

NO_x depositie door 100.000 vliegbewegingen

Schiphol, ruwe schatting

Gerard Cats, *Geetacs*
www.geetacs.nl

20 januari 2023

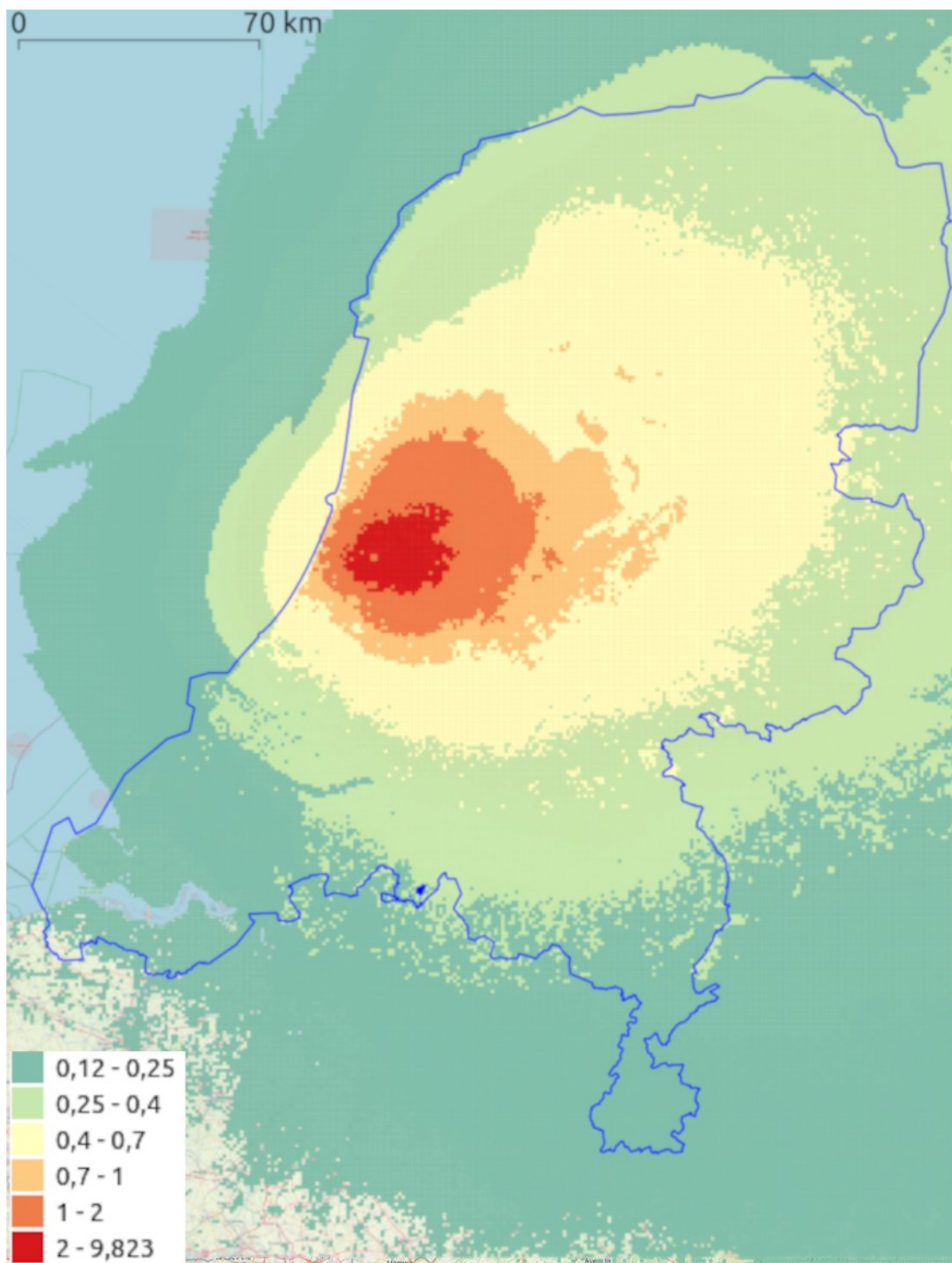
NO_x depositie door 100.000 vliegbewegingen

Schiphol, ruwe schatting

Samenvatting

Na een uiterst kort bronnenonderzoek wordt een grove schatting gemaakt van de NO_x depositie die wordt veroorzaakt door 100.000 vliegbewegingen op Schiphol. De emissie en depositie door die bewegingen worden vergeleken met agrarische getallen en woningbouw.

