

Wetenschappelijke Notitie: De Ruimtelijke Verspreiding van Ammoniak op Korte Afstand van Veehouderijen

Auteur: ir. Wouter de Heij

Datum: 30 november 2025

Samenvatting

De atmosferische verspreiding van ammoniak (NH_3) vanaf een veestal is een uitgesproken lokaal fenomeen, gekenmerkt door een zeer snelle, exponentiële afname van de concentratie binnen de eerste honderden meters. Dit patroon wordt gedreven door een combinatie van krachtige atmosferische menging en efficiënte verwijdering door droge depositie. Een omvangrijke hoeveelheid wetenschappelijke literatuur en een brede reeks aan veldmetingen bevestigen consistent dat de bijdrage van een individuele stal op een afstand van 250 tot 500 meter doorgaans niet meer significant te onderscheiden is van de regionale achtergrondconcentratie. Hoewel de klassieke Gaussian plume theorie een solide theoretische basis biedt, tonen recente analyses aan dat grootschalige modellen de lokale dynamiek vaak onvoldoende nauwkeurig weergeven, wat pleit voor een grotere nadruk op metingen en gebiedsspecifieke validatie.

1. Theoretisch Kader: De Gaussian Plume Theorie en Agrarische Bronnen

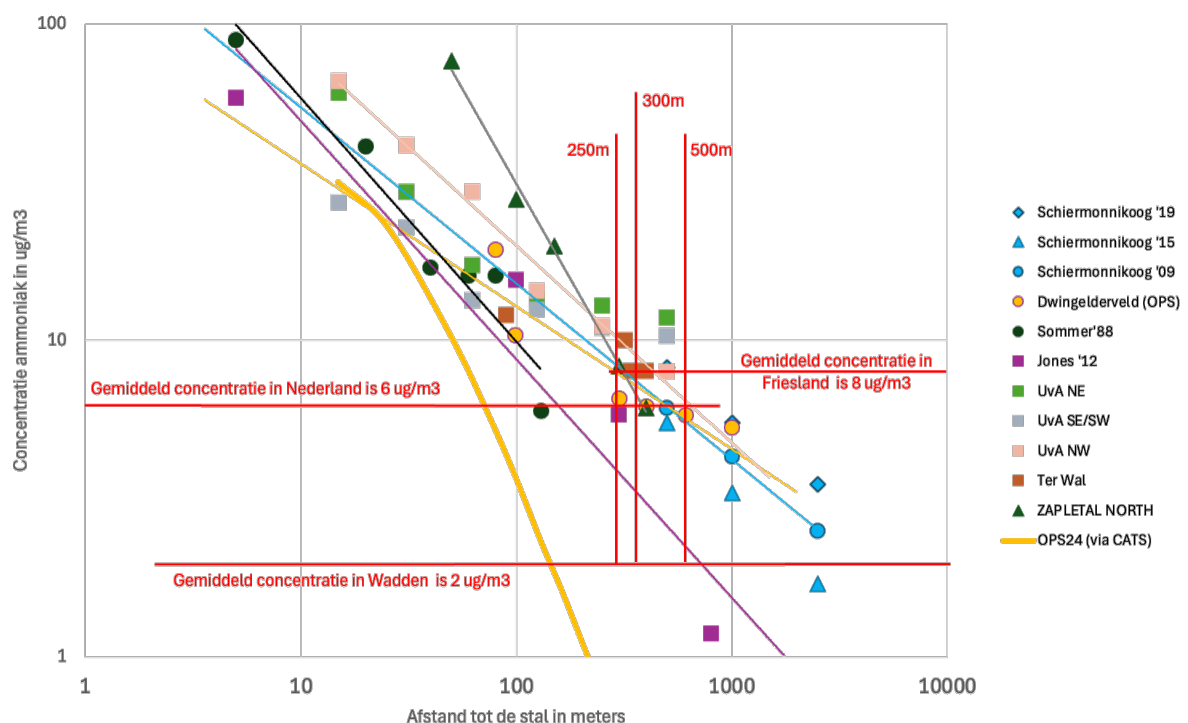
De verspreiding van continue bronnen in de atmosfeer wordt fundamenteel beschreven door de **Gaussian plume theorie**, een concept dat zijn oorsprong vindt in het werk van Pasquill (1961), Gifford (1961) en Turner (1970) [1, 2, 3]. Dit model beschrijft hoe een pluim zich benedenwinds verspreidt door advectie (transport met de wind) en turbulente diffusie, resulterend in een exponentiële afname van de concentratie [4]. De efficiëntie van dit verdunningsproces is met name hoog in de onderste lagen van de atmosfeer, de zogeheten 'surface layer', waar agrarische emissies plaatsvinden [5].

