

## Overzicht en korte beschrijving van beschikbare *collision rate models*

Notitie Bureau Waardenburg d.d. 27 februari 2014

Auteur: Jonne Kleijheeg

In opdracht van: Rijkswaterstaat, Martine Graafland

In de afgelopen decennia zijn verscheidene *collision rate models* ontwikkeld, waarmee het aantal aanvaringssslachtoffers voor geplande windparken op zee en op land voorspeld kan worden. Het betreft voornamelijk theoretische modellen (gebaseerd op de wiskundige berekening van de aanvaringskans, op basis van de dimensies en eigenschappen van windturbines en vogels), maar ook enkele empirische modellen (aanvaringskans gebaseerd op empirische data). De belangrijkste kenmerken van de verschillende *collision rate models* zijn hieronder in chronologische volgorde besproken. Voor alle modellen geldt ruwweg dat de *collision rate* (oftewel het aantal vogels dat in een bepaalde periode slachtoffer wordt) wordt bepaald door de vermenigvuldiging van 1) het aantal vogels dat risico loopt op een aanvaring 2) percentage uitwijking 3) *encounter probability* en 4) aanvaringskans.

### Tucker (1996)

Eén van de eerste wiskundige modellen waarmee op basis van fysische eigenschappen van de vogelsoort en de windturbine(s) in kwestie een aanvaringskans berekend kan worden.

### Band-model; Band (2000, 2007) – veel aannames zijn vergelijkbaar met Tucker (1996)

Dit theoretische model omvat naast formules voor de berekening van de aanvaringskans ook formules voor de berekening van het aantal vogels dat door het rotoroppervlak vliegt en dus risico loopt om in aanvaring te komen met de rotoren van een windturbine. Uitwijking blijft buiten beschouwing dus het resultaat van de berekeningen betreft de '*non-avoidance collision rate*'.

### Bureau Waardenburg route 2; Bureau Waardenburg (2005)

Dit empirische model maakt gebruik van aanvaringskansen vastgesteld in de Sep-proefwindcentrale in Oosterbierum (Winkelman 1992). Door correcties toe te passen voor verschillen tussen het referentiewindpark (Oosterbierum) en het geplande windpark voor wat betreft configuratie van het windpark, afmetingen van de turbines en het aantal vogels dat risico loopt op een aanvaring, wordt het aantal aanvaringssslachtoffers in het geplande windpark voorspeld / berekend (*collision rate*).

### Bolker-model; Bolker, Hatch & Zara (2006)

Dit theoretische model focust volledig op de berekening van de kans dat een vogel die door een windpark vliegt ook door een rotor vliegt (*encounter probability*). Er wordt vanuit gegaan dat de aanvaringskans en het percentage van de vogels dat uitwijkt bekend zijn. Deze moeten dus berekend worden met een ander model (aanvaringskans) of afgeleid worden van veldonderzoek (aanvaringskans en percentage uitwijking).

### Podolsky (2008) – veel aannames zijn vergelijkbaar met Tucker (1996)

De formules van dit theoretische model zijn niet volledig beschikbaar. Het model kan gebruikt worden om een aanvaringskans te berekenen en de *encounter probability*. Het is niet duidelijk

of, en zo ja hoe de uitwijking van vogels voor het gehele windpark (*macro-avoidance*) en individuele windturbines (*micro-avoidance*) in het model is verwerkt.

#### Troost route 1; Troost (2008)

Met dit empirische model kan het aantal aanvaringssslachtoffers in een windpark berekend worden op basis van het aantal aanvaringen vastgesteld in een bestaand referentiewindpark. Dit aantal aanvaringssslachtoffers wordt dan gecorrigeerd voor verschillen tussen het te testen windpark en het referentiewindpark met betrekking tot configuratie van het windpark, afmetingen van de turbines en het aantal vogels dat door het windpark vliegt.

