

Luchtkwaliteit in Vlaanderen

**Verzurende en vermestende luchtverontreiniging in
Vlaanderen – jaarrapport 2013**



DOCUMENTBESCHRIJVING

Titel

Verzurende en vermestende luchtverontreiniging in Vlaanderen – jaarrapport 2013

Samenstellers

Afdeling Lucht, Milieu en Communicatie, VMM

Dienst Lucht, Team Uitbating Semiautomatisch meetnet (USAM)

Inhoud

Dit rapport beschrijft de resultaten van het depositiemeetnet verzuring voor 2013. Het omvat een beschrijving van de methodiek en meetresultaten voor 2013, de trend door de jaren heen en modelberekeningen die de verzuring en vermesting over heel Vlaanderen in kaart brengen.

Wijze van refereren

VMM (2014), Verzurende en vermestende luchtverontreiniging in Vlaanderen – jaarrapport 2013

Verantwoordelijke uitgever

Michiel Van Peteghem, Afdelingshoofd Lucht, Milieu en Communicatie, Vlaamse Milieumaatschappij

Vragen in verband met dit rapport

Vlaamse Milieumaatschappij

A. Van de Maelestraat 96

9320 Erembodegem

Tel: 053 72 62 10

Fax: 053 71 10 78

info@vmm.be

Depotnummer

D/2014/6871/069

Samenvatting

De uitstoot van een aantal verontreinigde stoffen in de lucht - voornamelijk zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3) - geeft aanleiding tot verzurende deposities. De stikstof- en zwavelverbindingen die als gevolg van deze emissies worden afgezet, hebben een verzurende werking op de bodem, oppervlaktewater en planten. De emissies van stikstofoxiden en ammoniak hebben naast een verzurend ook een vermestend effect. De depositie van reactieve stikstofverbindingen zorgt namelijk voor een overmaat aan stikstof in het milieu, wat tot verstoring van het natuurlijk evenwicht in ecosystemen leidt. Verzuring en vermesting zijn nauw met elkaar verweven en vormen beide een bedreiging voor kwetsbare ecosystemen en de biodiversiteit.

Dit rapport geeft een beschrijving van de verzurende en vermestende luchtverontreiniging in Vlaanderen voor het jaar 2013. De meetmethodiek en de meetresultaten worden toegelicht voor de belangrijkste polluenten met een rol in verzuring of vermesting. Om een idee te krijgen van de ruimtelijke spreiding van verzurende en vermestende deposities werd gebruik gemaakt van modelberekeningen. De evolutie ten opzichte van vorige jaren werd ingeschat aan de hand van trendberekeningen. De meetresultaten werden getoetst aan internationale, Europese en Vlaamse normen. De impact van verzuring en vermesting op ecosystemen werd geëvalueerd aan de hand van de overschrijding van zogenaamde 'kritische lasten'. Deze waarde drukt uit hoeveel verzurende of vermestende depositie een bepaald type ecosysteem kan verdragen zonder schadelijke effecten te ondervinden op de lange termijn.

De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) baat het depositiemeetnet verzuring uit, dat 9 meetposten omvat waar zowel natte als droge depositie werd bepaald en nog eens 8 extra meetposten waar enkel ammoniak werd gemeten. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de stoffen die werden gemeten. Een aantal van deze polluenten slaat droog neer (droge depositie), terwijl andere via regen of andere neerslag uit de lucht worden gewassen (natte depositie). De stikstofhoudende verbindingen werken zowel verzurend als vermestend, terwijl de zwavelverbindingen enkel in verzuring een rol spelen.

Polluent	Depositiewijze	Werking
Ammoniak (NH_3)	Droge depositie	Verzurend/Vermestend
Stikstofdioxide (NO_2)		Verzurend/Vermestend
Zwaveldioxide (SO_2)		Verzurend
Ammonium (NH_4^+)	Natte depositie	Verzurend/Vermestend
Nitraat (NO_3^-)		Verzurend/Vermestend
Nitriet (NO_2^-)		Verzurend/Vermestend
Sulfaat (SO_4^{2-})		Verzurend

De natte depositie van verzurende stoffen ligt in de lijn van vorige meetjaren. Stikstofdepositie heeft het overwicht ten opzichte van zwaveldepositie. Over heel Vlaanderen beschouwd, is NH_4^+ de meest voorkomende verzurende stof in regenwater, gevolgd door NO_3^- en SO_4^{2-} . De meetpost Koksijde vormt hierop een uitzondering. De relatief hoge SO_4^{2-} -depositie daar is het gevolg van opstuiwend zeezout, dat rijk is aan sulfaat. Op alle meetposten zijn de SO_4^{2-} -concentraties significant gedaald in de periode 2002-2013.

Het NH_3 -jaargemiddelde lag voor de 17 meetposten onder het kritieke niveau van $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dat de WGO definieerde. Onderzoek¹ toont aan dat $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ een relevante waarde is om schade aan hogere planten te voorkomen. In 10 van de 17 meetposten werd deze waarde niet gehaald. De NO_2 -concentratie was het hoogst in Gent en Bonheiden. De NO_2 -concentraties werden omgerekend naar NO_x -concentraties om de resultaten te toetsen aan de Europese norm van $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Enkel in Gent werd deze norm overschreden. De kaart met de gemodelleerde droge deposities van NO_y illustreert duidelijk de belangrijkste emissiebronnen van stikstofoxiden, namelijk verkeer en industrie. De SO_2 -concentraties waren overal lager dan $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ruimschoots onder de Europese norm van $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Op alle meetposten zien we een betekenisvolle afname van de SO_2 -concentratie in de periode 2002-2013. Dit stemt overeen met de sterke daling van de SO_2 -emissies.

