

Onzekerheid in depositie ten gevolge van onzekerheid in terreineigenschappen

Gerard Cats, Geetacs
www.geetacs.nl

8 februari 2024

Samenvatting

De terreineigenschappen (terreinruwheid en landgebruik) die OPS gebruikt bij de berekening van depositie zijn gevarieerd binnen realistische, in Nederland voorkomende, situaties. Die variatie geeft een realistische indicatie van de onzekerheid die terreineigenschappen introduceren bij de berekening van depositie. De onzekerheid in berekende totale depositie van NH_3 en NO_x blijkt tot circa 60 km afstand van de bron kleiner dan 40% (NH_3) of 30% (NO_x) te liggen, en op grotere afstand snel af te nemen tot waarden rond 10%. De onzekerheid tot 60 km afstand is vooral het gevolg van onzekerheid in depositiesnelheid (berekend als de verhouding tussen droge depositie en concentratie van de primaire component); de onzekerheid in concentratie is veel kleiner. Voor vergunningsverlening speelt de onzekerheid in depositiesnelheid alleen een rol indien ammoniak en stikstofoxiden tegen elkaar worden uitgewisseld. Zonder die uitwisseling zal depositie immers afnemen als de (relatief goed bekende) concentratie afneemt, ook al valt door de grotere onzekerheid in de depositiesnelheid niet nauwkeurig te zeggen hoeveel die afneemt. De onzekerheid in depositiesnelheid neemt echter ook snel af met de afstand, zodat op die onzekerheid zeker niet een afkap op 25 km gemotiveerd kan worden, zelfs al worden NH_3 en NO_x wel tegen elkaar gesaldeerd.

Onzekerheid in depositie ten gevolge van onzekerheid in terreineigenschappen

1. Inleiding

Om de afkap op 25 km te verdedigen heeft TNO met hun model “Stacks” 50 berekeningen gemaakt¹ voor een lage ammoniakbron, een stal dus. Daarbij heeft TNO een aantal parameters gevarieerd, te weten enkele meteorologische parameters (menglaaghoogte en windrichting en -snelheid), en depositiesnelheid. De auteurs concluderen

De onzekerheidsanalyse laat wel zien dat de onzekerheid in de depositiesnelheid het meeste bijdraagt aan de totale onzekerheid in de berekende depositie.

In principe heeft TNO met deze berekeningen niet de onzekerheid in de berekeningen bepaald, maar een gevoeligheidsanalyse gepleegd. De onzekerheid kan immer alleen vastgesteld worden door vergelijking met metingen. Op enige afstand van de bron valt de bijdrage van de bron altijd weg in de onnauwkeurigheid van de meetmethode, omdat die bijdrage al snel veel kleiner is dan de achtergronddepositie. TNO heeft verondersteld dat een gevoeligheidsanalyse een onzekerheidsanalyse benadert. In het vervolg van dit rapport zal deze veronderstelling van TNO worden overgenomen.

De depositiesnelheid is afhankelijk van meteorologische omstandigheden, terreineigenschappen en fysiologische processen in vegetatie en bodem. Met name de laatste zijn slecht bekend. Er zijn wel schattingen voorhanden voor diverse klassen van vegetatie, dus landgebruik. De grote gevoeligheid van droge depositie voor variaties in de depositiesnelheid in combinatie met de relatief grote onzekerheid in droge depositie leidt gemakkelijk tot de conclusie dat de depositie slecht bekend is. Dat is echter slechts een deel van het verhaal. Er spelen immers nog minstens twee overwegingen:

1. Depositie bestaat uit droge en natte depositie. Dicht bij een lage bron, zoals een stal, overheerst de droge depositie. Maar verderweg gaat de natte depositie overheersen. En die is wel redelijk goed bekend.

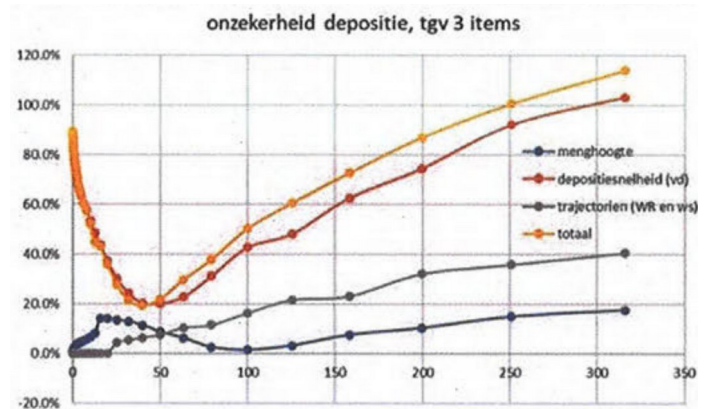
2. De droge depositie hangt niet alleen af van de depositiesnelheid ter plaatse, maar ook van de depositie die al plaats heeft gevonden tussen bron en rekenpunt. Als die hoog is zal de concentratie in het rekenpunt relatief laag zijn, en daarmee ook de droge depositie ter plekke. Een deel van de depositie hangt dus af van de integraal van de depositiesnelheden tussen bron en receptor. Zelfs al is de depositiesnelheid zelf niet goed bekend, dan nog zal de integraal een stuk beter bekend zijn, in de veronderstelling dat de modellenmakers uitgegaan zijn van gemiddeld goede waarden. Dat dit een redelijke veronderstelling is wordt ondersteund door de goede overeenkomst van de berekende jaarlijkse totale depositie met de me-

¹TNO, 2022: *Afbakening in de modellering van depositiebijdragen van individuele projectbijdragen (Fase 2) Versie 3*, TNO Notitie M10342, https://www.staten-generaal.nl/overig/20220727/afbakening_in_de_modellering_van/document

tingen, zoals gerapporteerd door het RIVM ². Daarbij is van belang op te merken dat de depositie lokaal overwegend wordt bepaald door de terreineigenschappen ter plaatse van het rekenpunt, en in mindere mate door de terreineigenschappen bij de bron en tussen bron en rekenpunt. Dit geldt des te sterker op grotere afstand, omdat dan de lokale situatie bij de bron minder invloed heeft en de eigenschappen onderweg uitmiddelen. De door het RIVM gevonden goede overeenkomst tussen berekende en gemeten depositie is dan ook voor eerst een indicatie dat de terreineigenschappen lokaal redelijk goed wordt benaderd – en dus dat de terreineigenschappen langs het hele traject van bron tot rekenpunt gemiddeld goed worden beschreven.

Beide overwegingen maken het waarschijnlijk dat de onzekerheid in depositie ten gevolge van onzekerheid in depositiesnelheid afneemt met toenemende afstand tot de bron.

