



Climate &
Renewables



Vindkraft - Teknik och projektering

2009-09-30

Julien Gutknecht
Origination, E.ON Vind Sverige AB
Julien.Gutknecht@eon.se
0703-47 54 95

Upplägg

Introduktion till E.ON

Vindkraft i världen och i Sverige

- Förutsättningar för vindkraft
- Vindkraft i världen och i Sverige

Vindens energiinnehåll

- MIUU
- Betz lag

Vindkraftsteknik

- Utformning av rotor och blad
- Olika typer av turbiner
- Svenska elnätet

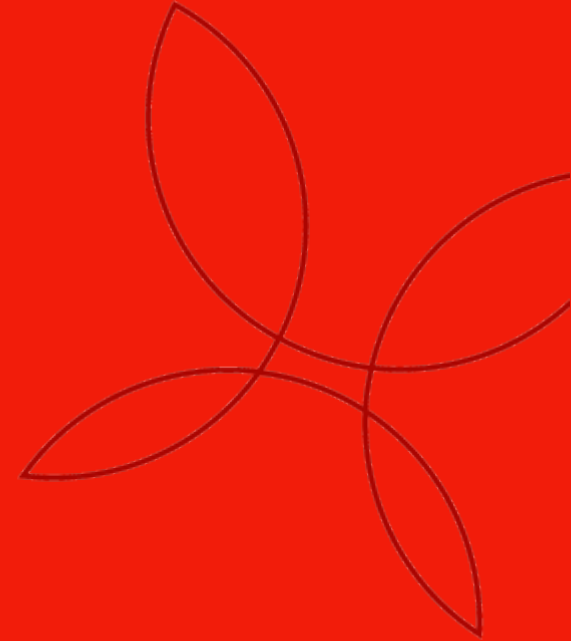
Projektering

- Projekteringsgången



e.on

Climate &
Renewables



Introduktionen till E.ON

E.ON koncernen

- Världens största privata energiföretag
- Huvudmarknader är hela Europa, och USA Mellanvästern
- El, gas och värme (i Norden) är kärnverksamhet
- Omsättning – €87 miljarder
- Cirka 93 500 anställda
- Cirka 35 miljoner kunder



E.ON i världen

E.ON Climate & Renewables

Nr 7 om vindkraft

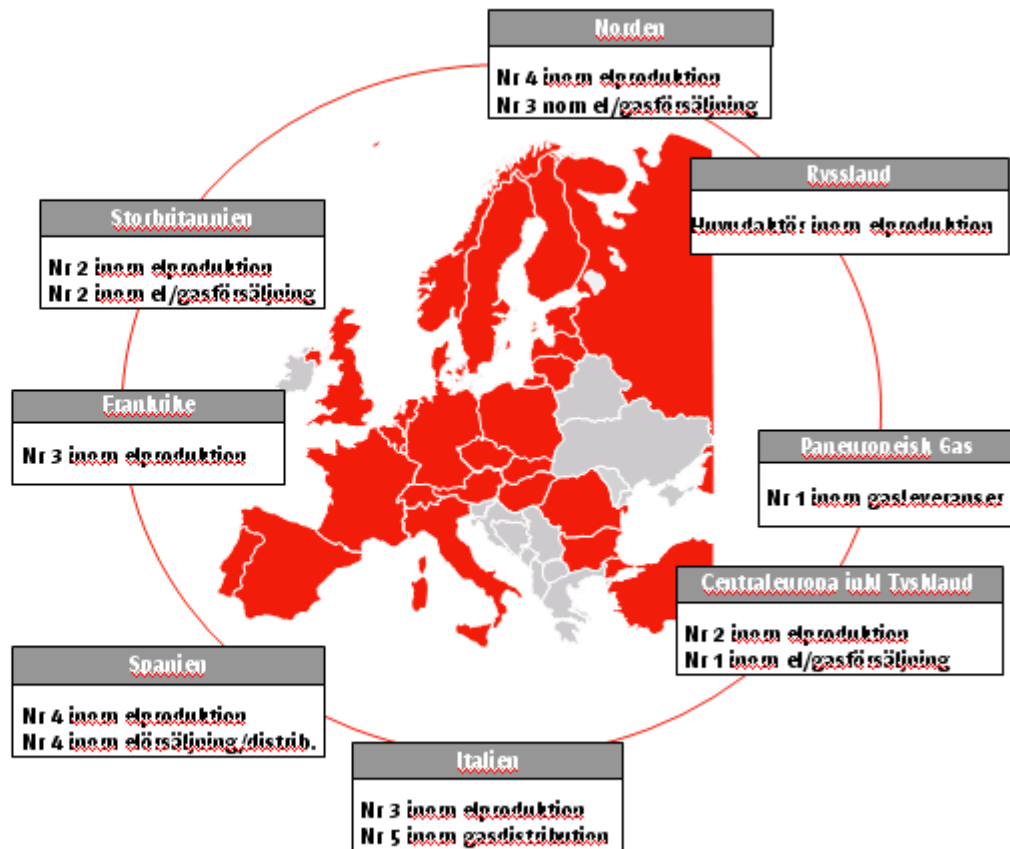


E.ON US

Nr 1 inom elproduktion, el/gasförsäljning



E.ON Energy Trading



E.ON i Sverige

El

- 900 000 kunder
- Ca 30 TWh produktion (ca 20% av konsumtionen)

Vindkraft

- 54 MW kapacitet i drift
- Över 1 000 MW planerade

Värme

- Fjärrvärme 6,0 TWh
- 1 000 anläggningar lokal produktion - 1,0 TWh
- Öresundsverket i Malmö

Elnät

- 17 000 km ledning grävs ned efter stormarna

Gas

- 24 000 kunder
- 3,8 TWh

Biogas

- 39 tankstationer för fordonsgas



E.ON investerar 58 miljarder kronor i Norden åren 2006-2013 till nytta för kunderna, leveranssäkerheten, miljö och klimat



Elnät och mätare
18 miljarder kr



Vattenkraft
5 miljarder kr



Värme
8,5 miljarder kr



Vindkraft
5,5 miljarder kr



Kärnkraft
14 miljarder kr



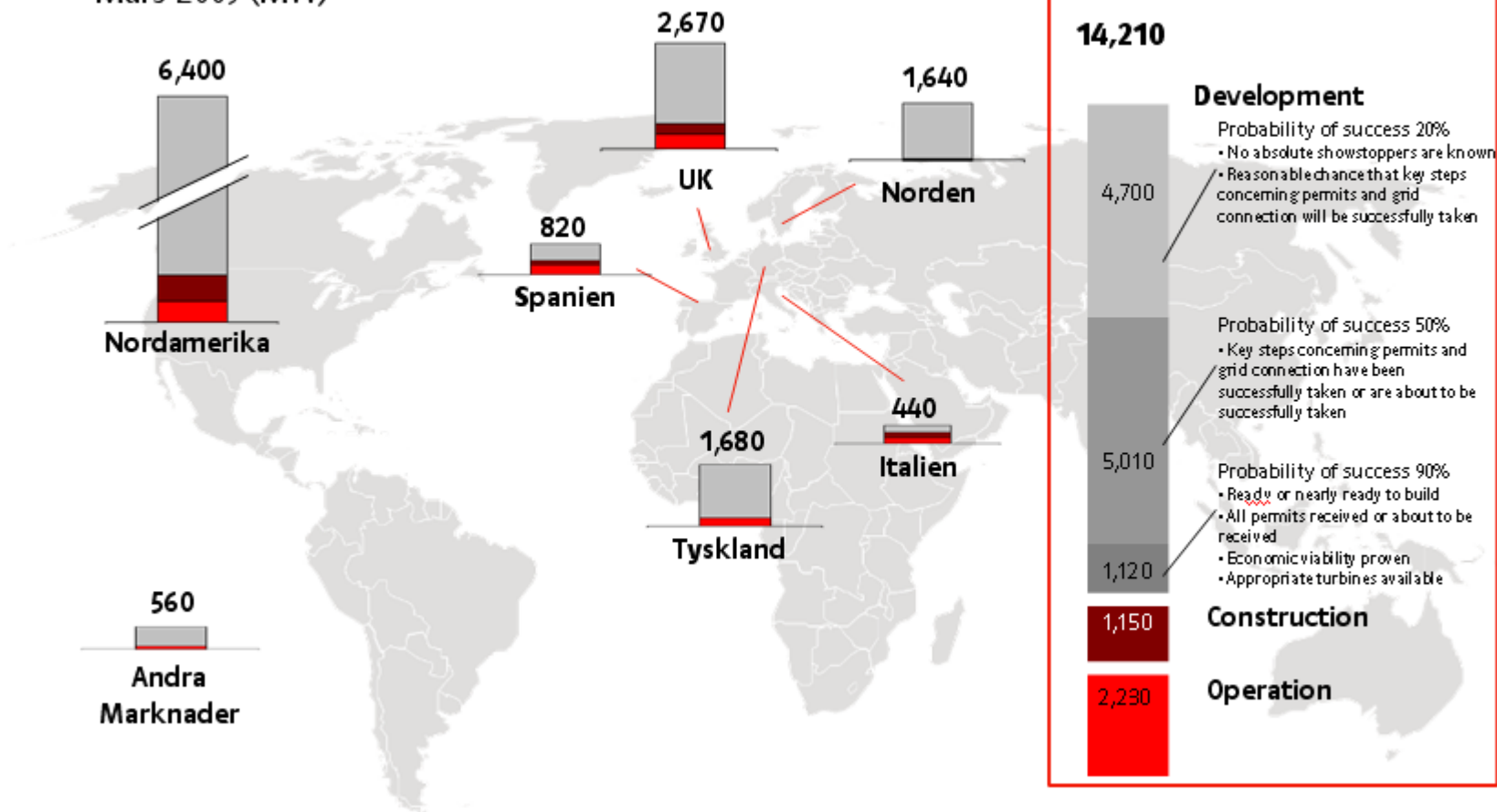
Värmekraft
4,3 miljarder kr



Övrigt
2,7 miljarder kr

E.ON vindkraft projektet i världen

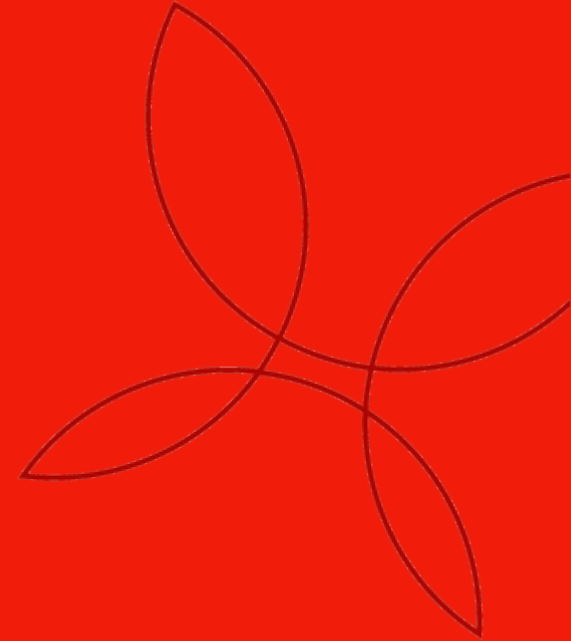
Mars 2009 (MW)



In addition, there is another 5,000 MW of identified sites (origination) whose likelihood of success cannot yet be evaluated

e.on

Climate &
Renewables



Vindkraft i världen och i Sverige

Förutsättningar för vindkraft

Vindkraften bidrar till minskade koldioxidutsläpp eftersom den ersätter fossileldad kraftproduktion.

