



# Effect extra pluimdaling op de luchtkwaliteit rond AVR Duiven

Vergelijking met de concentratieberekening met het 'normale' zog model

Rapport 2019R006

30 augustus 2019

ErbrinkStacks Consult

Graaf van Rechterenweg 15  
6961BN Oosterbeek

M. 06 5131 3650

[info@erbrinkstacks.nl](mailto:info@erbrinkstacks.nl)  
[www.erbrinkstacks.nl](http://www.erbrinkstacks.nl)



## Inhoud

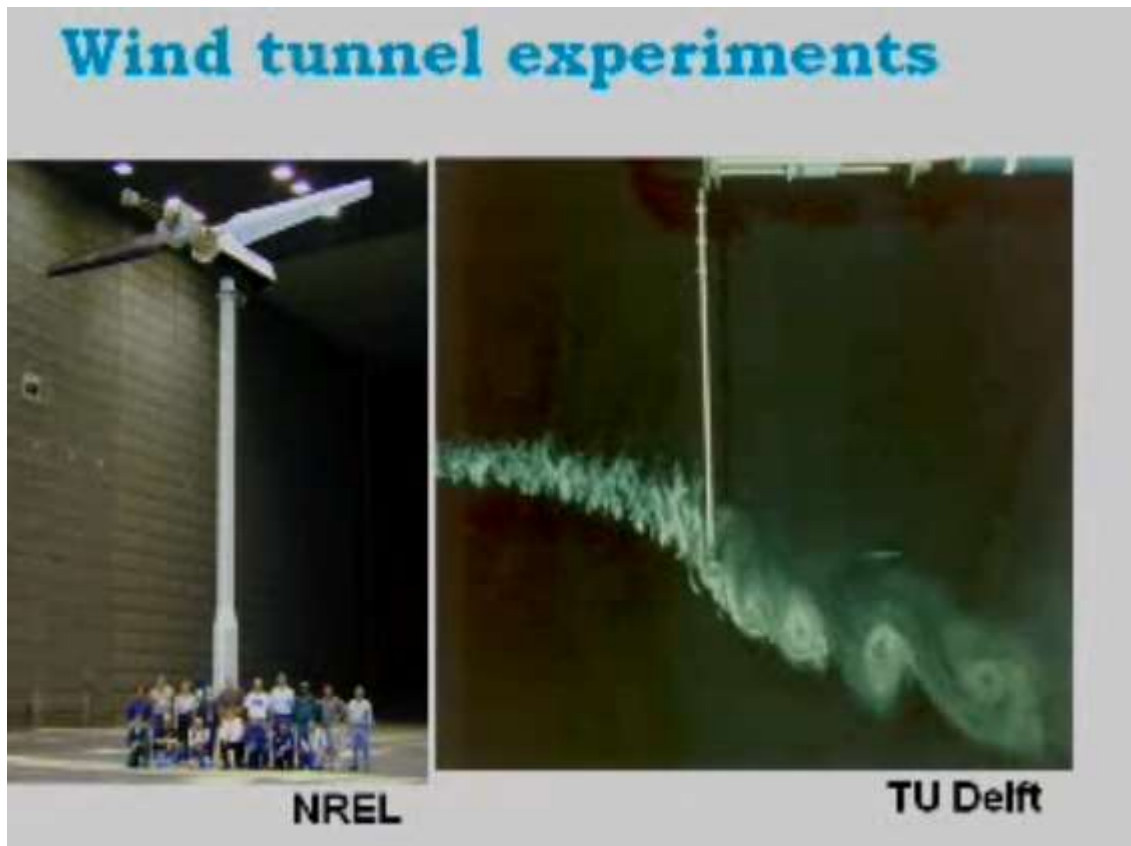
---

<b>Inhoud .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Inleiding.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Vraagstelling en aanpak .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Uitvoering .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Korte discussie.....</b>	<b>12</b>

# 1. Inleiding

Waar gaat het om?

Op verzoek van omwonenden en in opdracht van WRIJ zijn aanvullende verspreidingsberekeningen gedaan aan de rookpluim van de AVR en wel zodanig dat het hypothetische effect van de windturbine is gemodelleerd, met als uitgangspunten de processen die in een video van prof van Bussen (TUD) zichtbaar zijn. Volgens omwonenden van de voorgenomen windturbines is er sprake van extra pluimdaling door het 'vortex-effect' van pluimen die de rotor raken. Figuur 1 geeft de video van de Delftse prof:



Figuur 1.