In hun Figuur 9 (hier gereproduceerd als Figuur 1) geven de auteurs van TNO de door hen gevonden onzekerheid in depositie in afhankelijkheid van de afstand tot de bron. Die ten gevolge van onbekendheid van depositiesnelheid is verreweg het grootst (bovenste zwarte lijn in hun Figuur). Op een afstand van 50 km van de bron is volgens hen die bijdrage aan onzekerheid relatief klein (circa 20%), maar dichterbij en verder weg neemt die toe tot zelfs boven 100%. De toename op grotere afstand, waar juist een afname waarschijnlijker wordt geacht vanwege bovenstaande overwegingen, is het gevolg van het niet in rekening brengen van die overwegingen. Het is overigens ongeloofwaardig dat terreineigenschappen op grotere afstand een grotere invloed zouden hebben. Terreineigenschappen hangen lokaal, ter plaatse van bron en van rekenpunt, niet af van de afstand tussen bron en rekenpunt; terwijl de invloed van terreineigenschappen tussen bron en rekenpunt juist uitmiddelt langs de trajectorie.



Figuur 1: Variantie coëfficiënt van de berekende depositie op verschillende afstanden van de bron bij variatie van de verschillende parameters: depositie snelheid, windrichting en menghoogte (hoogte van de menglaag). Dit is Figuur 9 uit het document genoemd in voetnoot 1.

In deze studie is een poging gedaan bovenstaande overwegingen wel te verwerken. Daartoe is de “aflezing” van de terreinomstandigheden uit de databases verschoven, langs de hele trajectorie van bron tot rekenpunt. Dit is gedaan voor een groot aantal verschuivingen (1326, om precies te zijn), binnen een rechthoek van 100 km bij 50 km.

Daarmee is het mogelijk het effect van variatie van terreinomstandigheden op variatie in depositiesnelheid te isoleren van andere effecten. Door deze methodiek is de variatie in terreinomstandigheden (landgebruik en terreinruwheid) bovendien realistisch door de grootte van de rechthoek waarbinnen de verschuivingen uitgevoerd zijn.

In deze notitie wordt in sectie 2 de methode beschreven. De resultaten van die 1326 runs worden in sectie 3 gepresenteerd. Discussie en conclusie staan in sectie 4.

² RIVM, jaarlijks: [alle publicaties over GCN & GDN kaarten](https://www.rivm.nl/onderwerp/87791/publicaties)
<https://www.rivm.nl/onderwerp/87791/publicaties>

2. Methode

Aan de Geetacs versie van OPS (versie 5.1.0.2) is een optie toegevoegd, waardoor het mogelijk is de bestanden met terreinruwheid en het landgebruik te verschuiven ten opzichte van de ligging van de trajectorie tussen bron en rekenpunt, inclusief de eindpunten van die trajectorie. Vervolgens is een bron gekozen en een raai van rekenpunten vanaf de bron. Het eerste rekenpunt ligt een kilometer van de bron, het volgende steeds 2 km verder, tot en met een afstand van 199 km. Voor deze bron en raai van rekenpunten zijn 1326 berekeningen met OPS uitgevoerd, waarbij de verschuiving van de bestanden met terreinruwheid en het landgebruik met stappen van 2 km in zowel de x- (oost-west) als de y- (noord-zuid)richting werd gevarieerd, tussen 0 en 100 km in de x- en tussen 0 en 50 km in de y-richting. Dat geeft dus 51 maal 26 is 1326 berekeningen.

Een equivalente formulering van deze opzet is dat de bron en receptorpunten 1326 maal verschoven zijn, maar de niet-terreinomstandigheden (dus achtergrond en meteorologie) zijn genomen van de niet-verschoven ligging van bron en receptoren. Deze berekeningen zijn gedaan voor twee configuraties van bron en raai van rekenpunten, zoals weergegeven in Figuur 2. Voor beide bronnen is de rechthoek waaruit de verschuivingen zijn geselecteerd dezelfde, als aangegeven in de Figuur. De berekeningen zijn gedaan voor ammoniak en voor stikstofoxiden afzonderlijk.

Voor elke afstand tot de bron zijn gemiddelden en standaarddeviatie bepaald over de 1326 waarden die OPS rapporteert voor:

- Concentratie (NH_3 resp. NO_x)
- Droge, natte en totale depositie (NH_x resp. NO_y)
- Depositiesnelheid, berekend als droge depositie gedeeld door concentratie, beide van de primaire component (NH_3 resp. NO_x). Door chemische reacties hangt de depositiesnelheid van NO_x af van de concentratie; bij hoge concentraties bevat het mengsel van NO en NO_2 relatief veel NO , dat weinig depositie geeft. Daardoor is de depositiesnelheid van NO_x bij hoge concentraties relatief laag.

De standaarddeviatie wordt in de hierna volgende presentaties steeds genormeerd met het gemiddelde. Daarmee wordt die een maat voor de relatieve onzekerheid die de onbekendheid van landgebruik introduceert in de desbetreffende grootheid.

Bij een lognormale verdeling geeft een onzekerheid van een factor 2 in een grootheid een genormeerde standaarddeviatie van ongeveer 0,8; bij kleine genormeerde standaarddeviatie is de relatieve onzekerheid gelijk aan die genormeerde standaarddeviatie. Als de laatste bijvoorbeeld 0,4 is, dan is de onzekerheid in de grootheid 40% naar boven (factor 1,4) en 30% naar beneden (want de factor is $1/1,4 = 0,7$).



Figuur 2: De rekenconfiguratie. In rood de locaties van bron (dikke stip) en rekenpunten voor de raai "Oost" en in blauw die voor "Noord". De rechthoek waaruit de terreineigenschappen zijn gebruikt voor beide bronlocaties is donkerder gemaakt. De zwarte rechthoek geeft het centrale rekengebied van OPS.

Voor de rekenpunten uit de raai "Oost" ligt de rechthoek steeds ten zuidoosten van het rekenpunt; voor die uit "Noord" steeds ten zuidwesten. Men stelle zich voor dat de getekende rechthoek meeschuift met het rekenpunt. Langs de raai "Oost" ligt de rechthoek dan altijd boven land, maar langs "Noord" ligt die veelal boven open water (IJsselmeer, Waddenzee, Noordzee). Omdat het landgebruik van open water goed bekend en vast is, anders dan boven land, waar het varieert met gewas, bodemtype, enzovoort, en omdat de ruwheid boven open water grootte-orde kleiner is dan boven land, verwacht men dat het verloop van het

gemiddelde en de (genormeerde) standaarddeviatie langs de Noord-raai zal afwijken van dat langs de Oost-raai.

De raaien en de daarbij behorende rechthoeken liggen volledig binnen het werkdomein van OPS. Wel zij opgemerkt dat OPS overschakelt op een ander algoritme voor rekenpunten buiten het centrale rekengebied: terreinruwheid wordt uit een bestand met Europese dekking gehaald, en landgebruik wordt vervangen door het gemiddelde over het centrale rekengebied (landgebruik wordt gegeven als percentage van dekking van 9 klassen van landgebruik). Dat centrale rekengebied is door een zwarte rechthoek aangegeven in Figuur 2. Het vervangend algoritme treedt dus in werking voor de 50 meest oostelijke kilometers van de Oost-raai; voor alle andere punten langs die raai en voor alle langs de Noord-raai ligt de verschuiving geheel binnen het centrale rekengebied.

