



Gerard Schepers

*“Technische ontwikkelingen in het belang van omwonenden van windparken”*



# Sociaal economische discussiepunten

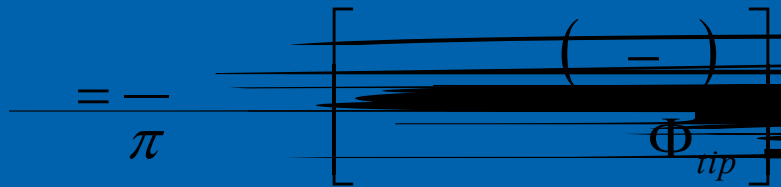
- Geluid
- Visuele impact
- Vogelaanvaringen
- Kosten

# Hoe lossen we dit op



# Of misschien toch zo???

$$P = C_p \frac{1}{2} \rho V^3 \pi R^2 \quad \rho \left( \frac{\partial}{\partial x} + x \frac{\partial}{\partial x} + y \frac{\partial}{\partial x} + z \frac{\partial}{\partial x} \right) = - \frac{\partial}{\partial t} + \mu \left[ \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \right] + \rho$$



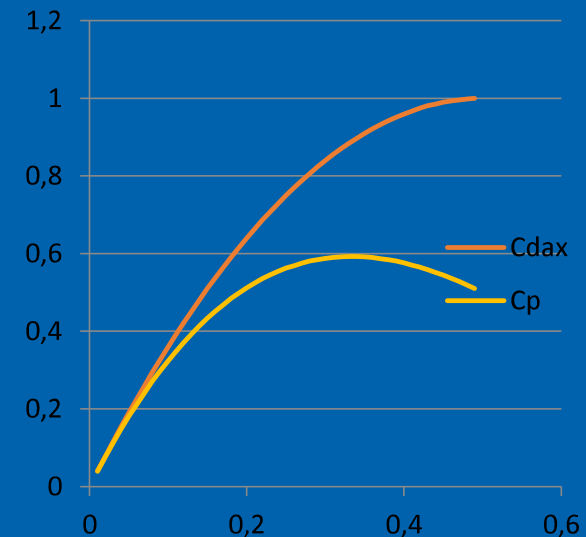
$$P = \Omega T$$

$$F_{ax} = C_{Dax} \frac{1}{2} \rho V^2 \pi R^2$$

$$B c_1 0.5 V_{eff}^2 c \cos(\phi) = 2 \pi r V_w^2 2a(1-a)$$

$$\text{Noise} \sim (\Omega R)^5$$

$$\text{Tip speed ratio } (\lambda) = \frac{\Omega R}{V}$$



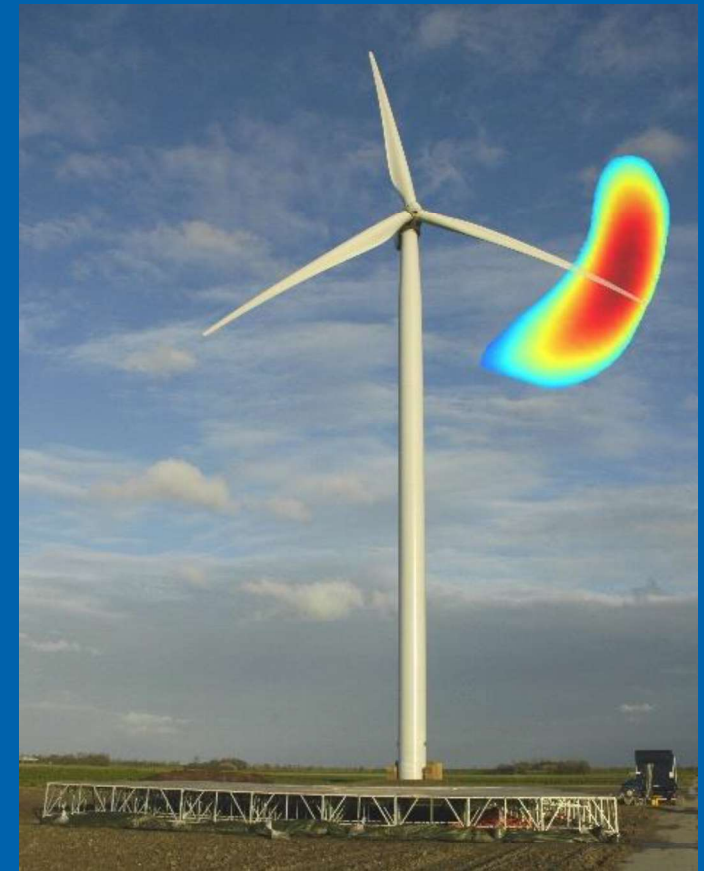