#### Troost route 2; Troost (2008) ~ gebaseerd op Bureau Waardenburg (2005)

*De encounter probability moet ingeschat worden of (wanneer veel detail in de berekeningen gewenst is) berekend worden met behulp van andere modellen.*

Dit empirische model maakt gebruik van aanvaringskansen die zijn vastgesteld in andere bestaande windparken. Door correcties toe te passen voor verschillen tussen het referentiewindpark en het geplande windpark met betrekking tot configuratie van het windpark, afmetingen van de turbines en het aantal vogels dat risico loopt op een aanvaring, wordt het aantal aanvaringssslachtoffers in het geplande windpark voorspeld / berekend. Het verschil met route 1 is dat in route 2 een aanvaringskans ingevuld moet worden i.t.t. een totaal aantal slachtoffers vastgesteld in een referentiewindpark. In dit model kunnen (i.t.t. Bureau Waardenburg 2005) ook aanvaringskansen uit andere windparken dan de Sep-proefwindcentrale in Oosterbierum toegepast worden. Een wezenlijk aspect is dat hier de correctie van de aanvaringskans voor verschillen in rotoroppervlak ( $p_{cor}$ ) wel indirect gekoppeld is aan het onderzoek van Winkelman (1992). De *encounter probability* kan ingeschat worden, of berekend met een ander model zoals bijvoorbeeld het Bolker-model (2006). In het model is ook een factor opgenomen waarmee uitwijking van vogels voor het gehele windpark (*macro-avoidance*) in de berekening opgenomen kan worden.

#### Troost route 3; Troost 2008

*De aanvaringskans moet berekend worden met behulp van andere modellen. De encounter probability moet ingeschat worden of (wanneer veel detail in de berekeningen gewenst is) berekend worden met behulp van andere modellen.*

Het uitgangspunt van dit theoretische model is (i.t.t. route 1 en 2) de wiskundige berekening van de collision probability. Deze aanvaringskans kan bepaald worden in het (reeds gerealiseerde) windpark of (wat meestal gebeurt) berekend worden door gebruik te maken van een ander model. Troost noemt het Band-model (Band 2000) als voorbeeld. Het model omvat ook de kans dat een vogel die door het windpark vliegt een rotor tegenkomt (*encounter probability*) en ook het aantal vogels dat risico loopt op een aanvaring moet worden ingevoerd. Ook uitwijking (*macro-avoidance* en *micro-avoidance*) moet in het model ingevuld worden. *Micro-avoidance* speelt in routes 1 en 2 geen rol omdat in die routes gebruik wordt gemaakt van een aanvaringskans die gebaseerd is op empirische data, waar de *micro-avoidance* indirect al in verwerkt zit.

Hamer; Holmstrom *et al.* (2011) ~ gebaseerd op Tucker (1996) en het Band-model.

De formules van dit model zijn niet volledig beschikbaar. In dit model zijn ten opzichte van de modellen van Tucker (1996) en Band (2000, 2007) aanpassingen doorgevoerd die te maken hebben met de hoek waarmee vogels een rotor benaderen. Tucker en Band beschouwen alleen parallelle vluchten en loodrechte passages en in het Hamer-model worden ook andere hoeken en het effect daarvan op de aanvaringskans meegenomen.

SOSS-Band-model; Band (2012) ~ gebaseerd op eerdere versies van het Band-model.

Eén van de aanpassingen ten opzichte van eerdere versies van het Band-model heeft te maken met de invoer van het aantal vogels dat risico loopt op een aanvaring (dichtheid in plaats van flux). Een andere aanpassing of toevoeging betreft de mogelijkheid om verschillende dichtheden voor verschillende hoogtes in te voeren en dit te combineren met verschillen in aanvaringskans op verschillende plaatsen in relatie tot de rotor-as (de kans op een aanvaring is groter in het midden van de rotor dan aan de rand). Er zijn daarnaast vele verschillende aanpassingen / aanvullingen beschreven die wanneer van toepassing gebruikt kunnen worden, zoals een correctie voor zeer grote windparken, een manier om rekening te houden met het getij en een manier om de aanvaringskans te berekenen voor vogels op seizoenstrek. In dit model is i.t.t. eerdere versies bovendien beschreven hoe uitwijking in de berekening opgenomen zou moeten worden. Band geeft echter geen advies over de waarde die voor uitwijking ingevuld moet worden.

Folkerts; In: DECC (2012) ~ gebaseerd op het Band-model.