1. Resultaten



Figuur 1: Totale NO_x-depositie (mol/ha) door 100.000 vliegbewegingen op Schiphol; ruwe schatting.

In Figuur 1 staat het resultaat van een berekening met OPS. De totale emissie van jaarlijks 100.000 vliegbewegingen onder 3000 voet is gesteld op 400 ton NO_x per jaar. Die emissie is toegekend aan een bron met een diameter van 2 km rondom Schiphol, op een hoogte van 200 m. Emissies boven 3000 voet zijn gemodelleerd met dezelfde bronsterkte als die onder

3000 voet, en toegekend aan een bron met een diameter van 20 km op een hoogte van 2 km. De berekeningen zijn uitgevoerd met de Geetacs versie van OPS.

De motivatie van al deze keuzen staat in sectie 3. In sectie 2 worden bovenstaande resultaten kort bediscussieerd.

2. Discussie

In deze sectie zullen de gebruikte emissiegegevens en de berekende resultaten in perspectief worden geplaatst.

In de berekeningen is uitgegaan van een uitstoot van 400 ton NO_x per jaar voor de lage bron, dus het vluchtdeel onder 3000 voet. Daarboven wordt rond 10 maal zoveel uitgestoten, maar toch is slechts 400 ton NO_x per jaar toegekend aan de hoge bron. De rest, dus 80% van de totale uitstoot, is helemaal niet meegenomen, omdat wordt verondersteld dat die uitstoot, op grote hoogte, niet tot depositie in Nederland zal leiden; deels omdat het naar het buitenland verwaait, deels omdat het grootste deel daarvan niet boven Nederland wordt uitgestoten¹. Bij een nadere studie zou een meer gedetailleerde beschrijving van vluchtpaden nog wel inzicht kunnen bieden hoeveel van die uitstoot in hoge luchtlagen tot additionele depositie in Nederland leidt. Ook zou de bijdrage van wegverkeer (geschat op 20% van de uitstoot onder 3000 voet) dan meegenomen moeten worden.

Hier echter wordt de totale bronsterkte dus op 800 ton NO_x per jaar gezet; de rest wordt geëxporteerd. Ter vergelijking: een melkkoe stoot volgens de RAV-codes² tot 13 kg NH₃ per jaar uit (code A1.100); jongvee 4,4 kg NH₃ (A1.300). In stikstof-equivalenten komt dat ongeveer overeen met 33 resp. 11 kg NO_x per jaar. De emissie van 100.000 vliegbewegingen per jaar is dus ongeveer gelijk aan die van 24.000 melkkoeien of 73.000 stuks jongvee.

De aanleg van een woning gaat gepaard met ongeveer 3kg³ NO_x uitstoot. Met de uitstoot van 100.000 vliegbewegingen per jaar kan dus de bouw van rond 270.000 woningen per jaar worden gesaldeerd. Dezelfde bron geeft als kengetal voor het gebruik van woningen 0,72 kg NO_x uitstoot per jaar. 100.000 Vliegbewegingen per jaar geven dus evenveel stikstofemissie als het gebruik van ruim een miljoen woningen.