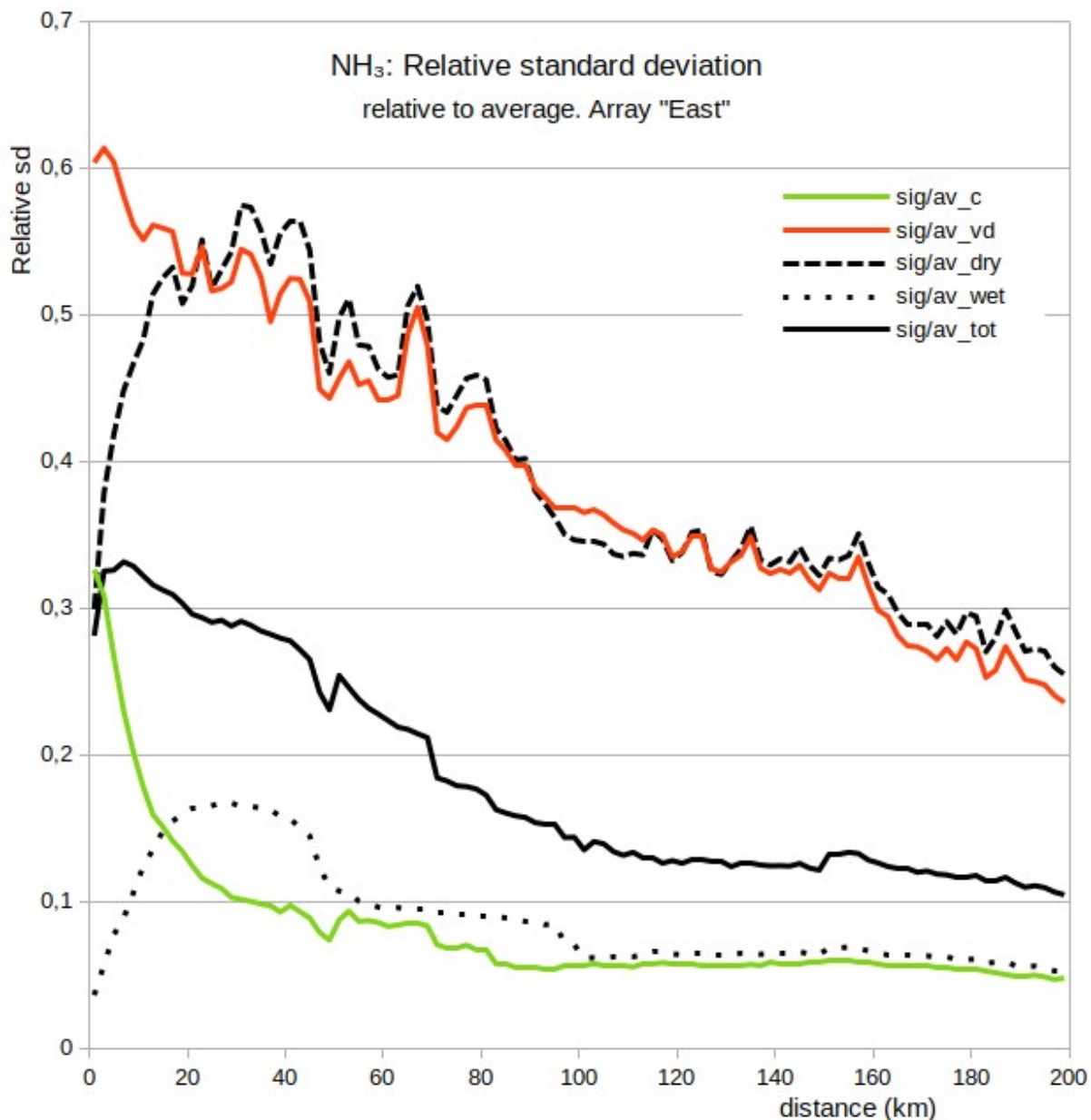
3. Resultaten

In deze sectie zullen de resultaten van de berekeningen worden getoond.

3.1 De raai "Oost"

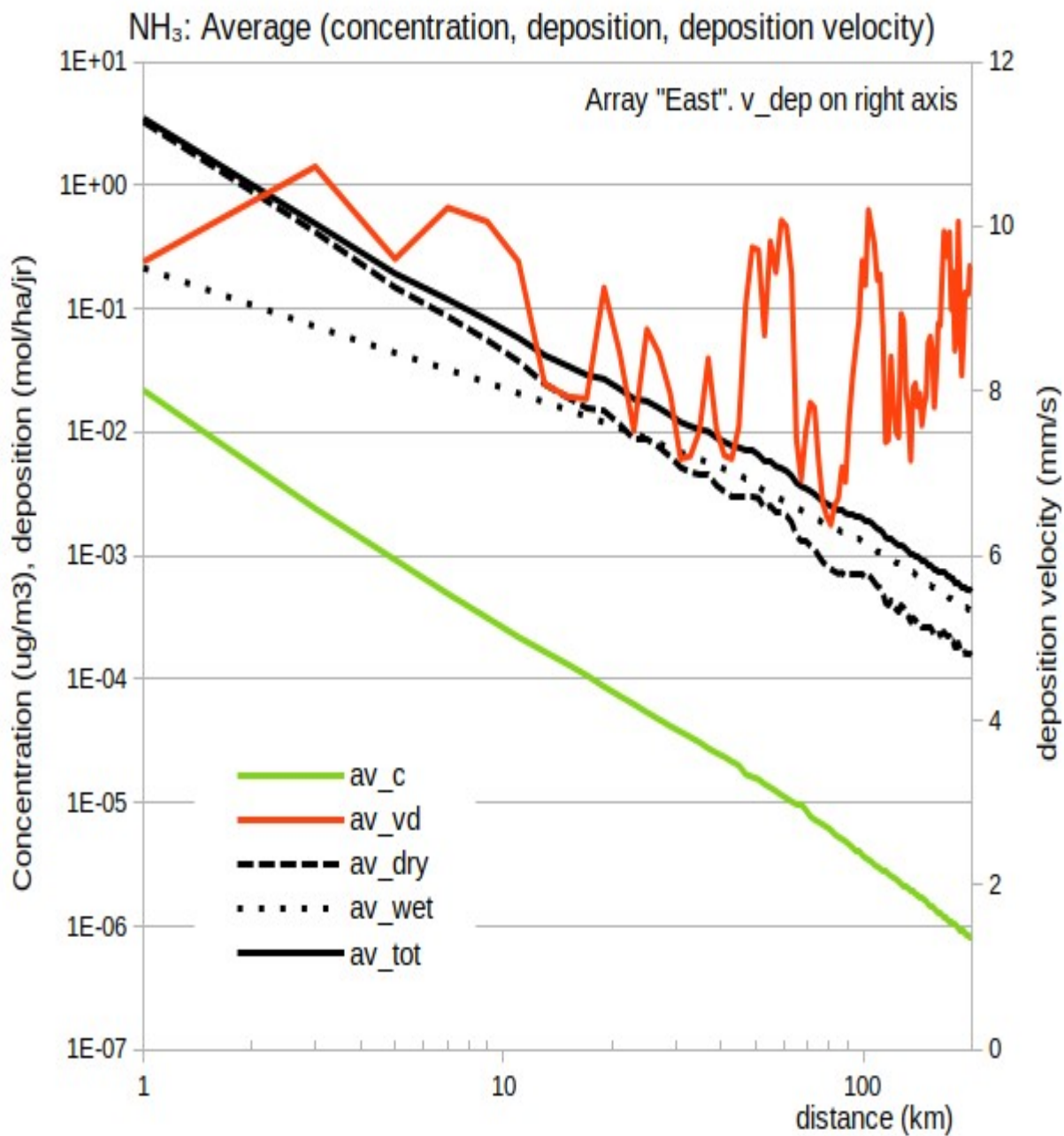
Figuur 3 toont de genormeerde standaarddeviatie voor de berekening aan ammoniak, langs de Oost-raai. Voor concentratie en totale depositie ligt die op vrijwel alle afstanden onder 0,3 (hetgeen correspondeert met een onzekerheidsfactor van 1,3). Na een aanvankelijke stijging (tot circa 40 km voor droge depositie) tonen alle grootheden een duidelijke daling met de afstand – hetgeen in overeenstemming is met overweging 2 uit de inleiding.