De volledige formules van dit model zijn niet beschikbaar. Het model wijkt op drie punten af van het Band-model. 1) Flux en niet dichtheid wordt gebruikt: de gemiddelde afstand door het windpark wordt in combinatie met de vliegsnelheid van de betreffende vogelsoort gebruikt om het aantal vluchten door het windpark te berekenen. 2) Op basis van de configuratie van het windpark en de grootte van de turbines wordt berekend hoe groot de kans is dat een vogel op een rechte vlucht door het windpark een rotor tegenkomt. 3) Net als het Hamer-model houdt ook het Folkerts-model er rekening mee dat vogels een rotor vanuit vele verschillende hoeken kunnen benaderen.

Biosis; Smales *et al.* (2013)

De volledige formules van dit model zijn niet beschikbaar. Het is een compleet model dat in Australië en Tasmanië al voor verschillende windparken is toegepast. Het model omvat ook uitwijking. Smales *et al.* (2013) laten enkele *case studies* zien waarin steeds een range van uitwijkingpercentages is toegepast. Voor twee windparken zijn voor de White-bellied Sea-eagle en voor de Wedge-tailed Eagle uiteindelijk gemeten aantallen aanvaringssslachtoffers vergeleken met voorspellingen. Uit deze vergelijkingen bleek dat de voorspellingen, voor uitwijkingpercentages binnen de gekozen range, goed overeenkwamen met de werkelijkheid.

Flux-collision-model; Bureau Waardenburg (2013), Kleyheeg-Hartman *et al.* (in prep.) ~ gebaseerd op Troost route 2 en Bureau Waardenburg (2005).

*De encounter probability moet ingeschat worden of (wanneer veel detail in de berekeningen gewenst is) berekend worden met behulp van andere modellen.*

Dit empirische model is ten opzichte van route 2 van Troost (2008) op de volgende punten aangepast of uitgebreid: 1) de correctie van de aanvaringskans voor verschillen in het rotoroppervlak tussen het referentiewindpark en het geplande windpark is aangepast ( $p_{cor}$ ). Op basis van recente kennis opgedaan in veldstudies in verschillende windparken in Nederland en België is de eerder aangenomen empirische relatie tussen rotoroppervlak en aantal slachtoffers per turbine per jaar ontkracht. Daarom is met behulp van het SOSS-Band-model een theoretische relatie tussen rotoroppervlak en aanvaringskans bepaald waar de correctiefactor  $p_{cor}$  in het flux-collision-model op gebaseerd is. 2) Zodoende zijn nu aanvaringskansen uit ieder willekeurig referentiewindpark te gebruiken ( $p_{cor}$  is niet meer indirect gerelateerd aan de Sep-proefwindcentrale in Oosterbierum). 3) Er is een correctiefactor toegevoegd die het mogelijk maakt om te corrigeren voor verschillen in de hoogteverdeling van de flux tussen het referentiewindpark en het geplande windpark. 4) In de formule is in plaats van  $a_{macro}$  (Troost 2008)  $1 - a_{macro}$  als factor opgenomen, zodat niet de vogels die uitwijken, maar juist de vogels die niet uitwijken risico lopen op een aanvaring met een windturbine.

### **Aanbevelingen voor het gebruik van *collision rate models* voor toekomstige Nederlandse offshore windparken**

#### *Overeenkomsten en verschillen*

In grote lijnen lijken de hiervoor beschreven aanvaringsmodellen veel op elkaar. De verschillen zitten hem vooral in de manier waarop de *encounter probability* en de aanvaringskans berekend worden en ook dan gaat het vaak niet om de gehele berekening, maar slechts om een onderdeel daarvan (zoals bijvoorbeeld de manier waarop de hoek waarmee vogels de rotor benaderen in de berekeningen is opgenomen). De verschillen tussen de modellen zorgen over het algemeen voor relatief kleine verschillen in de resultaten. Het detailniveau waarop de modellen nu nog aangepast of uitgebreid worden, wordt vaak teniet gedaan door het detailniveau van de beschikbare data. Zo is het nu bijvoorbeeld mogelijk om in het Band-model (Band 2012) per meter vlieghoogte een andere dichtheid van vliegende vogels in te voeren. De huidige telmethoden waarmee de dichtheid aan vliegende vogels (offshore) bepaald wordt leveren echter (bij lange na) geen data met een dergelijk detailniveau. De toepasbaarheid van dergelijke theoretische aanvullingen/verbeteringen van de modellen laat dus te wensen over zolang de methoden om de gegevens te verzamelen niet verbeteren (als dat al mogelijk is). Er is geen kwantitatieve vergelijking uitgevoerd van de resultaten van de verschillende aanvaringsmodellen. Dit is praktisch ook moeilijk uitvoerbaar omdat van sommige modellen niet de volledige formules beschikbaar zijn (Podolsky 2008; Hamer in Holmstrom *et al.* 2011; Folkerts in DECC 2012; Biosis in Smales *et al.* 2013). Wij wijzen hier echter op de vergelijking van het flux-collision-model en het SOSS-Band-model in het begeleidende artikel van Kleyheeg-Hartman *et al.* in prep.