# Sociaal economische discussiepunten

- *Geluid*
- Visuele impact
- Vogelaanvaringen
- Kosten

# Geluidsonderzoek: EU project Sirocco

- Geluidsbronnen geprojecteerd op rotorvlak van GE turbine op ECN testveld
- Nieuwe (2006) meettechniek van NLR:
  - Akoestisch array (152 microfoons)
- Meeste geluid aan buitenkant blad
- Meeste geluid bij neergaande beweging



# Sirocco project: Geluidsreductie

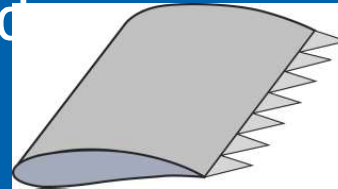
Nieuwe **bladvorm** (airfoils) en **zaagtanden** (serrations) aan **buitenkant** blad



*reference*



*airfoil*

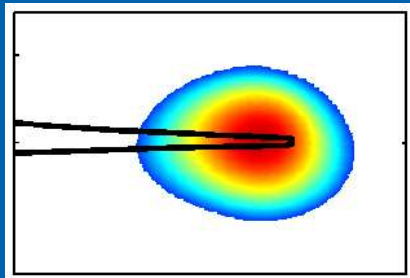


*serrations*

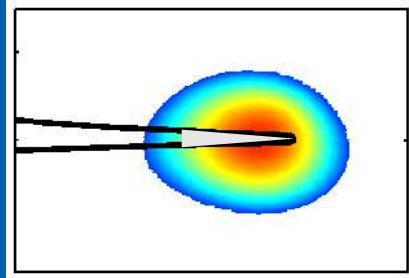


Courtesy: Stefan Oerlemans, NLR

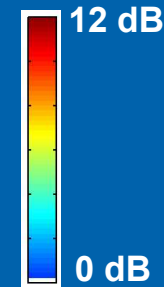
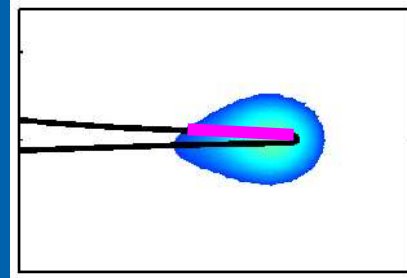
*reference*



*airfoil*



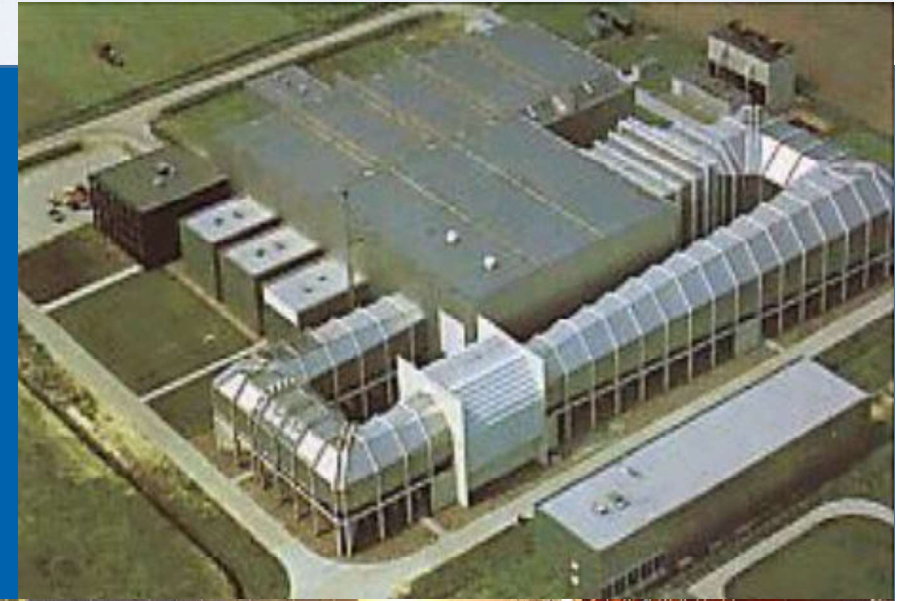
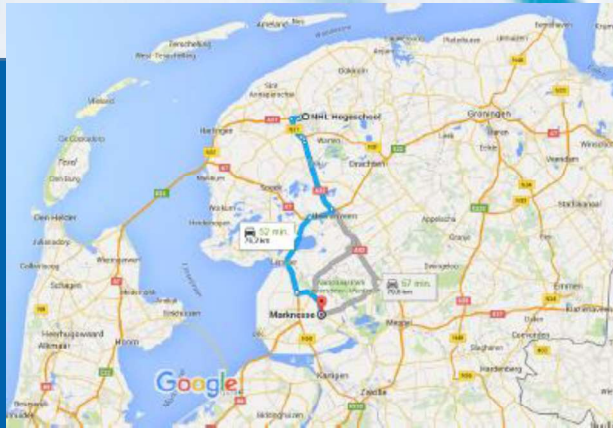
*serrations*