Dit laat zien dat een deel van de pluim niet door het zog gaat, maar erom waait, wordt afgebogen dus. Uit dit plaatje kan worden afgeleid dat de mate van deze afbuiging onder optimale opstandigheden 25% van de rotordiameter is. Optimaal in dit verhaal van de prof (Gerard van Bussel) betekent dat de windturbine optimaal energie uit het windveld haalt. Voorts stelt van Bussel in deze optimale situatie dat 1/3 van de pluimmassa langs de rotor gaat en 2/3 er door heen. We nemen dit als uitgangspunten en werken dit uit in het STACKS model.

De basis is STACKS, het Nieuw Nationaal model dat sinds 1997 voor allerlei vergunningen wordt gebruikt. Dit model is talloze malen gevalideerd aan metingen. Deels op onderdelen (zoals pluimstijging door warmte bijvoorbeeld), en deels op de uiteindelijke concentraties op de grond. Al die metingen gingen vooraf aan de goedkeuring van het model door de overheid. De onzekerheid van het model is ergens rond de 10 a 20% en dat is zoals ook voor andere milieumodellen heel acceptabel.

Voor windturbines is het nooit gevalideerd op de uiteindelijke concentraties op de grond.

Wel op de onderdelen die met elkaar het zogmodel vormen. Dat hebben we niet zelf gedaan, maar is door wetenschappers en in internationaal verband gepubliceerd. Dat heb ik gebruikt in het STACKSmodel met het zogenaamde zogmodel. Hoe één en ander in elkaar steekt, is al meermalen gerapporteerd.

## 2. Vraagstelling en aanpak

Uit de gesprekken met vertegenwoordigers van omwonenden heb ik drie punten/vragen gehoord:

1. Kunnen we een dag naast Erbrink zitten om een aantal plausibele berekeningen te doen, waaruit we dan zien dat het model als resultaat geeft wat we logischerwijs mogen verwachten, met andere woorden, we willen begrijpen en zien dat het model goed werkt.
2. We zijn verontrust door de video van prof van Bussel, waaruit blijkt dat de pluim naar beneden afbuigt en dus vlot aan de grond zou kunnen komen. Wordt dit door het rekenmodel meegenomen? En zo nee, kan dit dan in het model worden opgenomen, eventueel worst-case, zodat we zien wat er dan gebeurt?
3. Het klimaat verandert duidelijk en dat maakt dat de nu gebruikte dataset met weersomstandigheden waarschijnlijk achterhaald is. Kan er een recente set gebruikt worden, zodat we kunnen zien dat de concentraties wellicht nu heel anders zijn dan aangenomen wordt?

Punt 1 is lastig uit te voeren, dat betekent dat het proces van modelbouw en validatie van de afgelopen 30 jaren versneld in een kort tijdsbestek herhaald moet worden. Ik zie hier geen oplossing voor, anders dan dat ik in een presentatie uitleg waar het model op gebaseerd is.

Punt 2 kan worden uitgewerkt en hieronder wordt zo goed mogelijk aangegeven hoe dat is gedaan.

Punt 3 kan ook worden uitgevoerd door niet de weerdataset van 1995-2004 te gebruiken, maar de meest recente set van 10 jaar: 2009-2018. Ook een worst-case jaar is geselecteerd en als variant meegenomen.

Ad 2:

In het kort:

Prof van Bussel laat zien dat de pluim neerwaarts afbuigt, als die in het onderste kwart van de rotor komt. Hij vertelt erbij dat dit in optimale omstandigheden gebeurt.

Uit de video blijkt dat de pluim dan naar beneden gaat en wel 25% van de rotordiameter, in ons geval is dat 25% van 131m = 33 m: De pluimhoogte wordt dan 140 m (as turbine) -131/2 (helft rotor) – 33 = 42 m.<sup>1</sup>

Opmerking 1: om het effect van het ketelgebouw van de AVR te verrekenen is de emissiehoogte al verlaagd van 90 naar 75 m (uitleg: zie het rapport "Effect windturbines op de op luchtkwaliteit rond AVR Duiven, ESC-2019R02).

Opmerking 2: de pluim uit de schoorsteen stijgt in de lucht nog een stukje door de warmte inhoud. Hier houden we (zoals altijd) rekening mee. De pluimstijgberekeningen volgen internationaal en vele malen gevalideerde formuleringen.