Merk op dat de nauwkeurigheid van totale depositie beter is dan die van de droge depositie. Dit is een gevolg van het feit dat natte depositie weinig van lokale terreineigenschappen afhangt. In dit geval is de natte depositie vanaf circa 20 km van de bron groter dan de droge, zoals blijkt uit Figuur 4. Die Figuur toont de gemiddelden van de diverse grootheden. Overweging 1 uit de inleiding zal dus ook zeker een rol spelen bij de afname van de onzekerheid in depositie met de afstand.



Figuur 3: Standaarddeviatie, genormeerd met gemiddelde, over de 1326 runs, als functie van de afstand tot de bron voor concentratie ("_c"), depositiesnelheid ("_vd"), droge, natte en totale depositie ("_dry", "_wet" resp. "_tot"); voor ammoniak, langs de Oost-raai, als functie van de afstand tot de bron.

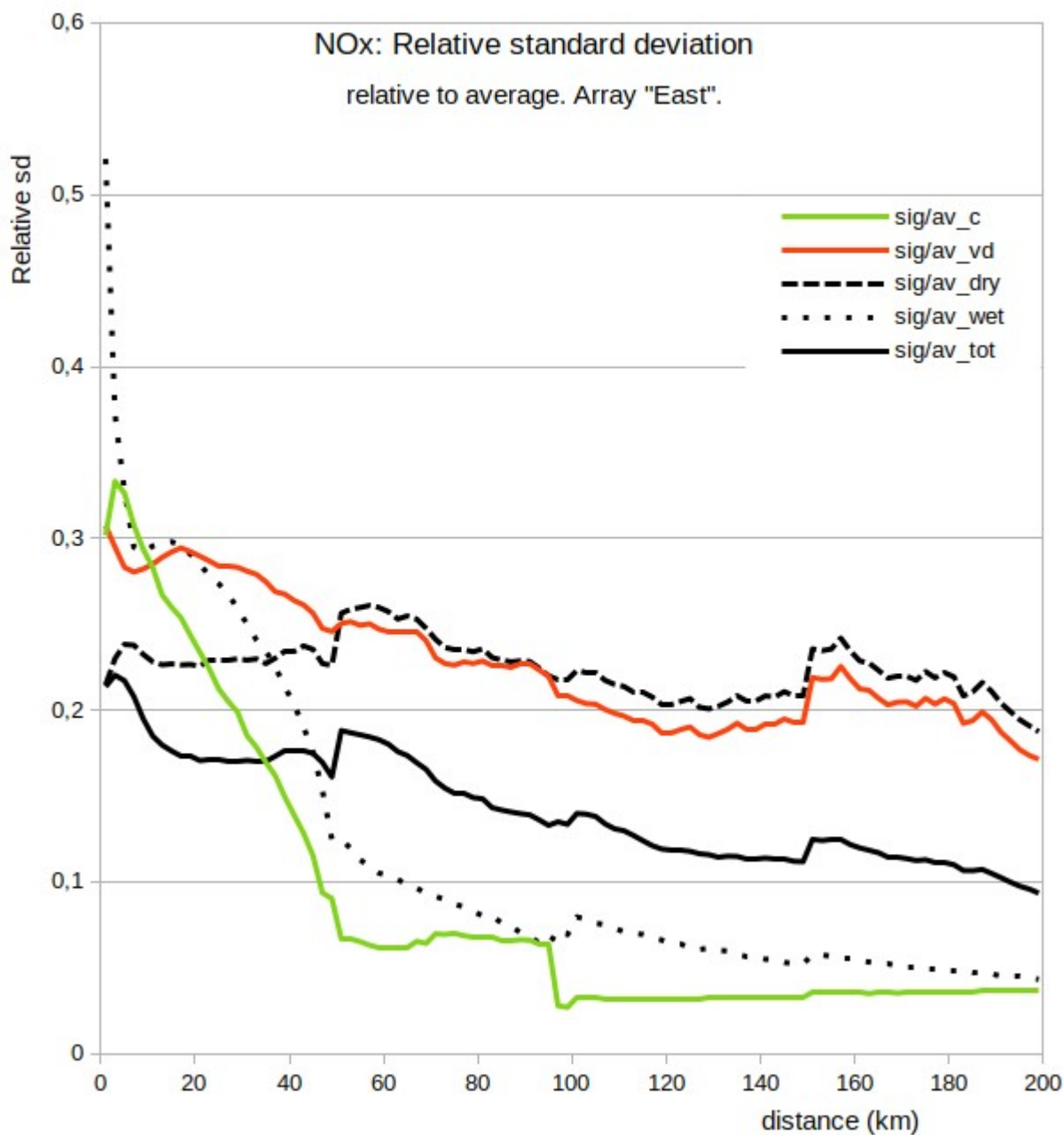
In Figuur 4 valt nog op dat de gemiddelde depositiesnelheid relatief weinig varieert met de afstand. De waarde is 9 mm/s, met een variatie van circa 10% daaromheen.



