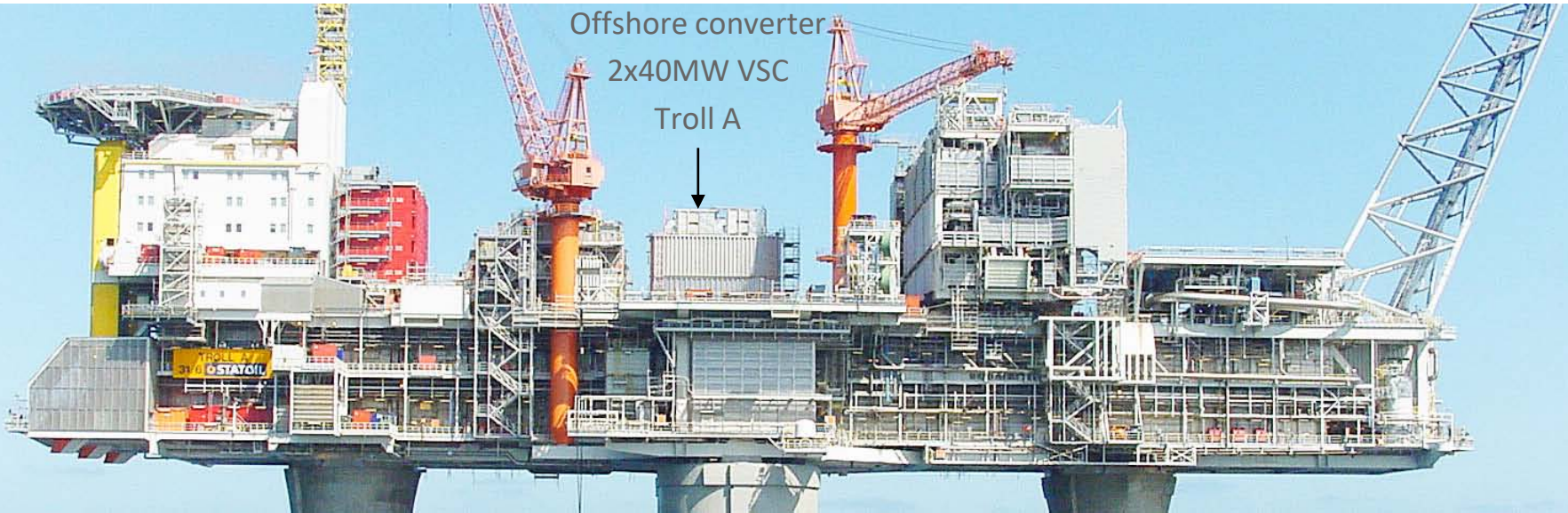
Onshore converter station  
Kollsnes



Single line diagram



Offshore converter  
2x40MW VSC  
Troll A





# Valhall HVDC connection

- VSC valve technology
- 78MW, 150kV DC voltage
- One 292 km submarine cable
- AC grid connection
  - Onshore 300kV (Lista)
  - Offshore 11kV (Valhall)
- Commissioned in 2011



The Valhall field



- Commissioned in 2009
- Connected at Lista (300 kV)

- STATCOM operation 2009-11
- Agreement between Statnett and BP for STATCOM operation

## Valhall onshore converter station



HVDC connection between

- Kårstø (onshore)
- Johan Sverdrup platform
- 100 MW  $\pm$ 80 kV
- May be expanded to ship windpower to shore