¹ Cape J.N., van der Eerden L.J., Sheppard L.J., Leith I.D. and Sutton M.A. (2009), Evidence for changing the critical level for ammonia. Environmental Pollution 157, p. 1033-1037

De totale depositie is de som van de natte en droge depositie. Zowel de totale verzurende als de totale vermestende depositie werden getoetst aan VLAREM-streefwaarden die specifiek zijn voor vegetatietypes. Voor het overgrote deel van de meetposten werden de streefwaarden voor totale verzurende depositie overschreden. Enkel voor het vegetatietype loofbos in Zwevegem en voor de vegetatietypes loofbos en heide in Tielt-Winge werden de streefwaarden gehaald. De totale oppervlakte natuur (bos, heide en soortenrijk grasland) met overschrijding voor de kritische last verzuring was 48% in 2013.

Op alle meetposten werden de VLAREM-streefwaarden voor totale vermestende depositie overschreden. Modelkaarten geven aan dat zowel de totale verzurende depositie als de totale vermestende depositie het hoogst was in het centrum van West-Vlaanderen en het noorden van de provincie Antwerpen, twee gebieden met intensieve veeteelt. De totale oppervlakte natuur (bos, heide en soortenrijk grasland) met overschrijding voor de kritische last vermesting was 93% in 2013.

Voor zowel verzuring als vermesting werden de VLAREM-streefwaarden niet gehaald. Bijkomende beleidsmaatregelen zijn dus noodzakelijk om kwetsbare ecosystemen in natuurgebieden te beschermen. De depositie van zwavelverbindingen is in de periode 2002-2013 sterk gedaald. Voor stikstofverbindingen is dat niet het geval. Als gevolg hiervan wint de problematiek van vermesting aan belang ten opzichte van verzuring. De NH_3 -uitstoot is vooral afkomstig van de landbouwsector, terwijl een verminderde NO_x -uitstoot moet verwezenlijkt worden door inspanningen te leveren in de sectoren transport en industrie. Een geïntegreerde aanpak is dus nodig om verdere emissiereducties te bewerkstelligen. Deze aanpak zal voor een groot deel worden opgenomen in het kader van het nieuwe beleid gericht op de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS²). In het kader van PAS werken een aantal overheden samen om bij Natura 2000-gebieden twee doelen tegelijk te bereiken. Aan de ene kant wordt de achteruitgang van de biodiversiteit in die gebieden, voor zo ver die het gevolg is van stikstofdepositie, tot staan gebracht en omgezet in herstel. Aan de andere kant wordt weer ruimte gemaakt voor nieuwe economische activiteiten met stikstofuitstoot in de buurt van die gebieden.

Tot slot zijn NH_3 , NO_x en SO_2 , naast hun rol in verzuring, ook betrokken in de vorming van secundaire aerosolen. Beleid dat zich richt op verdere emissiereducties van deze drie stoffen kadert dus ook in de strijd tegen fijn stof.

² Vlaamse Regering. Beslissing van woensdag 23 april 2014, Bijzondere vergadering VR PV 2014/16 – punt 0003

INHOUDSTAFEL

Samenvatting	3
1 Inleiding.....	11
2 Een woordje uitleg.....	13
2.1 Wat is verzuring?	13
2.2 Wat is vermesting?	13
2.3 Oorsprong en bestemming	14
2.4 Verzuring via het Vlaams Operationeel Prioritair Stoffen-model	15
2.5 Link verzuring en andere milieuproblemen	15
2.6 Kritische last: maat voor verzuring en vermesting.....	16
3 Wetgeving	17
3.1 Emissies	17
3.2 Immissies.....	17
3.2.1 Voorwaarden voor keuze meetposten	17
3.2.2 Norm voor concentratie in de lucht.....	18
3.2.3 Streefwaarden en doelstellingen voor totale depositie	18
3.2.3.1 VLAREM	18
3.2.3.2 Milieubeleidsplan 2011-2015.....	19
3.2.3.3 7de Europese Milieu Actieprogramma	19
3.3 Programmatische Aanpak Stikstof	19
3.3.1 Situering.....	19
3.3.2 Stand van zaken	19
4 Methodiek.....	20
4.1 Natte depositie.....	20
4.1.1 Wat meten we in de neerslag	20
4.1.2 Meetposten in Vlaanderen.....	21
4.1.3 Hoe gebeurt de monsterneming	22
4.1.4 Analyse en berekening in het labo	23
4.2 Droge depositie.....	24
4.2.1 Verontreinigende stoffen	24
4.2.2 Meetposten in Vlaanderen.....	24
4.2.3 Hoe gebeurt de monsterneming	26
4.2.3.1 Radiaaltype	26
4.2.3.2 Batch type	27
4.2.3.3 Frequentie	27
4.2.4 Analyse en berekening in het laboratorium	27
4.2.5 Berekeningen met het VLOPS-model	27
4.3 Totale depositie	28
4.3.1 Meetposten in Vlaanderen.....	28
4.3.2 Berekeningen totale verzurende depositie	28
4.3.3 Berekeningen totale vermestende depositie	28
5 Resultaten	29
5.1 Inleiding	29
5.1.1 Het VLOPS-model	29
5.1.2 Kritische last berekening	29
5.1.3 Statistische berekeningen	29
5.2 Natte depositie.....	30
5.2.1 Neerslaghoeveelheid	30
5.2.2 Zuurtegraad	31
5.2.3 Concentratie en deposities in de neerslag	32
5.2.3.1 Ammonium.....	32
5.2.3.2 Nitriet en nitraat	34
5.2.3.3 Sulfaat.....	37
5.2.4 Totale natte depositie	38
5.2.5 Trend	38
5.2.6 Conclusies natte depositie.....	41
5.3 Droge depositie.....	42
5.3.1 Concentraties en deposities	42