- 1 GWh vindkraft sparar ca 800 ton CO₂ från ett kolkraftverk.
- En vindkraftspark om 10 verk kan producera ca 60 GWh och således spara 48 000 ton CO₂ om året.

Främsta negativa miljöpåverkan är störningar för närboende i form av skuggor, ljud och visuell påverkan. Även djur och växtliv kan påverkas negativt just i närområdet.

Viktiga faktorer för att ett vindkraftsprojekt ska bli lyckat:

- Få motstående intressen
- Acceptans från allmänheten
- Snabba tillstånds- och bygglovsprocesser
- Bra stödsystem och incitament från politiker och regering

Vindkraft i världen och i Sverige

Installerad effekt vid slutet av 2008

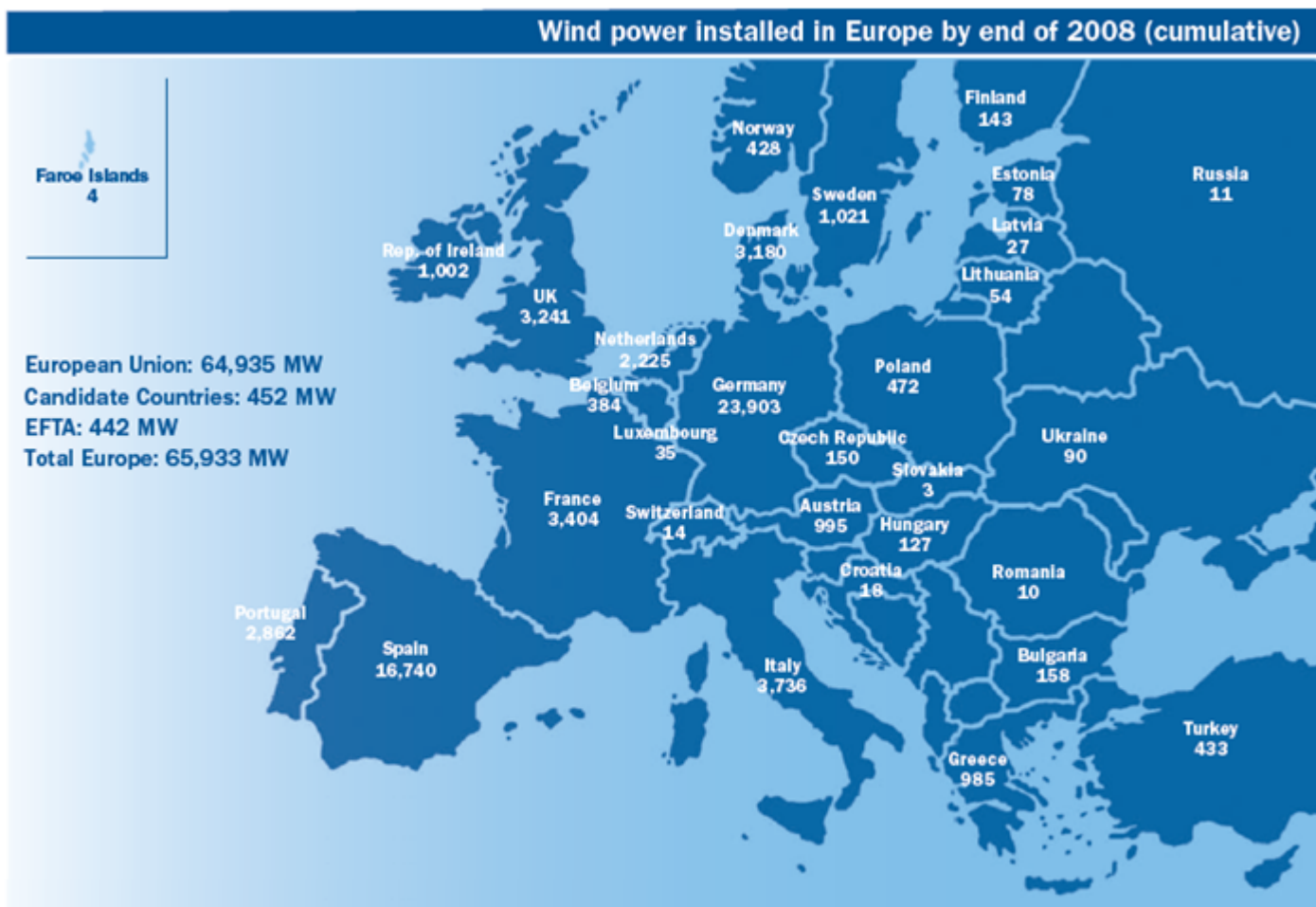
- Totalt i Världen: ca 120 791 MW
- Totalt i Europa: ca 64 949 MW
- Totalt i Sverige: ca 1 021 MW

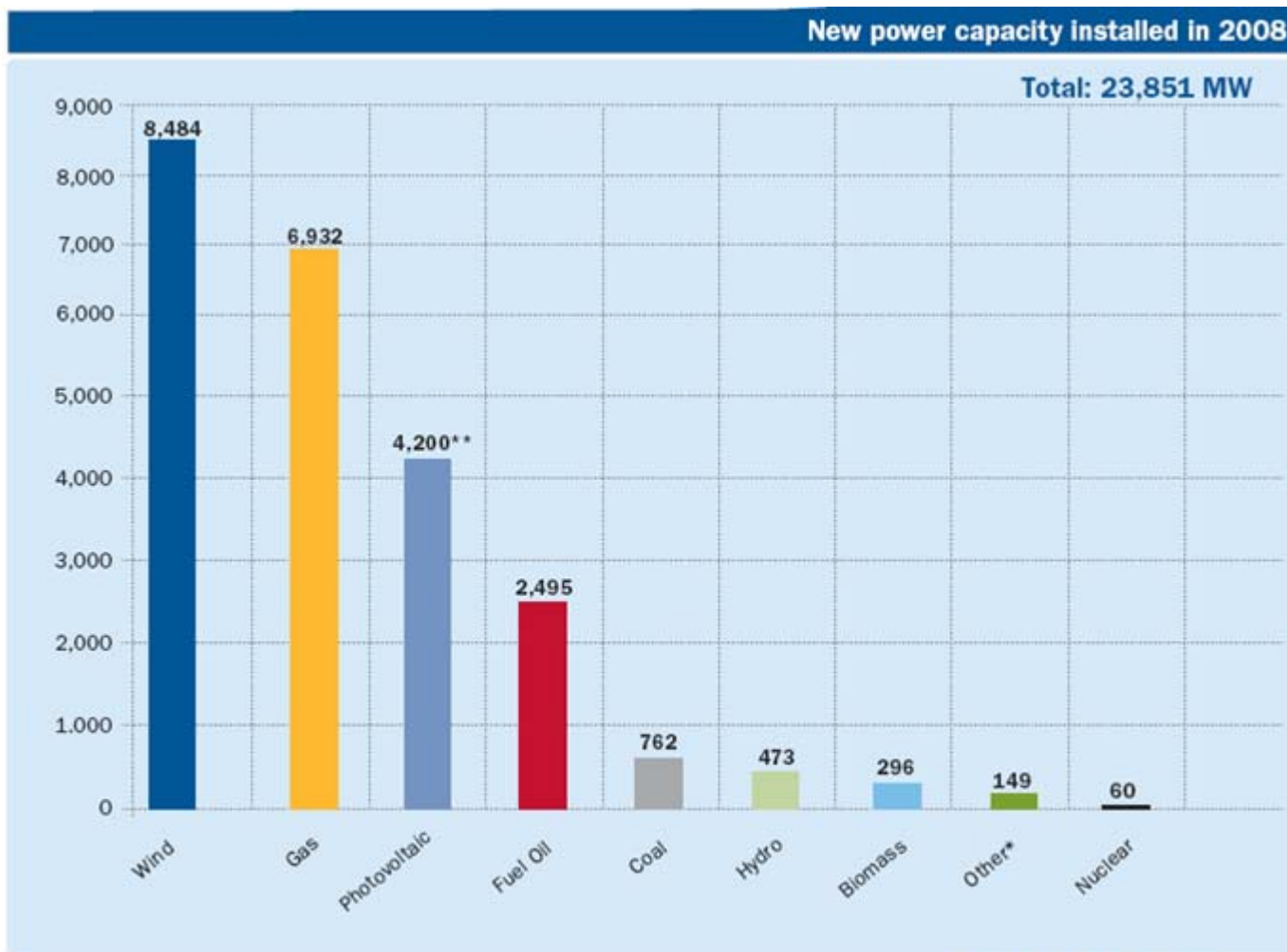
USA är störst med mer än 25 000 MW installerad effekt.

USA och Kina är de länder där utbyggnadstakten var högst under 2008.

I Danmark står vindkraften för över 20% av elproduktionen (ca 1,5% i Sverige).

Planeringsmålet för vindkraft till 2020 i Sverige : ca 9 500 MW
(20 TWh onshore, 10 TWh offshore).





