

## Terreinruwheid in AERIUS

Gerard Cats, Geetacs  
www.geetacs.nl

24 oktober 2023

### *Samenvatting*

Bij de berekening van droge depositie uit de concentratie in de lucht wordt gebruik gemaakt van een representatieve terreinruwheid. De procedure die AERIUS volgt om die ruwheid te bepalen wordt besproken. Storende tekortkomingen in die procedure kunnen worden weggenomen, door uit te gaan van landgebruiksbestanden op hogere resolutie, bij voorkeur in afhankelijkheid van windrichting.

# 1. Inleiding

Wettelijk is voorgeschreven dat stikstofdepositie berekend moet worden met AERIUS. Intern gebruikt AERIUS het model “OPS”, (Operational Priority Substances) (Sauter *et al.*, 2023)<sup>1</sup>. De routine “DEPAC” berekent daarin droge depositie, als een product van concentratie op ‘neushoogte’ en een depositiesnelheid. De depositiesnelheid is het omgekeerde van een “weerstand” die bestaat uit twee in serie geschakelde weerstanden. De eerste weerstand beschrijft de uitwisseling tussen enerzijds de atmosfeer en anderzijds het plant- of bodemoppervlak; de tweede hoe snel vegetatie en bodem de stof opnemen. De tweede weerstand betreft fysiologische processen; die wordt hier niet verder beschouwd.

De uitwisseling in de atmosfeer geschiedt door turbulentie in de onderste luchtlagen. Naast de windsnelheid is de zogenaamde terreinruwheid ( $z_0$ ) bepalend voor de mate van turbulentie, en daarmee van wezenlijk belang voor de droge depositie. Vanwege dat belang wordt in deze notitie ingegaan op hoe  $z_0$  in AERIUS wordt berekend. Opgemerkt wordt nog wel dat  $z_0$  niet het hele verhaal van de uitwisseling in de atmosfeer vertelt (zie bijvoorbeeld Wichink Kruit, 2010<sup>2</sup>).

Voor diverse landschapselementen zijn representatieve waarden van  $z_0$  bekend. Die zijn toepasbaar als het landschap homogeen is. Maar in de Nederlandse situatie komt men vaak afwisselende elementen tegen. In natuurgebieden worden bossages afgewisseld door heidevelden; weiland grenst aan bos; een snelweg loopt dwars door een natuurgebied. In dergelijke gevallen moeten de diverse waarden van  $z_0$  worden gemiddeld. De uitkomst is afhankelijk van de middelingsprocedure. De voorliggende notitie gaat over de manier waarop AERIUS die middeling uitvoert. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een RIVM memo uit 2021<sup>3</sup>. In dat memo staan ook een paar voorbeelden van het effect van de terreinruwheid  $z_0$  op depositie. Figuren 1 en 2 suggereren dat de depositie grofweg evenredig is aan  $1/\log(z_b/z_0)$  met  $z_b = 60$  m. In dat memo is nog sprake van het gebruik van landgebruikkaart “LGN7”; dat is inmiddels geactualiseerd naar LGN2020 (Romeijn *et al.*, 2023)<sup>4</sup>.

Er bestaan verscheidene definities van  $z_0$ . In de volgende sectie wordt daaruit een keus gemaakt. Hoe AERIUS  $z_0$  bepaalt voor elk rekenpunt wordt in sectie 3 uitgelegd. Om de consequenties van de in AERIUS gemaakte keuzen na te gaan zijn enkele vereenvoudigde berekeningen gedaan, zie sectie 4. Daarna volgen de discussie en enkele aanbevelingen (sectie 5).

Turbulentie verzorgt het verticale transport binnen de atmosfeer, van de concentratie in de lucht naar het oppervlak van bodem of vegetatie. Turbulentie is ook verantwoordelijk voor verdunning onderweg vanaf de bron en daarmee medebepalend voor de concentratie in de lucht. Dat effect van turbulentie is nadrukkelijk niet het onderwerp van deze studie. Hier gaat het alleen om de stap van atmosfeer naar bodem en vegetatie, dus van concentratie naar depositie. Ook betreft deze studie niet de manier waarop de terreinruwheid wordt gebruikt bij het berekenen van de depositiesnelheid. Het gaat hier louter om de berekeningswijze van de terreinruwheid.