### *Theoretische modellen*

De grote onbekende waar alle modellen mee te maken hebben is de uitwijking. Geen van de modellen omvat een theoretische methode om uitwijking te voorspellen/berekenen. Het percentage vogels dat uitwijkt voor het windpark of voor individuele windturbines moet dan ook ingeschat worden op basis van beschikbare velddata. Er zijn echter zeer weinig goede gegevens beschikbaar van uitwijking van vogels voor windparken (op zee) en daarom wordt dan ook vaak een range aan uitwijkpercentages toegepast. Een klein verschil in uitwijking heeft echter een bijzonder groot effect op de resultaten (Chamberlain *et al.* 2006), waardoor verschillen in details als aanvliegrichtingen, rotororiëntatie en fysische eigenschappen van de vogel of turbine in het niet vallen. Naar onze inschatting zijn de (relatief kleine) verschillen tussen de verschillende modellen van ondergeschikt belang zolang we niet goed weten welke waarde voor het wezenlijke aspect van uitwijking ingevuld moet worden, waardoor de onzekerheid van de voorspelde slachtofferaantallen groot is.

### *Empirische modellen*

In aanvaringsmodellen die gebruik maken van empirisch vastgestelde aanvaringskansen (zoals bijvoorbeeld het flux-collision-model), is de invloed van uitwijking kleiner. In deze modellen hoeft alleen *macro-avoidance* ingeschat te worden omdat *micro-avoidance* (uitwijking voor individuele turbines) indirect al 'verwerkt' is in de aanvaringskans. Uit vergelijkingen met empirische gegevens op land blijkt dat in theoretische modellen het aantal slachtoffers altijd hoger wordt ingeschat dan het werkelijke aantal. Dit suggereert dat avoidance een nog grotere factor is in modellen dan waar nu reeds rekening mee wordt gehouden. Omdat avoidance zo'n belangrijke rol speelt is het van belang om juist hier meer empirisch onderzoek naar te doen. Het nadeel van empirische modellen voor gebruik op zee is dat er alleen aanvaringskansen bekend zijn uit slachtofferonderzoeken op land, waardoor voor zeevogelsoorten zoals jan-van-gent, drieteenmeeuw, grote jager of grote stern geen goede aanvaringskansen beschikbaar zijn. Daarnaast lijkt de vergelijkbaarheid van een referentiewindpark op land en een gepland windpark op zee beperkt. Grofweg kan gesteld worden dat hoe groter het verschil tussen het referentiewindpark en het geplande windpark, hoe groter de onzekerheid van de resultaten van de berekeningen.

### *Samenvattend*

Resumerend is het vooralsnog het beste om voor de offshore-situatie gebruik te maken van modellen waarin de aanvaringskans wiskundig berekend wordt. Voor Engelse offshore windparken is recent steeds gebruik gemaakt van het (SOSS)-Band-model (Het gebruik van dit model is door de overheid zelfs als verplichting opgelegd). Het voordeel van dit model is dat de formules volledig beschikbaar zijn (in spreadsheets) en dat het veel mogelijkheden biedt om de verschillende onderdelen van het model aan te passen aan de eigenschappen van de locatie en de beschikbare gegevens. Wij zien geen aanwijzingen dat andere theoretische modellen betere resultaten zouden leveren. Met name het Biosis-model (Smales *et al.* 2013) biedt mogelijk een goed alternatief, maar zolang de formules niet volledig beschikbaar zijn is dit niet te verifiëren. Overigens lijken de verschillende onderdelen van het Biosis-model veel overeenkomsten te vertonen met het Band-model. Voor de vergelijkbaarheid van voorspellingen voor grote windparken in de Noordzee is het wenselijk dat de berekeningen zoveel mogelijk op dezelfde manier gedaan worden, dus ook met hetzelfde model. Aangezien van veel andere modellen de