5.3.1.1	Ammoniak - concentratiemetingen	42
5.3.1.2	Stikstofdioxide.....	49
5.3.1.3	Zwavel dioxide	52
5.3.2	Totale droge depositie	56
5.3.3	Trend	57
5.3.4	Extra onderzoek naar invloed kust	61
5.3.5	Conclusies droge depositie	61
5.4	Totale depositie	62
5.4.1	Totaal verzurende depositie	63
5.4.2	Kritische last	69
5.4.2.1	Oppervlakte natuur met overschrijding kritische last verzuring	69
5.4.3	Totaal vermestende depositie	70
5.4.4	Kritische last	73
5.4.4.1	Oppervlakte natuur met overschrijding kritische last vermesting	73
5.4.5	Trend	74
5.4.6	Conclusies totale depositie	76
6	Besluit.....	77
Bijlage 1: Informatie over geaccrediteerde metingen (normen ISO/IEC 17025:2005)		2
Bijlage 2: Depositiesnelheden.....		4
Bijlage 3: Trend in natte depositie		5
Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties.....		6
Bijlage 5: Trend in totale deposities		9
Bijlage 6: Het Vlaams operationeel prioritair stoffen-model.....		11

FIGUREN

Figuur 1: Meetpost verzuring	12
Figuur 2: Oorsprong van verzurende en vermestende stoffen uit emissiebronnen, de chemische omzettingen die deze stoffen kunnen ondergaan en de manier waarop deze verbindingen uiteindelijk neerslaan in de omgeving	14
Figuur 3: Overzicht van de potentieel verzurende stoffen: afkomst, omzetting en depositie. De stoffen die de VMM meet voor het depositiemeetnet verzuring zijn in blauw aangegeven	15
Figuur 4: Schematisch overzicht van de stappen die een verontreinigende stof aflegt nadat ze door emissie vrijkomt	17
Figuur 5: Meetposten voor natte depositie in Vlaanderen.....	21
Figuur 6: Voorbeeld van een natte depositievanger of wet-only sampler	22
Figuur 7: Voorbeeld van een pluviograaf	23
Figuur 8: Meetposten voor de concentratiemetingen van NO_2 en SO_2 in 2013.....	25
Figuur 9: Meetposten voor de concentratiemetingen van NH_3 in 2013	25
Figuur 10: Voorbeeld van passieve samplers	26
Figuur 11: Voorbeeld van een radiaaltype	26
Figuur 12: Voorbeeld van een batch type	27
Figuur 13: Meetposten totale depositie en NH_3	28
Figuur 14: Totale neerslaghoeveelheid per meetpost in 2013, uitgezet naast het KMI-neerslagtotaal in Ukkel in 2013 en het KMI-10-jaargemiddelde	31
Figuur 15: Gemiddelde pH per meetpost in 2013	32
Figuur 16: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van NH_4^+ in 2013. In de rechtse as staat de concentratie NH_4^+ uitgedrukt in mg/L. Na vermenigvuldiging met de neerslaghoeveelheid bekomt men de natte depositie, uitgedrukt in $\text{Zeq}/(\text{ha.jaar})$, aangeduid op de linkse as.....	33
Figuur 17: Gemodelleerde natte depositie van NH_x in 2013 in Vlaanderen, $1 \times 1 \text{ km}^2$ receptorenrooster	34
Figuur 18: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van NO_3^- in 2013	35
Figuur 19: Verzurende natte depositie van NO_3^- en NO_2^- in 2013.....	36
Figuur 20: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van SO_4^{2-} in 2013. De depositie is opgesplitst in het deel SO_4^{2-} afkomstig van de zee en een deel niet afkomstig van de zee	37
Figuur 21: Totale natte depositie per meetplaats in 2013	38
Figuur 22: Natte depositie van NH_4^+ in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P = 0,02$).....	39
Figuur 23: Natte depositie van NO_3^- in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P = 0,003$).....	39
Figuur 24: Natte depositie van SO_4^{2-} in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P < 0,001$).....	40
Figuur 25: Totale natte depositie van N en S in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P < 0,001$) ...	41
Figuur 26: Concentratieverloop van ammoniak in Blankenberge. Op de X-as staan de data van de maandelijkse monsterneming, op de Y-as de concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	42
Figuur 27: Concentratieverloop van ammoniak in Gent, Mariakerke (Bourgoyen-Ossemeersen). Op de X-as staan de data van de maandelijkse monsterneming, op de Y-as de concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	43
Figuur 28: Concentratieverloop van ammoniak in Wingene in 2012 en in 2013. Op de X-as staan de data van de maandelijkse monsterneming uitgezet, op de Y-as de concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	44
Figuur 29: Toetsing van de gemiddelde NH_3 -concentraties per meetplaats aan het huidige kritieke niveau voor vegetatie (rode lijn) en het aanbevolen niveau (groene lijn).....	45
Figuur 30: Gemodelleerd NH_3 -jaargemiddelde in 2013 in Vlaanderen, $1 \times 1 \text{ km}^2$ receptorenrooster	46
Figuur 31: Overzicht van de NH_3 -droge depositie in 2013 per aanwezig vegetatietype. De depositie wordt uitgedrukt in $\text{Zeq}/(\text{ha.jaar})$ en is te zien op de Y-as.....	47
Figuur 32: Gemodelleerde droge deposities van NH_x in 2013 in Vlaanderen, $1 \times 1 \text{ km}^2$ receptorenrooster	48
Figuur 33: NO_2 -jaargemiddelde in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per meetpost	49
Figuur 34: Indicatieve toetsing van de omgerekende NO_x -concentraties, afkomstig van de passieve samplers, aan het kritieke niveau voor vegetatie	50
Figuur 35: NO_2 -depositie in 2013 per vegetatietype. Op de linkse as de berekende droge depositie NO_2 uitgedrukt in $\text{Zeq}/(\text{ha.jaar})$	51
Figuur 36: Gemodelleerde droge deposities van NO_y in 2013 in Vlaanderen, $1 \times 1 \text{ km}^2$ receptorenrooster	52