<sup>1</sup>Ferd Sauter, Marina Sterk, Eric van der Swaluw, Roy Wichink Kruit, Wilco de Vries en Addo van Pul, 2023: *The OPS-model*.

[https://www.rivm.nl/sites/default/files/2023-07/ops\\_documentation\\_5.1.1.0\\_20230705\\_0.pdf](https://www.rivm.nl/sites/default/files/2023-07/ops_documentation_5.1.1.0_20230705_0.pdf)

<sup>2</sup>R.J. Wichink Kruit, 2010: *Surface-atmosphere exchange of ammonia*, ISBN 978-90-8585-642-9, <https://edepot.wur.nl/137586>

<sup>3</sup>RIVM, 2021: *Effect ruwheid en landgebruik op depositie in AERIUS*; RIVM memo dd. 20 april; <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-e78bc0165092357146a003ac1e90b4dd9afb5848/pdf>

<sup>4</sup>Paul Romeijn, Sebastiaan Hazelhorst, Michiel Schram, Gertjan Stolwijk, Sander Jonkers, Nam Nguyen, Wouter Marra, 2023: *Handboek Data AERIUS 2022*; [https://www.aerius.nl/files/media/publicaties/documenten/rivm-aerius\\_handboek\\_data\\_2022.pdf](https://www.aerius.nl/files/media/publicaties/documenten/rivm-aerius_handboek_data_2022.pdf)

## 2. Drag coefficient en vlagfactor $z_0$

Er bestaan verscheidene manieren waarop de terreinruwheid  $z_0$  kan worden gedefinieerd. Men kan kijken naar de mate waarin de wind wordt afgeremd door het oppervlak. Daarbij wordt  $z_0$  gedefinieerd in termen van de zogenaamde *drag coefficient*  $c_D$ . De aldus gedefinieerde  $z_0$  wordt hier aangeduid met  $z_{0Cd}$ . Men kan ook kijken naar de mate van turbulentie in de onderste regionen van de atmosfeer. Voor depositie is dat zinniger, omdat immers turbulentie verantwoordelijk is voor de uitwisseling in de atmosfeer. Vlagerigheid van de wind is ook een gevolg van turbulentie. Daarom is een definitie van  $z_0$  gebaseerd op vlagfactoren een betere maat voor depositie dan  $z_{0Cd}$ . De met vlagfactoren gedefinieerde  $z_0$  wordt aangeduid met  $z_{0gu}$  (van gustiness).

De mate van turbulentie hangt niet alleen van de lokale omstandigheden af, maar wordt in principe bepaald door alle bovenwindse terreineigenschappen. Als die niet homogeen zijn moet er op een of andere manier gemiddeld worden. Voor  $z_{0Cd}$  is een fysisch plausibele middelingsprocedure beschikbaar: kijk hoe de terreinelementen afzonderlijk de wind op 60 m hoogte beïnvloeden, middel dat gewogen met het oppervlak van die terreinelementen, en zoek dan een waarde van  $z_{0Cd}$  die in homogeen terrein hetzelfde effect op de wind op 60 m hoogte gehad zou hebben. Verkaik (2006)<sup>5</sup> beschrijft de procedure in zijn sectie 5.4.1. Verkaik kijkt ver bovenwinds omdat ook verweggelegen elementen de wind op 60 m hoogte nog beïnvloeden. Hij hanteert een exponentiële afname van het effect van landschapselementen. Van Zanten en Van Pul (2014)<sup>6</sup> suggereren dat de middeling gedaan moet worden over terreinelementen tot 100 m bovenwinds van de bron. Die suggestie wordt hier overgenomen, omdat voor de depositiesnelheid alleen de turbulentietoestand dicht bij de grond telt. Verkaik's exponentiële afname is zo langzaam dat die op afstanden tot 100 m geen belangrijke rol speelt. Die afname wordt dan ook verwaarloosd.