Utsirahøyden



# Skagerrak 4 – SK4

Likestrømforbindelse mellom Norge og  
Danmark

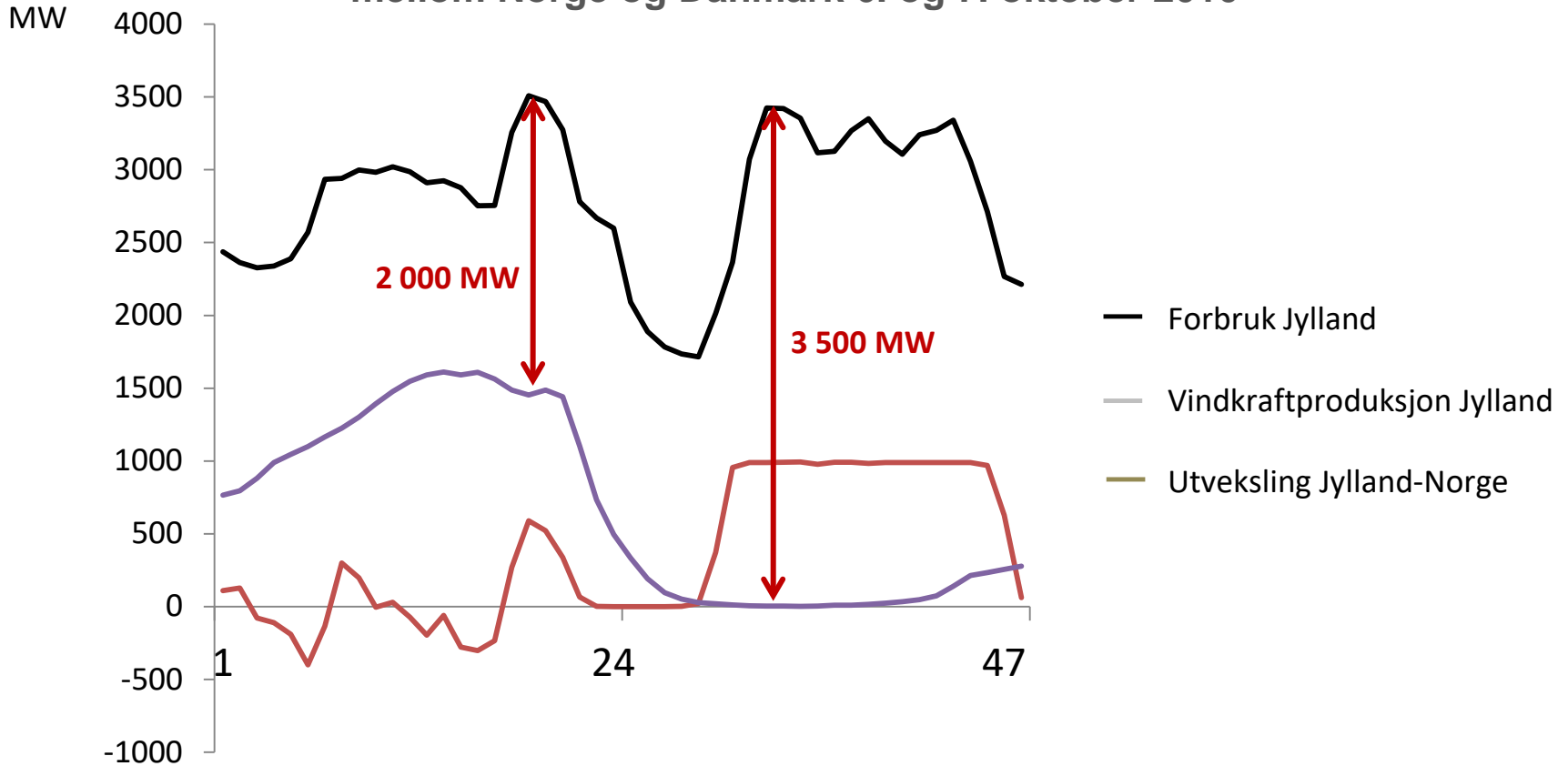
# Skagerrak 4 converter station (Norway)



# Utteksling – bra for fornybar energiomstilling

Forbruk, produksjon og utveksling mellom Norge og Danmark 6. og 7. oktober 2010

(+ er import til Danmark)



# For mye el - negativ pris!

**Danske elprodusenter måtte betale 89 øre per kilowattime de leverte i julen 2009.**

- Like før jul ble det for første gang negative elpriser i Danmark, da prisen krøp så vidt under null kroner per kilowattime.
- I noen timer den 26. desember, ble det produsert så mye strøm at Vest-Danmarks priser havnet på minus 89 øre per kilowattime.
- Årsaken var at elektrisitetsforbruket var lavt, samtidig som vindkraften gikk for fullt både i Vest-Danmark og i Tyskland. Lave temperaturer gjorde at kraftvarmeverkene måtte produsere for fullt for å gi nok fjernvarme, som er mye brukt til oppvarming av hus i Danmark.

*(Kilde: Kjetil Malkenes Hovland - TU 07.01.2010)*



*Stor produksjon av vindkraft bidro til at energibransjen i Danmark måtte betale for å levere strøm i noen timer i julen. Dette er danske Horns Rev 2, verdens største havvindpark på 209 MW. (Foto: MEDVIND/BENT SOERENSEN)*