Figuur 4: Gemiddelden over de 1326 runs voor ammoniak langs de Oost-raai, als functie van de afstand tot de bron; depositiesnelheid is uitgezet op de lineaire y-as (rechts). Alle andere zijn uitgezet op de (logaritmische) linker y-as. Ook de afstandsas is logaritmisch. Notatie als in Figuur 3.

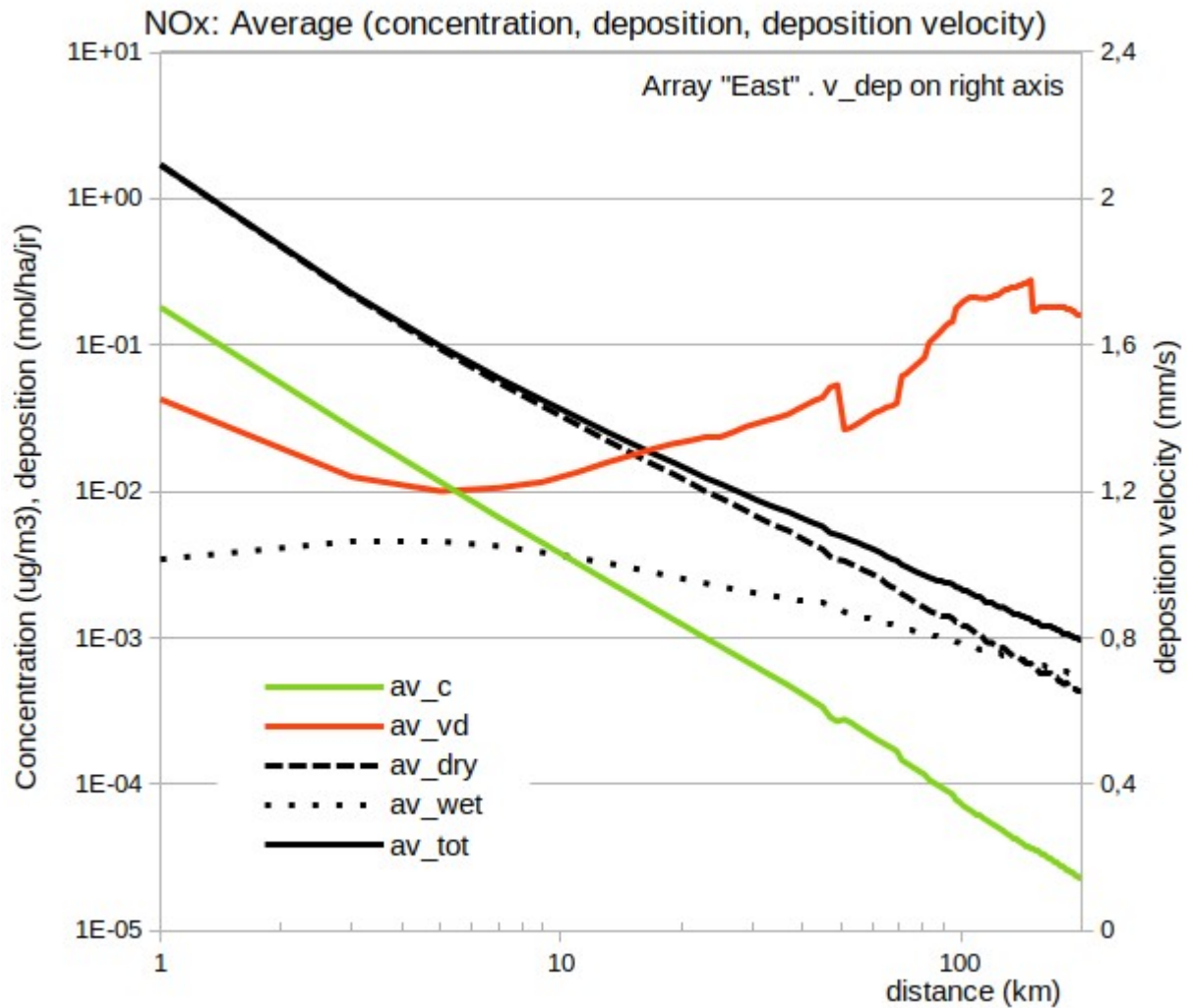
In Figuur 5 staan de genormeerde standaarddeviaties langs de Oost-raai voor stikstofoxiden. Afgezien van een korte piek in de natte depositie (veroorzaakt door de zeer lage waarde van de natte depositie) is het beeld vergelijkbaar met dat voor ammoniak, hoewel de nauwkeurigheid in het algemeen nog beter is dan bij ammoniak (de onnauwkeurigheid is in het algemeen kleiner dan 20%).

Bij het verloop van de gemiddelden (Figuur 6) valt ten opzichte van dat bij ammoniak op dat tot op veel grotere afstand (200 km) de droge depositie groter is dan de natte. Ook valt op



Figuur 5: Als Figuur 3, maar voor stikstofoxiden.