formules niet volledig vrij beschikbaar zijn en omdat niet bewezen is dat bepaalde modellen duidelijk 'beter' zijn dan andere, adviseren wij dan ook het gebruik van het SOSS-Band-model voor voorspellingen van slachtoferaantallen van vogels in toekomstige Nederlandse offshore windparken. Zodra aantallen aanvaringssslachtoffers in bestaande offshore windparken bekend worden, wat nu al technisch haalbaar is, zijn empirische modellen net zo geschikt of mogelijk zelfs beter. Daarnaast zou de focus van het onderzoek op dit moment moeten liggen op het vaststellen van goede waarden voor uitwijking, omdat daarmee de grootste verbetering in de betrouwbaarheid van resultaten van modelberekeningen behaald kan worden.

## Literatuur

- Band, W., 2000. Windfarms and Birds: Calculating a theoretical collision risk assuming no avoiding action. Guidance Notes Series. Scottish Natural Heritage.
- Band, W., M. Madders & D.P. Whitfield, 2007. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. In M. De Lucas, G.F.E. Janss & M. Ferrer. Birds and wind farms: risk assessment and mitigation. pp. 259-275. Quercus, Madrid.
- Band, W., 2012. Using a collision risk model to assess bird collision risks for offshore wind farms. SOSS, The Crown Estate, <http://www.bto.org/science/wetland-and-marine/-soss/projects>.
- Bolker, E.D., J.J. Hatch & C. Zara, 2006. Modelling bird passage through a windfarm. Draft, University of Massachusetts, Boston. <http://www.cs.umb.edu/%7Eeb/windfarm>.
- Bureau Waardenburg, 2005. De berekeningen bij schattingen van aantal aanvaringssslachtoffers in windparken. Rapportbijlage versie 02, juli/augustus 2005. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Bureau Waardenburg, 2013. Het flux-collision-model voor de berekening van soortspecifieke aantallen vogelslachtoffers bij windturbines. Rapportbijlage versie 30 september 2013. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Chamberlain, D.E., M.R. Rehfisch, A.D. Fox, M. Desholm & S.J. Anthony, 2006. The effect of avoidance rates on bird mortality predictions made by wind turbine collision risk models. *Ibis* 148: 198-202.
- Department of energy & Climate Change, 2012. Record of the appropriate assessment undertaken for applications under section 36 of the Electricity Act 1989. Projects: Docking Shoal Offshore Wind farm (as amended); Race Bank Offshore Wind Farm (as amended); Dudgeon Offshore Wind Farm. December 2011, Updated June 2012. <https://www.og.decc.gov.uk/EIP/pages/projects/AAGreaterWash.pdf>.
- Holmstrom, L.A., T.E. Hamer, E.M. Colclazier, N. Denis, J.P. Verschuyf & D. Ruche, 2011. Assessing Avian-Wind Turbine Collision Risk: An Approach Angle Dependent Model. *Wind Engineering* 25: (3) 289-312.
- Kleyheeg-Hartman, J.C., K.L. Krijgsveld, M.P. Collier, M.J.M. Poot, A. Boon, T. Troost & S. Dirksen, in prep. Evaluation of collision rate models to predict the number of bird victims for wind farm initiatives offshore and on land. (in prep.)
- Podolsky, R., 2008. Method of and article of manufacture for determining probability of avian collision, United States Patent number US 7,315,799 B1.
- Smales, I., S. Muir, C. Meredith & R. Baird, 2013. A description of the Biosis model to assess risk of bird collisions with wind turbines, *Wildlife Society Bulletin* 37 (1): 59-65.

- Troost, T., 2008. Estimating the frequency of bird collisions with wind turbines at sea. Guidelines for using the spreadsheet 'Bird collisions Deltares v.1-0.xls'. Deltares, the Netherlands.
- Tucker, V.A., 1996. A mathematical model of bird collisions with wind turbine rotors. *Journal of Solar Energy Engineering* 118: 253-262.
- Winkelman, J.E., 1992. De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels, 1: aanvaringslachtoffers. RIN-rapport 92/2. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO), Arnhem.