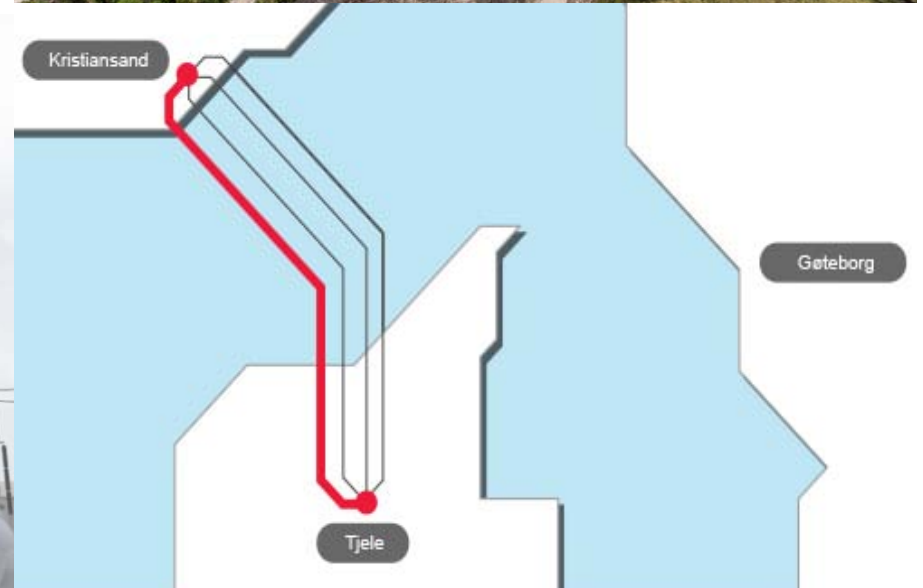
# Före och efter SK4 i drift

- Kapacitet Norge-Danmark före 2015: 1 000 MW
- Pris Jylland jul-nyår 2014 - € 58/MWh
  
- Kapacitet Norge-Danmark efter 2014: 1 700 MW
- Pris Jylland jul-nyår 2015 - € 8/MWh



# Hva er Skagerrak 4?

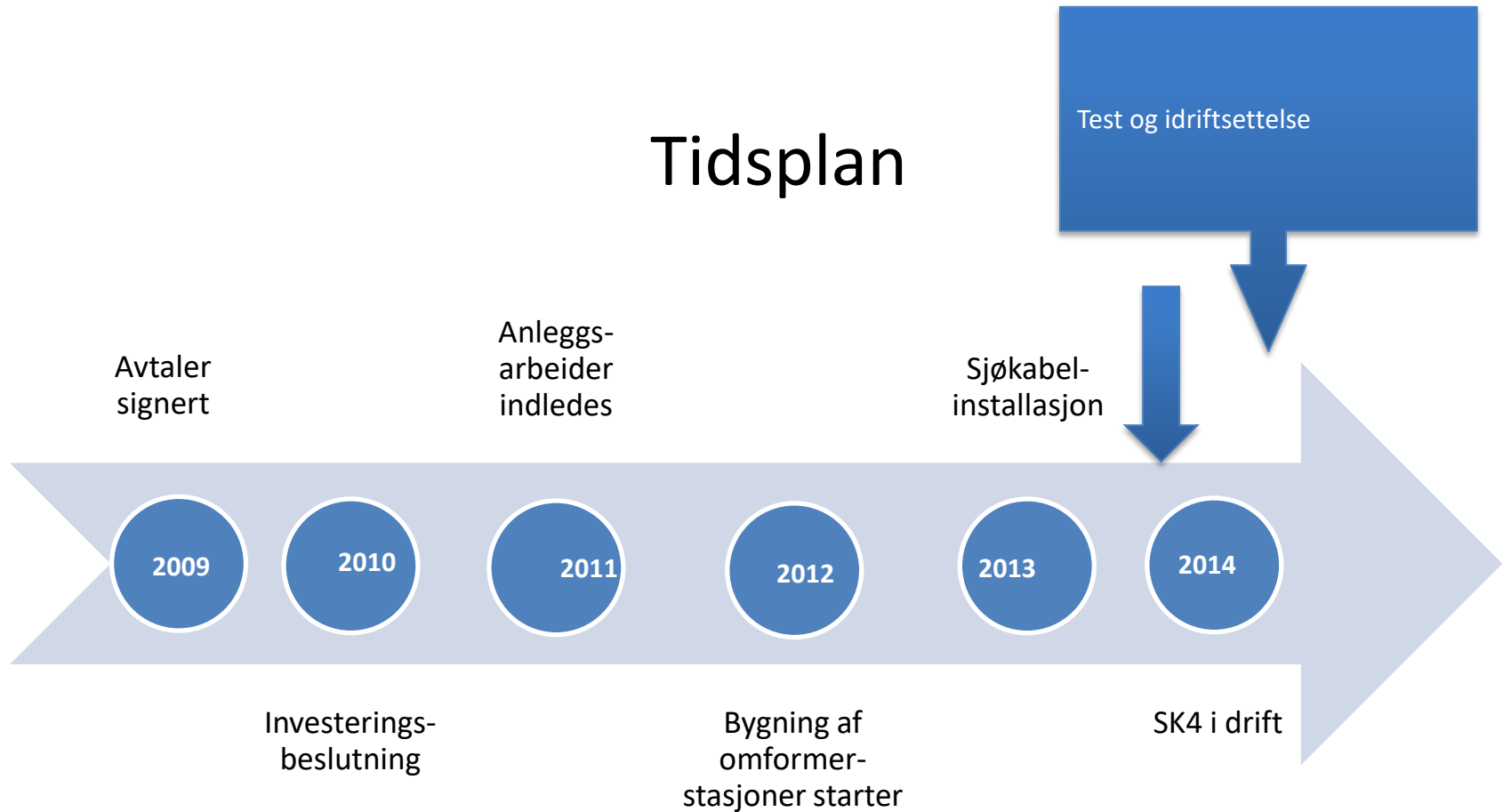
- Økt overføring fra eksisterende **1000 MW** til **1700 MW**
- **12 km** landkabel Norge(Nexans), **137 km** sjøkabel(Nexans) og **92 km** landkabel Danmark(Prysmian)
- **Utvidelse** av eksisterende stasjoner i Danmark og Norge
- **Ny teknologi med Voltage Source Converter (ABB)** for omformning vekselstrøm til likestrøm og omvendt
- **500 kV** driftsspenning på DC kabelen
- Totalbudsjett for prosjektet er på **3,6 mrd NOK**