Prof van Bussel vertelt tevens dat 2/3 deel van de pluim door de rotor gaat (in optimale omstandigheden) en 1/3 deel dus niet: dit 1/3 pluimdeel buigt af. En het is dit 1/3 pluimdeel dat dan discussie geeft. Dat betekent dat 2/3 deel gewoon door het zog gaat; dit pluimdeel volgt dus steeds in het model het zogmodel.

In het model doen we met het 1/3 pluimdeel dan het volgende om de effecten van Prof van Bussel te simuleren:

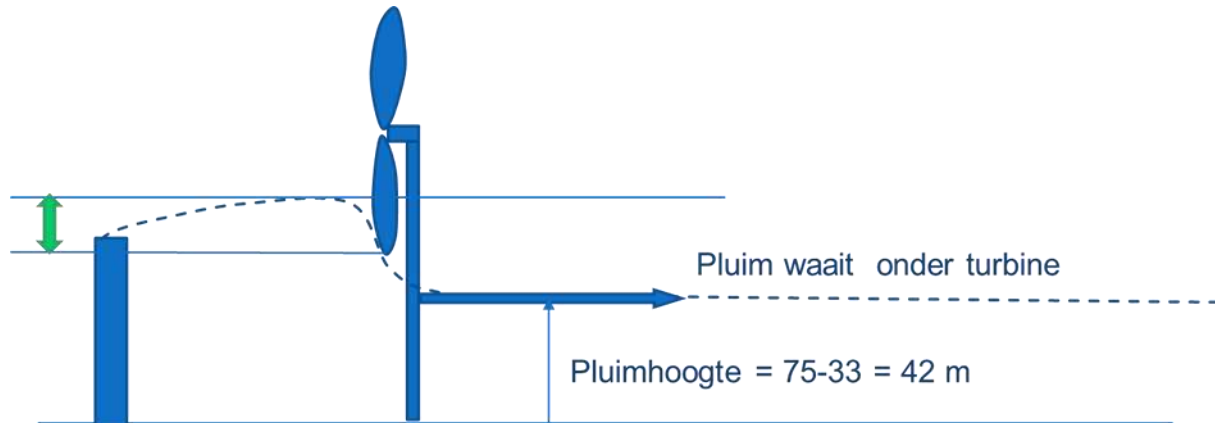
We kijken eerst (stap 1) wat het resultaat wordt als we alle pluimdelen die in het onderste kwart van de rotor (zie groene pijl) terecht komen, helemaal naar 42 m hoogte verlagen en verder niet in het zog terecht laten komen. In werkelijkheid gebeurt dat meestal minder dramatisch, want

---

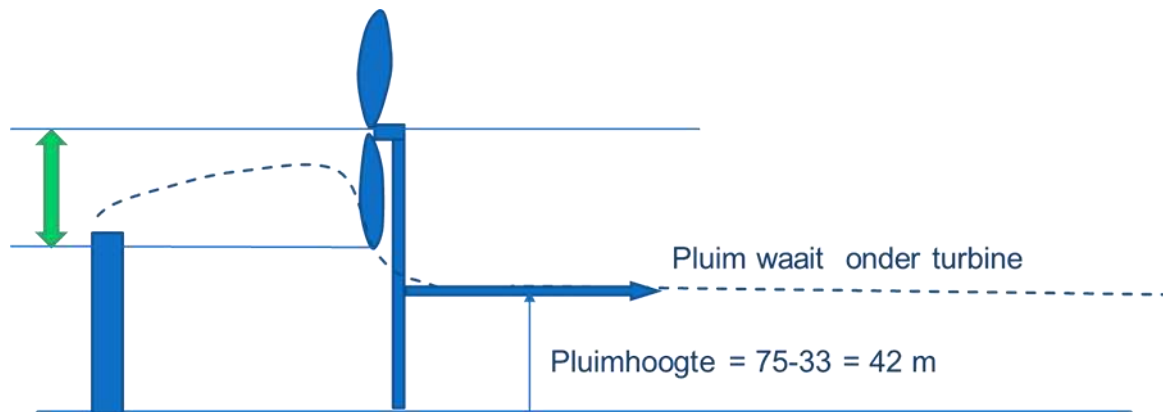
<sup>1</sup> Soms wordt een rotordiameter van 140 m genoemd; ik ga steeds uit van de Nordex-131-3000 of Nordex-131-3900 (rotordiameter 131 m) en daar horen thrustcoëfficiënten bij. Een andere rotordiameter vraagt andere thrustcoëfficiënten, die niet voorhanden zijn.

er is ook zijwaartse beweging (daarover later), in deze stap laten we dit pluimdeel altijd helemaal naar 42 m dalen.