De depositie ten gevolge van 100.000 vliegbewegingen blijkt over een groot deel van Nederland rond de 0,5 mol/ha te liggen (Figuur 1). Om dit getal enige context te geven is gekeken naar de agrarische bedrijven die voor de verbreding Ring Utrecht worden uitgekocht⁴. Die leveren in het algemeen enkele tienden van een mol/ha/jr op. Dus met 100.000 vliegbewegingen minder per jaar kun je over het hele land per zeg cirkel van 25 km diameter enkele boeren uitkopen. Er zijn circa 60 van die cirkels in Nederland te trekken, dus het zou gaan om enkele honderden boeren. Het aantal PAS-melders zal waarschijnlijk

¹Van de emissie die wel meegenomen ideponeert overigens slechts een fractie binnen Nederland; het gaat om ongeveer een kwart van de emissie uit de lage bron, en rond 10% van de emissie uit de hoge.

² <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/emissiearme-stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltypen/hoofdcategorie/>

³<https://www.rivm.nl/sites/default/files/2019-11/Stikstof%20-%20Methode%20inschatting%20depositie%20woningbouwprojecten.pdf>

⁴<https://www.a27a12ringutrecht.nl/bibliotheek/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=2288740>

enkele malen hoger zijn, omdat het uitkopen van een bedrijf meestal meer oplevert dan nodig voor de uitbreiding waarvoor een PAS-melder een vergunning zoekt.

Niet ongemeld mag blijven dat alles in deze studie bij grove benadering is. Bij uitgebreider onderzoek zullen de grove schattingen nauwkeuriger kunnen worden, en dan zullen de getallen ongetwijfeld veranderen. Maar toch wordt niet verwacht dat de verschuivingen groot zullen zijn (aperte rekenfouten voorbehouden); als er verschuivingen optreden zullen die in het algemeen in de richting zijn van meer depositie door 100.000 vliegbewegingen dan hier beschreven, met name omdat bronnen boven flight level 200 niet meegenomen zijn.

3. Motivatie van de keuzen

3.1 Inleiding

Om depositie te schatten is gebruik gemaakt van OPS, het model waarmee (de wet voorschrijft dat) depositie berekend moet worden. Om OPS te kunnen draaien moeten de bronnen bekend zijn. Het gaat dan om bronsterkte, locatie, warmte-inhoud en verdeling over het etmaal. In deze sectie worden beschreven hoe de gebruikte schattingen tot stand gekomen zijn. Er wordt onderscheid gemaakt naar 3 vluchtniveaus: de "LTO-fase" (landing and take-off), onder 3000 voet; kruisniveau (rond 11 km hoog) en de fase daartussenin.

De emissies onder 3000 voet worden afgeschat op basis van de MER voor Lelystad (subsectie 3.2). De emissie boven flight level 200⁵ (6 km) wordt verondersteld zich als een deken over de wereld te verspreiden en draagt dan verwaarloosbaar bij aan de depositie in Nederland. Dit wordt beargumenteerd in subsectie 3.3. De emissie tussen 3000 voet en flight level 200 blijkt ongeveer even groot te zijn als die onder 3000 voet (subsectie 3.4).

Daar het hier om een snelle afschatting gaat zijn de andere broneigenschappen met 'expert judgment' ingesteld, met een bescheiden motivatie daarvoor in Subsectie 3.5.

Omdat er geen redelijke validatiecijfers van OPS voor bronnen op grote hoogte bekend zijn is een indruk verworven van de betrouwbaarheid van OPS voor de hoge bron: Subsectie 3.6.

3.2 Bronsterkte onder 3000 voet

De emissie vanuit 100.000 vliegbewegingen (50.000 starts en 50.000 landingen) hangt uiteraard af van vliegtuigtype, belading, grondbewegingen zoals afstand waarover getaxied wordt, van de noodzakelijke grondactiviteiten als bagageafhandeling, en het wegverkeer dat ermee gepaard gaat. Nieuwere vliegtuigtypen hebben in het algemeen een efficiëntere verbranding en dat impliceert een hogere NO_x uitstoot.