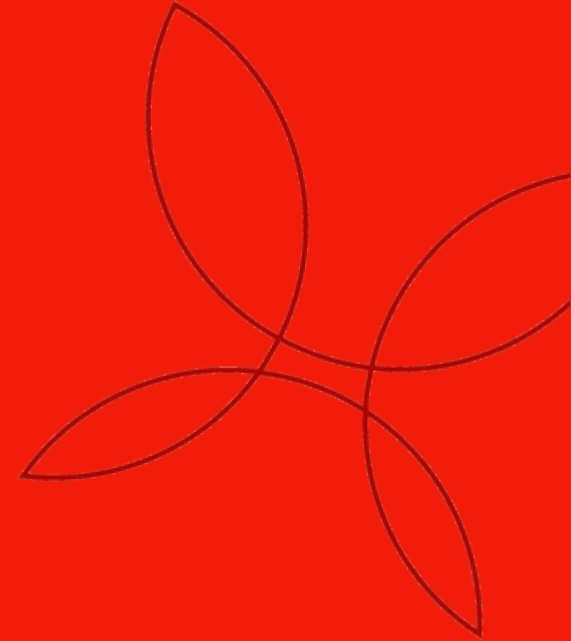
Source: EWEA and Platts Power Vision

*Geothermal, peat and waste

**Source: European Photovoltaic Industry Association (EPIA)

e.on

Climate &
Renewables

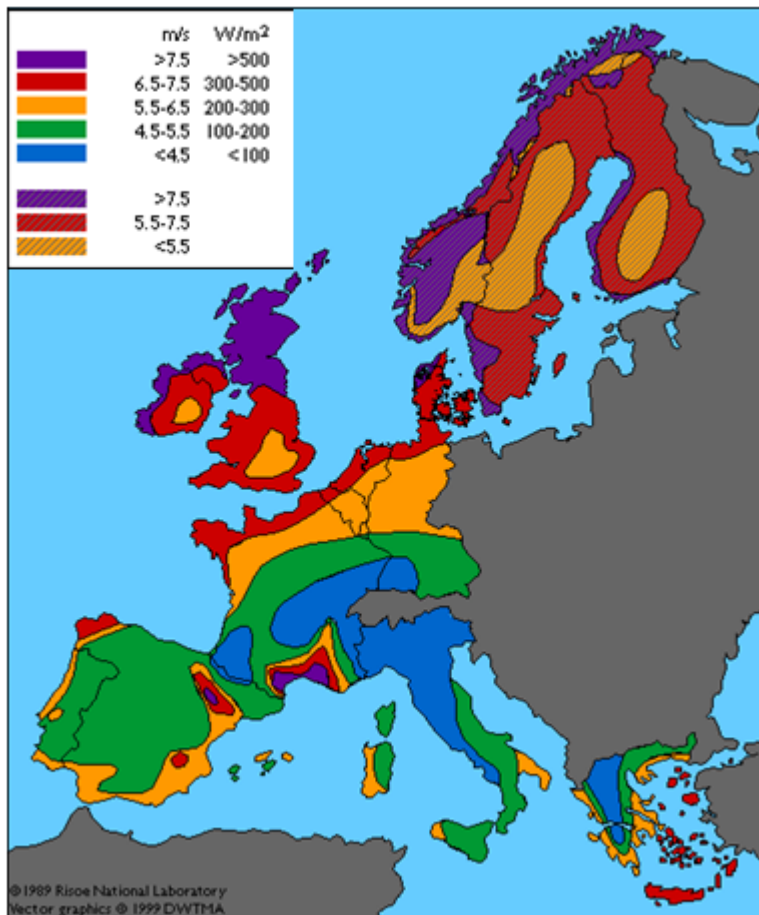


Vindens energiinnehåll

Vindresursen i Europa och Sverige

Kartan visar vindhastigheten på 50 meters höjd över en öppen slätt

En vinddensitet på
 $\sim 400 \text{ W/m}^2 = \text{OK}$
 $> 700 \text{ W/m}^2 = \text{Bra}$



MIUU-modellen

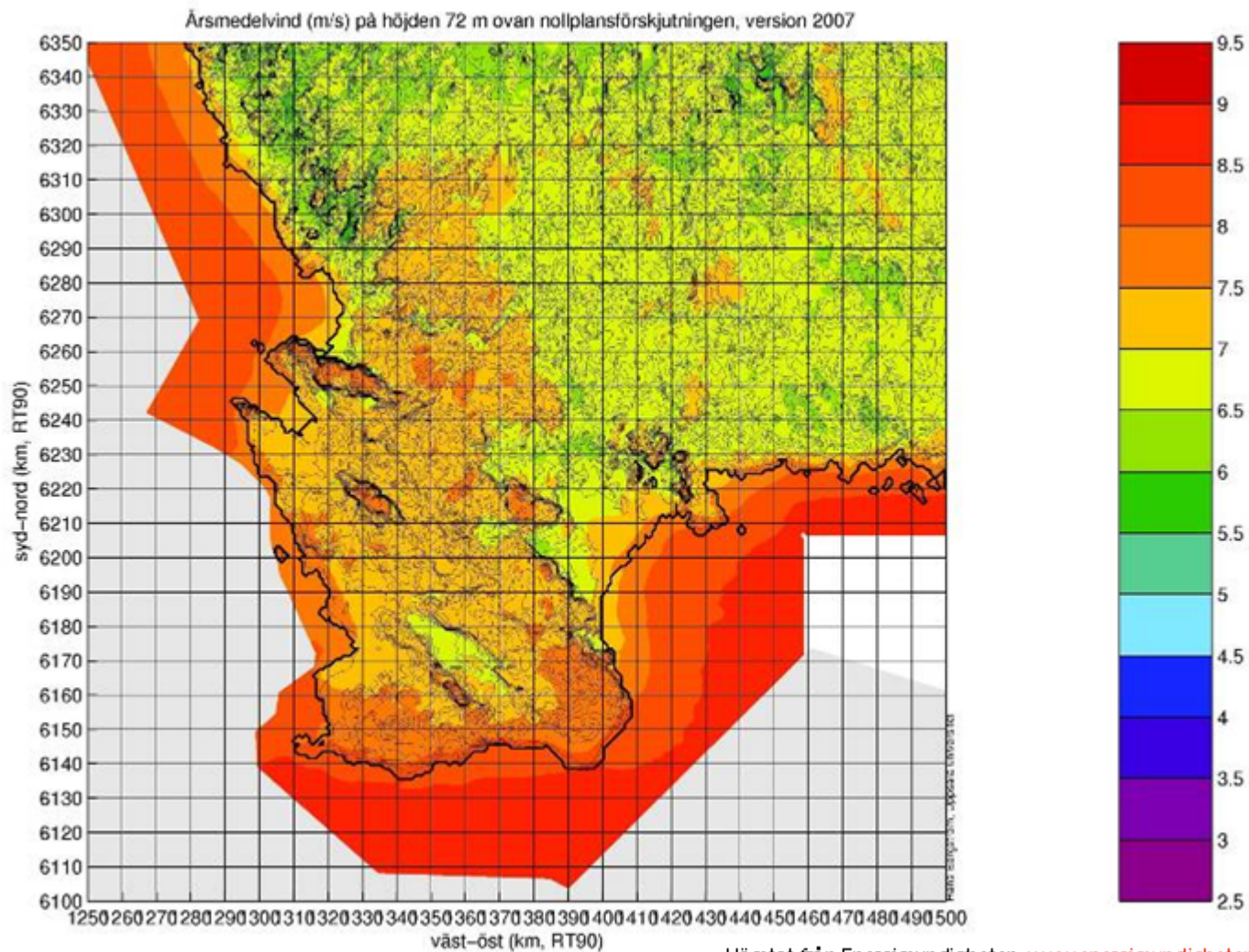
En vindkartering framtagen av Hans Bergström vid Uppsala Universitet som beskriver vindtillgången över hela Sverige med en upplösning på 1 km.

Numerisk modell som använder följande indata

- Horisontell luftgradient
- Solstrålning
- Ytråhet – markfriktion (hav, slätt, skog, städer...)
- Topografi
- Molntäckning
- Mark- och vattentemperatur

Fördelar

- Hanterar komplex topografi
- Hanterar temperaturstabiliteten i luften



Vindens effekt

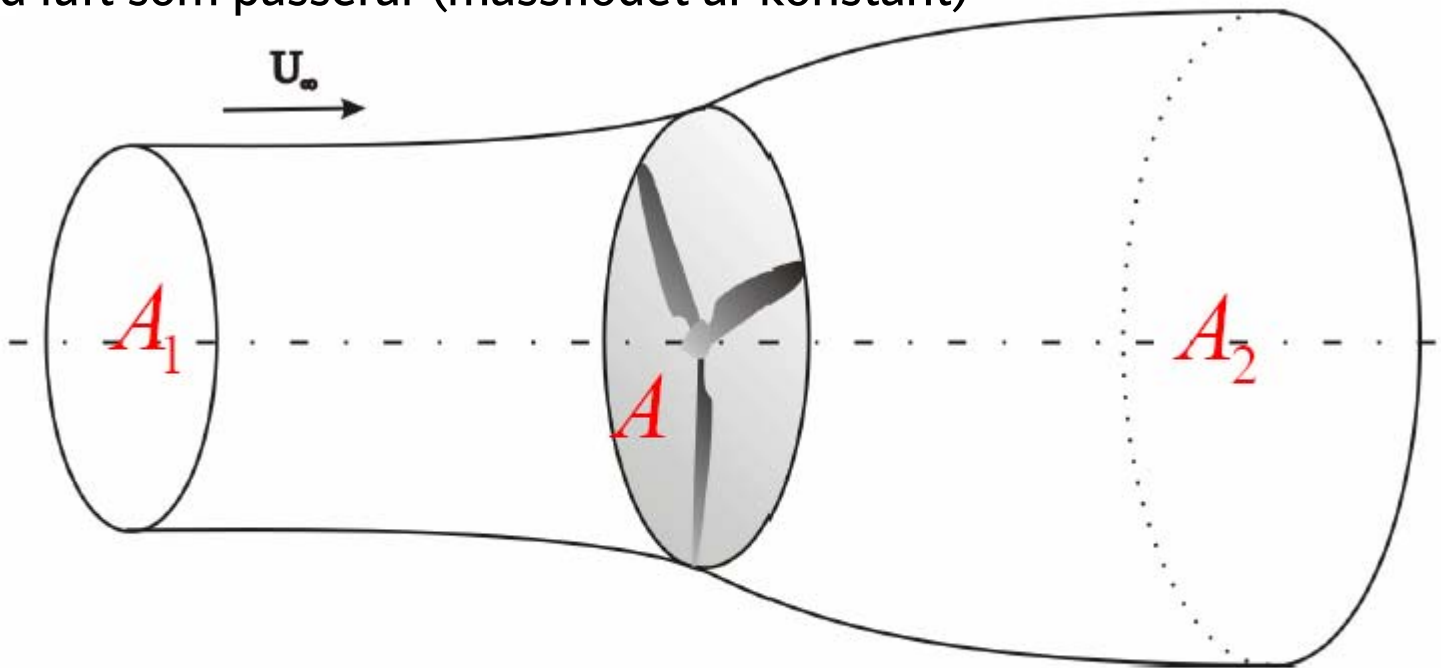
Effekten i vinden beskrivs med

$$P = \frac{\dot{m}v^2}{2} = \frac{\rho Av^3}{2}$$

där A = arean i vindröret, v = vindhastigheten och ρ = densiteten
 \dot{m} = massflödet

Vindhastigheten på en plats är den absolut viktigaste faktorn när man projekterar för vindkraft. En fördubbling av vindhastigheten leder till 8 gånger mer energi eftersom vindhastigheten är i kubik.