# Teknologivalg

- Så høy spenning som mulig for minimum tap
  - ✓ 500 kV
- Vil bli opererert som bipol med SK3 – og utnytte dagens elektrodeanlegg
  - ✓ 700 MW
- Kabelkontrakt
  - ✓ med Nexans og Prysmian
- HVDC-classic eller Voltage Source Converter?
  - ✓ ABB valgt med VSC-teknologi, "HVDC-light, generasjon 4"

# Tidsplan

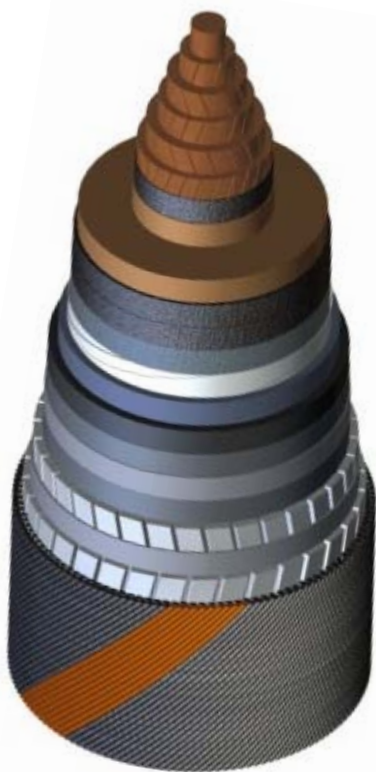


# Kabel

- 500 kV kabel
- Masseimpregnert kabel (viklet papir og tyktflytende olje)
- Maksimal dybde for sjøkabelen er 550 meter
- Sjøkabel og landkabel i Norge leveres fra Nexans fabrikk i Halden
- Landkabel i Danmark leveres af Prysmian fra fabrik i Napoli
- Sjøkabel legges med kabelskipet C/S Skagerrak
- Kabelen bores under Limfjorden (1500 meter)