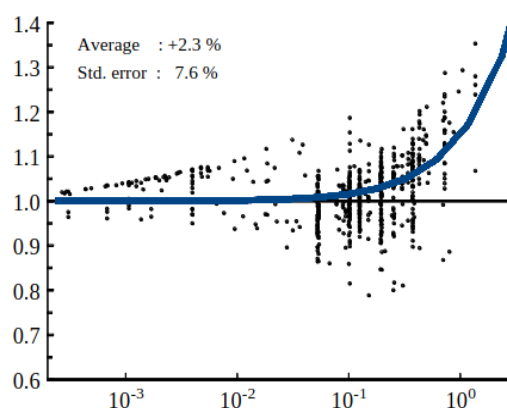
Een dergelijke fysisch verdedigbare procedure bestaat helaas niet voor de interessantere  $z_{0gu}$ . Uit Figuur 5.3 van Verkaik blijkt dat  $z_{0gu}$  en  $z_{0Cd}$  bij lagere waarden van  $z_{0gu}$  niet systematisch verschillen, maar bij hoge waarden van  $z_{0gu}$  is  $z_{0Cd}$  wel systematisch lager. In deze notitie zal  $z_{0gu}$  uit  $z_{0Cd}$  worden bepaald door een verband dat in Verkaik's Figuur wordt gesuggereerd. Die Figuur is hier overgenomen in Figuur 1, met daarin ingetekend het gesuggereerde verband:

$$z_{0gu} = z_{0Cd} \cdot \exp(\kappa \cdot z_{0Cd}) \quad \text{met } \kappa = 0,16/\text{m}.$$

Bovenstaande overwegingen gelden in principe alleen voor een neutrale atmosfeer. Dicht bij de grond ('neushoogte') is de hoogte bijna altijd veel kleiner dan de absolute waarde van de Monin-Obukhov lengte, zodat stabiliteitscorrecties bijna altijd verwaarloosbaar zijn; en dus wegvallen bij studies van jaargemiddelden, zoals gebruikelijk bij depositie.

## 3. Terreinruwheid in AERIUS

De terreinruwheid wordt in AERIUS in twee stappen afgeleid uit landgebruik. Aan elke van 39 landgebruiksklassen wordt een ruwheid toegekend. Internationaal bestaan vele tabellen voor die toekenning. Het is niet duidelijk welke tabel AERIUS gebruikt; waarschijnlijk dezelfde als OPS, te



Figuur 1: Het hier gebruikte verband tussen  $z_{0Cd}$  en  $z_{0gu}$ , ingetekend in Figuur 5.3 van Verkaik (2006)

<sup>5</sup>Jacobus Wouter Verkaik, 2006: *On Wind and Roughness over Land*, ISBN 90-8504-385-9, <https://edepot.wur.nl/121786>

<sup>6</sup>Margreet van Zanten en Addo van Pul, 2010, *Notitie t.b.v. de ELMvergadering*, [https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/schaalnotitie\\_tbv\\_ELM.pdf](https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/schaalnotitie_tbv_ELM.pdf)

weten een tabel van Verkaik (2001)<sup>7</sup>. Voor deze studie is dat niet van belang. Wel van belang is dat de bestaande tabellen in het algemeen  $z_{0cd}$  betreffen. Daarom wordt aangenomen dat de ruwheid die AERIUS gebruikt gebaseerd is op de *drag coefficient*. Overigens is deze veronderstelling niet van doorslaggevend belang, omdat  $z_{0cd}$  en  $z_{0gu}$  over een groot deel van het bereik van  $z_{0gu}$  niet wezenlijk verschillen.