Er bestaat een model voor de emissies⁶ maar daarvan kon op deze korte termijn geen gebruik gemaakt worden. Er bestaat ook een database van emissies⁷, maar pogingen om daarvan gebruik te maken strandden in een non-reactie vanuit Delft University.

⁵Flight levels gaan per 100 voet in een standaardatmosfeer, dus circa 30 m.

⁶<https://www.eurocontrol.int/model/advanced-emission-model>

⁷De "OpenSky" database genoemd in https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/104878030/engproc_13_00005.pdf

De MER 2018⁸ geeft volgens Leon Adegeest⁹ dat de uitstoot van 45.000 vliegbewegingen onder 3000 voet 440 ton NO_x per jaar is, exclusief wegverkeer. Deze waarde, afgerond op 400 ton NO_x per jaar, 28 g/s, is gebruikt voor deze grove schatting. Door deze afronding naar beneden is voorzien in mogelijke “meevallers”, zoals elektrisch taxiën. De uitstoot van wegverkeer is ongeveer 25% daarvan, maar die wordt hier niet meegenomen.

3.3 Depositie vanuit de kruisvlucht

Kruishoogte is rond 11 km. Emissies op die hoogte zullen in het algemeen ver reizen voordat ze de grond bereiken; alleen bij neerslag is er voldoende verticale uitwisseling. Verondersteld wordt dat deze emissie overal op aarde in dezelfde mate depositie geeft (een “deken” dus).

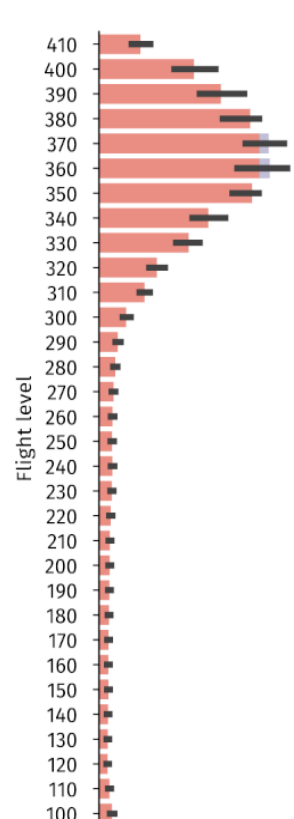
Volgens een Delftse studie¹⁰ is 0,71% van de wereldwijde NO_x depositie afkomstig van de luchtvaart, en daarvan 92,3% van de non-LTO vluchtfase. Er zijn rond 40 miljoen vluchten, dus 80 miljoen vluchtbewegingen, wereldwijd¹¹. De mondiaal gemiddelde depositie is visueel op 180 mol/ha/jr geschat¹². De bijdrage van 100.000 vluchtbewegingen uit de vluchtfase boven 3000 voet is dan 92,3% van 0,71% van 100.000 gedeeld door 80 miljoen maal 180 mol/ha/jr, dus 0,0015 mol/ha/jr. Dat is verwaarloosbaar.

3.4 Bronsterkte boven 3000 voet

Hoewel de bijdrage van 100.000 vluchtbewegingen aan de “deken” van depositie over de wereld verwaarloosbaar is (zie sectie 3.3) kan de depositie in Nederland vanuit de vluchtfasen tussen kruishoogte en 3000 voet bij dalen en tussen 3000 voet en kruishoogte bij opstijgen nog wel aanzienlijk zijn, omdat de uitstoot op deze hoogten nog niet homogeen over de aarde is verdeeld. Om hierover iets te kunnen zeggen is een schatting van de bronsterkte op deze hoogten nodig.

De verdeling van de uitstoot boven 3000 voet (ongeveer flight level 30) moet bekend zijn aan de auteurs van de studie genoemd in voetnoot 7, want die ligt ten grondslag aan hun Figuur 10, die hier deels wordt gereproduceerd (Figuur 2), maar opvragen van die data liep vast op hun non-reactie. Daarom is een visuele schatting gemaakt uit die Figuur. Circa 10% van de totale uitstoot boven 3000 voet is onder flight level 200 (circa 6 km).