Dan als zwart scenario (stap 2) kijken we wat het resultaat wordt als we de 1/3 pluim, als die in de gehele onderste helft van de rotor terecht komen, steeds helemaal naar 42 m worden verlaagd en verder niet in het zog terecht zal komen:

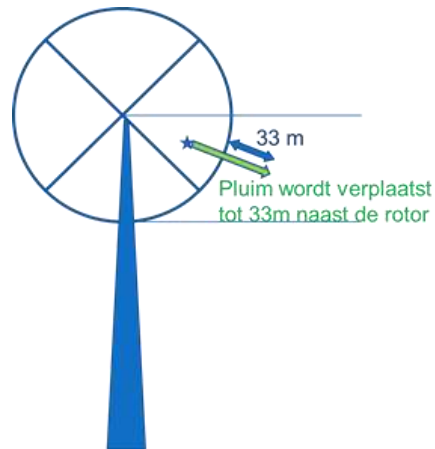


Dit is niet wat prof van Bussel bedoelt, want de pluim valt niet zozeer naar benden, maar buigt immers ook zijwaarts (radiaal) af, zulks afhankelijk van waar de pluim de rotor treft. Immers, als de pluim het bovenste stuk treft, wordt die naar bóven afgebogen. We verrekenen daarom in deze stap (stap 3) ook de zijwaartse afbuiging. Dit pluimdeel wordt dan altijd 33 m naar buiten de rotordiameter verplaatst (radiaal):

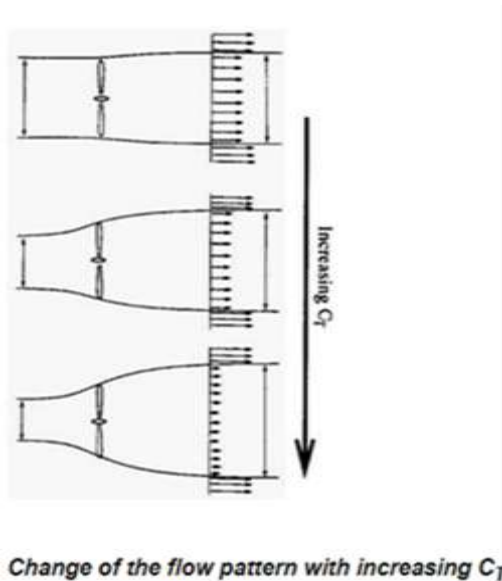


De verplaatsing van deze pluim wordt dan 33 m buiten de rand van de rotor. De hoek vanuit het midden van de rotor bepaalt de richting van de verplaatsing, dus ook of dit naar boven, naar onder of zijwaarts etc zal zijn.

Deze pluim gaat dus soms naar beneden, soms naar boven etc., zulks waar de pluim de doorsnede van het rotor "raakt": zie het sterretje in het volgende plaatje.



Dit doen we ook in niet-optimale situaties (die het vaakst voorkomen); het afbuigen wordt in niet-optimale situaties namelijk minder (in technisch termen: de thrustcoëfficiënt wordt kleiner) onderste plaatje is dan de optimale situatie): de afbuigende lijnen (de stroomlijnen van de wind) worden rechter.



Het verrekenen van deze thrustcoëfficiënten kan wel, maar is lastiger te berekenen en als "worst-case" benadering nemen we het verplaatsingseffect maximaal (dus steeds 33 m buiten de rotordiameter).



### 3. Uitvoering

We doen de berekeningen voor NO<sub>x</sub> (AVR emissies) en kijken naar de bijdrage van de AVR: (1) zonder windmolens, met windmolens plus het zogmodel en (2) met het afbuigen van de pluim, conform prof van Bussels video en zoals boven uitgelegd. Voor PM<sub>10</sub> is het turbine effect hetzelfde, maar de AVR bijdrage aan de concentraties is veel kleiner dan voor NO<sub>x</sub>.

We nemen NO<sub>x</sub>, hoewel het in de praktijk om NO<sub>2</sub> gaat en we veronderstellen dan dat 100% van NO<sub>x</sub> naar NO<sub>2</sub> wordt omgezet in de lucht (wederom een worst-case benadering).

De berekeningen doen we voor de 140 m hoge turbine (140 m is de ashoogte); voor de 110m is het effect namelijk veel minder: de pluim vliegt daar al bijna steeds eroverheen of komt in het bovenste deel terecht. Bedenk dat de rookgassen uit de AVR nog een eind stijgen door de warmte inhoud: de effectieve hoogte is daardoor een stuk meer dan de schoorsteenhoogte.