En vindturbin bromsar upp vinden när den tar ut rörelseenergi, så vindhastigheten är långsammare bakom turbinen än framför. Vindrörets area kommer därför att utvidgas eftersom det fortfarande är samma mängd luft som passerar (massflödet är konstant)

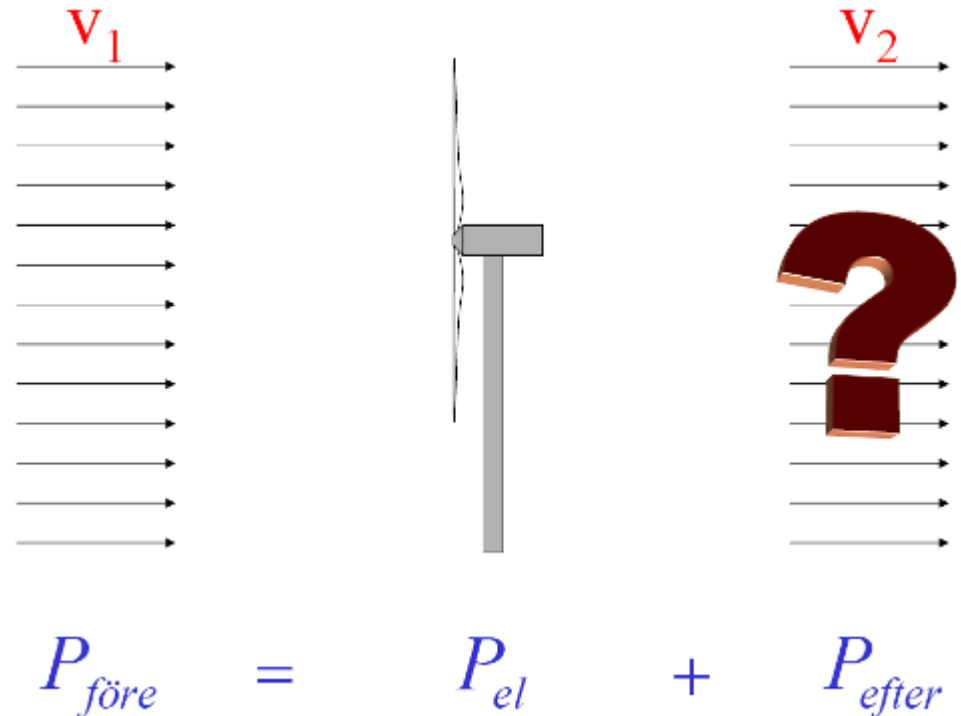


$$A_1 V_1 \rho = A v \rho = A_2 V_2 \rho$$

$$\Rightarrow V_1 > V > V_2$$

Betz lag

Hur mycket ska då vindhastigheten bromsas upp för att man ska utvinna vindens effekt så effektivt som möjligt?



Teoretiskt maximala effektuttaget i rotorn enligt Betz

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{vind}} = \frac{16}{27} = 59,3\%$$

C_p är vindkraftverkets effektkoefficient. I själva verket är denna mindre än 59% p.g.a. aerodynamiska och mekaniska förluster i turbinen.

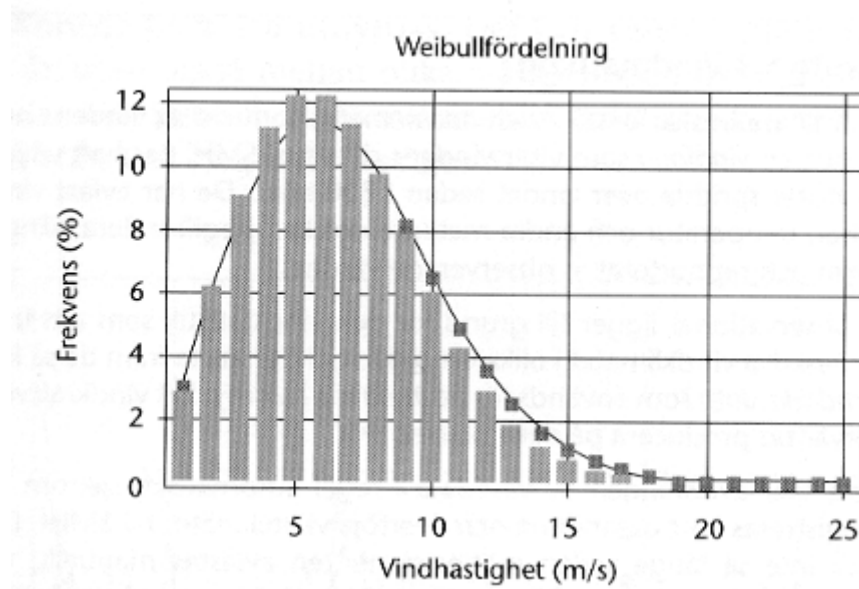
Hur effektiv en turbin är beror mycket på hur bladen är utformade.

Frekvensfördelningen

Man kan inte använda medelvinden över året rakt av i produktionsberäkningarna. Istället behövs en fördelning som beskriver hur stor del av tiden det blåser en viss vindhastighet.

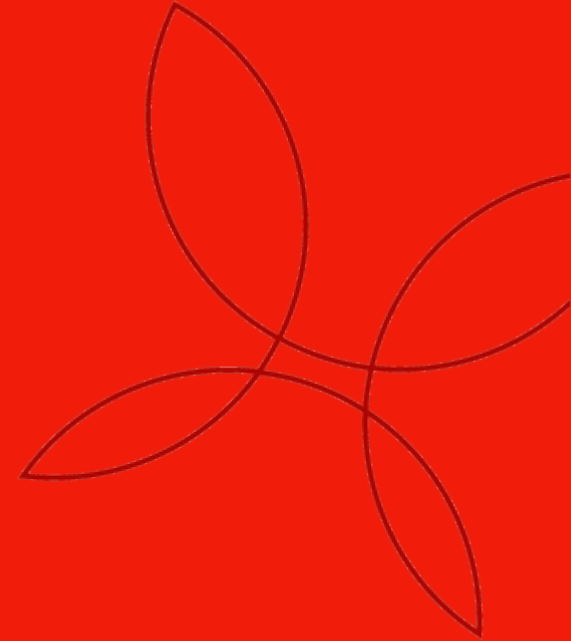
Vindens hastighetsfördelning över året stämmer i de flesta fall väl överens med en Raileigh eller Weibullfördelning.

I praktiken får man ut ca 45% av den tillgängliga vindenergin.



e.on

Climate &
Renewables



Vindkraftsteknik

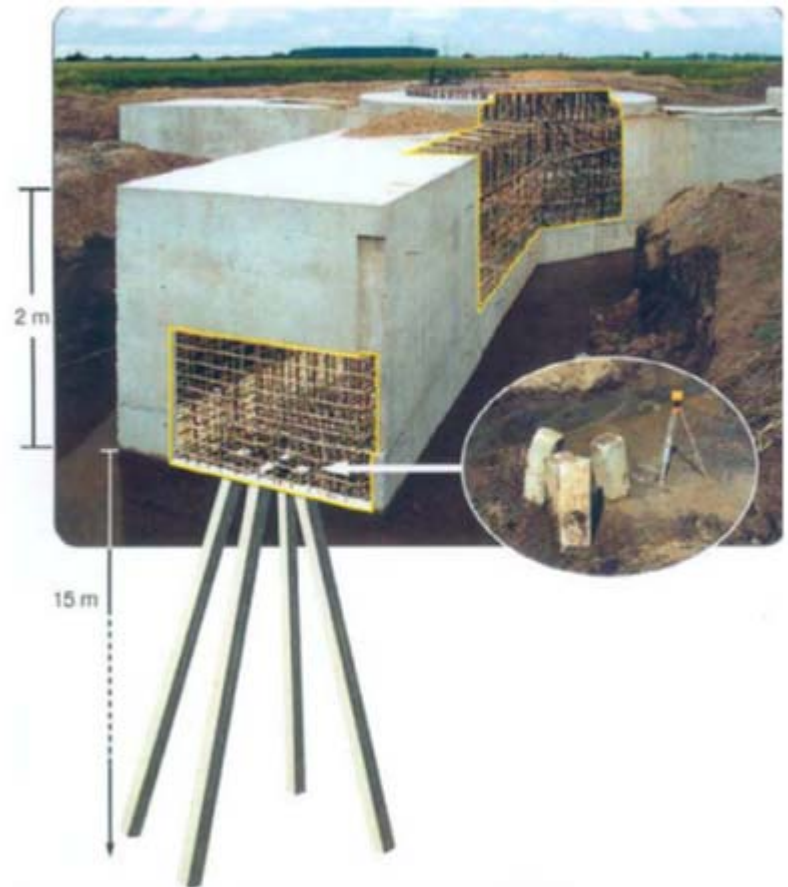
Quick facts

- Average wind speeds at 60m is 20% higher than at 15m
- 10% increase of wind speed yields 33% more power
- 20% longer blades leads to 44% more power
- 11% more power produced at -10°C than at 20°C
- Up to 50% more energy can be converted on the sea than onshore

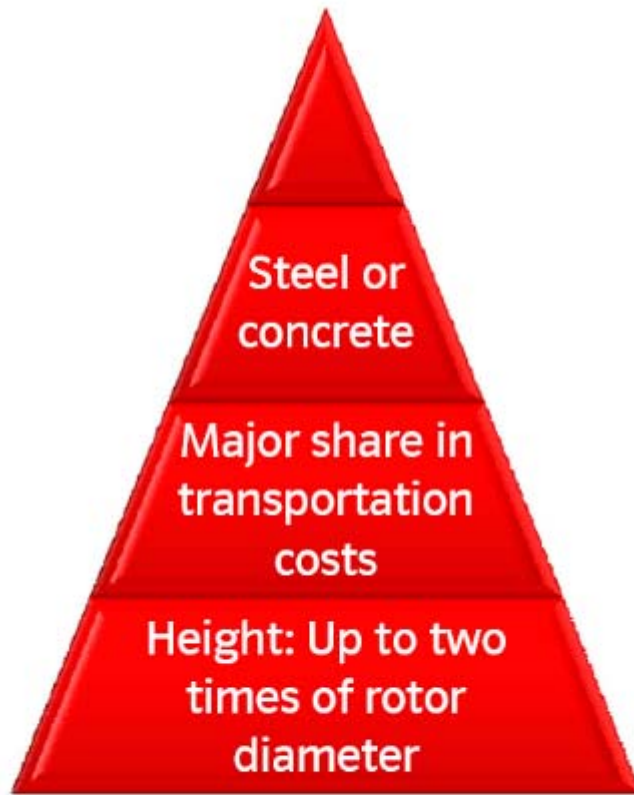


Foundations

- All Towers require a large foundation to resist the pressure and vibration caused by the rotating blades
- Foundations are made from concrete & steel, that make up a large part of the costs
- Onshore foundations weigh up to 1000t and can be up to 40m tall



Towers



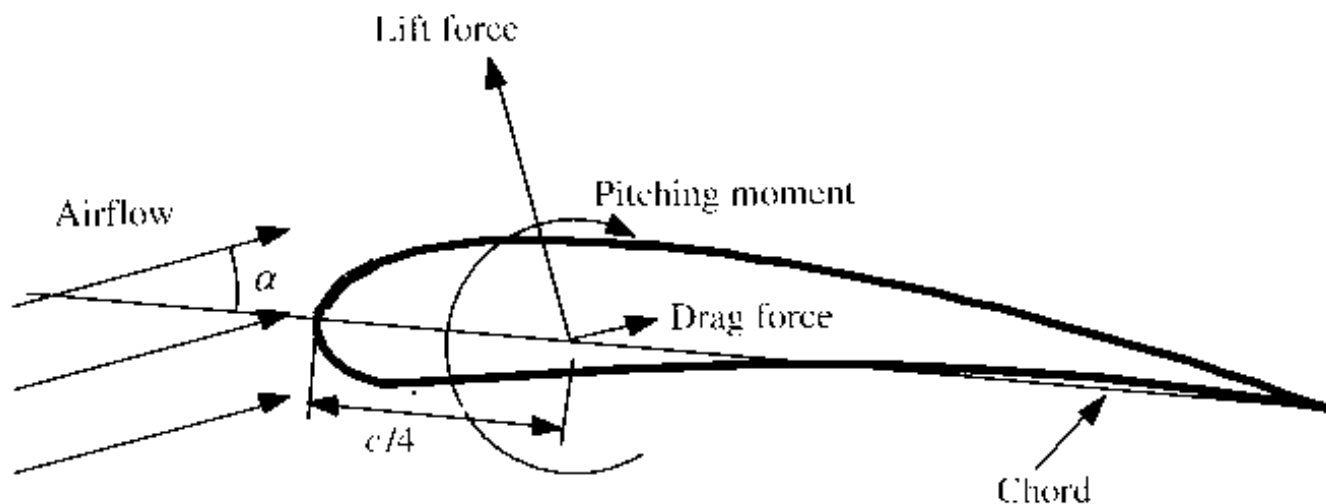
Future towers mainly will consist of concrete

Utformning av blad och rotor

Aerodynamik

När en luftström passerar bladets framkant går en del av luften ovanför och en del under bladet.