\*) J.G. Schepers et al

Final report of EU project 'Silent Rotors by Acoustic Optimisation' ECN-E-08-015, 2008

# Geluidsonderzoek uit (New)Mexico projecten

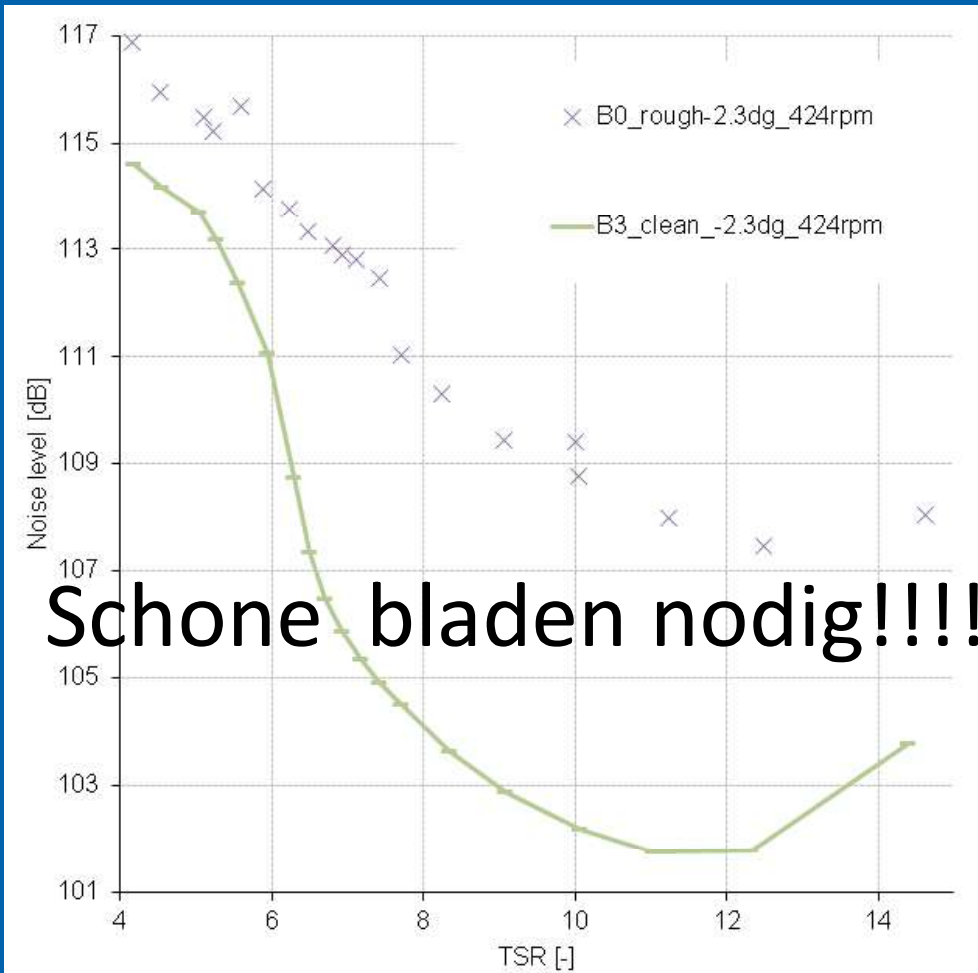


- EU projecten, gecoördineerd door ECN
- Duits-Nederlandse Wind tunnel (DNW)
  - $9.5 \times 9.5 \text{ m}^2$
  - Rotor diameter:  
4.5 m
    - Druk en stromingsmetingen
    - **Acoustische metingen**