De berekeningen worden gedaan op de 15 toetspunten (woningen) plus een 16<sup>e</sup> punt waar de bijdrage van de AVR de hoogste waarde laat zien. Dit laatste is berekend met het normale STACKS model, dus zonder zogmodel. Als warmte emissie wordt 10 MW genomen (het gemiddelde van de 2 varianten in het AVR rapport).

In het model nemen we dan 2 emissiebronnen in plaats van 1 emissie: de één met 1/3 en de ander met 2/3 van de NO<sub>x</sub> emissie. De pluim met 2/3 emissie gaat zoals normaal door het zog volgens het zogmodel.

Als meteorologie wordt de periode van 2009-2018 genomen: de meest recente periode van 10 jaar, naast de standaard periode van 1995-2004.

De pluim met 1/3 emissie wordt zijwaarts verplaatst en vervolgens verspreid. De warmte emissie is voor beide emissies hetzelfde (10 MW). Voor dit 1/3 pluimdeel zijn een aantal (10 stuks) varianten doorgerekend, zulks mede op aangeven van Han van Egmond (één van de omwonenden).

1. Verspreiding zonder de windmolens. Zogmodel wordt dus niet gebuikt
2. Verspreiding met de windmolens. Het normale zogmodel wordt dus gebuikt
3. Het 1/3 pluimdeel gaat naar 42 m als het in de onderste kwart van de rotor komt. De verplaatsing is dus altijd vertikaal naar beneden tot 42 m hoogte.
4. Het 1/3 pluimdeel gaat naar 42 m als het in de onderste helft van de rotor komt (zwarte scenario). De verplaatsing is ook hier altijd vertikaal naar beneden tot 42 m hoogte.
5. Het 1/3 pluimdeel wordt nu radiaal naar buiten de rotor verplaatst (dus zowel naar beneden als zijwaarts, zulks afhankelijk van waar de pluim de rotor raakt. Deze verplaatsing is wel altijd 33 m buiten de rotor. Verplaatsing naar boven laten we buiten beschouwing.

6. Idem maar nu voor het worst case jaar: 2008.
7. Idem maar nu voor de 'standaard' meteo periode van 1995-2004.
8. In plaats van 10 MW nemen we nu de lage waarde uit de eerdere rapporten: 8 MW: de pluim komt dan vaker in de onderste helft van de rotor terecht.
9. Op verzoek van Han rekenen we ook uit wat er gebeurt als de schoorsteen geen 90 m, maar 41 m hoog is (met 10 MW warmte), zonder de windmolen.
10. En tot slot als variant hierop wat er gebeurt als de schoorsteen weer 41 m hoog is (maar geen warmte emissie, dus geen pluimstijging: PS), en zonder de windmolen.

De resultaten staan op de volgende bladzijde, nummers in de tabel verwijzen naar de variantnummering hierboven. Concentraties zijn gegeven in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De voor deze locaties beschikbare achtergrond-waarden voor NO<sub>2</sub> zijn ook gegeven en tevens de berekende verhouding tussen NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> voor de AVR bijdrage. Deze is ongeveer 75-85%. Er is altijd wat meer NO<sub>x</sub> dan NO<sub>2</sub>; maar het merendeel is omgezet naar NO<sub>2</sub>. (bij de modelberekeningen is 100% aangenomen).

De achtergrondwaarden voor NO<sub>2</sub> zijn uit de grootschalige concentraties in Nederland (de GCN waarden) afgeleid, als gemiddelde over de jaren 2009-2018. Deze GCN waarden zijn de door de overheid jaarlijks vrijgegeven concentraties op een schaal van 1x1 km over heel Nederland en dus ook voor deze specifieke locatie.