Figuur 37: SO ₂ -concentratie en indicatieve toetsing aan het kritieke niveau voor vegetatie.....	53
Figuur 38: De gemiddelde SO ₂ -depositie in 2013, uitgedrukt per aanwezig vegetatietype in Zeq/(ha/jaar). Omdat de depositiesnelheden verschillen per vegetatietype, verschillen ook de deposities.....	54
Figuur 39: Gemodelleerde droge deposities van SO _x in 2013 in Vlaanderen, 1x1 km ² receptorenrooster	55
Figuur 40: De totale droge depositie uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar) over de verschillende meetposten in Vlaanderen	56
Figuur 41: Luchtconcentratie van NH ₃ in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant (P = 0,003).....	58
Figuur 42: Jaargemiddelde luchtconcentratie van NH ₃ , NO ₂ en SO ₂ in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijnen zijn de geschatte trends volgens een Kendall-test. De trend voor NH ₃ is significant voor de periode 2002-2013 (P = 0,003), maar niet voor de periode 2009-2013	58
Figuur 43: Luchtconcentratie van NO ₂ in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is niet significant (P = 0,07).....	59
Figuur 44: Luchtconcentratie van SO ₂ in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant (P < 0,001).....	60
Figuur 45: Jaargemiddelde luchtconcentraties van NH ₃ , NO ₂ en SO ₂ op de negen meetposten die sinds 2002 in gebruik zijn. De lijnen zijn niet-parametrische regressielijnen (regionale Kendall-test; P = 0,02 voor NH ₃ , P = 0,47 voor NO ₂ en P = 0,001 voor SO ₂)	60
Figuur 46: Overzicht van de belangrijkste sectoren die bijdragen tot de totale verzurende depositie op basis van gegevens van 2011	63
Figuur 47: Totale verzurende depositie voor het vegetatietype gras als de som van de totale droge depositie en de totale natte depositie	64
Figuur 48: Overzicht van de totale verzurende depositie in 2013, per meetpost en per vegetatietype	65
Figuur 49: Gemodelleerde totale verzurende depositie in 2013 in Vlaanderen, 1x1 km ² receptorenrooster	66
Figuur 50: Overzicht van de meetnetgemiddelde totale verzurende depositie in de periode 2005-2013 en de bijhorende relatieve bijdrage van de belangrijkste pollutanten	68
Figuur 51: Gemiddelde Vlaamse verzurende deposities in Vlaanderen in de periode 1990-2013, met als componenten stikstofoxiden, zwaveloxiden, gereduceerde N verbindingen, halogeenzuren en organische zuren.	69
Figuur 52: Oppervlakte natuur in Vlaanderen met overschrijding van de kritische last verzuring	70
Figuur 53: Overzicht van de totale vermestende depositie in 2013	71
Figuur 54: Gemodelleerde totale vermestende depositie in 2013 in Vlaanderen. 1x1 km ² receptorenrooster	72
Figuur 55: Gemiddelde Vlaamse vermestende deposities van NO _y en NH _x in de periode 1990-2013	73
Figuur 56: Oppervlakte natuur in Vlaanderen met overschrijding van de kritische last vermesting	74
Figuur 57: Totale verzurende depositie van N en S in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant (P < 0,001)	75
Figuur 58: Totale vermestende depositie van N in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant (P = 0,01)	76
Figuur 59: Jaargemiddelde luchtconcentratie van NH ₃ , NO ₂ en SO ₂ (µg/m ³) voor elk van de negen meetposten die sinds 2002 in gebruik zijn. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijnen zijn niet-parametrische regressielijnen volgens een Kendall-test.....	8
Figuur 60: Afbakening emissiegebied VLOPS	13
Figuur 61: Gemiddelde jaargemiddelde gemeten en met VLOPS berekende SO ₂ -concentraties over 22 meetplaatsen	14
Figuur 62: Gemiddelde gemeten en met VLOPS berekende totale natte SO _x -depositie per jaar over 9 meetplaatsen	15
Figuur 63: Gemiddelde gemeten en met VLOPS berekende totale natte NO _y -depositie per jaar over 9 meetplaatsen	16
Figuur 64: Gemiddelde jaargemiddelde gemeten en met VLOPS berekende NH ₃ -concentraties over 9 meetplaatsen	17
Figuur 65: Gemiddelde gemeten en met VLOPS berekende natte NH _x -depositie per jaar over 9 meetplaatsen	17

TABELLEN

Tabel 1: Kritieke niveaus voor de bescherming van de vegetatie op jaarbasis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	18
Tabel 2: VLAREM-streefwaarden voor totale verzurende depositie	18
Tabel 3: VLAREM-streefwaarden voor totale vermestende depositie	18
Tabel 4: Depositiesnelheid per pollutant en vegetatietype (cm/s).....	4
Tabel 5: Benodigde bijtellingen/kalibraties bij de met VLOPS berekende verzurende en vermestende deposities in Vlaanderen	19

Lijst met afkortingen

BELAC	Belgische accreditatieinstelling
DON	<i>Dissolved Organic Nitrogen</i>
EU	Europese Unie
HNO ₂	Salpeterigzuur
HNO ₃	Salpeterzuur
H ₂ SO ₄	Zwavelzuur
HZ	Halogeenzuur
IC	Ionenchromatografie
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IVL	<i>Swedish Environmental Research Institute</i>
K	Kalium
KMI	Koninklijk Meteorologisch Instituut
MAN	Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (Nederland)
MAP	7de Europese Milieu Actieprogramma
MINA	Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen
NEC	Europese Nationale Emissie Plafond richtlijn - <i>National Emission Ceilings</i>
N	Stikstof
N ₂	Stikstofgas
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
NH _x	Gereduceerde stikstofverbindingen (NH ₃ en NH ₄ ⁺)
N ₂ O	Distikstofoxide - lachgas
NO ₂ ⁻	Nitriet
NO ₂	Stikstofdioxide
NO ₃ ⁻	Nitraat
NO _x	Stikstofoxiden: NO en NO ₂ samen
NO _y	Verzamelterm voor geoxideerde stikstofverbindingen (NO, NO ₂ , NO ₃ ⁻ , HNO ₃ , ...)
OZ	Organisch zuur
P	Fosfor
PAN	Peroxyacetylnitraat
PAS	Programmatiese Aanpak Stikstof
pH	Zuurtegraad
PM _{2,5}	Fijn stof met een deeltjesgrootte kleiner dan 2,5 µm
PM ₁₀	Fijn stof met een deeltjesgrootte kleiner dan 10 µm
SBZ	Speciale beschermingszones
SO ₂	Zwavedioxide
SO ₄ ²⁻	Sulfaat
SO _x	Geoxideerde zwavelverbindingen (SO ₂ en SO ₄ ²⁻)
USAM	Uitbating Semiautomatisch Meetnet
VLAREM	Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning
VLOPS	Vlaamse Operationeel Prioritaire Stoffen
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
WGO	Wereldgezondheidsorganisatie
WO	Wet-only sampler: natte depositievanger