# New MEXICO: Schone bladen reduceren geluid



Kunstmatige vervuiling  
op blad





Geluid neemt sterk af met  
toerental  $\omega$

Geluid  $\sim (\omega R)^5$

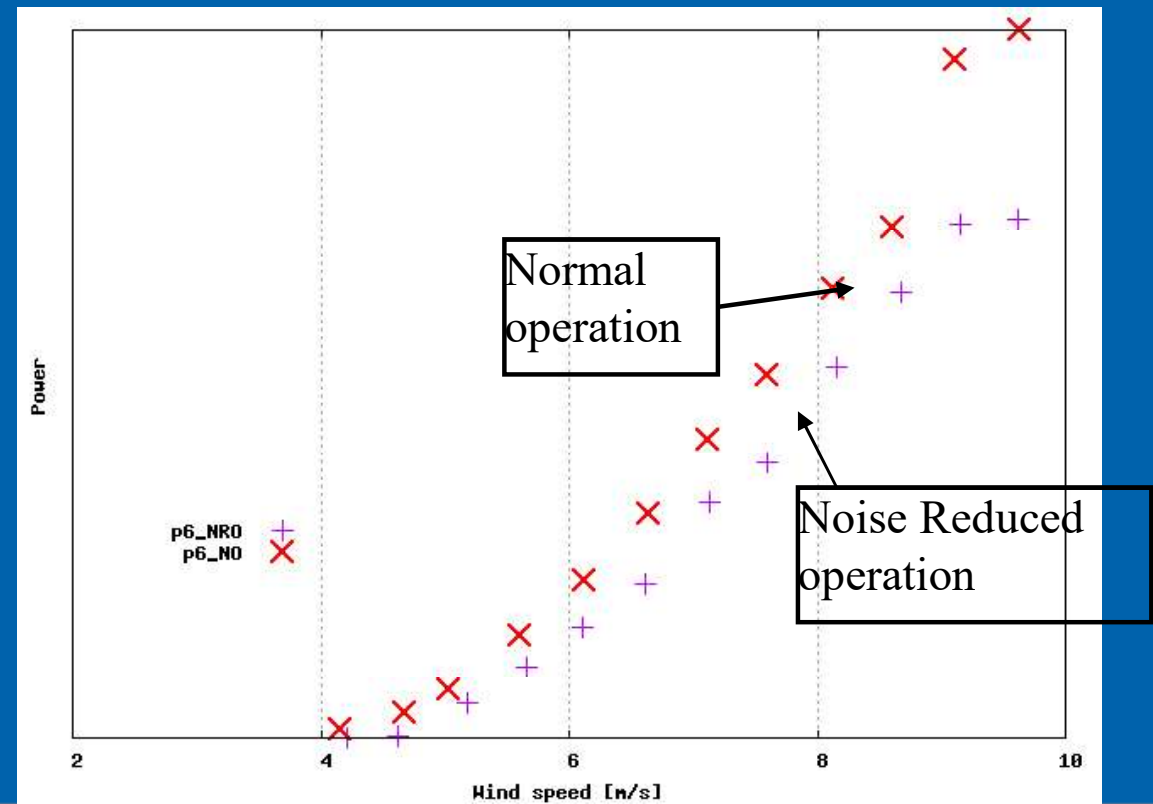
Toerental: 2x lager

Geluid: 32x lager!

# ‘Noise reduced’ bedrijf op ECN

- Lager toerental gedurende nacht
- Iets minder opbrengst:  

$$P = C_P \frac{1}{2} \rho V^3 \pi R^2$$
- Veel minder geluid



# Kennis opgenomen in *Kennisbericht Geluid*

## **Multidisciplinair projectteam:**

- RIVM
- AWS
- ECN
- Energy Academy Europe/RUG
- GGD GHOR Nederland

## **Doel:**

- Dialoog tussen alle belanghebbenden
- Kennisbericht voor beleidsmakers op <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2015/07/22/bijlage-1-pilot-kennisplatform-windenergie-kennisbericht-geluid-van-windturbines>



# Sociaal economische discussiepunten

- Geluid
- *Visuele impact (Aantal Bladen!)*
- Vogelaanvaringen
- Kosten

Meer bladen(B): Lager toerental (W)  
vanwege lagere snellopendheid |  
Minder storend