Beroende på anblåsningens vinkel skapas en lyftkraft som får rotorn att börja rotera.

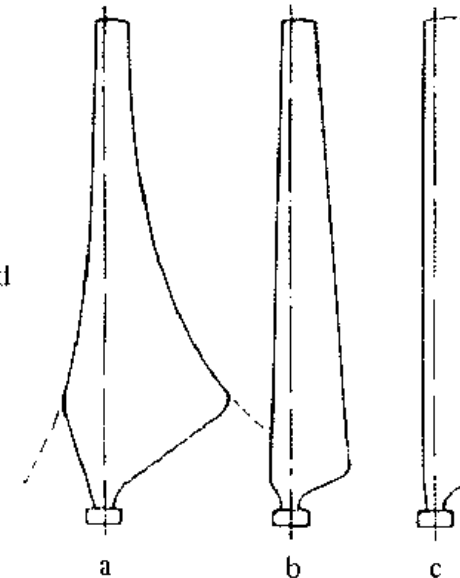


Bladprofilen

Bladen ser inte lika ut över hela ytan. De är tjockare vid basen och vrider sig sedan runt sin egen axel ut mot spetsen - de är torderade.

Förr användes blad som var lika över hela ytan, men utvecklingen har gått framåt och nu kan en större del av effekten i vinden tillvaratas p.g.a. av denna utveckling.

- a- Near optimum
- b- Linear taper
- c- Constant chord



Blades are the main determinant
of the turbine's efficiency!

Effektreglering används för att ta bort en del av energin i vinden (vid märkvind) så att inte vindkraftverket skadas när det blåser mycket. Detta kan göras på olika sätt:

- Stall

Stallreglering har främst använts på äldre verk. Bladets geometri är då fast utformat så att det bildas mer och mer turbulens ju högre vindhastigheten blir - > Lyftkraften minskar och motståndet ökar

- Pitch

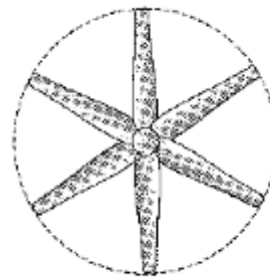
På ett pitchreglerat verk ändras bladvinkeln (alfa) så att man släpper förbi en del av vinden när vindhastigheten ökar. För att kunna göra detta krävs ett aktivt kontrollsystem som reglerar bladvinkeln i förhållande till vindhastigheten

Spets hastighet och löptal

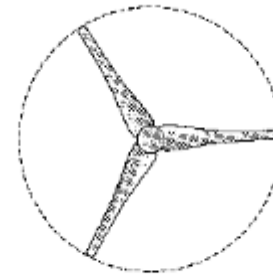
Man vill hålla ett visst förhållande mellan spets hastigheten och den ostörda vindhastigheten för att rotorn ska vara så effektiv som möjligt.

Detta förhållande kallas Löptal:

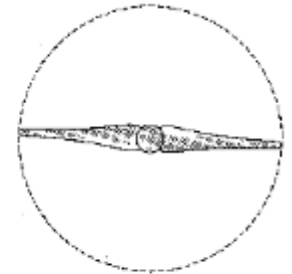
$$\lambda = \frac{v_{spets}}{v_{vind}}$$



$\lambda = 3$



$\lambda = 7$



$\lambda = 9$

Det optimala löptalet varierar beroende på antalet blad. För turbiner med tre blad ligger det runt 7. När det blåser mer behöver alltså rotorn rotera snabbare för att hålla kvoten konstant.

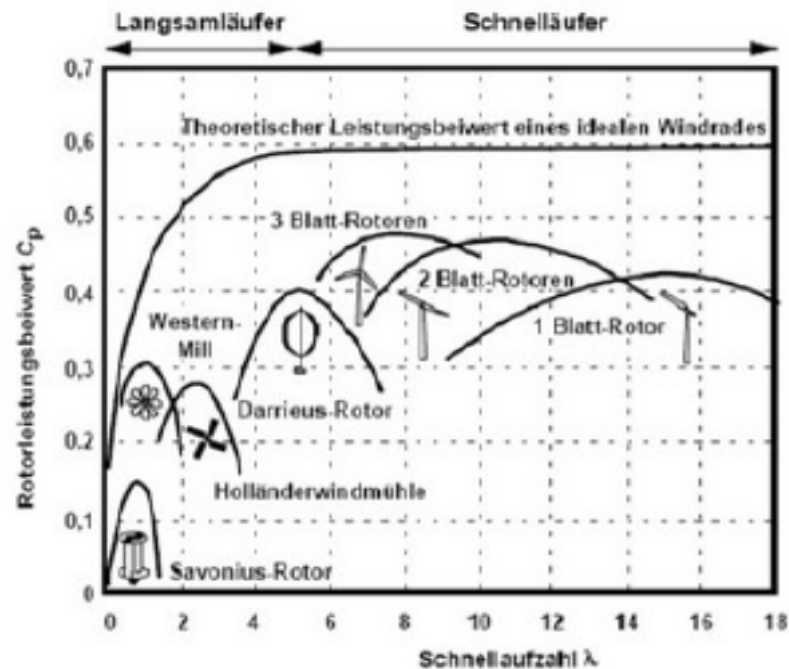
Hur många blad är då mest effektivt?

Teoretiskt sett är oändligt många och oändligt smala blad mest effektivt.

I praktiken är det en fråga om kostnad.

Tre blad ger 3% mer energi än två blad, men två blad ger mindre vikt och mindre materialåtgång, och är därmed billigare att tillverka.

Idag är tre blad
absolut vanligast.



Variabelt varvtal

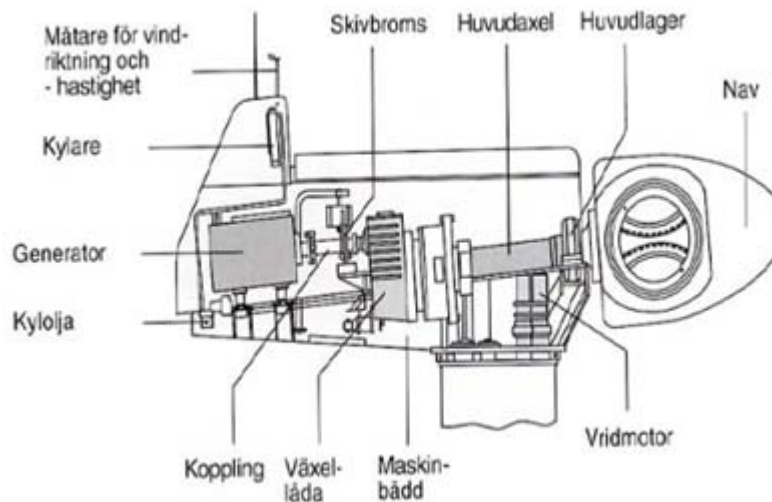
Tidigare användes ett fast varvtal på vindkraftverken. Detta har att göra med hur generatoren är utformad. Ett fast varvtal garanterar att man får rätt frekvens på elektriciteten som går ut på elnätet.

För variabelt varvtal krävs kraftelektronik som omformar AC till DC och sen tillbaka igen, så man får rätt frekvens.

Fördelen med variabelt varvtal är att effekten i vinden tas tillvara på ett bättre sätt. När det blåser mer vill man att rotorn ska kunna rotera fortare. Detta har att göra med den optimala spetshastigheten...

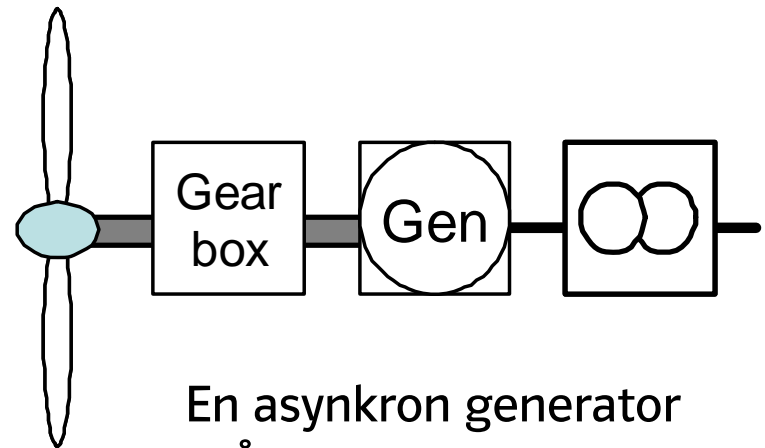
Horizontalaxlad turbin

- Huvudaxeln går horisontellt och sitter uppe i ett maskinhus vid navhöjd
- Rotorn sitter nästan alltid framför maskinhuset, mot vinden
- Olika tekniska lösningar
 - med växellåda
 - med kraftelektronik
 - direkt driven generator
 - hybrider



Med växellåda

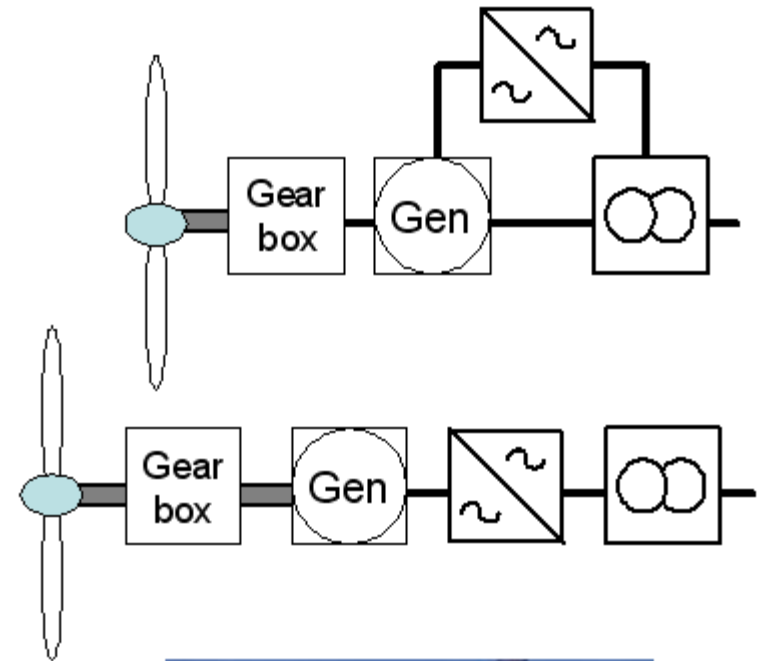
- Asynkron generator med fast varvtal
- Trestegs växellåda
- Robust konstruktion
- Rotorn är "hårt" kopplad till generatoren som i sin tur är kopplad till elnätet, vilket gör att frekvensens 50 Hz måste hållas och rotorn kan bara gå med en bestämd hastighet
- Stallreglering
- Tillverkas nästan inte längre idag