1 Inleiding

Op Europees niveau werd stikstofdepositie reeds in 2005 erkend als één van de belangrijkste oorzaken van **biodiversiteitsverlies**. De problematiek is grensoverschrijdend en vraagt om een internationale aanpak³. Ondanks de erkenning op Europese schaal werd hier in het verleden onvoldoende rekening mee gehouden op lokaal en regionaal niveau. Op die manier werd het effect van stikstofdepositie lange tijd onderschat.

De instandhoudingsdoelstellingen vloeien voort uit de Habitatrichtlijn en de Vogelrichtlijn. Het betreft habitats en soorten die we willen beschermen, of in stand houden. De bescherming van deze habitats en soorten moet gebeuren in 'speciale beschermingszones (SBZ)'. Dit zijn de habitatrichtlijngebieden en de vogelrichtlijngebieden die samen het **Natura 2000**-netwerk vormen.

In uitvoering van deze Europese richtlijnen heeft Vlaanderen de opdracht om de zeldzame 'Europese' habitats en soorten, in Vlaanderen te beschermen, of in stand te houden. Dit wil zeggen dat er een aantal individuen van een soort nodig zijn om van een leefbare populatie te spreken. Zo is bijvoorbeeld bepaald hoe groot een heidegebied moet zijn om te kunnen voorzien in typische heidesoorten. Dit noemen we de **instandhoudingsdoelstellingen** of kortweg de natuurdoelen.

Stikstof is een scheikundig element dat een cruciale rol speelt in biologische organismen. Stikstof is bijvoorbeeld nodig om eiwitten aan te maken in ons lichaam. Ook in het milieu komt stikstof voor: ruim 78% van de atmosfeer bestaat uit stikstofgas (N_2). Als stikstof in een andere verbinding dan N_2 voorkomt, spreekt men van **reactief stikstof**. Voorbeelden hiervan zijn lachgas (N_2O), het nitraation (NO_3^-) en ammoniak (NH_3). Een overmaat aan reactief stikstof verstoort het evenwicht in de soortensamenstelling in water en op het land en is één van de belangrijkste oorzaken van biodiversiteitsverlies. Dit proces heet **vermesting**. Daarnaast draagt reactief stikstof samen met zwavel bij tot de productie van zuren, die schadelijk zijn voor levende organismen en materialen. Dit proces heet **verzuring**. De ecologische effecten van vermesting door stikstof zijn echter belangrijker geworden dan de verzurende effecten van zwavel en stikstof⁴.

Om een beeld te krijgen van de situatie in Vlaanderen, beschrijft dit rapport de verzurende en vermestende luchtverontreiniging aan de hand van **meetresultaten** voor het jaar 2013. Droge, natte en totale depositie komen aan bod. De resultaten werden getoetst aan de **kritische last** voor verzuring en vermesting. Deze waarde geeft aan waar de maximaal toelaatbare zwavel- en stikstofdeposities werden overschreden in Vlaanderen.

De metingen geven een exact beeld van de situatie per locatie. Daarnaast werden modelberekeningen gebruikt om de rest van Vlaanderen in kaart te brengen. Hiervoor werd het **Vlaamse Operationeel Prioritaire Stoffen model** (VLOPS-model) gebruikt. Dit model simuleert de luchtkwaliteit aan de hand van emissiegegevens, gegevens over landgebruik en jaarlijkse meteogegevens.

Ten slotte bekijken we de evolutie in Vlaanderen aan de hand van **trendberekeningen**. De trends worden net zoals in de eerdere rapporten over het meetnet verzuring bepaald vanaf de start van de metingen in 2002. Bijkomend bekijken we voor het eerst in welke mate er trends te bemerken zijn gedurende de laatste vijf jaar, dus voor de periode 2009-2013.

³ PEBLDS (Pan-European Biological and Landscape Diversity Strategy) (2005), <http://www.pebllds.org>

⁴ <http://www.milieुरapport.be/>



Figuur 1: Meetpost verzuring

2 Een woordje uitleg

Dit hoofdstuk beschrijft, aan de hand van een aantal kernbegrippen en vakjargon, het onderwerp verzuring en vermesting.

2.1 Wat is verzuring?

Verzuring wordt omschreven als de gezamenlijke effecten van luchtverontreinigende stoffen⁵. Deze zijn afkomstig van emissies van zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH₃) die via de atmosfeer worden aangevoerd en waaruit zwavelzuur (H₂SO₄) en salpeterzuur (HNO₃) kunnen gevormd worden. Verzuring kan via **natte depositie** (regen, sneeuw en hagel) of **droge depositie** (in gasvorm of neerslag als aerosoldeeltjes) of **occulte depositie** (mist, dauw en laaghangende wolken) rechtstreeks een invloed hebben op bodem, water, dieren, planten en materialen. De zogenaamde 'occulte depositie' is vooral belangrijk in bergachtige gebieden. De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) houdt daarom geen rekening met deze vorm van depositie.

Natte verzurende depositie kan gemeten worden door neerslag op te vangen en er de hoeveelheid en samenstelling van te bepalen. We meten dus de hoeveelheid neerslag en de concentratie van de ionen die stikstof en zwavel bevatten.

Droge verzurende depositie is een complex proces dat moeilijk nauwkeurig te meten is. Een reden hiervoor is dat er veel stoffen bij betrokken zijn. Stikstof en zwavel komen allebei voor in de lucht als gas en als deeltje. Voor stikstof gaat het om meerdere vormen, waarvoor vaak geavanceerde meettoestellen nodig zijn. De VMM bepaalt enkel de **concentraties** van drie belangrijke gassen, namelijk **ammoniak** (NH₃), **stikstofdioxide** (NO₂) en **zwaveldioxide** (SO₂). De verzurende depositie door andere gassen en deeltjes bepaalt de VMM niet.