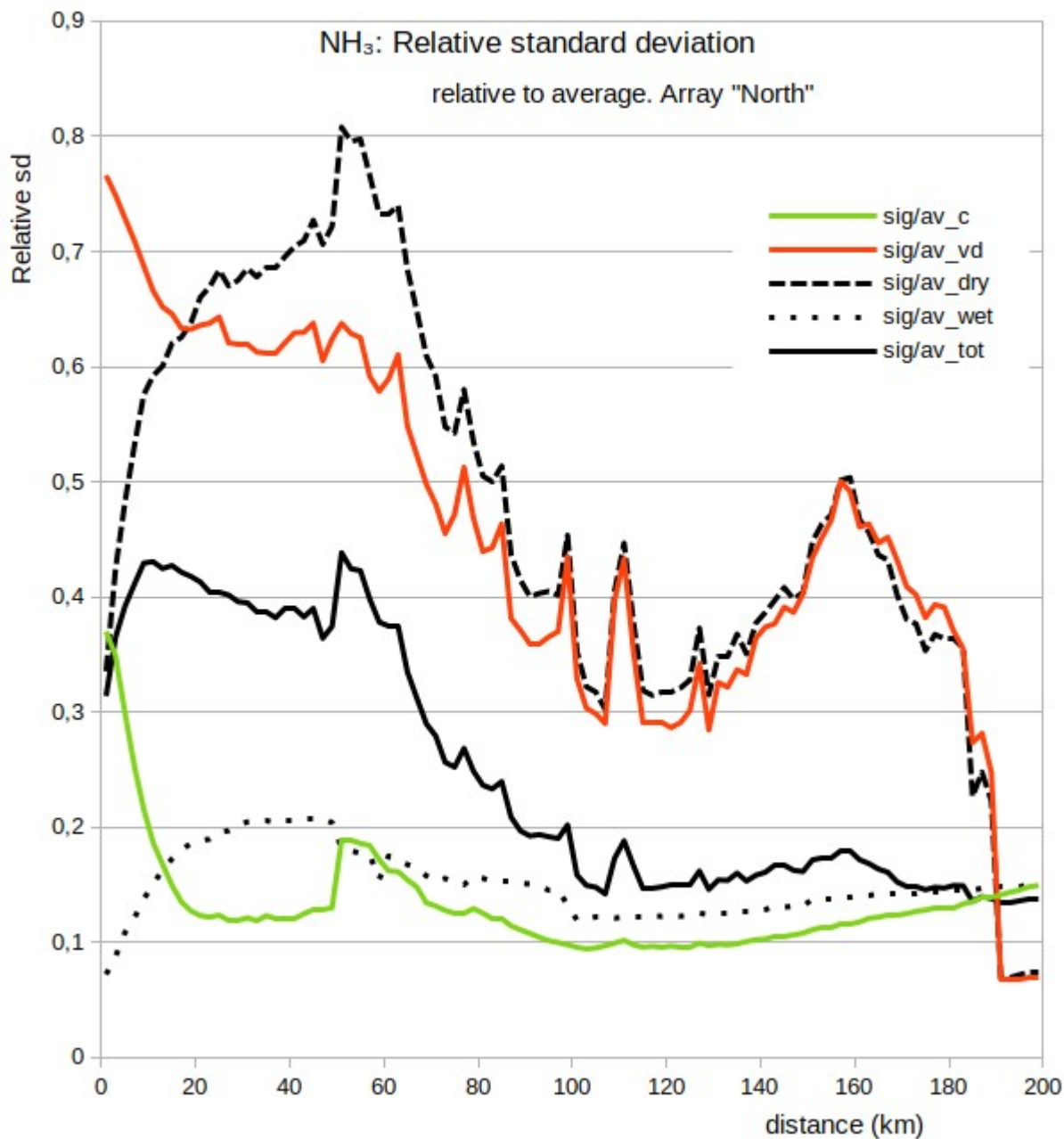
dat de depositiesnelheid gemiddeld toeneemt met de afstand. Hierin ziet men terug dat de depositiesnelheid van NO_x bij lage concentraties hoger is dan bij hoge. Merk op dat deze hogere depositiesnelheid niet leidt tot een grotere onzekerheid, zoals blijkt uit Figuur 5.



Figuur 6: Als Figuur 4, voor stikstofoxiden.

3.2 De raai "Noord"

De aanwezigheid van grote wateroppervlakken leidt bij de Noord-raai tot een een grotere variatie, onzekerheid dus, dan bij de Oost-raai. Figuur 7 toont dat voor ammoniak. De relatief lage waarden van de onzekerheid in de depositiesnelheid op grote afstand van de bron komt omdat daar alle rekenpunten gebruik maken van de terreineigenschappen van de Noordzee: open water, met zeer lage terreinruwheid. De lage terreinruwheid wordt weerspiegeld in de lage gemiddelde waarde van de depositiesnelheid op grote afstand (zie Figuur 8); de lage variatie in terreineigenschappen over grote wateroppervlakken wordt weerspiegeld in de lage waarden van de genormeerde standaarddeviatie zoals te zien in Figuur 7. De relatief lage waarden rond 120 km weerspiegelen de aanwezigheid van het IJsselmeer.

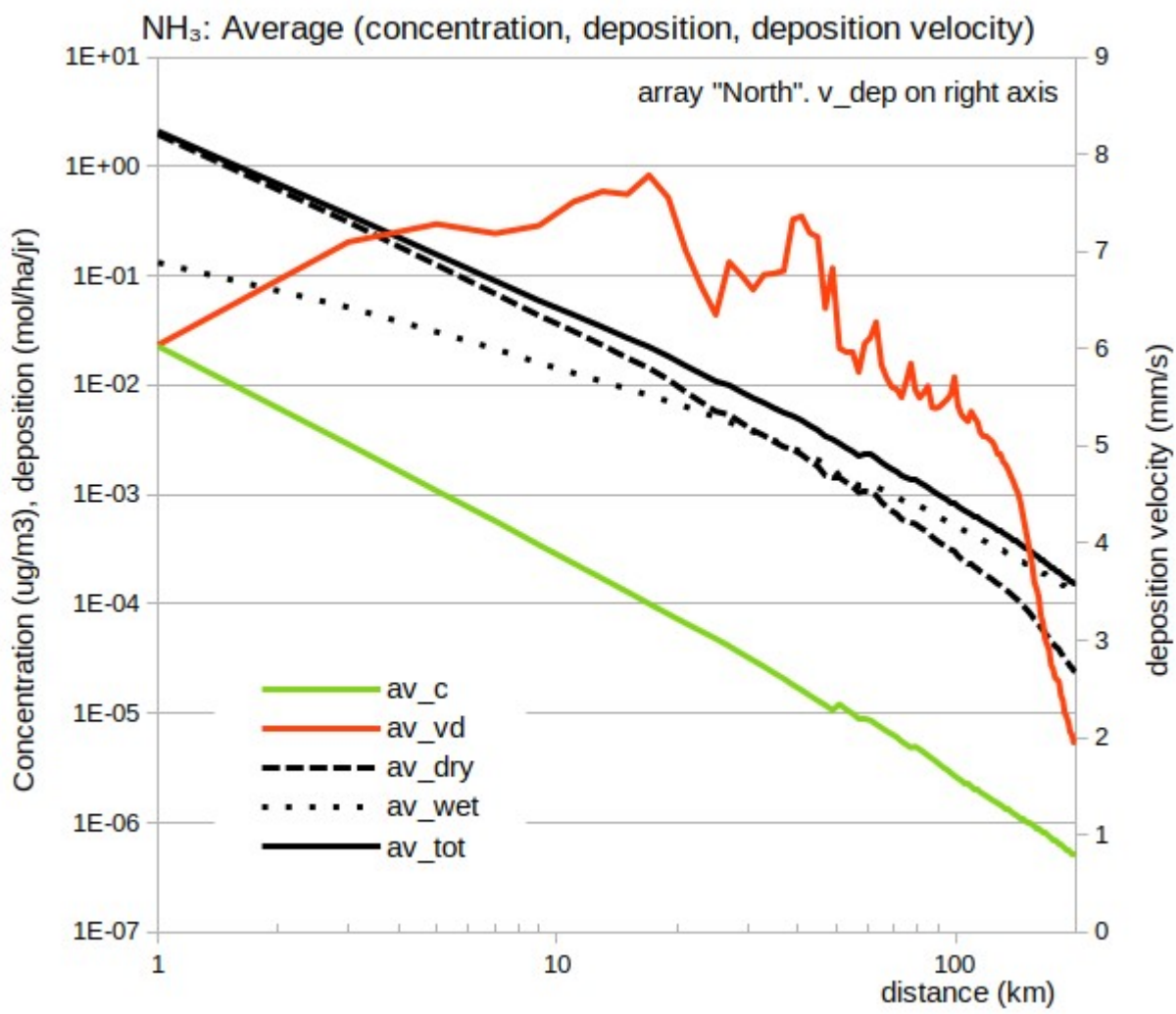


Figuur 7: Als Figuur 3, maar voor de Noord-raai.