Het basisbestand voor AERIUS is LGN2020, op een resolutie van  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ . De WUR maakt dit bestand door “aggregatie” vanuit een bestand met een resolutie van  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ . Bij die aggregatie wordt aan een  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$  pixel het landgebruik toegekend dat het vaakst binnen dat pixel voorkomt in het  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  bestand (Hazeu *et al.*, 2018)<sup>8</sup>. Die aggregatie is de eerste stap.

AERIUS heeft de Natura 2000 gebieden in Nederland overdekt met een raster van regelmatige zes-hoeken (“hexagonen”) van 1 ha groot. Het middelpunt van zo’n hexagoon wordt vaak “receptor” genoemd. Voor elke receptor is de te gebruiken ruwheid bepaald door middeling van de ruwheden uit het geaggregeerde LGN2020  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$  bestand over 6,25 ha, rondom elke receptor. Dit middelen is de tweede stap. Hoewel OPS middelt op basis van *drag coefficient* is niet duidelijk hoe de middeling is uitgevoerd voor AERIUS.

De hier gerapporteerde studie is verricht omdat vooral de eerste stap, aggregatie, niet optimaal is om een representatieve waarde voor de terreinruwheid te verkrijgen. Een afzonderlijk bosje op een heideveld heeft een grote lokale invloed op de turbulentie, maar het verdwijnt bij de aggregatiestap; omgekeerd heeft een open plek in een bos weinig invloed op de turbulentie. Aggregatie heeft daarmee een systematisch effect in de richting van onderschatting van  $z_0$ . Daarentegen heeft gebiedsmiddeling een overschattend effect, en wel omdat niet zozeer  $z_0$  zelf, maar  $\log(z_0)$  de turbulentie bepaalt. In de volgende sectie zullen enkele voorbeeldberekeningen dit illustreren.

Terzijde wordt nog het volgende opgemerkt. OPS, het rekenhart van AERIUS, kent drie ruwheden voor elke bron-receptor relatie: die ter plaatse van de bron, die ter plaatse van de receptor en één die representatief is voor de trajectorie van bron naar receptor. De bij OPS geleverde landgebruiksbestanden zijn rasterdata, met een pixelgrootte van  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ . De beschrijving van AERIUS suggereert dat die bestanden niet worden gebruikt voor de receptorruwheid (daar immers wordt gebruik gemaakt van een gemiddelde over 6,25 ha rondom de receptor). Het is niet duidelijk welk bestand wordt gebruikt aan de bronzijde. AERIUS heeft niet voor elke mogelijke bronlocatie een gemiddelde over 6,25 ha rondom die locatie beschikbaar. Vermoed wordt dat de ruwheid aan de bronzijde gelijk is aan de pixelwaarde van het bij OPS geleverde bestand op  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$  resolutie. Hoe dan ook, de resolutie aan de bronzijde zal niet beter zijn dan ofwel  $250\text{ m} \times 250\text{ m}$  ofwel 6,25 ha; in beide gevallen gaat het om een middeling over circa 100 pixels uit het tot  $25\text{ m} \times 25\text{ m}$  geaggregeerde LGN bestand.

Voor de onderhavige studie is dit echter niet van belang. Hier gaat het immers alleen om de turbulentie aan de receptorzijde. De ruwheid bij de bron en langs de trajectorie zijn slechts van belang voor de verdunning van de stof in de atmosfeer, en niet voor de depositie vanuit de atmosfeer naar bodem en vegetatie.

