

Notitie tbv energietransitie door windturbineparken

Waarom deze notitie?

In Gorinchem speelt op het ogenblik een plan om in het kader van de energietransitie een groot aantal grote windturbines te bouwen in het Avelingen-gebied.

Over de noodzaak van die transitie bestaat geen misverstand, maar wel over de manier waarop. Naast andere mogelijkheden (zonneweiden, waterturbines, kernenergie) is windkracht een optie. Voor het nemen van een besluit daarover dienen echter we de basisprincipes duidelijk te zijn en dienen aspecten als veiligheid, geluids- en trillingshinder grondig te worden onderzocht.

In de discussie over de voor- en nadelen van windturbines en -parken wordt regelmatig gebruik gemaakt van risico analyse benaderingen om de veiligheid van windturbines te beoordelen. In die systematiek maakt men gebruik van modellen die de luchtkrachten buiten beschouwing laten en beperkt men zich tot de zwaartekracht en centrifugaalkracht om werpafstanden van afbrekende wieken te bepalen. Men gaat niet uit van de primaire krachten die de turbines doen draaien en die de energie uit de lucht moeten winnen.

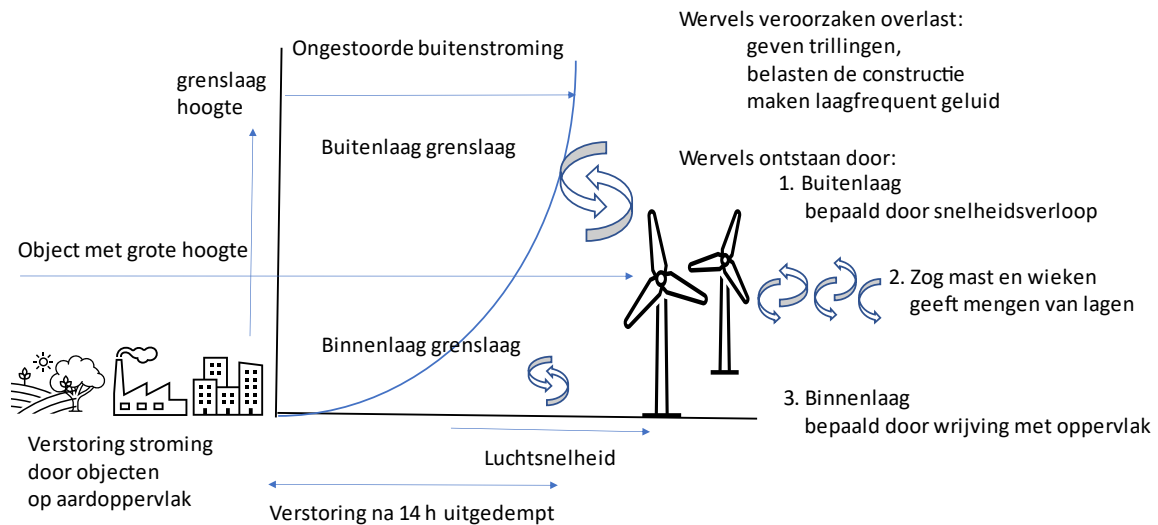
Deze vereenvoudiging doet afbreuk aan de volledigheid en betrouwbaarheid van de bevindingen en conclusies. Het vermogen van de huidige windturbines is groot: 3 tot 5 MegaWatt, met navenant grote windkrachten die bij belasten en bezwijken van de turbines en wieken een hoofdrol spelen.

Daarnaast is de atmosferische grenslaag zeer complex van aard: er is een grenslaag tussen het aardoppervlak en de vrije stroming hoog boven in de lucht. In die grenslaag speelt naast de snelheid van de stroming, turbulentie een grote rol in de vorm van windvlagen, zog en wervels. Dit stromingspatroon is zeer complex, zeker bij hoge windsnelheden van 6 tot 9 Beaufort. Dit patroon is dan ook wiskundig (met Computational Fluid Dynamics) en experimenteel (in windtunnels) zeer moeilijk na te bootsen. Betrouwbare en volledige modellen voor onderzoek zijn schaars, zeker voor grootschalige toepassingen als windturbines en turbineparken in wisselende gebruiksomgevingen. Het is daarom terecht, dat de gemeenteraad heeft besloten, dat er onderzoek moet worden ingesteld. Het ontbreken van een goede normering op Nederlands of Europees niveau maakt die noodzaak alleen maar groter.