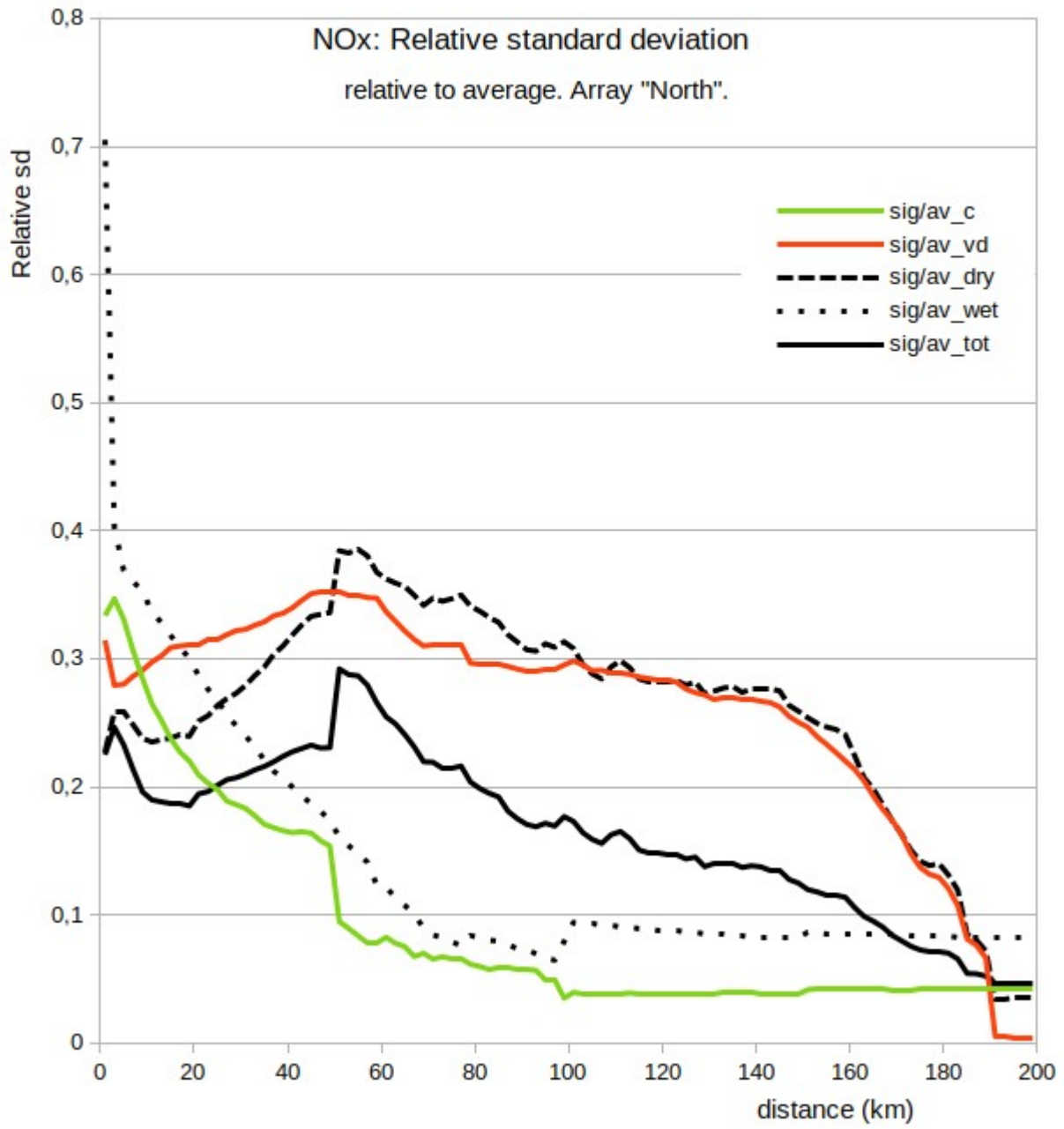
De onnauwkeurigheid bij de Noord-raai is weliswaar groter dan die bij de Oost-raai, maar toch altijd kleiner dan 40%. En zoals steeds neemt de nauwkeurigheid toe met de afstand.

Voor NO_x langs de Noord-raai (Figuren 9 en 10) zijn de resultaten grosso modo niet verrassend, gegeven de resultaten van NH₃ en de ervaringen langs de Oost-raai. Voor NO_x is de onzekerheid in de totale depositie kleiner dan 30%; ook weer afnemend met de afstand.

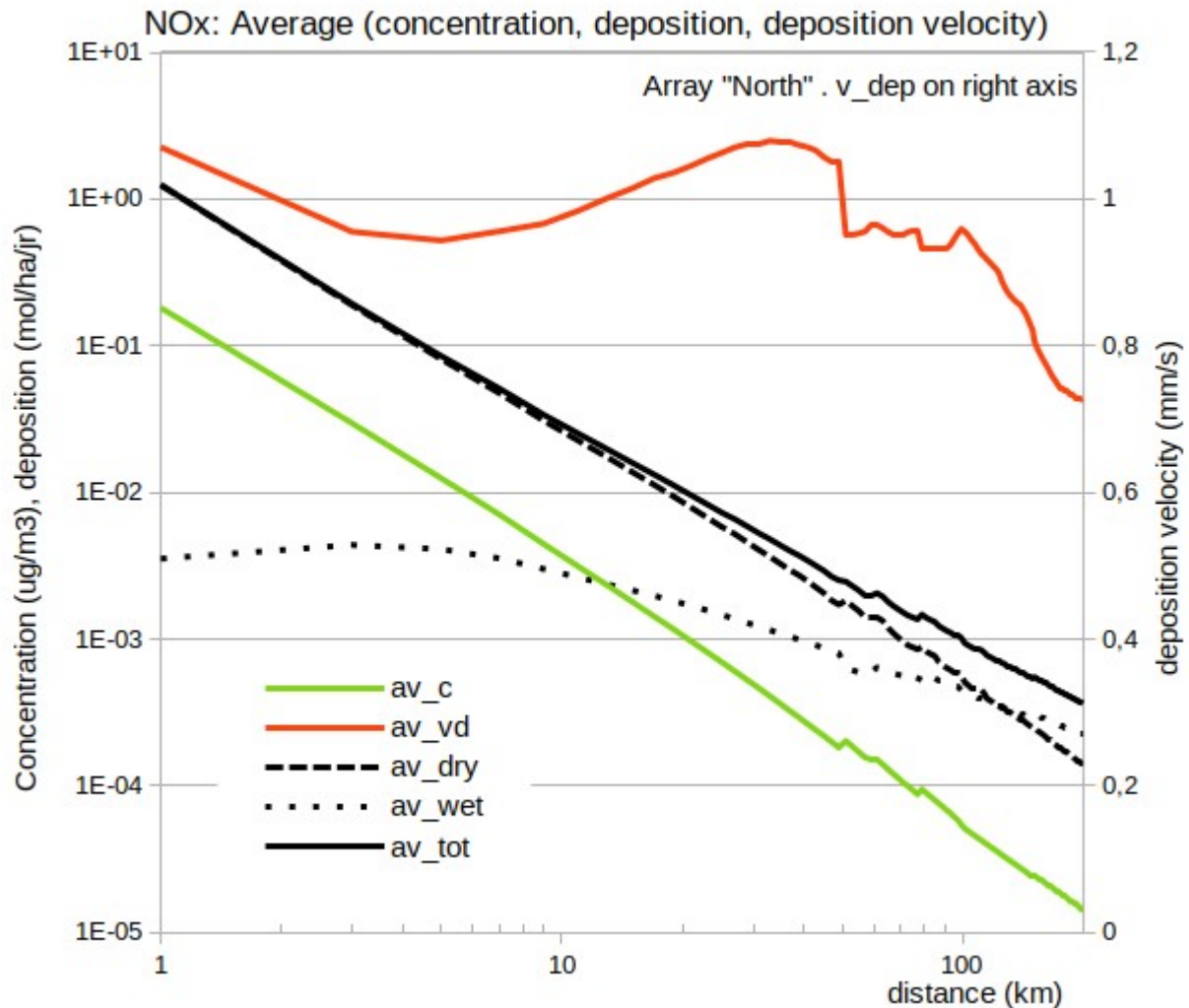
Bij de gemiddelde waarden van de depositiesnelheid blijkt de afname bij grote afstand ten gevolge van de aanwezigheid van grote wateroppervlakken sterker dan de toename door de dalende concentraties.