<sup>7</sup>Verkaik, J.W., 2001: *A method for the geographical interpolation of wind speed over heterogeneous terrain*, KNMI report, <http://www.knmi.nl/samenw/hydra/documents/geograph/interpol.pdf>

<sup>8</sup>Hazeu, G.W., Vittek, M., Schuiling, R., Bulens, J.D., Storm, M.H., Roerink, G.J. en Meijninger, W.M.L., 2018: *LGN2018: Een nieuwe weergave van het grondgebruik in Nederland*, ISSN 1566-7197; [www.wur.nl/nl/show/Rapport-LGN-2018-een-nieuwe-weergave-van-het-grondgebruik-in-Nederland.htm](http://www.wur.nl/nl/show/Rapport-LGN-2018-een-nieuwe-weergave-van-het-grondgebruik-in-Nederland.htm)

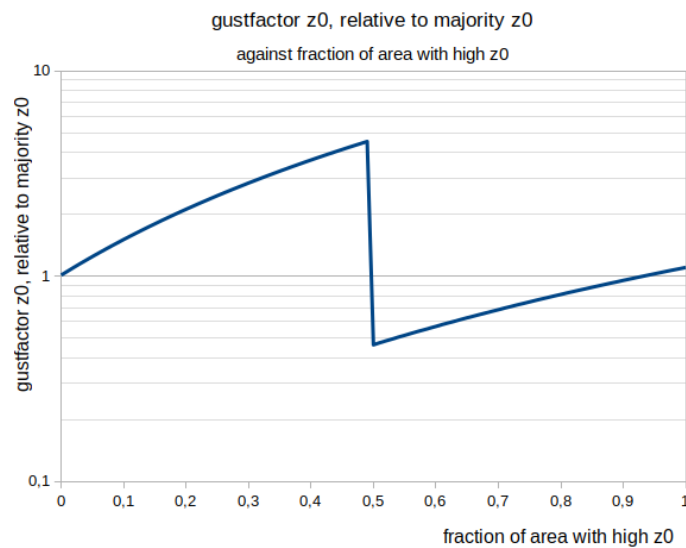
## 4. Berekeningen

### 4.1 Opzet

Om het effect van aggregatie en middeling (zie sectie 3) inzichtelijk te maken zijn berekeningen gedaan aan een situatie waarin twee landschapselementen voorkomen, waarvan het ene een terreinruwheid  $z_{0Cd}$  (dus de ruwheid gebaseerd op de *drag coefficient*) heeft van 6 cm en het andere van 60 cm. Deze waarden zijn representatief voor heide of weiland respectievelijk bosjes of bosrand. Eerst werd  $z_{0Cd}$  berekend en daaruit werd  $z_{0gu}$  (die dus meer representatief zou moeten zijn voor turbulentie en daarmee voor de depositie) afgeleid, zoals omschreven in sectie 2. Bij de berekeningen werd de fractie landgebruik door het element met de hoogste ruwheid gevarieerd van 0 tot 1.

In de volgende subsecties worden de berekeningen aan aggregatie en aan gebiedsmiddeling afzonderlijk gepresenteerd. Omdat subsectie 4.2 betrekking heeft op de stap van 5 m naar 25 m resolutie en subsectie 4.3 op de stap van 25 m naar 250 m resolutie, mogen de daar beschreven effecten niet eenvoudigweg met elkaar worden vermenigvuldigd om het totale effect te verkrijgen. Bovendien voert AERIUS de tweede stap (gebiedsmiddeling) waarschijnlijk correct uit, zodat de resultaten die in subsectie 4.3 worden getoond waarschijnlijk niet van belang zijn voor AERIUS.

### 4.2 Aggregatie van klassen van landgebruik



*Figuur 2: De verhouding tussen  $z_{0gu}$  en de "meerderheidswaarde" van  $z_0$ , als functie van de fractie land ingenomen door het terrein met hoge ruwheid. Merk de logaritmische schaal op.*