2.2 Wat is vermesting?

We spreken van vermesting als er een **overmaat** is aan **nutriënten**. Deze nutriënten worden niet door de planten opgenomen en komen in ons oppervlakte- en grondwater terecht, waardoor ze ecologische processen en natuurlijke kringlopen verstoren. De belangrijkste nutriënten betrokken bij vermesting zijn **stikstof (N)**, **fosfor (P)** en **kalium (K)**. Deze elementen zijn van nature in beperkte mate aanwezig in de bodem en het grond- en oppervlaktewater, maar menselijke activiteiten veroorzaken een zeer grote toevoer ervan. Het gebruik van meststoffen, afvalwaterlozingen, verbrandingsprocessen en het storten van huishoudelijk afval en waterzuiveringsslib leiden tot vermestende emissies⁶. In de omgevingslucht zijn de concentraties aan fosfor en kalium verwaarloosbaar waardoor enkel stikstof relevant is. Bijgevolg worden fosfor en kalium niet verder besproken in dit rapport.

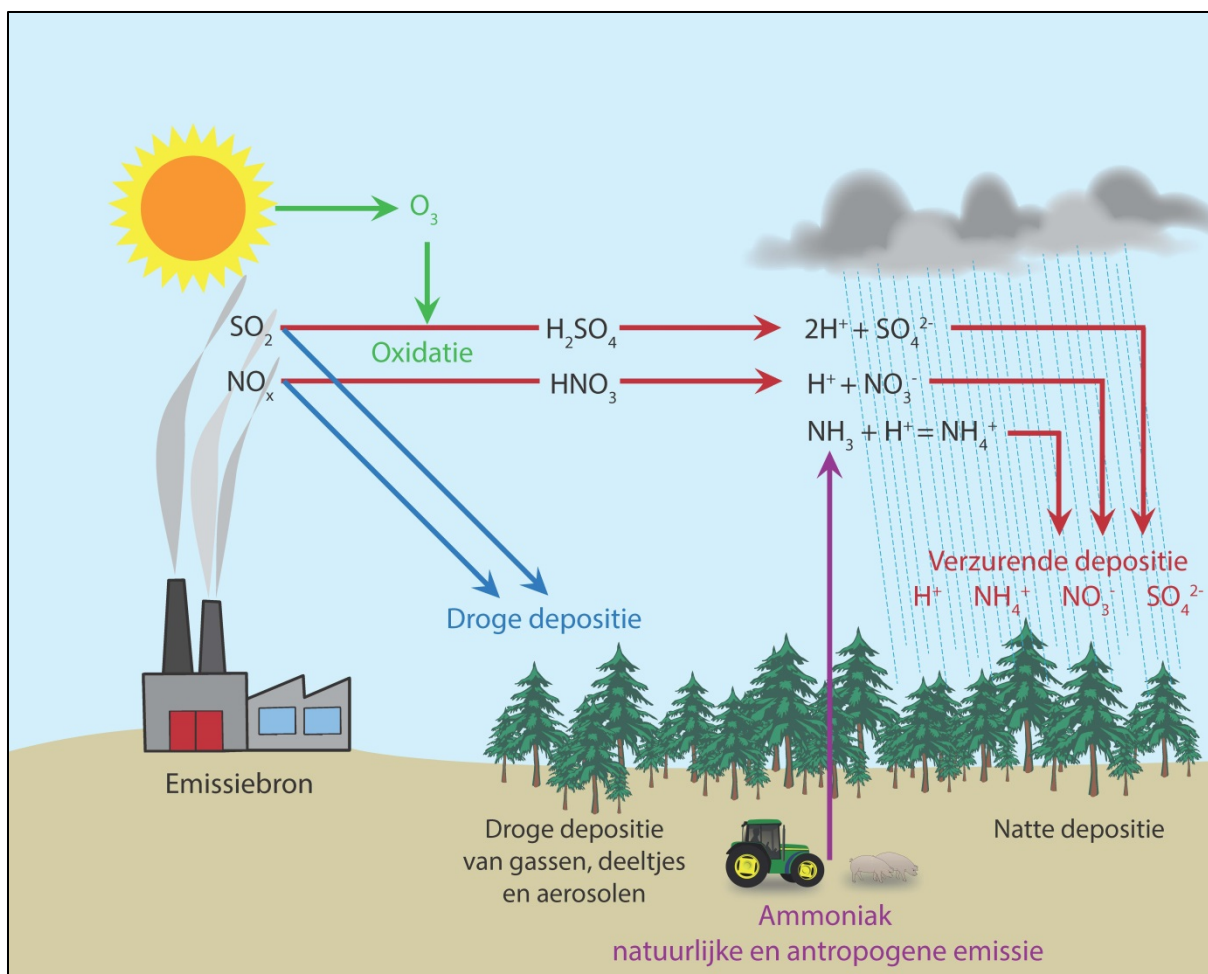
Eén van de belangrijkste bronnen van stikstof is de bemesting van de (landbouw)bodem met dierlijke mest en minerale meststoffen (kunstmest). Dit leidt tot emissies naar bodem en water van onder meer stikstofverbindingen, maar ook naar de lucht als NH₃ en NO_x uit meststoffen. Ook bij mestverwerking treden emissies naar de lucht op. Andere bronnen zijn activiteiten in huishoudens, industrie en transport. Het milieubeleid van de jaren '70 heeft geleid tot belangrijke emissiereducties – vooral bij huishoudens en industrie – omwille van onder meer afvalwaterzuivering en schoorsteengasreiniging. Daardoor is het relatieve aandeel van de landbouw- en de transportsector in belang gestegen.