Het is een grote uitdaging deze stromings- en luchtkrachtenproblematiek uit te leggen aan leken zonder afbreuk te doen aan de noodzakelijke diepgang in het vakgebied van de grenslaagaerodynamica. We lichten de bevindingen toe aan de hand van een vereenvoudigde schets. Gezien het grote maatschappelijke belang wordt in deze notitie hierop nader ingegaan. Naast een literatuurstudie naar de theorie van grenslaagaerodynamica van een onderzoek in 1976 aan de TU Delft, gaat de notitie nader in op het beter begrijpen van het gedrag van luchtstroming en -krachten in de atmosferische grenslaag. De bevindingen zijn bruikbaar voor het vinden van een aanpak voor windturbineoverlast waarin het spreekwoord 'Voorkomen is Beter dan Genezen' voorop staat. De bevindingen zijn gebaseerd op natuurkundige wetmatigheden en niet op "uitonderhandelde" besluitvormingsprocessen.

In de tekening hierna wordt getracht één ander te verduidelijken. In de bijlagen van de notitie worden een aantal van de gehanteerde begrippen en hun belang voor toepassen van windturbines nog toegelicht.

Windturbines en atmosferische grenslagen



Aangezien het achteraf verplaatsen van bebouwing, bedrijven en veranderen van landschappelijke omgeving financieel onbetaalbaar en maatschappelijk onhaalbaar is, zal preventief een beter en vollediger beeld moet bestaan voordat tot plaatsing van windturbines en inrichten van turbineparken wordt besloten.

Het modelleren met behulp van geavanceerde computersimulaties en CFD technieken schiet momenteel nog tekort om een volledig en juist beeld van de windbelasting in een specifieke gebruiksomgeving te kunnen opstellen.

Het normstelsel is eenzijdig en beperkt en gebaseerd op ruimtelijke scheiding met (omstreden) minimale afstanden (van 500m), ongeacht de hoogte van de turbines, de omvang van de parken en de feitelijke windbelasting in de praktijk.

Het ontbreekt aan een wettelijk instrument dat de integrale veiligheid expliciet en procedureel verankerd in bestuurlijke afwegingen meeneemt. Er bestaat nog steeds geen aparte Integrale Veiligheids Effect Rapportage, in tegenstelling tot de al lang bestaande m.e.r., die slechts gericht is op de externe veiligheid als onderdeel van de milieueffecten.

Daarom is het, bij het onderzoeken van de windhinder en windbelasting, onmisbaar gebruik te maken van windtunnelsimulaties en modelonderzoek in de ontwerpfase, voorafgaand aan het feitelijk bouwen en inrichten van windturbineparken teneinde locatie specifieke eigenschappen en gedragingen in de praktijk te onderkennen en te ondervangen.

Dit onderzoek geldt voor zowel de geluids-, trillings- als de windbelasting op de wieken, mast en fundatie. Ze komen immers allen voort uit de windkrachten en wervels die in de lucht aanwezig zijn en die met hun karakteristieke wervellengte en daarmee samenhangende frequentie de bron zijn van een veelheid aan belastingen op leven en welzijn van de omgeving.

De kleine kost gaat daarbij voor de grote baat uit: herhaling van de bij de aanleg en ingebruikname onvoorziene lange termijn mijnbouwproblemen in Limburg en de aardgaswinning in Groningen is maatschappelijk onhaalbaar en financieel onbetaalbaar.

Conclusie

Bij de huidige stand van zaken, zoals hiervoor beschreven, is het onverantwoord zonder nadere wettelijke regelingen en normeringen tot besluitvorming over dit onderwerp te komen. De primaire luchtkrachten mogen hierin niet ontbreken. Daarna kan specifiek onderzoek worden gedaan t.a.v. de specifieke voorwaarden voor het gebied Avelingen, zowel t.a.v. het gedeelte ter hoogte van het natuurgebied als voor het bedrijfsterrein. Hierbij zal dan ook de situering op de drassige oever van de rivier nader in ogenschouw moeten worden genomen. Ook voor De Grote Haar zal specifiek onderzoek nodig zijn.