$\lambda = 1$

$\lambda = 3$

$\lambda = 8$

$\lambda > 15$



Hoger toerental

$$\text{Snellopendheid } (\lambda) = \frac{\Omega R}{V}$$



- Jaren 90: 2 Bladige turbines technisch- economisch optimaal, maar...
  - Ze zijn draaien sneller en zijn daardoor onrustiger (en maken meer geluid)
- Huidige turbines zijn daarom 3 bladig en minder storend
- Om dit te begrijpen hebben we formules nodig:

$$B c_1 0.5 V_{\text{eff}}^2 c \cos(\phi) = 2 \pi r V_w^2 2a(1-a)$$

$$L_p \sim (\Omega R)^5$$

$$F = \frac{2}{\pi} \arccos \left[ \exp - \frac{B(R-r)}{2R \sin \Phi_{\text{tip}}} \right]$$

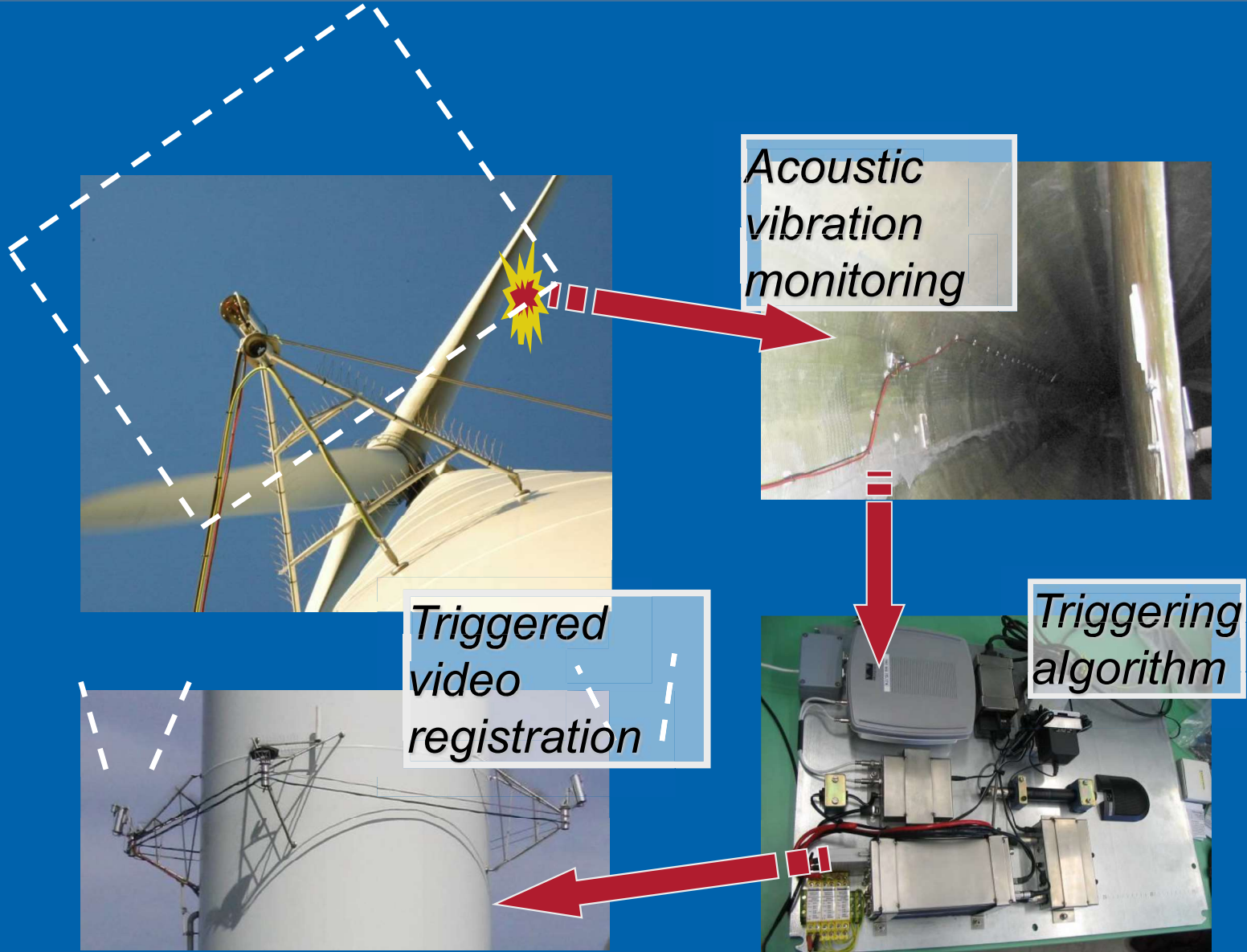


# Sociaal economische discussiepunten

- Geluid
- Visuele impact
- *Vogelaanvaringen*
- Kosten



# WT-Bird (foto's ECN)



# WT BIRD, schieten van tennisballen om vogelaanvaringen te simuleren



# Sociaal economische discussiepunten

- Geluid
  - Visuele impact
  - (Vogelaanvaringen)
  - *Kosten*
- } Off-shore!!