En asynkron generator
MÅSTE vara ansluten till
elnätet för att fungera

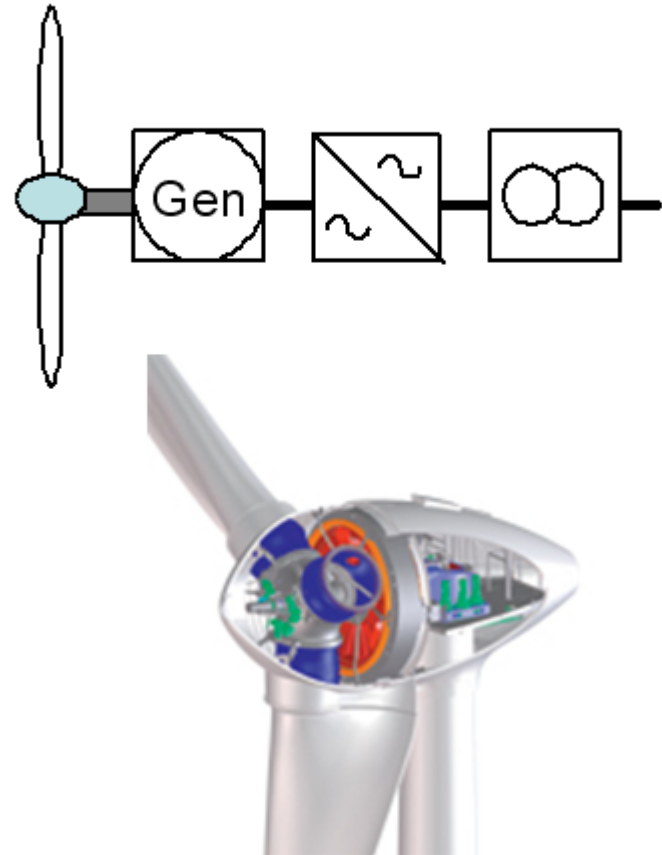
Med växellåda och kraftomformare

- Ger en mjukare koppling mellan rotorn och generatoren, som tillåter variabelt varvtal
- Ger effektivare användning av vindens effekt
- Ger även mindre belastning på de mekaniska delarna eftersom hastiga vindbyar tas upp av rotorn
- Pitchreglering
- Exempel på tillverkare:
 - Vestas V80/V90
 - Siemens 2.3/2.6
 - REpower 5M



Direktdriven generator, utan växellåda

- Mångpolig synkrongenerator med lågt varvtal
- Rotorn driver generatorn direkt
- Kan gå med variabelt varvtal om kraftomformare används
- Mer robust p.g.a. färre mekaniska delar eftersom växellådan har kunnat utelämnas
- Pitchreglering
- Exempel på tillverkare:
 - Enercon
 - Siemens 3.6 (under uppförande)



Hybrider

- Flerpolig generator
 - Enstegs växellåda
- => Blandning av de båda tidigare koncepten
- Exempel på tillverkare:
 - Areva Multibird M5000
 - WinWinD WWD-3

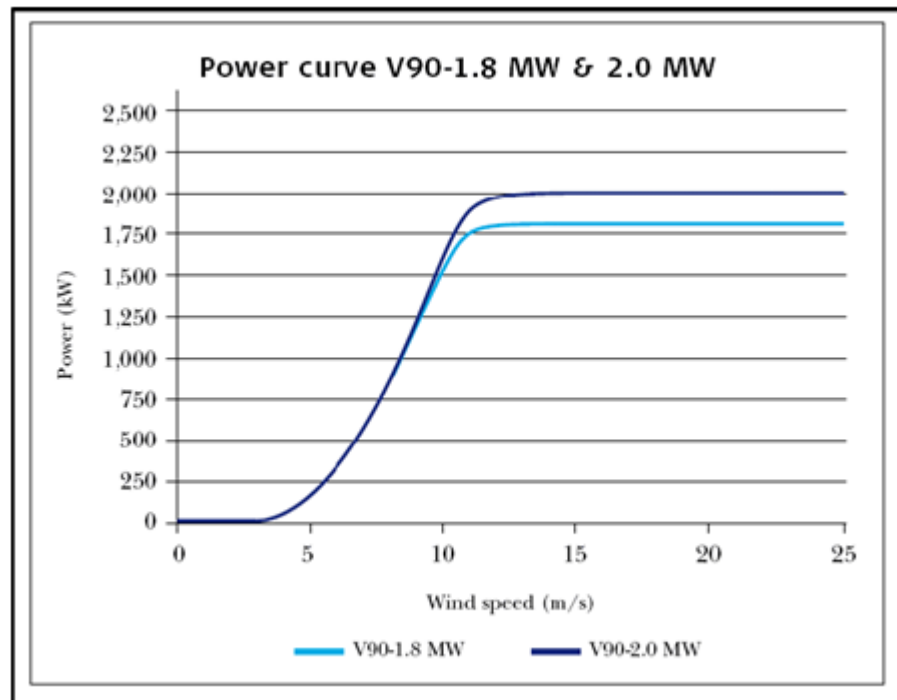


Effektkurvan

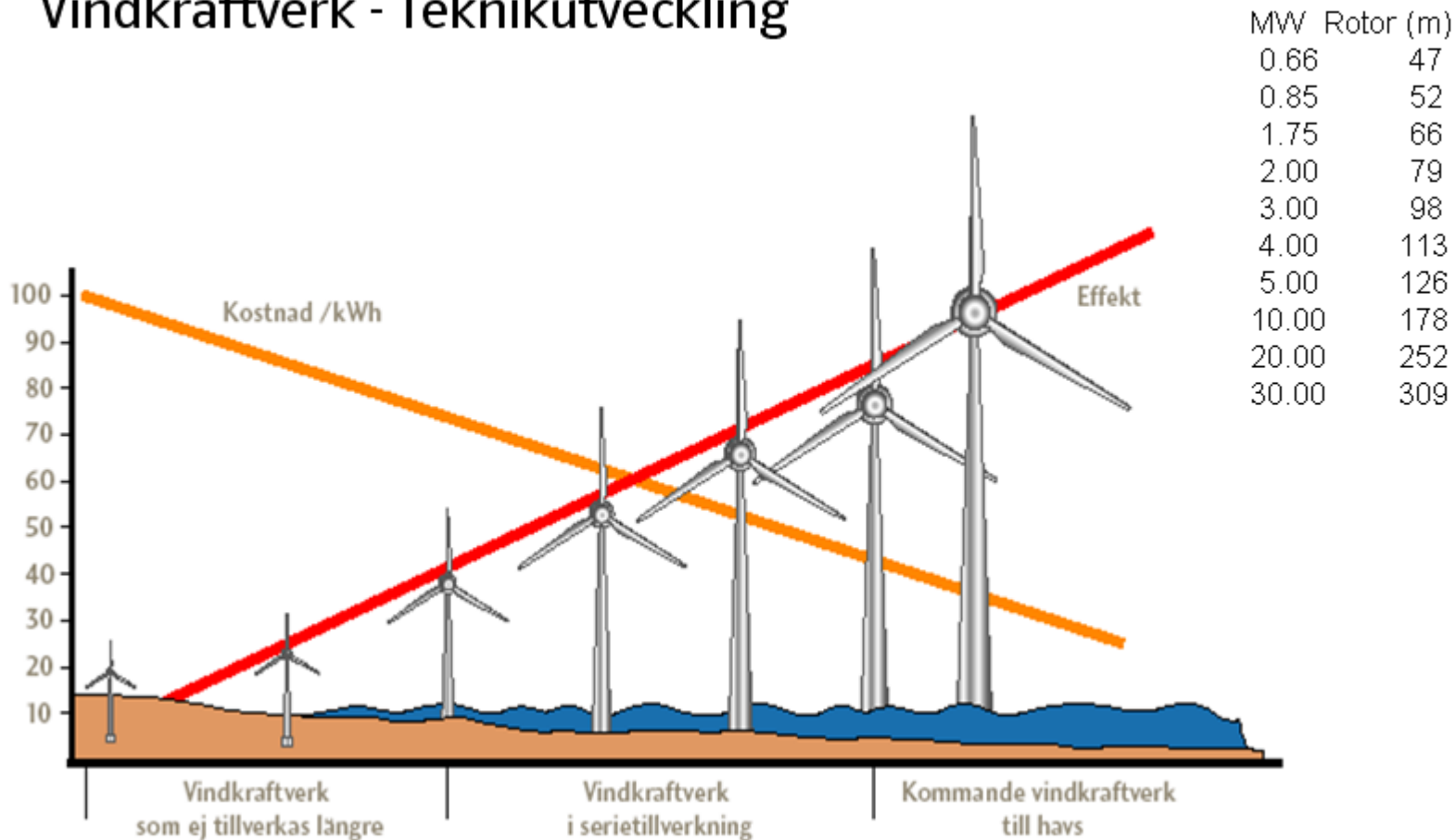
Ett vindkraftverks effektkurva beskriver vilken effekt som levereras vid vilken vindhastighet.

Ett vindkraftverk börjar leverera el vid vindhastigheter på 3-4 m/s. Vid ca 10 m/s ger vindkraftverket maximal effekt, (märkeffekt - rated power)

Även om det sen blåser mer levereras inte mer uteffekt. Effektregeringen går in och håller effekten konstant.



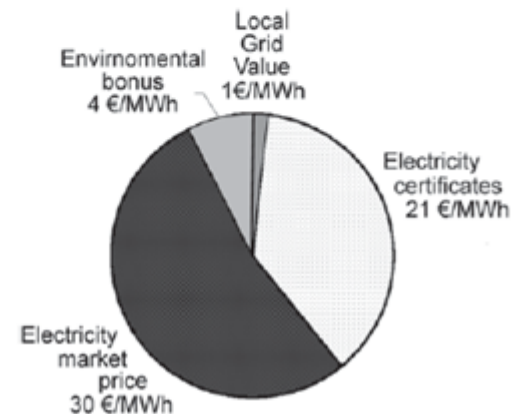
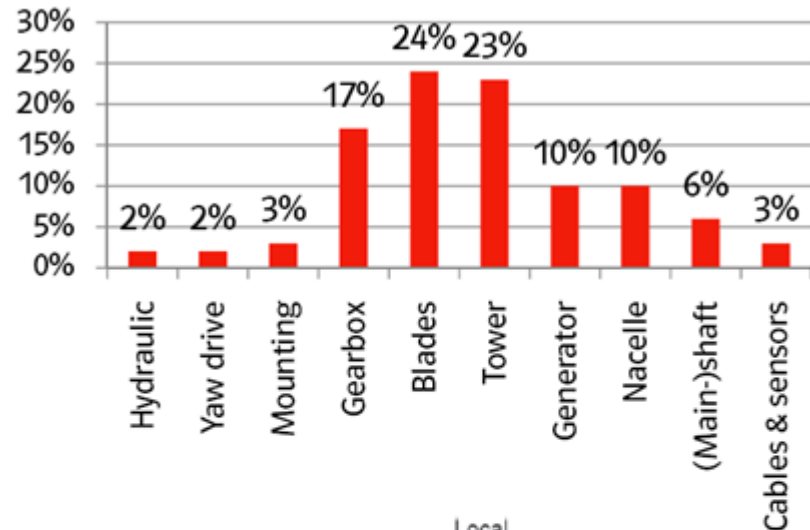
Vindkraftverk - Teknikutveckling