⁵ Van Craeynest, L (september 2013). "MIRA, Milieu- en natuurrapport Vlaanderen", themabeschrijving verzuring, Vlaamse Milieumaatschappij

⁶ www.milieurapport.be

2.3 Oorsprong en bestemming

Figuur 2 toont de oorsprong en bestemming van verzurende en vermestende stoffen in de lucht.



Figuur 2: Oorsprong van verzurende en vermestende stoffen uit emissiebronnen, de chemische omzettingen die deze stoffen kunnen ondergaan en de manier waarop deze verbindingen uiteindelijk neerslaan in de omgeving

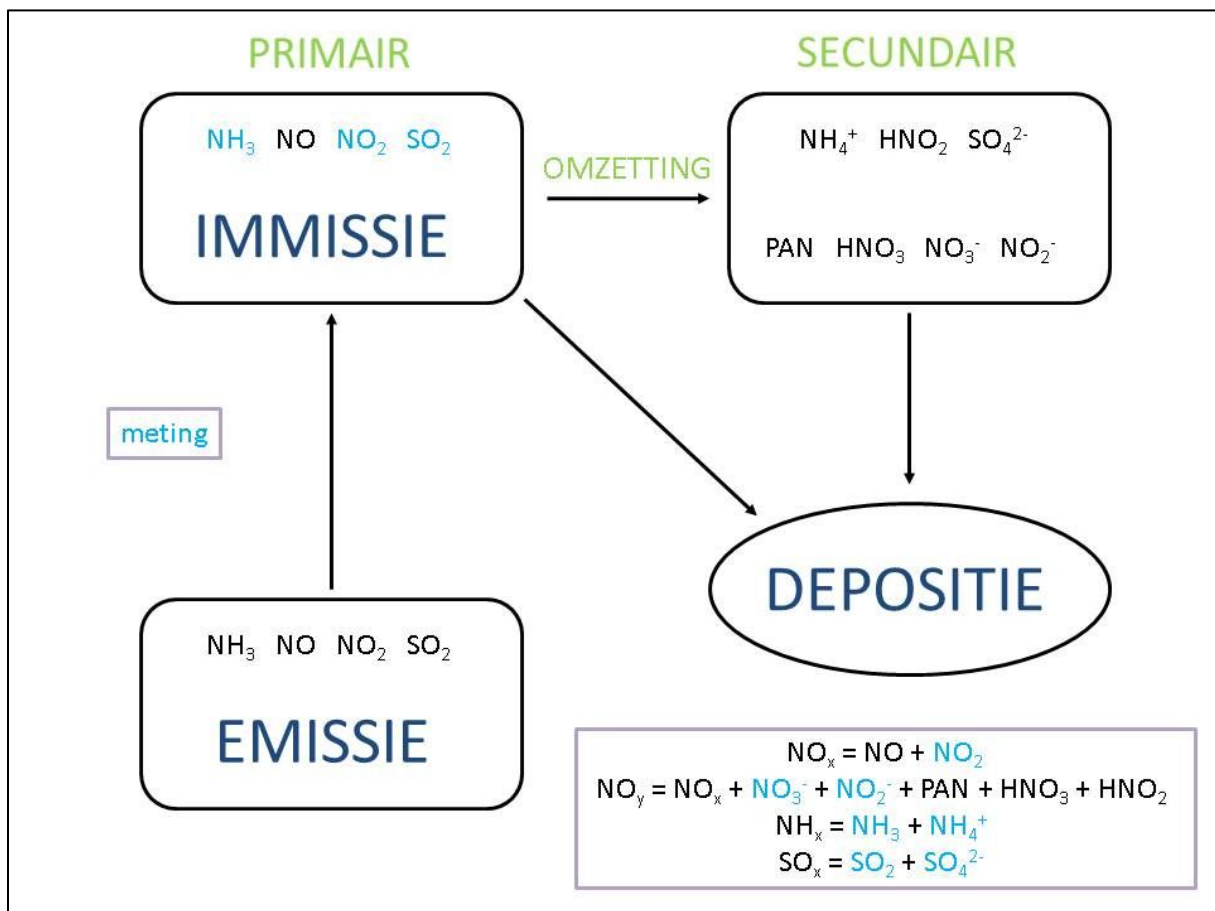
Emissies van **zwaveldioxide** (SO_2) zijn voornamelijk afkomstig van het verbranden van zwavelhoudende fossiele brandstoffen: industrie, elektriciteit, raffinaderijen, gebouwenverwarming, zeescheepvaart en verkeer. SO_2 wordt in de lucht deels omgezet tot H_2SO_4 , waarna het met water in sulfaten (SO_4^{2-}) kan worden omgezet naar natte depositie. Voor het andere deel wordt het afgezet via droge depositie als gas (SO_2) of als deeltje (SO_4^{2-}).

Voor **ammoniak** (NH_3) is de land- en tuinbouw verantwoordelijk voor 90% van de emissies, naast de industrie en het verkeer. Ammoniak ontsnapt uit de stallen en vervluchtigt van pas bemest land. Ammoniak wordt deels in de lucht omgezet in ammoniumverbindingen (NH_4^+) en heeft, nadat het op de bodem neerslaat, een verzurende werking door omzetting onder invloed van micro-organismen.

Emissies van **stikstofoxiden** (NO en NO_2 : samen NO_x) worden veroorzaakt door het wegverkeer en andere verbrandingsprocessen zoals gebouwenverwarming en industriële processen. NO_x worden deels in de lucht omgezet in HNO_3 en NO_3^- . Via natte depositie (opgeloste NO_2^- of NO_3^-) of droge depositie (NO_x , NO_3^- en andere vormen van geoxideerde stikstof) komen ze op de bodem en vegetatie terecht.