Figuur 8: Als Figuur 4, maar voor de Noord-raai.



Figuur 9: Als Figuur 5, voor de Noord-raai.



Figuur 10: Als Figuur 6, voor de Noord-raai.

4. Discussie en conclusie

Om de invloed van onzekerheid in terreinomstandigheden op de met OPS berekende concentratie en depositie te schatten zijn de terreinomstandigheden (landgebruik en terreinruwheid) op realistische wijze gevarieerd. Dit is gedaan voor twee configuraties van bron en rekenpunten. De bron was een lage puntbron. Eén configuratie was een typische situatie over land (genaamd "Oost-raai"), de andere gaf informatie over de effecten van grote wateroppervlakken (IJsselmeer, Waddenzee en Noordzee). Deze heet "Noord-raai", naar de oriëntatie van de raai van rekenpunten.

De onzekerheid in terreineigenschappen introduceert een onzekerheid in concentratie en totale depositie van circa 30% dicht bij de bron; en afnemend met de afstand tot de bron. De onzekerheid in depositie daalt in het algemeen geleidelijk, tot waarden rond 10% op 200 km afstand tot de bron. Bij de Noord-raai zet die daling echter pas in vanaf circa 60 km van de bron. De onzekerheid in concentratie daalt snel, tot waarden rond 10% voor ammoniak op 25 km afstand, en rond 20% voor stikstofoxiden. Op grotere afstand zet de daling verder door. De onzekerheid in concentratie is bijna altijd veel kleiner dan die in totale depositie.

De onzekerheid in droge depositie en in depositiesnelheid is veel groter dan die in totale depositie; typisch een factor 2. Dit komt doordat natte depositie niet sterk van terreineigenschappen afhangt, zodat de onzekerheid in natte depositie klein is.

Deze bevindingen hebben belangrijke consequenties voor de waarde van berekeningen van stikstofdepositie bij vergunningsverlening. Dan speelt immers de vraag of de totale depositie door het te vergunnen project toe- of afneemt. Zolang er niet gesaldeerd wordt tussen ammoniak en stikstofoxiden mag men ervan uitgaan dat de depositie toe- dan wel afneemt indien de concentratie toe- dan wel afneemt. Onzekerheid in depositiesnelheid speelt dan geen rol; zolang maar zeker is dat toename van concentratie leidt tot toename van depositie. Bij de beoordeling van onzekerheid in concentratie speelt de onzekerheid in terreinomstandigheden blijkens bovenstaande nauwelijks een rol, behalve wellicht dicht bij de bron. Die onzekerheid neemt af met de afstand. Daarom valt met die onzekerheid een afkap op 25 km zeker niet te motiveren.

Indien wel gesaldeerd wordt tussen ammoniak en stikstofoxiden gaat de onzekerheid in depositiesnelheid wel een rol spelen, omdat de depositiesnelheid en de onbekendheid ervan niet voor beide stoffen gelijk is. Toch valt ook dan een afkap op 25 km niet te motiveren op basis van onzekerheid ten gevolge van onzekerheid in de depositiesnelheid. Immers, die onzekerheid neemt voor beide stoffen af met de afstand.

Bij deze constatering is steeds verondersteld dat de variatie in terreinomstandigheden goed wordt gerepresenteerd door de manier waarop de berekeningen zijn uitgevoerd. Deze veronderstelling is realistisch, omdat de met OPS berekende concentraties en deposities gemiddeld over alle terreinomstandigheden goed overeenkomen met de waarnemingen, getuige de rapportages van het RIVM over grootschalige concentratie en depositie.

TNO heeft in 2022 ³ gerapporteerd dat de onzekerheid in depositie met de afstand toeneemt. Dat was op basis van een gevoeligheidsanalyse, waarbij werd verondersteld dat die gevoeligheidsanalyse een substituut is voor een nauwkeurighedsanalyse; welke veronderstelling hier is overgenomen.

Die door TNO gevonden toename van onzekerheid met afstand tot de bron bleek vooral toe te schrijven aan onzekerheid in terreineigenschappen. Zoals uit de nu voorliggende studie blijkt heeft TNO echter de terreineigenschappen niet realistisch gevarieerd. De andere bronnen van onzekerheid die TNO heeft onderzocht bleken blijkens Figuur 1 (TNO's Figuur 9) veel kleiner. Al met al volgt uit die Figuur en de hier gevonden afname van de onzekerheid ten gevolge van onbekendheid van de depositiesnelheid dat de totale onzekerheid in berekende depositie tot op 150 km onder de 20% blijft. Waarschijnlijk is de onzekerheid op 300 km nog kleiner dan 40%; zeker binnen de factor 2 die als acceptabele grens wordt gehanteerd.

Opgemerkt wordt nog dat deze bevindingen gelden voor een lage puntbron. Hoewel de berekeningen tot op grote afstand nauwkeurig zijn, zijn de berekende waarden op grote afstand wel klein. Dat geldt echter niet voor hoge bronnen en ook niet voor lijnbronnen zoals verkeersnetwerken. Daarvan blijft de depositie tot op grote afstand hoog.

³ Zie document genoemd in voetnoot 1