Verondersteld wordt nu dat de uitstoot daarboven bijdraagt aan de deken over de hele wereld, en dus niet aan de depositie in Nederland. Alleen de uitstoot onder flight level 200 wordt meegenomen. Die is ongeveer even groot als de uitstoot onder 3000 voet; immers ongeveer 10% van de totale uitstoot.



Figuur 2: Vertikale verdeling van NO_x emissie uit luchtvaart. Bron: zie voetnoot 10.

⁸<https://api.commissiemer.nl/docs/mer/p32/p3260/a3260ts.pdf>

⁹Persoonlijke communicatie

¹⁰https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/104878030/engproc_13_00005.pdf

¹¹<https://financesonline.com/number-of-flights-worldwide/>

¹²Figuur 3a in https://img.atwiki.jp/envstudies/pub/ng_Ndeposition.pdf. 180 mol/ha/jr komt overeen met 570 mg/m²/jr,

3.5 Broneigenschappen

Naast de bronsterkte moeten ook de broneigenschappen worden geschat. In principe moet dat op basis van zaken als baangebruik, taxi-afstanden, stijghoek; daarbij moet dan nog rekening worden gehouden met complicaties als de correlatie tussen baangebruik en windrichting. Voor een grove eerste schatting echter zijn de emissies verdeeld over twee bronnen, beide cirkelvormig, gecentreerd rondom Schiphol.

De emissie onder 3000 voet is toegekend aan een bron met een diameter van 2 km, op 200 m hoogte. Deze hoogte is onder de gemiddelde vlieghoogte omdat de grondbewegingen erin opgenomen zijn, en omdat vliegtuigen hun pluim omlaag drukken. De emissies tussen 3000 voet en flight level 200 zijn toegekend aan een bron met een diameter van 20 km op een hoogte van 2 km. Beide bronnen hebben geen warmte-inhoud (want vliegtuigpluimen stijgen niet; ze dalen).

Er moet ook een inschatting van de verdeling over dag en nacht gemaakt worden, In de veronderstelling dat allereerst de nachtvluchten worden geschrapt is aangenomen dat de verdeling over de dag van de 100.000 vliegbewegingen die van standaard industrie is (uitstoot het hele etmaal, maar wel hoger overdag dan 's nachts).

3.6 Gebruik van OPS

De berekeningen zijn gedaan met de Geetacs versie van OPS. De keuze voor de Geetacs versie was om praktische redenen: alle infrastructuur daarvoor was al aanwezig voor de Tata studie¹³. De rekenresultaten wijken niet af van die van de OPS versie die in AERIUS wordt gebruikt.