Standaard Gaussian modellen vereisen echter aanpassingen voor de complexe realiteit van agrarische bronnen, die laag, diffuus (oppervlaktebronnen) en soms mechanisch geventileerd zijn [6]. Onderzoek heeft zich succesvol gericht op het modifieren van het model voor deze specifieke condities. Zo is het model gevalideerd voor horizontaal uitstotende ventilatiesystemen door een virtueel emissiepunt aan te nemen [8] en is het middels inverse modellering toegepast om de emissiesterkte van natuurlijk geventileerde stallen te kwantificeren op basis van metingen [9].

2. Dominante Processen in de Nabije Zone (0-500 meter)

De extreem steile concentratiegradiënt direct rondom een stal wordt gedreven door een samenspel van drie dominante fysisch-chemische processen:

- 1 **Efficiënte Turbulente menging:** Het agrarische landschap, met zijn vegetatie, gebouwen en andere obstakels, creëert een aerodynamisch ruw oppervlak. Deze ruwheid induceert sterke turbulentie, wat leidt tot een snelle en efficiënte menging van de ammoniakpluim met de omgevingslucht en dus tot een snelle verdunning [5].
- 2 **Hoge Droge Depositiesnelheid:** Ammoniak is een zeer reactief gas dat gemakkelijk wordt opgenomen door omliggende oppervlakken zoals bodem, gewassen en andere vegetatie. Dit proces, bekend als droge depositie, is een uiterst efficiënt verwijderingsmechanisme. Ammoniak heeft een van de hoogste droge-depositiesnelheden van atmosferische stikstofcomponenten (typisch 5–25 mm/s) [11, 12]. Hierdoor wordt een significant deel van de uitgestoten ammoniak al binnen de eerste honderden meters uit de lucht verwijderd, nog voordat het zich verder kan verspreiden [13, 14].
- 3 **Lage Bronhoogte:** In tegenstelling tot hoge industriële schoorstenen, bevinden de emissiepunten van stallen (deuren, ventilatieopeningen) zich laag bij de grond. Dit maximaliseert het contact van de pluim met het aardoppervlak, waardoor de effectiviteit van droge depositie wordt versterkt en de pluim op zeer korte afstand wordt 'uitgewassen' [11].



3. Empirische Onderbouwing door Veldmetingen

Het theoretische beeld van snelle lokale verdunning wordt eenduidig en overweldigend bevestigd door decennia aan veldmetingen. Studies in Nederland [10], Vlaanderen en internationaal [22] laten systematisch hetzelfde patroon zien. Metingen tonen aan dat de ammoniakconcentratie met één tot twee ordes van grootte afneemt binnen de eerste 100-300 meter van de bron.

Recente meetcampagnes met fijnmazige sensornetwerken bevestigen dit beeld met hoge resolutie. Een studie in de Gelderse Vallei toonde aan dat de invloed van lokale bronnen dominant is en dat de concentraties op 250-500 meter afstand van een stal nagenoeg zijn teruggekeerd naar de regionale achtergrondwaarde [24]. Dit wordt ondersteund door analyses die concluderen dat er buiten deze zone geen significant causaal verband meer aan te tonen is tussen een individuele stal en de lokale ammoniakconcentratie [25, 26]. De achtergrondconcentratie in Nederland, vastgesteld door het RIVM, bedroeg in 2024 gemiddeld $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [27].