Er is ook behoefte aan een nieuwe wijze van besluitvorming rond regie en stuurbaarheid van de ontwikkelingen. Het integrale afwegingskader dat in 2014 voor het gebruik van de Noordzee is ontwikkeld, kan ook voor landzijdige ontwikkelingen van windturbineparken dienst doen.

Bijlage 1

Bevindingen Simulatiemethode Grenslaagaerodynamica, VTH Dec 1976:

Doel van het onderzoek van de TU Delft was een analyse van dominante parameters t.b.v. een simulatiemethode voor versneld bereiken van volledig ontwikkelde atmosferische grenslaagstroming. Toepassing van dit model is bedoeld voor het onderzoeken van windhinder in de bebouwde omgeving. Het stadium van ongestoord volledige ontwikkeling van snelheids- en turbulentieprofiel wordt bereikt op een afstand van de oorsprong van de verstoring met een lengte van 14 X de hoogte van de verstoring ($h=14$).

Begripsomschrijvingen worden onderscheiden naar:

A Definities:

- Grenslaag aan oppervlak, onderscheiden naar een buitenlaag en een binnenlaag
- Vrije buitenstroming boven oppervlak, in praktijk vanaf ca 100 m. van oppervlak
- Windbelasting onderscheiden naar statisch en dynamisch, stuwdruk, fluctuaties in stroming
- Windhinder onderscheiden naar:
 - = tocht, stromingspatroon
 - = ventilatie en rookgasverspreiding
 - = trillingsgedrag aangestroomde objecten
 - = (*noot*: geluidsbelasting speelde toen geen rol)

B Trial and error in de praktijk niet mogelijk

Hinder voorkomen i.p.v. genezen: genezen is onhaalbaar (achteraf verplaatsen objecten in stroming) en onbetaalbaar (treffen van mitigerende maatregelen). Vrijwaringszonerings vereist i.v.m. aanhouden hindergrens

Remedie: simulatie toekomstig gedrag d.m.v. windtunnelproeven/schaalmodellen

C Onderzoeken aard dynamisch stromingsverschijnsel

- Onderzoek naar:
 - o snelheids- en zogverdeling
 - o ontbreken van monotone eigenschappen m.b.t. snelheidsgradient, turbulentieverloop en -gradatie en schuifspanningsgradient

- bestaan van gusts, convectie, warmtestraling, oppervlakteruwheid, niet homogeen verloop oppervlakte
- tijdsafhankelijkheid van stromingsbeeld
- karakteristieke aerodynamische relatie tussen wervellengte en grenslaaghoogte bedraagt 0.4. Driedimensionale karakter is numeriek moeilijk te bepalen. (*noot: zelfs nu is een dynamisch model van stromingspatronen nog moeilijk te doorgronden met behulp van CFD methoden*)
- aannames:
 - reductie van stroming tot quasi-stationaire tweedimensionale stroming. Laterale stroming en laterale turbulentie buiten beschouwing gelaten
 - vrije stroming quasi-stationair opgevat, vrij van tweede orde verschijnsels zoals wervels en temperatuurgradiënt

D Aannames en vereenvoudigingen

- aanname: alleen snelheid en geen turbulentie is alleen geldig voor de ongestoorde stroming buiten de grenslaag bij onderzoek naar prestaties van vliegtuigen. Atmosferische grenslaag is echter inherent turbulent, niet laminair en geeft onderschatting van turbulentieniveau en turbulentieverdeling over grenslaag maakt resultaten misleidend indien amplitudeoscillatie niet worden gereproduceerd op basis van het turbulentiespectrum. Dit heeft grote invloed op trillingsbelasting (*noot: en geluidsbelasting door die trillingen door de lucht en de grond*) en afmetingen zog en turbulentieniveau achter het object in de stroming
- daarnaast verval van wervels: in binnenlaag grenslaag kleinere wervels door viscositeit leidt tot energieuitwisseling tussen binnen- en buitenlaag. Mn snelheid in buitenlaag is in wisselwerking met turbulentie en wrijving in binnenlaag. Deze wisselwerking wordt gekenmerkt door wervelvorming door snelheidsgradiënt in buitenlaag die door interactie met binnenlaag schuifspanninggradiënt in binnenlaag veroorzaakt waardoor instabiele losbraak van vlagen aan het oppervlak ontstaat. (*noot: dit veroorzaakt laagfrequent trillings- en geluidsbelasting in zowel de lucht als de bodem*)
- volledig ontwikkelde stroming ontstaat indien evenwicht is bereikt tussen drukkrachten van de stroming en de wandschuifspanning ten gevolge van de wrijvingsweerstand van het oppervlak