Financials of wind turbines

- 75% of costs are direct costs, 25% indirect (foundations, grid connection etc.)
- 900 to 1000€ per kW capacity (for a 2.5 MW WTG)
- 20 years lifetime estimate
- Over 120 000 hours of operation
- Capacity factors:
 - < 3 000 hrs/year onshore (~30%)
 - < 4 000 hrs/year offshore (~40%)

Plant CAPEX



Olika typer av vindturbiner

Vertikalaxlad turbin – Vertical Wind

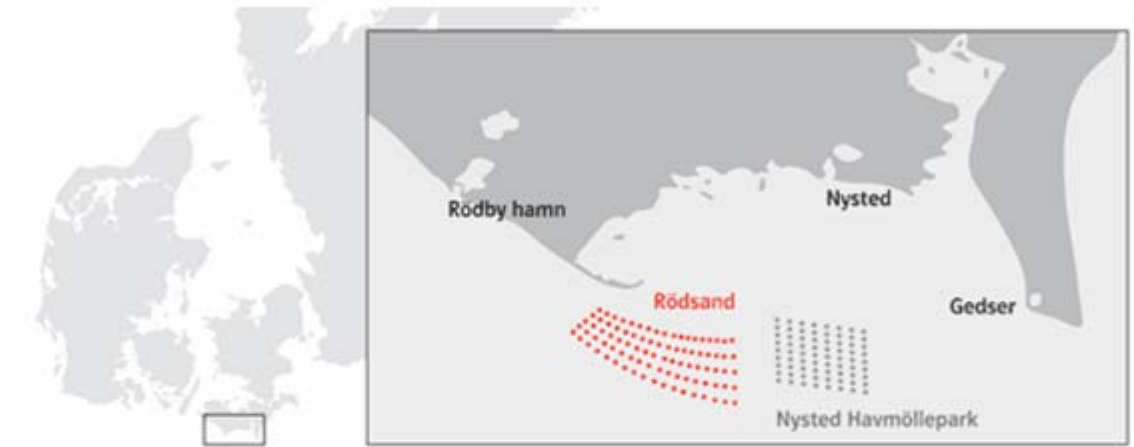
- Färre rörliga delar
- Enkel och robust konstruktion
- Längre livslängd
- Låga kostnader för service och underhåll
- Okänslig för vindriktning
- Mindre ljud än traditionella vindkraftverk
- No gearbox, no yawning mechanism, generator at ground level



Offshore - Rødsand

"Rødsand 2 består av 90 vindkraftverk med en samlad effekt på 207 megawatt och ska producera 800 miljoner kilowattimmar per år och kommer att förse 200 000 hushåll med el.

Rødsand 2 ersätter kolkraft och minskar därmed utsläppen av koldioxid med 700 000 ton per år i det nordiska elsystemet."



Flytande turbiner

- HyWind (Siemens turbin)
 - 2.3 MW turbin (i drift)
 - 100m skrov
- SWAY (Areva Multibird turbin)
 - 5 MW turbin (under uppförande)
 - Rotorn sitter bakom maskinhuset
 - 100m skrov
- Blue H (Gamma 2 blad turbin)
 - 2.4 MW turbin (under uppförande)
 - 30m skrov
- Olika lösanden?
 - Offshore vertikalaxlad turbin



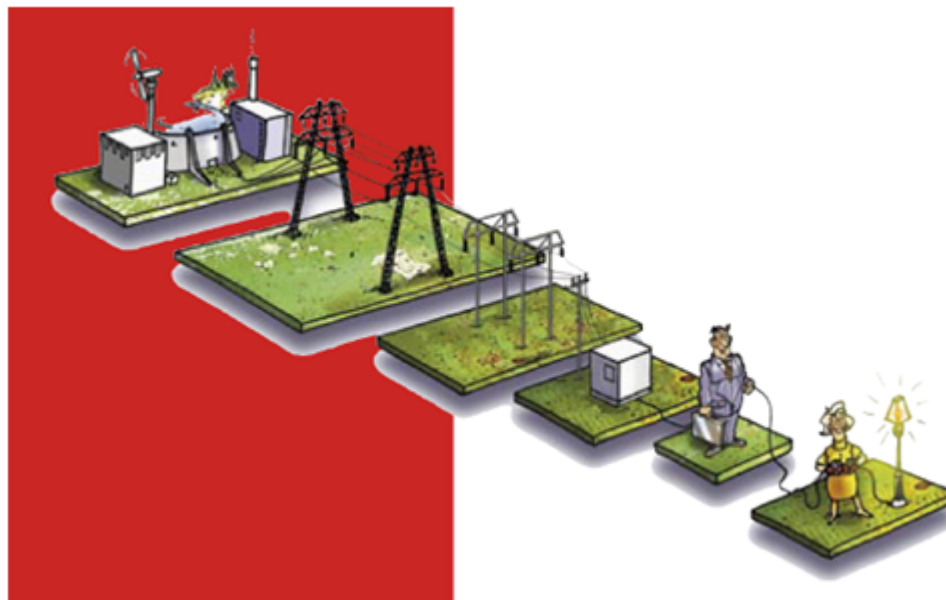
Det svenska elnätet

I Sverige tillverkas ca 140 TWh el varje år

- Kärnkraft ca 65 TWh
- Vattenkraft ca 61 TWh
- Värmekraft ca 13 TWh
- Vindkraft ca 1 TWh

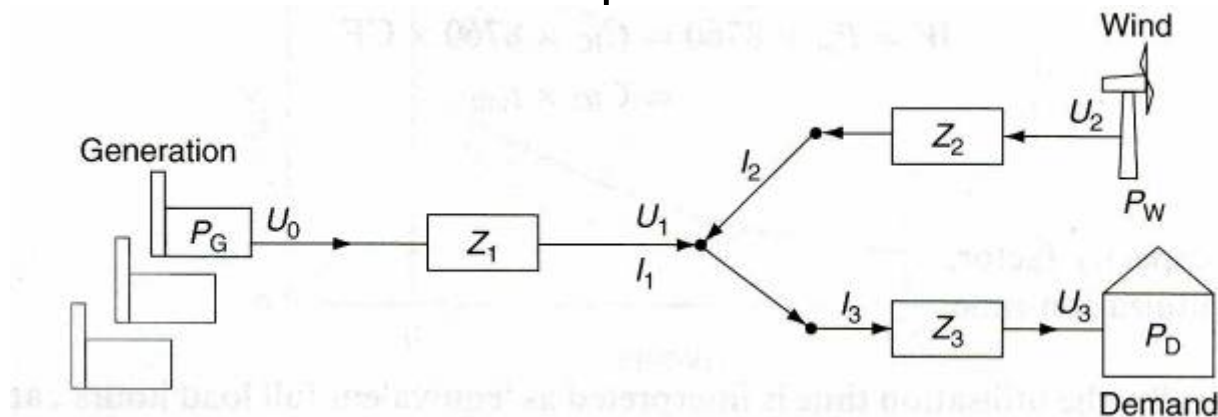
Kraftnätet är dimensionerat för en centraliserad kraftproduktion

Stamnät	400 kV
Regionnät	130 kV
Lokalnät	50, 20, 10 kV



Vindkraften i kraftsystemet ställer andra krav.

Det byggs ofta på platser där elnätet inte är utbyggt = svaga nät och dålig kapacitet att ta emot kraften som produceras

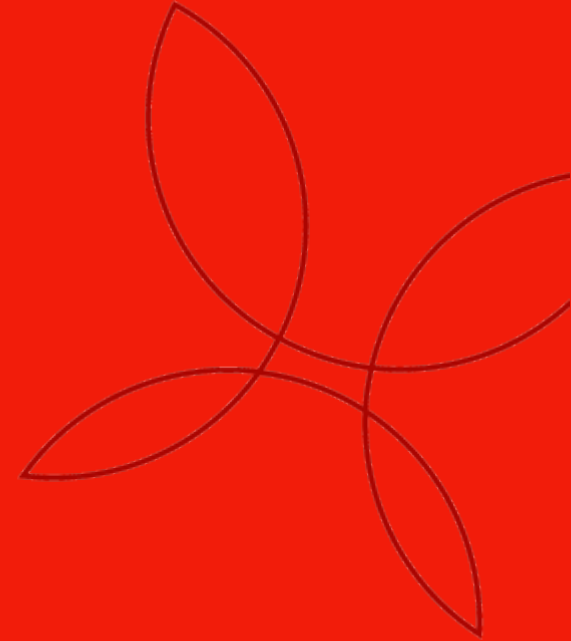


Numera går det allt mer mot stora anläggningar, och därmed kommer inkopplingen på nätet att ske på regionnivå. Problemet kringgås.

Det måste även finnas balanskraft som kan användas de dagar vindkraften inte producerar. Vattenkraften är idealt för detta ändamål. Elbilar kanske också!

e.on

Climate &
Renewables



Projektering

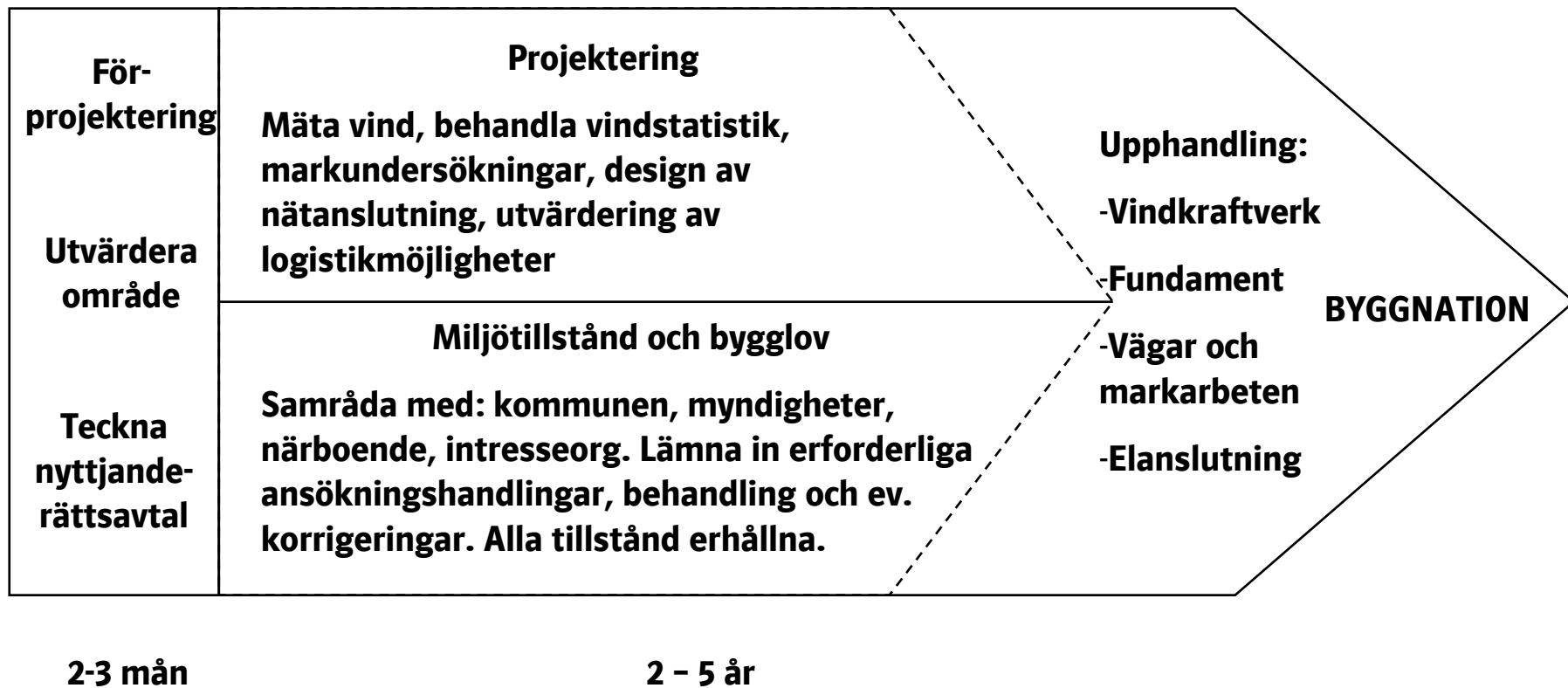
Projektering

Mitt jobb innebär att hitta och driva vindkraftsprojekt och få dem byggda

Vad är en lämplig plats för vindkraft?