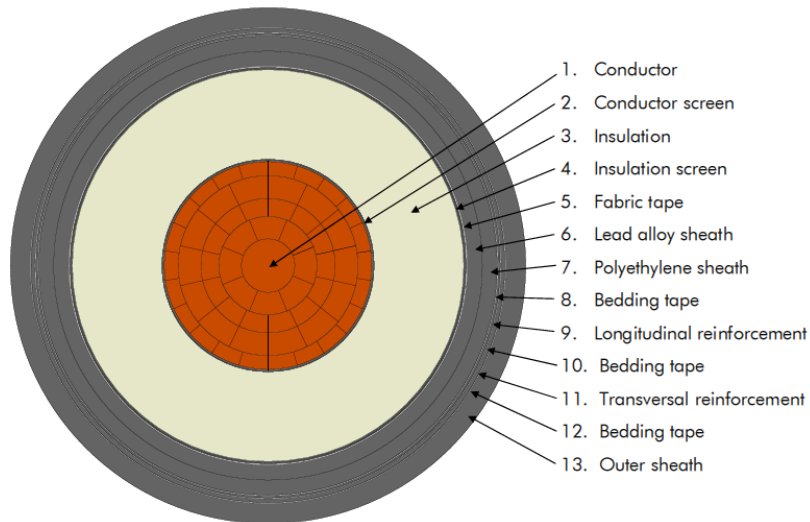
# Sjøkabelkonstruksjon



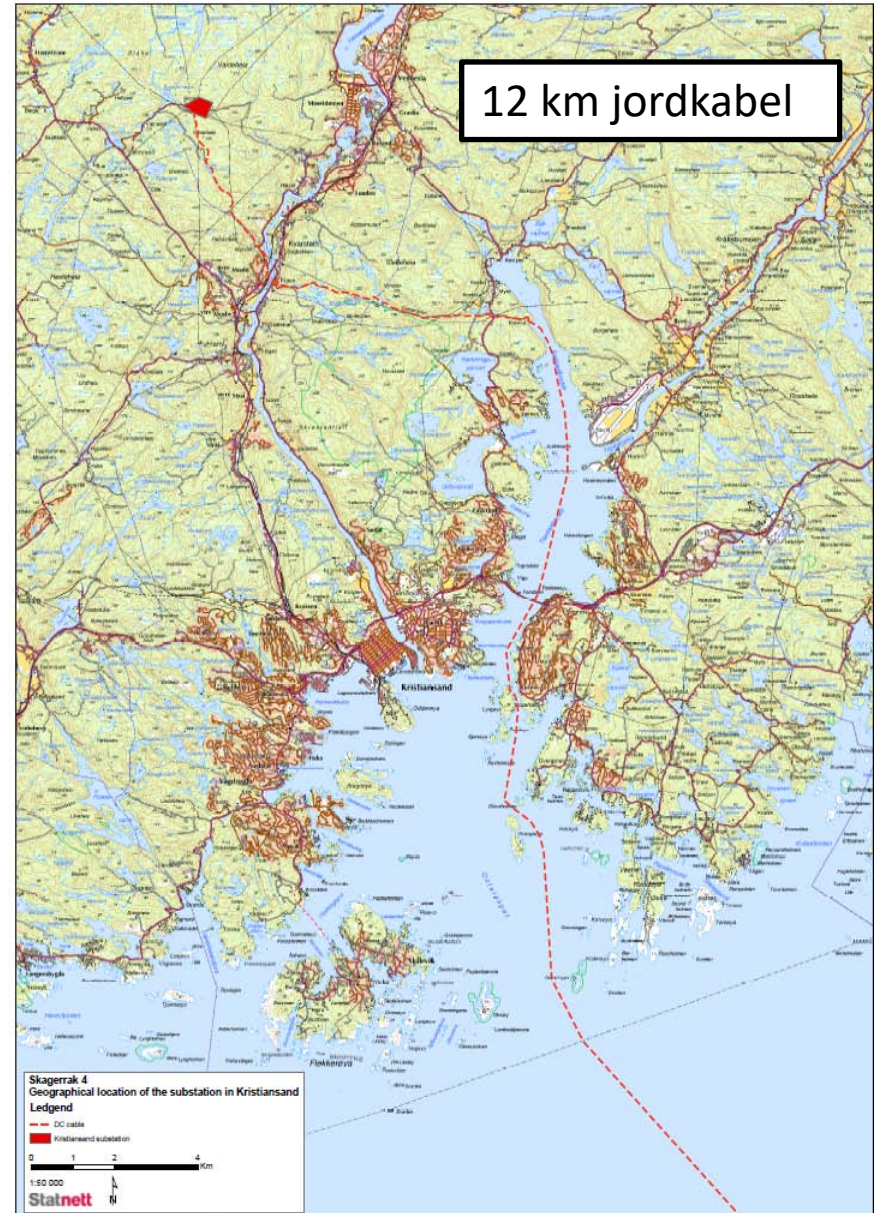
## 500 kV likestrømskabel:

- Kobberleder, 1600 mm<sup>2</sup>
- Isolasjon: oljeimpregnert papir
- Blykappe for vanntetting
- Tverrforsterkning av stålbånd
- Armering: to lag ståltråd. Større tråder i den dype delen for å gi tilstrekkelig mekanisk styrke på 550 m vanndyp
- PP-garn og asfalt
  