No	afstand tot AVR	X coördinaat	Y coördinaat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	GCN	NO2/NOx
				geen WT	normaal	kwart	half	half +dycor	2008	1995-2004	8.2 MW	H=41, geen WT	H=41, geen PS		
1	2236	199296	442108	0.057	0.058	0.058	0.058	0.058	0.055	0.066	0.064	0.082	0.437	19.4	0.82
2	960	197469	443544	0.112	0.137	0.131	0.327	0.156	0.135	0.113	0.148	0.245	2.425	21.6	0.84
3	1034	197722	443492	0.140	0.160	0.156	0.317	0.155	0.168	0.135	0.171	0.279	2.146	21.6	0.82
4	1192	197957	443502	0.159	0.155	0.158	0.225	0.157	0.174	0.147	0.177	0.287	1.723	21.6	0.83
5	1358	197468	443962	0.101	0.136	0.125	0.232	0.154	0.137	0.115	0.144	0.185	1.457	21.6	0.84
6	2564	199690	442716	0.064	0.069	0.067	0.075	0.068	0.075	0.078	0.074	0.091	0.446	19.4	0.81
7	1346	197515	441359	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.027	0.042	0.048	0.066	0.505	22.2	0.81
8	990	197278	441669	0.037	0.036	0.036	0.036	0.036	0.020	0.034	0.044	0.069	0.695	22.2	0.78
9	1380	196336	441517	0.050	0.047	0.047	0.047	0.047	0.024	0.042	0.055	0.089	0.649	20.2	0.79
10	924	196203	442631	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.036	0.025	0.026	0.045	0.745	26.9	0.74
11	957	196218	442947	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.023	0.026	0.026	0.045	0.712	26.9	0.77
12	1903	196303	444363	0.030	0.031	0.031	0.032	0.031	0.031	0.031	0.036	0.051	0.485	23.3	0.77
13	466	197078	443110	0.012	0.073	0.053	0.199	0.053	0.043	0.048	0.061	0.058	3.119	21.6	0.76
14	1023	197361	443643	0.092	0.125	0.115	0.265	0.152	0.127	0.111	0.143	0.196	2.053	21.6	0.84
15	2036	198336	444286	0.118	0.137	0.131	0.186	0.131	0.149	0.121	0.141	0.182	0.853	19.4	0.82
16	1311	198200	443400	0.182	0.123	0.146	0.279	0.145	0.162	0.128	0.155	0.312	1.585	19.1	0.83
gemiddeld over 16 pnt				0.077	0.086	0.083	0.147	0.089	0.086	0.079	0.095	0.143	1.252	21.8	0.804



## 4. Korte discussie

Natuurlijk zijn de concentraties ten gevolge van de AVR het hoogste als we de schoorsteen heel laag maken (41 m) en de warmte emissie achterwege laten (variant 10). Maar zelfs in dit onmogelijke scenario wordt de achtergrond waarde (GCN, één na laatste kolom) niet benaderd.

In alle andere varianten is de bijdrage van de AVR nooit groter dan 0,1 a 0,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Bij deze gedachtenexperimenten moet worden vermeld, dat het steeds worst-case benaderingen zijn. Zoals prof van Bussel vertelt, is de verplaatsing van de rookpluim naar buiten de rotor van toepassing op optimale situaties. Optimaal, in de zin van rendement van de molen. In alle andere situaties is de verplaatsing minder. En daar waar er nog meer keuzen gemaakt kunnen worden is steeds de worst-case gekozen.

De video van prof van Bussel laat geen dynamisch gedrag van de vortex zien, alleen één foto. Het type windmolen is niet bekend, evenmin als de kenmerken van de luchtstroming. In andere video's op internet is het dynamisch gedrag wel zichtbaar en is de verplaatsing geringer of afwezig. Met andere woorden: voorzichtigheid is geboden om een ongedocumenteerde foto als generiek voorbeeld te kiezen voor processen in de echte atmosfeer.

In het zogmodel wordt de zijwaartse verplaatsing niet expliciet beschreven. Maar het effect ervan is een toename van de zogbreedte en daardoor een toename van de pluimdimensies. Het model werkt namelijk steeds met een gaussische pluimvorm. De verbreding van de pluim door opname in het zog wordt opgeteld bij de breedte die de pluim al had (de sigma-waarden worden opgeteld). Daardoor bereikt de pluim door de windmolen de grond eerder. Dit betekent dat het zogmodel effectief gezien, al min of meer hetzelfde doet als het neerwaarts verplaatsen van de pluim. Daardoor zijn de verschillen tussen het van Bussel-model en het 'normale' zogmodel klein, met andere woorden: het model zit zo bekeken robuust in elkaar.

Natuurlijk is het mogelijk nog meer worst-case aannamen te doen: de pluim is zwaar, de emissie is hoger, pluimstijging gaat anders en is minder, het weer in Duiven is anders dan het KNMI aangeeft, het model is niet nauwkeurig en vast nog meer. Deze aannamen zijn echter niet te onderbouwen en zelfs veelal in strijd met waarnemingen.