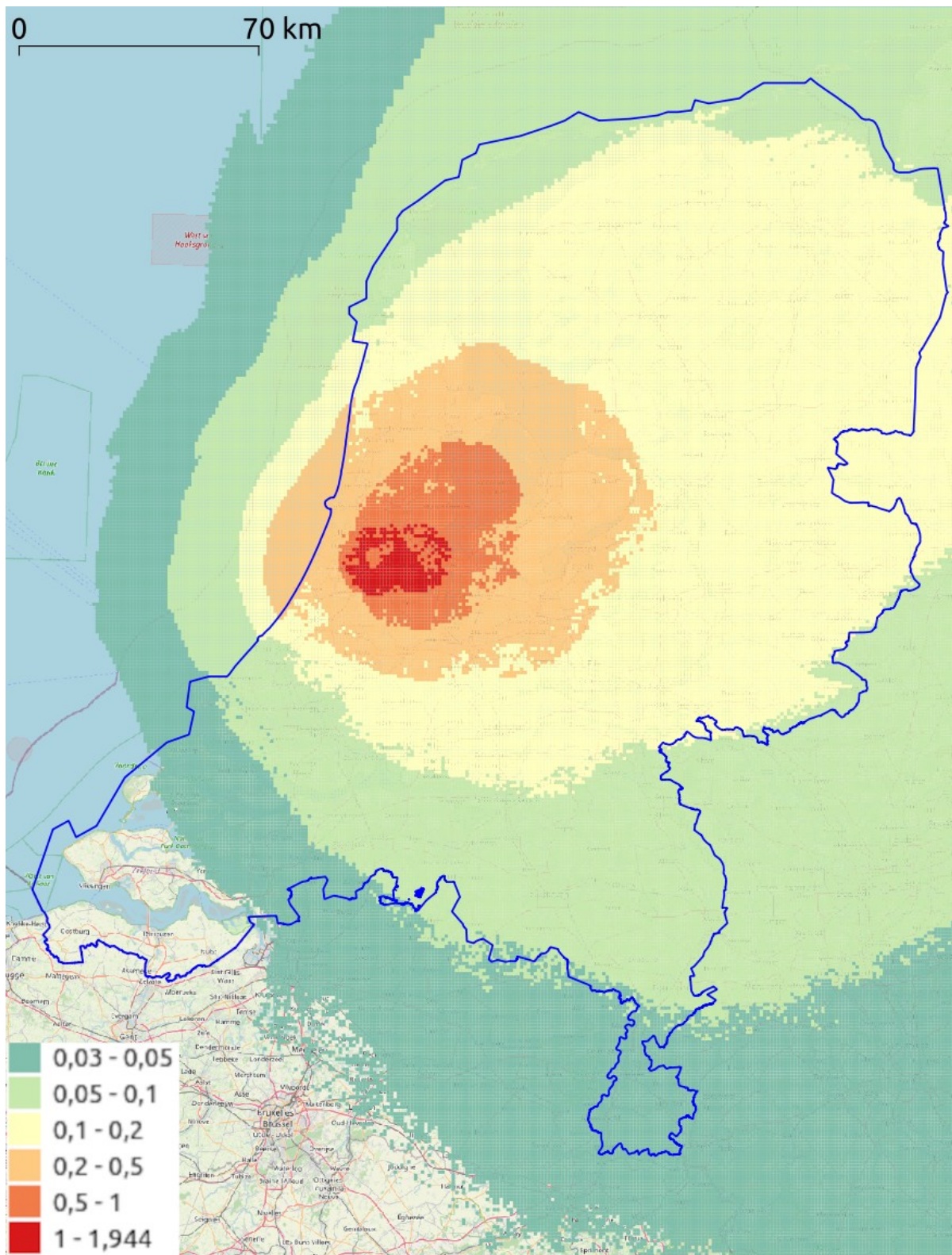
OPS lijkt redelijk betrouwbaar te kunnen omgaan met emissies onder 3000 voet, ook als ze over een groot oppervlak zijn verdeeld. Onbekend was de betrouwbaarheid voor emissies op grote hoogte. Om daarvan een gevoel te krijgen is OPS gedraaid voor alleen die hoge bron. Het resultaat staat in Figuur 3.

Het blijkt dat de depositie uit de hoge bron ongeveer de helft is van die uit de lage bron. Gegeven dat de bronsterkten gelijk zijn lijkt dat wat veel, omdat er toch weinig uitwisseling is tussen de atmosferische stromingen op 2 km hoogte en de oppervlakte. Maar OPS geeft deze depositie vrijwel volledig in de vorm van natte depositie, dus bij neerslag, juist de omstandigheden dat er wel uitwisseling tussen de luchtlagen is. Er is dan ook geen grond om de resultaten te wantrouwen; overigens gaat het slechts om 1/3 van de totale depositie, dus fouten erin wegen niet zwaar door in het eindresultaat (Figuur 1).

Change history:

On 22 February 2023 two minor typos have been corrected.

¹³<https://geetacs.nl/Reports/20220120,Geetacs,25km.pdf>



Figuur 3 De bijdrage van de hoge bron aan de depositie, volgens OPS; eenheden als in Figuur 1.