- Vekt: 51,5 kg/m/ 48,3 kg/m
- Diameter: 124,5 mm/ 122,5 mm

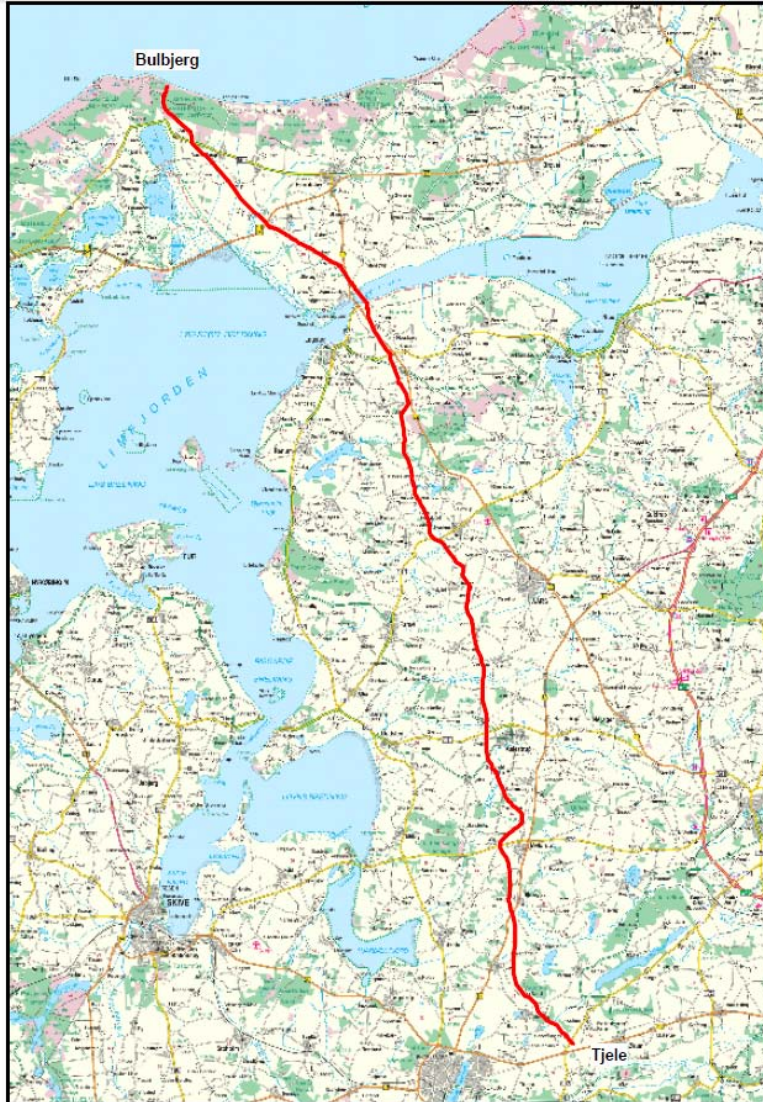
# Jordkabelkonstruksjon



- Leder, isolasjon, bly- og PE-kappe og tverrforsterkning som for sjøkabel
- Langsgående stålbånd for økt strekkstyrke
- PE-kappe, isolerende
- Vekt: 36,5 kg/m
- Diameter: 115 mm