4. Discussie: Modelnauwkeurigheid en Lokale Realiteit

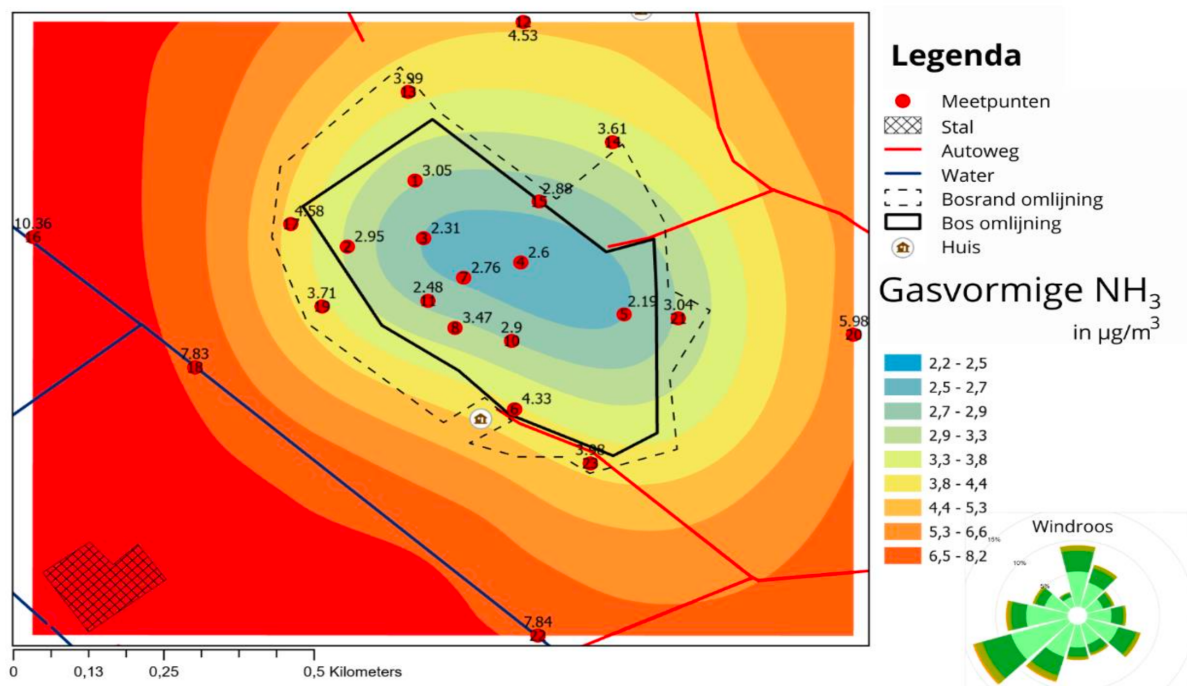
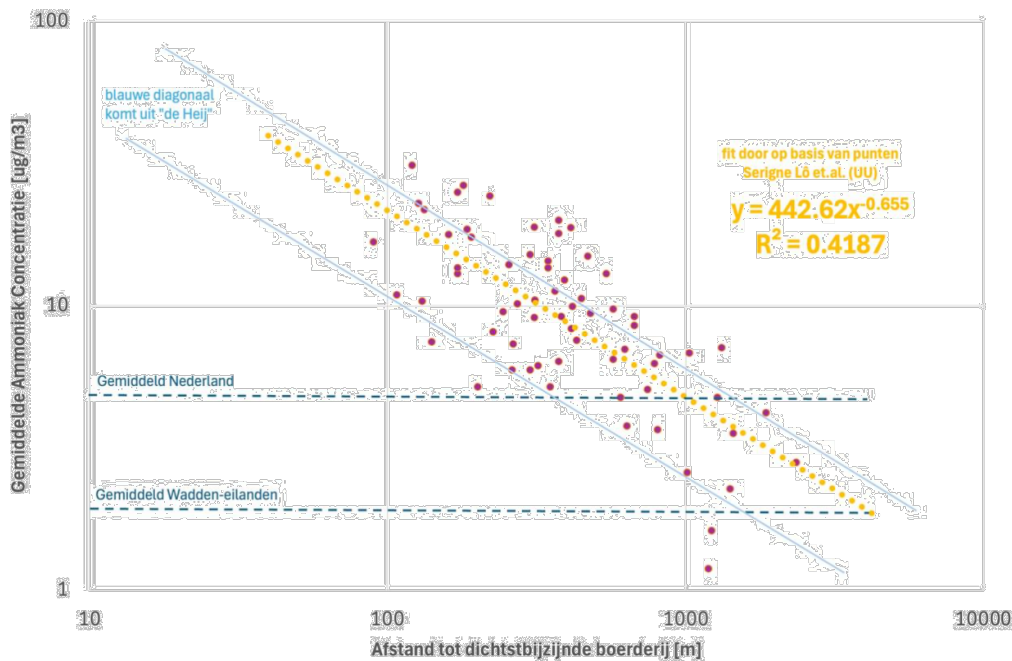
Hoewel de fundamentele theorie robuust is, bestaat er een groeiende wetenschappelijke consensus dat grootschalige operationele modellen, zoals het in Nederland gebruikte OPS-model, de lokale verspreiding en depositie vaak onvoldoende nauwkeurig beschrijven [25, 26]. Deze modellen neigen de verspreiding over langere afstanden te overschatten en daarmee het belang van lokale bronnen en de efficiëntie van lokale depositie te onderschatten [26].