E Bevindingen

- Rekening houden met kenmerkende eigenschappen van binnenlaag en buitenlaag m.b.t. energieuitwisseling tussen die lagen.
- Buitenlaag is gekoppeld aan karakteristiek ongestoorde stroming in hogere luchtlagen
- Binnenlaag is afhankelijk van lokale omstandigheden m.b.t. ruwheid en heeft invloed op de stroomafwaartse energie en turbulentie van buitenlaag
- Gevolg: gemiddelde waarden doen geen recht aan instationaire karakter van de stroming van de binnenlaag, en worden gevoed door driedimensionale karakter van de stroming, m.n. ook
 - dwarsstroming die op zijn beurt afhankelijk is van ruwheid van oppervlak, uitgedrukt in ruwheidshoogte, verdringingsdikte en impulsverliesdikte
 - vlagenpatroon door loslating stroming langs objecten t.g.v. vormweerstand van die objecten. Daarbij geldt: maximale turbulentie na 2 tot 3 maal hoogte van de individuele objecten, patroon homogeen na 5 tot 10 maal objecthoogte en isotroop na 20 maal objecthoogte. Echter: dichtheden van de verstoring boven 20 tot 50% leveren veel langzamere uitdemping en verdringing van de binnenlaag.

Bijlage 2 Leeswijzer

Relevantie voor gedrag windturbines in de atmosferische grenslaag

Uit het VTH onderzoek zelf:

- voor betrouwbare resultaten is minstens vereist het turbulentieniveau, de turbulentieverdeling en de snelheidsverdeling juist vorm te geven
- De gewenste stromingseigenschappen van de grenslaag dienen in het modelonderzoek aanwezig te zijn in verband met onderzoek van trillingsgedrag (*Noot: en ook geluidshinder*)
- De gewenste vorm van snelheidsverdeling en grootte van de turbulentie-intensiteit is beïnvloedbaar door het bovenstrooms inbrengen van objecten van geschikte vorm en afmetingen. Objecten met een dichtheid groter dan ca 20 tot 50% veroorzaken verdringing van de stroming met een geheel ander stromingsbeeld tot gevolg: dan treedt blokkade op met grote loslaatwervels als resultaat
- Door het verval van wervelgrootte en -intensiteit door viscositeit van de lucht, de wisselwerking tussen binnenlaag en buitenlaag en het verloop van het snelheidsprofiel is het feitelijke stromingsbeeld op een bepaald punt afhankelijk van de afstand tot het object dat in de stroming verstoringen van het volledig ontwikkelde stadium veroorzaakt. De invloed van een object is -op grond van de literatuurstudie- na ca 14 maal de objecthoogte uitgewerkt.

Conclusies voor het stromingspatroon rond windturbines in het algemeen

- Meer dan in de gangbare maatschappelijke discussie over windturbines verondersteld wordt, zijn turbulentieniveau en -patroon maatgevende parameters voor de windbelasting op en rond windturbines, zowel benedenstrooms als bovenstrooms t.g.v. menging van binnen- en buitenlaag door resp. verdringing, loslating en afstroomwervels van de mast en wieken
- Er moet onderscheid gemaakt worden tussen binnenlaag en buitenlaag omdat deze kenmerkende eigenschappen hebben, elkaar dynamisch beïnvloeden en door verschillende mechanismen -m.n. wrijving danwel atmosferische drukverschillen- worden aangestuurd.
- Conclusies in onderzoek gaan uit van de aanname van tweedimensionale, quasi-stationaire grenslaagstroming en wervelvrije buitenstroming. Bij de in werkelijkheid optredende kritische windbelasting van 6 tot 9 Beaufort is de stroming instationair en turbulent met hoge statische windkrachten, dwarsstroming, windvlagen, hoge wervelintensiteiten en grote wervelafmetingen en vereist toegesneden indicatoren. Op grond van de aard van de buitenstroming is de windkracht en -snelheid uitgedrukt in Beaufort slechts één van de maatgevende indicatoren voor de windbelasting. Een maatgevende norm voor wervelsterkte ontbreekt. In tegenstelling tot luchtvaart bestaan er geen normen voor wervel- en zogbelasting en ontbreekt een vrijwaringsgebied zoals voor de klassieke windmolenbiotoop.
- Een vaste afstandsnorm (zoals van min. 500m) is zinloos omdat de invloedssfeer ook afhankelijk is van windkracht, oppervlakteruwheid en hoogte van de windturbine. Alleen huidige norm is van kracht ($h=10$: hinderafstand minimaal 10 maal de objecthoogte). Voor turbineparken komt daar bij: verdringing door blokkade vrije veld (begroeiing, bebouwing, terreinomstandigheden), dwarswindcomponenten, zog interferentie tussen windturbines en afnemend rendement per turbine.