# Landkabel i Danmark



Lengde: 92 km

1500 m i rør under Limfjorden

Kabelleverandør: Prysmian

Kabeltype: Massekabel



# Sjøkabelinstallasjon 2012 og 2013



To kabelskip: Skagerrak og Elektron  
Vaktbåter

# Jordkabel – Danmark 92 km

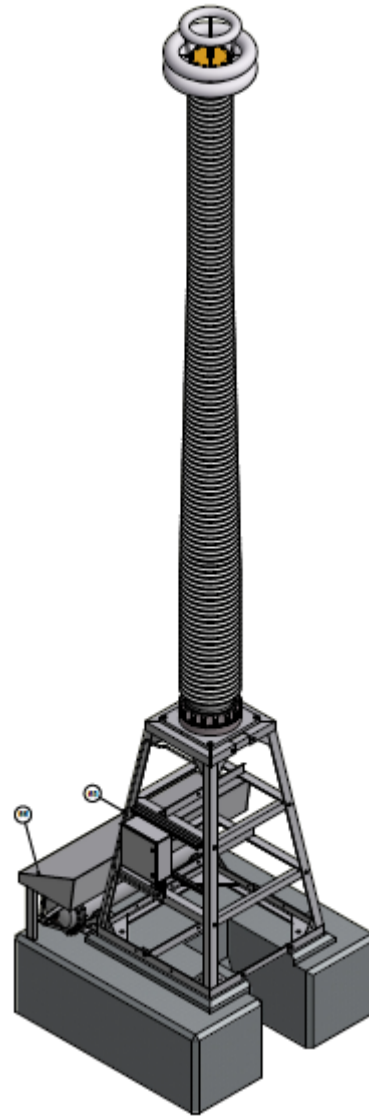


# Jordkabel – Norge 12 km



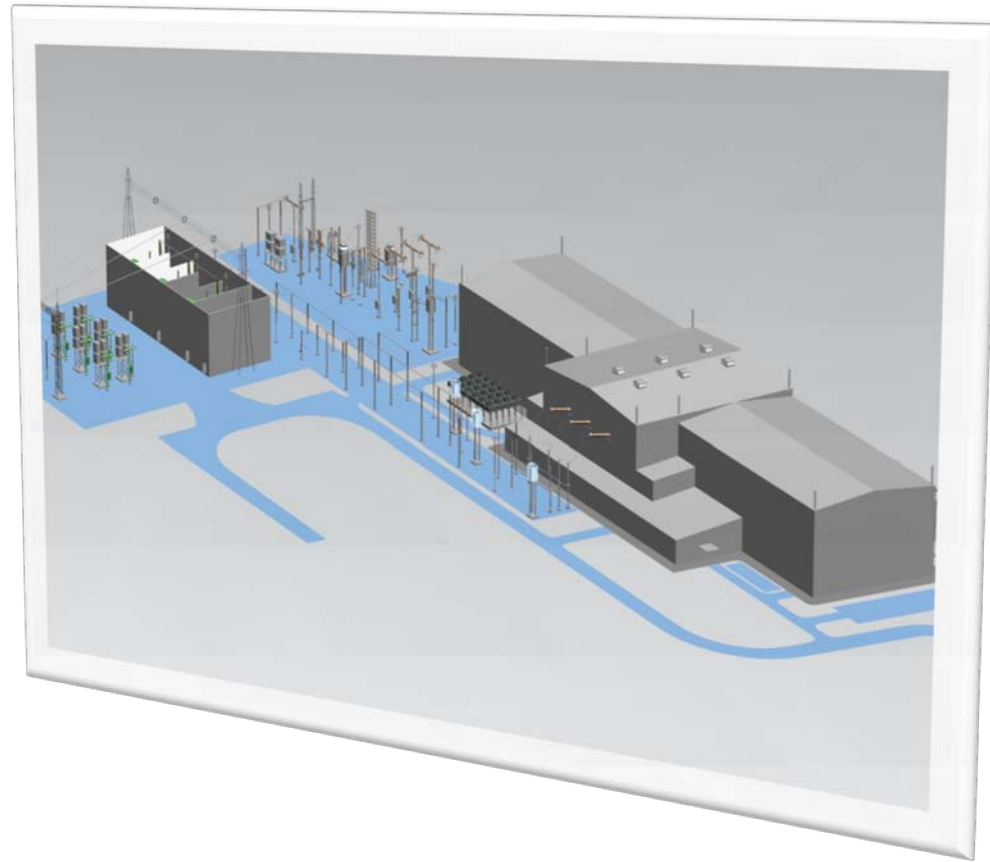
# Kabelterminering

- Høyde på porselen: 8 m
- Avstand til nærmeste komponent: 5,2 m



# Omformeren

- Voltage Source Converter
  - Leverer reaktiv effekt
  - Black Start
  - Spenningsstøtte
- 715 MW
- 500 kV og 1430 A DC
- Bipol med SK3



# LCC och VSC

- Line Commutated Converter (LCC) har idag tyristorer såsom halvledarelement och opererar i kvadranterna 1 och 2 i P/Q-planet
- Voltage Source Converter (VSC) har idag IGBT transistorer såsom halvledarelement och opererar likt en synkronmaskin i alla fyra kvadranterna

# LCC och VSC i samma bipol

- Effektreversering kräver polaritetsväxling
- Polaritetsväxling måste klaras av på  $\leq 5$  s för att undvika installation av synkronkompensator
- High Speed Switches klarar processen på  $\leq 5$  s

# Test og idriftsettelse

- Egen idriftsettelsesgruppe i Statnett, Energinet og i ABB
- SK3 mai 2014
- SK4 juli 2014
- Test black start
- Trial operation fra oktober
- 1 desember 2014