Analyses tonen aan dat de onzekerheidsmarge voor de berekende droge depositie van ammoniak zeer groot is (door het RIVM zelf geschat op $\pm 124\%$) en dat er systematische afwijkingen bestaan voor verschillende landschapstypen. Zo wordt de depositie op grasland significant onderschat, terwijl die op duinen en heide wordt overschat [26].

Dit gebrek aan nauwkeurigheid op lokaal niveau, gecombineerd met onzekerheden in de emissie-inventarisaties, leidt tot de conclusie dat blind vertrouwen in modeluitkomsten voor vergunningverlening op bedrijfsniveau wetenschappelijk onhoudbaar is [25]. De focus zou meer moeten liggen op directe metingen en op regelgeving die de lokale realiteit van snelle verdunning erkent, zoals afstandscriteria.

5. Conclusie

De wetenschappelijke evidentie, gebaseerd op zowel fundamentele atmosferische fysica als een brede basis van empirische metingen, is eenduidig: de impact van ammoniakemissies van een individuele veestal is een uitgesproken lokaal fenomeen. Door de gecombineerde effecten van turbulente menging en zeer efficiënte droge depositie, daalt de concentratie exponentieel met de afstand. Buiten een zone van circa 250-500 meter is de bijdrage van de stal aan de lokale luchtkwaliteit verwaarloosbaar en niet meer te onderscheiden van de achtergrond. Voor een wetenschappelijk verantwoorde beoordeling van de impact van stallen is het cruciaal om deze lokale dynamiek te erkennen en de bewezen beperkingen van grootschalige modellen in acht te nemen.



Referenties

- [1] Pasquill, F. (1961). The estimation of the dispersion of windborne material. *Meteorological Magazine*, 90, 33–49.
- [2] Gifford, F. A. (1961). Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion. *Nuclear Safety*, 2(4), 47–57.
- [3] Turner, D. B. (1970). *Workbook of atmospheric dispersion estimates*. U.S. Environmental Protection Agency.
- [4] Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change* (3rd ed.). Wiley.
- [5] Hanna, S. R., Briggs, G. A., & Hosker, R. P. (1982). *Handbook on atmospheric diffusion*. U.S. Department of Energy.
- [6] Zhu, J., Jacobson, L. D., Schmidt, D. R., & Nicolai, R. E. (2000). Ventilation and air quality in livestock buildings. *Transactions of the ASAE*, 43(6), 1843–1850.
- [8] Yang, Z., et al. (2020). Modification and validation of the Gaussian plume model to predict ammonia and particulate matter dispersion. *Atmospheric Pollution Research*, 11(7), 1063–1072.
- [9] Hensen, A., et al. (2009). Estimation of NH₃ emissions from a naturally ventilated livestock farm using local-scale atmospheric dispersion modelling. *Biogeosciences*, 6(12), 2847–2860.
- [11] Sutton, M. A., et al. (2013). Towards a climate-dependent paradigm of ammonia emission and deposition. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 368(1621), 20130166.
- [12] Baldocchi, D. (1988). A multi-layer model for estimating dry deposition. *Boundary-Layer Meteorology*, 42(1–2), 335–357.
- [22] Hensen, A., et al. (2009). Farm NH₃ emission estimated with plume measurements. *Biogeosciences Discussions*, 6, 825–857.
- [24] Lô, C., et al. (2025). Spatial and temporal variability of atmospheric ammonia using a dense sensor network in a livestock-dense region. *Atmospheric Environment*, 316, 119331.
- [25] De Heij, W. B. C. (2024). *Ammoniak boven en op Nederland: Een wetenschappelijk overzicht (deel 1) - Precies rekenen aan de vliegende geest lukt niet*. Food4Innovations Holding Rapport 24-10-01. DOI: 10.13140/RG.2.2.21588.21126.

[26] De Heij, W. B. C. (2025). *Ammoniak boven en op Nederland: Een wetenschappelijk overzicht (deel 2) - Ammoniak verspreid zich geografisch op kleine(re) afstanden dan wordt voorspeld*. Food4Innovations Holding Rapport 25-4-26. DOI: 10.13140/RG.2.2.20889.12646.

[27] Compendium voor de Leefomgeving. (2025). *Ammoniak in lucht, 2005–2024*. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl046116-ammoniak-in-lucht-2005-2024>