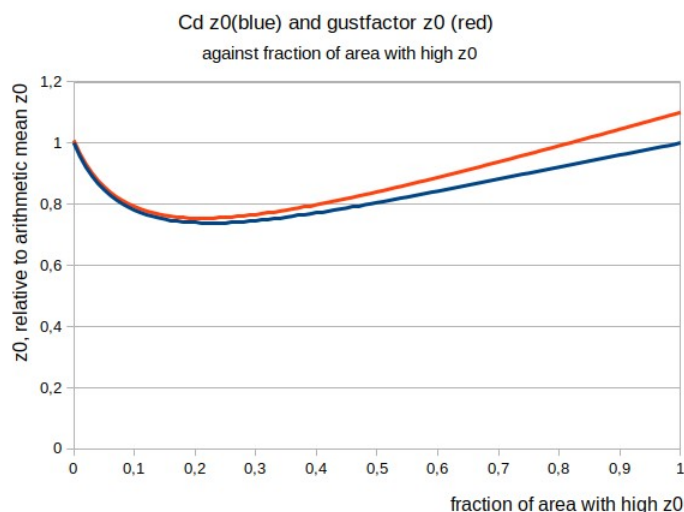
In Figuur 2 wordt het effect van aggregatie getoond, als verhouding tussen de vlagfactor terreinruwheid  $z_{0gu}$  en de waarde van de terreinruwheid die het vaakst voorkomt. Omdat de ruwheid vooral logaritmisch doorwerkt in turbulentie is de verticale schaal logaritmisch gekozen. Zelfs in de logaritmische schaal valt op dat er veel meer "oppervlak" boven dan onder de 1-lijn ligt. Dit bevestigt de al in sectie 3 voorspelde systematische onderschatting van ruwheid door de aggregatieprocedure.

De sprong van een factor 4,5 naar een factor 0,45 bij gelijke delen hoge en lage ruwheid is uiteraard het gevolg van de keuze van de "meerderheidswaarde" waarmee de berekende  $z_{0gu}$  wordt vergeleken.

Het systematische effect komt ook in de sprong tot uitdrukking: de meerderheidswaarde springt van een factor 4,5 te laag naar een factor "slechts" 2,2 te hoog ten opzichte van de representatieve ruwheid  $z_{0gu}$ .

Dat de verhouding iets boven 1 ligt bij hoge fractie van hoge ruwheid wordt veroorzaakt doordat  $z_{0gu}$  bij  $z_{0cd} = 60$  cm circa 10% groter is dan  $z_{0cd}$ .

### 4.3 Gebiedsmiddeling



Figuur 3:  $z_{0cd}$  (blauw) en  $z_{0gu}$  (rood), uitgedrukt als fractie van de gebiedsgewogen gemiddelde ruwheid, als functie van de fractie land ingenomen door het terrein met hoge ruwheid.

Gebiedsmiddeling van  $z_0$  met weging naar ingenomen oppervlak leidt in het algemeen tot een overschatting van de ruwheid (Figuur 3), en daarmee van de depositie. De grootste overschatting treedt op bij circa 20% aanwezigheid van de hoogste ruwheid, en die overschatting is dan circa 30%.

Dat het minimum bij een relatief lage fractie optreedt wordt veroorzaakt doordat een ruw element in overigens vlak terrein meer invloed heeft dan een vlak element in overigens ruw terrein.

## 5. Discussie en aanbevelingen

Door aggregatie (die, kort gezegd, neerkomt op het vervangen van de ruwheid door de vaakst voorkomende ruwheid in de omgeving) wordt de ruwheid systematisch onderschat. Deze fout is gemakkelijk te vermijden, door de huidige  $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$  landgebruikskaarten binnen AERIUS niet meer te baseren op een tussenbestand van LNG op  $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$  resolutie, maar direct uit te gaan van het oorspronkelijke bestand op  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$  resolutie.

Waarschijnlijk treedt de overschatting door gebiedsmiddeling niet op in AERIUS. Maar er is wel een doorwerking van de onderschatting door aggregatie tijdens de gebiedsmiddeling. In principe moet er stroomopwaarts gekeken worden, en niet gemiddeld over een gebied. Voor de vaste receptorpunten in Natura 2000 gebieden is dat niet al te moeilijk: in plaats van een gebiedsgemiddelde  $z_0$  kan redelijk eenvoudig een representatieve  $z_0$  per windrichtingssector in elk receptorpunt worden gebruikt. Omdat ook de windrichting fluctueert ten gevolge van turbulentie kunnen redelijk grote windsectoren gebruikt worden. Het KNMI<sup>9</sup> en Wever en Groen (2009)<sup>10</sup> gebruiken  $20^\circ$ ; er kan ook aansluiting gezocht