Conclusies specifiek voor de veiligheid van windturbines

De kennis van de luchtstroming langs het aardoppervlak is gebaseerd op theoretische, wetenschappelijke kennis die een oorsprong vindt in de 19^e eeuw:

- Mathematische modellering door de Bernouilli en Navier Stokes vergelijkingen werden gevolgd door experimentele aerodynamica aan het begin van de 20^e eeuw door Prandtl, Schlichting en Mach met de introductie van windtunnelonderzoek en schaalmodelsimulaties.
- Uit het onderzoek van 1976 blijkt het betrouwbaar voorspellen van luchtstroming nog niet goed mogelijk: er is geen compleet beeld van de luchtkrachten en -bewegingen door aan te nemen dat het onderzoek gerepresenteerd kan worden door een quasi-stationaire, tweedimensionale stroming. Dwarswindcomponenten en temperatuursverloop worden daarin niet meegenomen door beperkingen in de beschikbare meettechnieken. Een numerieke analyse met behulp van Computational Fluid Dynamics is mogelijk, maar stelt hoge eisen aan een dynamische modellering van het stromingsbeeld met 7 vrijheidsgraden in de luchtbewegingen (zowel stroming als turbulentie als temperatuursverloop in X,Y en Z richting en variatie in de tijd).
- De atmosferische grenslaag en de daarboven gelegen vrije stroming is inherent onderhevig aan turbulentie door de vlagen en windstoten die bij 6 Beaufort en hoger het stromingsbeeld overheersen. De ruwheid van het aardoppervlak (dichtheid en afmetingen van bebouwing, begroeiing) geeft dwarswinden, loslaatwervels en blokkering waardoor opstuwing van de binnenlaag naar de buitenlaag van de grenslaag optreedt.
- Turbulentie in de vrije stroming en in de buitenlaag geeft grote wisselende belastingen op windturbines in hun gebruiksomgeving en beïnvloed zowel de onderlinge interacties tussen turbinemasten en hun rotors (de zg Karmanse wervelstraten) als de naastgelegen windturbines (door loslaatwervels en zoginteracties). Lokale terreinomstandigheden kunnen specifieke tweede orde stromingseffecten veroorzaken die niet in algemene stromingsbeeldanalyses kunnen worden meegenomen. Deze stromingsbeelden en -belasting staan haaks op het voortdurend vergroten van de turbineafmetingen omwille van het maximaliseren van hun rendement.
- De modellering zoals voorgestaan door het RIVM is sterk vereenvoudigd en sluit voor de bezwijkbelasting van de turbines een primaire kracht uit die bij Beaufort 6 tot 9 optreedt (storm en hoger): de windkrachten. Het model gaat alleen uit van zwaartekracht en centrifugaalkrachten. De uit de luchtstroom te winnen energie (van ca 2 tot 3 MW per gangbare turbine) met de daarbij behorende aandrijfkrachten voor de opwekking van dit vermogen blijven buiten beschouwing.

Verwijzingen

Het versneld bereiken van het volledig ontwikkelde stadium van de kanaalstroming door het inbrengen van een blokkeringsmechanisme in de stroming in relatie tot de simulatie van een aardgrenslaag.

VTH Delft, Dec 1976

Zee op Zicht: Inzicht, een zoektocht naar een integraal afwegingskader voor het gebruik van de zee

<https://www.researchgate.net/publication/283274301>

Januari 2014