## Kosten/kWh (LCOE) sterk afhankelijk van locatie <sup>1)</sup>

- On-shore: 7 – 12.2 Eurocents/kWh
- Off-shore:
  - 13.5 Eurocents/kWh ( $h_{\text{water}} < 10\text{m}$ )
  - 15 Eurocents/kWh ( $h_{\text{water}} > 10\text{m}$  gunstige locatie)
- ‘Conventionele energie’: 5-6 Eurocents/kWh (ofschoon...)
- Dus off-shore wind energie vele malen duurder!!!!

TECHNIEK MAAKT JE WERELD

## DE INGENIEUR

### LAAGTERECORD KOSTPRIJS OFFSHORE WINDENERGIE

6 JULI 2016



Het Deense energiebedrijf Dong Energy gaat het 700 MW grote windpark Borssele aanleggen voor een kostprijs onder € 100 per MWh. De overheid

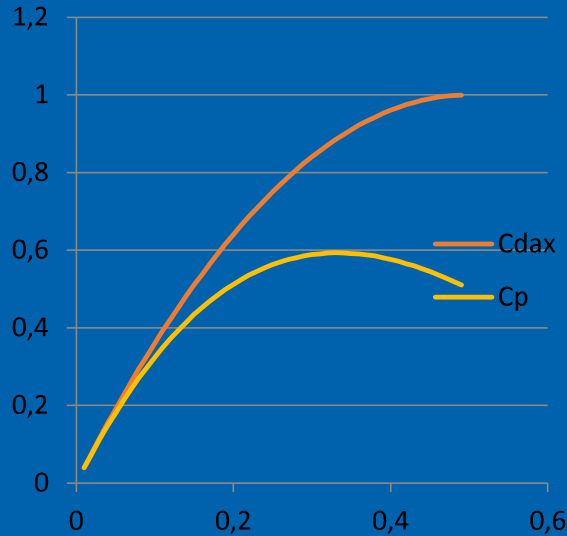
**7.27 cent/kWh (excl 1.4 cent/kWh aanlegkosten)!!!!  
Enorme kostprijsreductie (o.a. door technologische voortgang)**

# Hoeveel is 1 kWh?

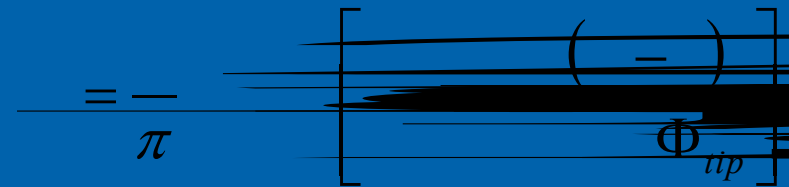
1 dag hard werken....



# Conclusies



$$P = C_P \frac{1}{2} \rho V^3 \pi R^2$$

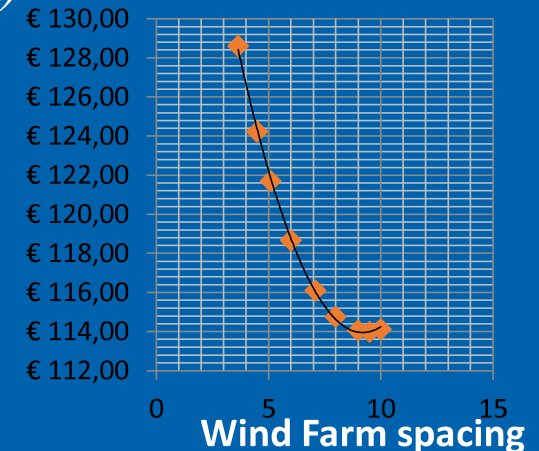


$$\text{Tip speed ratio } (\lambda) = \frac{\Omega R}{V}$$

$$B c_l 0.5 V_{eff}^2 c \cos(\phi) = 2 \pi r V_w^2 2a(1-a)$$

$$\text{Noise} \sim (\Omega R)^5$$

$$P = \Omega T$$



→ On-shore: Stiller en mooier

→ Off-shore: Goedkoop

De weg naar betere sociale acceptatie!