<sup>9</sup><https://www.knmi.nl/research/observations-data-technology/projects/potential-wind>

<sup>10</sup>Nander Wever and Geert Groen, 2009: *Improving potential wind for extreme wind statistics*, KNMI Scientific report WR 2009-02; <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmipubWR/WR2009-02.pdf>

worden bij de grootte van de sectoren in OPS (30°). Computerwijs is dit goed te doen: AERIUS zou slechts iets meer geheugen nodig hebben. De grootste inspanning gaat aan AERIUS vooraf: voor elk receptorpunt zou een representatieve  $z_0$  bepaald moeten worden uit het bestand op 5 m resolutie, voor elke windrichtingssector.

Lastiger is dit te realiseren voor willekeurige rekenpunten. Het is waarschijnlijk onpraktisch om OPS steeds weer een representatieve  $z_0$  te laten uitrekenen uit het – zeer grote – LNG bestand met de resolutie van 5 m × 5 m. Misschien moet daar nog worden uitgegaan van een bestand met lagere resolutie. Windrichtingsafhankelijkheid wordt echter nog wel op prijs gesteld, zoals ook wel blijkt uit de volgende overwegingen:

In een antwoord op Kamervragen (Van der Wal, 2022) <sup>11</sup> zegt de Minister onder andere

*Het is in dit verband goed om te beseffen dat «de lijzijde van een bosrand» afhangt van de windrichting op een bepaald moment. Die windrichting is door het jaar heen heel verschillend. Dat betekent dus dat er tijdelijk een lagere depositie zal optreden in open terrein achter de bosrand als dat op dat moment de lijzijde is, maar op een ander moment – met een andere windrichting – zal het juist hoger zijn.*

Dit beschrijft weliswaar de bijdrage van alle bronnen in Nederland samen, maar het is niet van toepassing op individuele bronnen. Immers, een enkele bron draagt alleen bij een enkele windrichting bij aan de depositie op een receptor. Er is dan geen sprake van middeling over windrichtingen. Bij bijvoorbeeld vergunningsverlening of het identificeren van piekbelasters is het daarom des te prangerender de middeling over terreinelementen alleen in de desbetreffende windrichtingssector uit te voeren. De Kamervragen en het antwoord van de Minister gaan specifiek in op de situatie bij een bosrand – blijkbaar speelt dat in de maatschappij. Maar het probleem treedt uiteraard steeds op waar de representatieve terreinruwheid windrichtingsafhankelijk is.

De conclusie luidt dan ook dat de rekenmethode die AERIUS gebruikt voor de droge depositie vanuit individuele bronnen beter afgesteld kan worden op de lokale terreineigenschappen. De daarbij gebruikte terreinruwheid wordt bij voorkeur afhankelijk van de windrichting. Aan klachten uit de maatschappij, in het bijzonder die over de behandeling van bosranden, wordt dan (deels) tegemoetgekomen. De berekening van de depositie wordt er betrouwbaarder door.

Bovenstaande betreft alleen de terreinruwheid die AERIUS als extern invoerveld gebruikt bij de schatting van depositie uit concentratie. Nadrukkelijk is niet ingegaan op de manier waarop AERIUS vervolgens dat veld intern gebruikt om depositie uit concentratie te schatten; daaronder valt ook de vraag of de ruwheid voor impulsflux representatief is voor de ruwheid voor massaflux. Ook is geen aandacht gegeven aan de het gebruik van terreinruwheid bij het schatten van de concentratie.

Dank aan Henk de Bruin voor nuttig commentaar op een concept van deze notitie.

---

<sup>11</sup>Van der Wal, 2022: *Aanhangsel Handelingen, vergaderjaar 2021–2022, nr. 2090*; <https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2022D10154>