- Det ska blåsa!
- Tillräckligt stor yta
- Tillräckligt avstånd till närboende för att klara ljud- och skuggkrav
- Kust- eller slättlandskap, men även skogslandskap är intressant med dagens navhöjder
- Det ska helst finnas befintlig infrastruktur (väg, elnät...)
- Inga motstående intressen, naturskyddsområden eller liknande

E.ON Vinds arbetsprocess för projektering



Projekteringsgången – Origination

- Analysera marknaden!



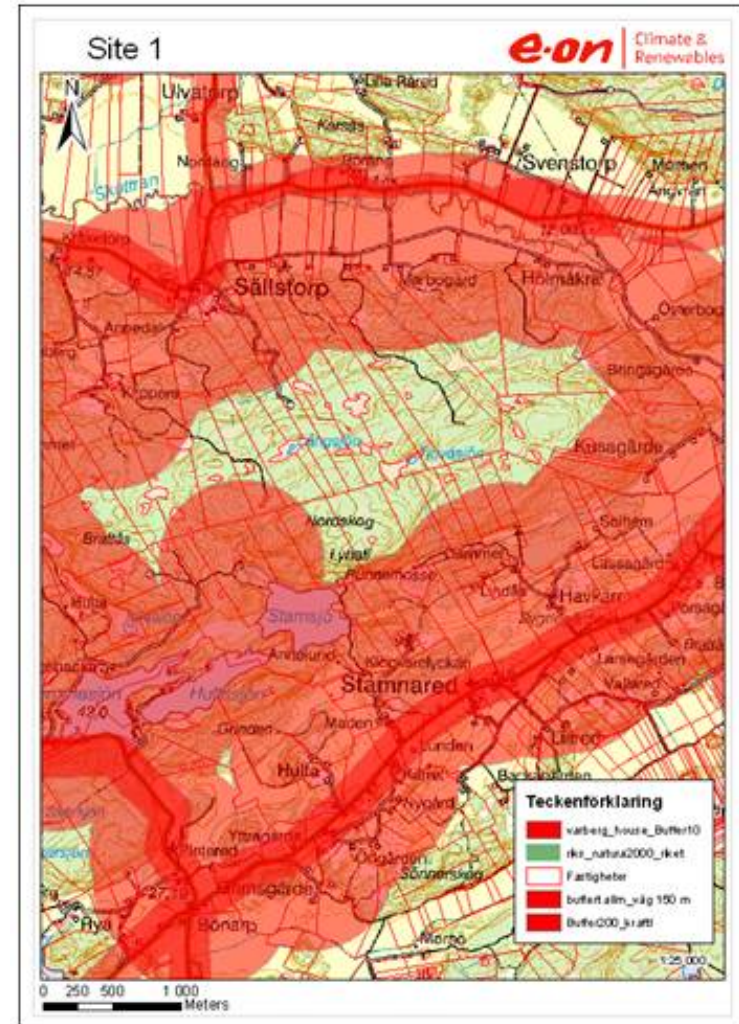
Projekteringsgången - Origination

- Analysera marknaden!
- Identifiera område



Projekteringsgången – Origination

- Analysera marknaden!
- Identifiera områden
- Ta fram karta på fastigheten



Projekteringsgången – Origination

- Analysera marknaden!
- Identifiera områden
- Ta fram karta på fastigheten
- Kontakta och möta markägare, säkra affärsmöjlighet



Projekteringsgången – Origination

- Analysera marknaden!
- Identifiera områden
- Ta fram karta på fastigheten
- Kontakta och möta markägare,
säkra affärsmöjlighet
- Ta fram ekonomisk kalkyl.
Preliminär produktionsberäkning

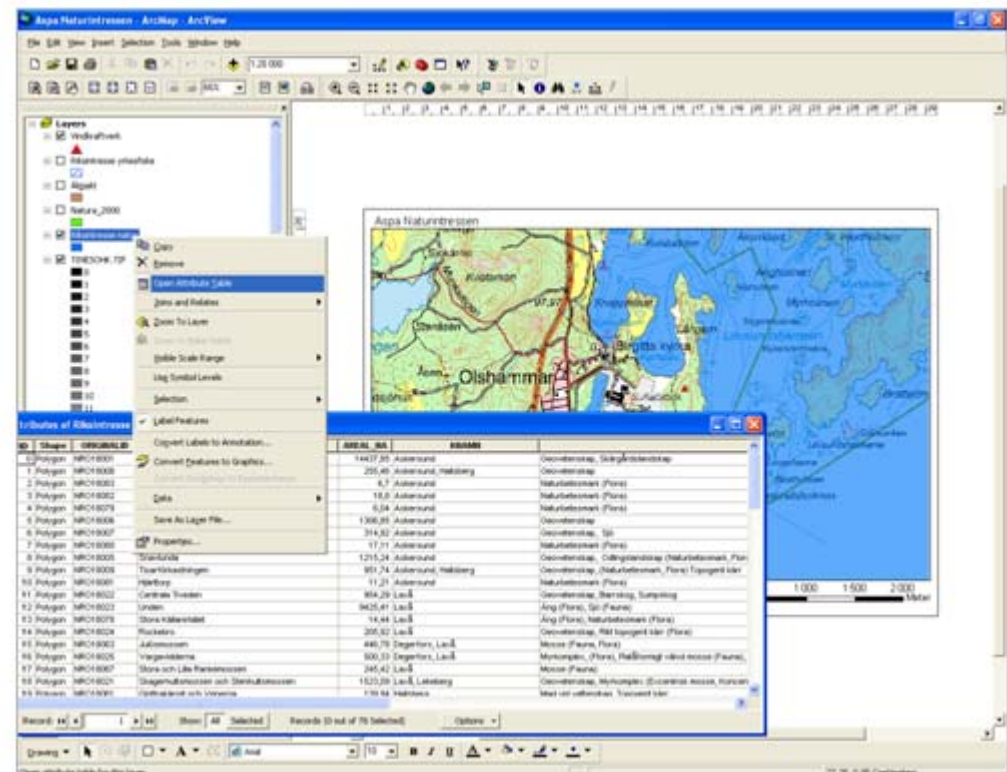
Projekteringsgången – Development

- Undersök förutsättningarna och vindmätning



Projekteringsgången - Development

- Undersök förutsättningarna och vindmätning
- Kartunderlag, parklayout och fotomontage



Ljud

- Teoretisk ljudutbredning, enligt "värsta fall"- principen.
→ Medvind åt alla håll m m
- Modellen utgår från en vindhastighet på 8 m/s på 10 m höjd, vilket visar sig ge starkast inverkan utan att ljudet maskeras av vindsus så som vid högre hastigheter
- Beräkningarna är gjorda med en Nordex N90LS med en uppmätt källjudnivå på 103,3 dB(A)
- Maximalt ljudnivå blir runt 39 dB för husen vid kyrkan



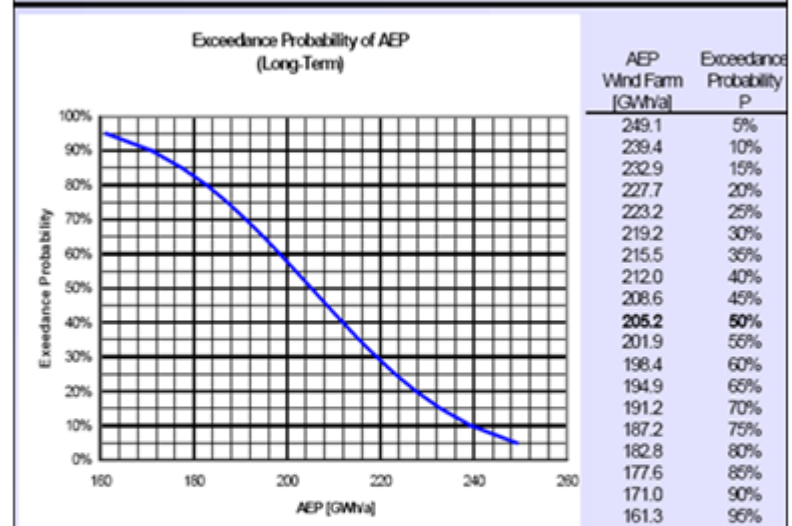
Fotomontage – Nynäs



Projekteringsgången – Development

- Undersök förutsättningarna och vindmätning
- Kartunderlag, parklayout och fotomontage
- Produktionsberäkning

Exceedance Probabilities, Uncertainty 13%		Wind Farm	per WT
Long-term AEP		205.2	3.87
AEP exceeded with a probability of 50%		205.2	3.87
AEP exceeded with a probability of 75%		187.2	3.53



Uncertainties due to:

- Inaccuracies in wind measurements
- Inaccuracies in WTG specs.
- Differences in roughness, obstacles and topography between the site of the metmast and the WTG
- Correlating with long-term averages

Projekteringsgången – Development

- Undersök förutsättningarna och vindmätning
- Kartunderlag, parklayout och fotomontage
- Produktionsberäkning
- Söka tillstånd och bygglov

Projekteringsgången – Construction

- Köpa vindkraftverken och förbereda område



Projekteringsgången – Construction

- Köpa vindkraftverken och förbereda område
- Bygga anläggning



Projekteringsgången – Construction

- Köpa vindkraftverken och förbereda område
- Bygga anläggning
- Driva och underhålla anläggningar

Frågor, funderingar, exjobb, jobb...

Kontakta

Henrik Malmberg, projektledare

Henrik.Malmberg@eon.se

0702-94 61 63

Anton Andersson, technical expert

Anton.Andersson@eon.se

0702-94 02 44

Marcus Landelin, marknadschef onshore

Marcus.Landelin@eon.se

040-25 50 00