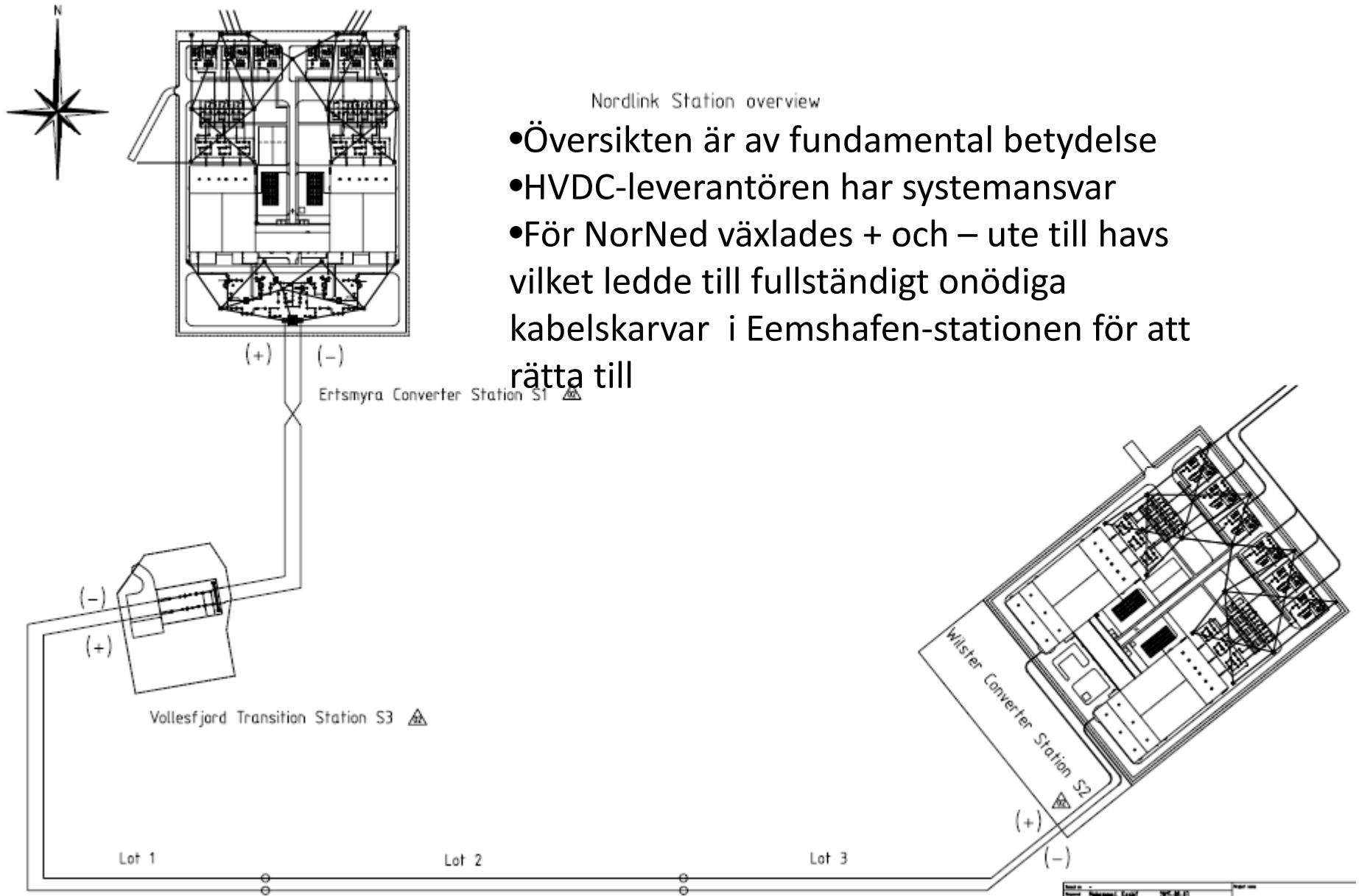
# Dödnätsstart och Synkronisering

- Synkroniseringsdon i näten sluter automatiskt brytare inom ett typiskt fönster om  $\pm 30^\circ$  fasvinkel och  $\Delta U \leq 6\%$
- Med VSC strömriktare kan man starta mot dött nät (black start) vilket LCC inte klarar
- VSC strömriktare har till skillnad från synkrogeneratorer ingen tröghet
- Med införande av statik (droop) i likhet med synkrogeneratorer samt övergång till strömreglering klaras även synkronisering

# NordLink

Likströmsförbindelse mellan  
Norge og Tyskland

# NordLink - Översikt



# NordLink

Några av projekteringsuppgifterna:

- Fokus på HSEQ för byggnation, installation, drift och underhåll
- Skydd mot fysisk skada (vapen etc)
- Skydd mot störningar (EMC och HEMP)
- Återvinning av ventilers förlustvärme för fiskodling

# SüdLink – fortsättning på NordLink

- Wilster (Schleswig-Holstein) till Bayern
- Motiveras av stängning av kärnkraftverk
- Landkabel/luftlinje ca 80/20 %
- Spänning :  $\pm 525$  kV -  $\pm 640$  kV
- Viss långtidsprovning utförd hos STRI i Ludvika

NordLink mandag 20. august 2018

Oversiktsbilde for uken 420kV  
anlegg blir satt under spenning...



NordLink fredag 5. oktober 2018.



NordLink fredag 16. november 2018

Tonstad  
Vindpark.  
132kV-linje

Buhei  
Vindpark  
132kV-linje.