2.4 Verzuring via het Vlaams Operationeel Prioritair Stoffen-model

Het VLOPS-model berekent luchtconcentraties van NH_3 , NH_4^+ , NO_x , NO_3^- , SO_2 en SO_4^{2-} en deposities van gereduceerde stikstofverbindingen (NH_x), geoxideerde stikstofverbindingen (NO_y) en geoxideerde zwavelverbindingen (SO_x). Het model berekent de verzurende componenten dus zowel in de gasvormige als in de deeltjesfase en het houdt rekening met de atmosferische processen, zoals verspreiding, droge depositie, natte depositie en omzetting. Zowel de verspreiding en depositie van de primaire vormen van de verzurende stoffen (SO_2 , NO , NO_2 en NH_3) als de verspreiding en depositie van de secundaire vormen (SO_4^{2-} , NO_3^- , en NH_4^+) worden in het VLOPS-model gebruikt. In de berekende NO_3^- - en NO_x -concentraties zijn tevens HNO_3 , salpeterigzuur (HNO_2) en peroxyacetylnitraat (PAN) inbegrepen. Bijlage 6 geeft een uitgebreide beschrijving van het VLOPS-model. Onderstaande figuur geeft een overzicht van alle vermelde potentieel verzurende stoffen en maakt een duidelijk onderscheid tussen stoffen berekend met het model en deze gemeten in het depositiemeetnet verzuring.



Figuur 3: Overzicht van de potentieel verzurende stoffen: afkomst, omzetting en depositie. De stoffen die de VMM meet voor het depositiemeetnet verzuring zijn in blauw aangegeven

2.5 Link verzuring en andere milieuproblemen

Stikstofoxiden spelen een dubbele rol: enerzijds als verzurende stof, anderzijds als ozonprecursor. Ze liggen als ozonprecursor ook aan de oorsprong van de vorming van 'fotochemische zomersmog', met **ozon** als belangrijkste component. De aanwezigheid van hoge concentraties SO_2 tijdens koudere periodes speelt dan weer een rol bij de vorming van wintersmog.

Zuren en ammoniak kunnen zorgen voor de vorming van ammoniumsulfaten en -nitraten. We spreken dan van ammoniumzouten. Deze zouten komen voor als **aerosol** en dragen voor een aanzienlijk deel bij aan de concentraties **secundair fijn stof** (PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$) in omgevingslucht. Deze stoffen kunnen, nadat ze op de bodem of het oppervlaktewater zijn neergeslagen, ook zorgen voor verzuring of vermesting, maar hebben ook gezondheidseffecten voor de mens.

Verzurende depositie, heeft samen met vermistening negatieve gevolgen voor ecosystemen en de soortenrijkdom: verzuring zorgt algemeen voor een vermindering in **biodiversiteit**. Biodiversiteit is volgens het Europees Biodiversiteitsverslag 2020⁷ essentieel voor alle leven op aarde. Verlies aan biodiversiteit vormt één van de grote mondiale bedreigingen. Hieronder geven we een aantal voorbeelden om dit te duiden.

*De directe gevolgen van bodemverzuring - een bodem verzuurt wanneer het zuur bufferend vermogen van de bodem vermindert - zijn het verdwijnen van de basische kationen uit de bodem. Daarnaast lost ook aluminium in de bodem op door de zuren. Deze twee veranderingen zijn schadelijk voor planten en bomen en bijgevolg ook schadelijk voor het bodemleven dat hieraan gekoppeld is. Een tekort aan basische kationen zorgt ervoor dat de planten en bomen een verminderde groei vertonen. Het aluminium dat vrijkomt in hoge concentraties gaat de haarwortels van planten en bomen aantasten. Vervolgens worden jonge bomen ziek door een tekort aan de nodige mineralen. De **es** en de **esdoorn** zijn hier zeer gevoelig aan (Milieurapport Vlaanderen, 2013).*

In onze regio is verzuring vooral het gevolg van atmosferische stikstofdeposities, die zowel verzuring als vermistening veroorzaken. Hierdoor is het niet eenvoudig om verzurende en vermestende effecten op natuur te onderscheiden. Beide factoren leiden tot een wijziging van de samenstelling van de vegetatie en veroorzaken algemeen een verlies aan diversiteit.

*Zo heeft vermistening de achteruitgang van veel **korstmossen** veroorzaakt. Er zijn toenames van stikstofminnende korstmossen als gevolg van de hoge ammoniakconcentraties in de lucht en de toenemende vergrassing van de heide. De effecten van deze stoffen zijn niet altijd te scheiden van die van vermestende stoffen, omdat een deel van de verzurende stoffen ook vermestend werkt.*

*Vermistening leidt op zijn beurt ook tot de afname van soorten. Soorten die gebonden zijn aan voedselarme milieus, zoals heide zullen minder kansen krijgen in een omgeving die invloed ondervindt van vermistening. De voedsel minnende soorten - dit zijn soorten die van veel stikstof houden, zoals het **pijpestrootje** (*Molinia caerulea*) - gaan toenemen. Er gaat dus een verschuiving in plantengemeenschappen plaatsvinden. Dit heeft ook negatieve gevolgen voor de typische diersoorten die op die heide leven. Vooral broedvogels en dagvlinders op de heide gaan sinds 1990 achteruit. Het **gentiaanblauwtje** is een dagvlinder van natte heidebiotopen en vochtige schrale graslanden. De waardplant van deze dagvlinder, namelijk de **klokjesgentiaan**, is gehalveerd tussen 1991 en 1998, wat de achteruitgang van het Gentiaanblauwtje verklaart. Ondanks wettelijke bescherming blijft het Gentiaanblauwtje in Vlaanderen zorgwekkend achteruitgaan. De soort is in België bedreigd en in heel Europa kwetsbaar.*

2.6 Kritische last: maat voor verzuring en vermistening

Om de gevoeligheid van de ecosystemen voor verzuring en vermistening te berekenen, werd het concept 'kritische last' ontwikkeld. Dat is een waarde die uitdrukt hoeveel verzurende of vermestende depositie een **ecosysteem** kan verdragen zonder dat er risico's zijn op **beschadiging** op lange termijn. Zo hebben bomen stikstof nodig om te groeien. Als er teveel stikstof uit de atmosfeer neerslaat, bemoeilijkt dit de opname van andere voedingsstoffen, wat tot wortelschade leidt. In dat geval ligt de verzurende depositie boven het niveau van de kritische lasten en is er op termijn schade voor de natuur.

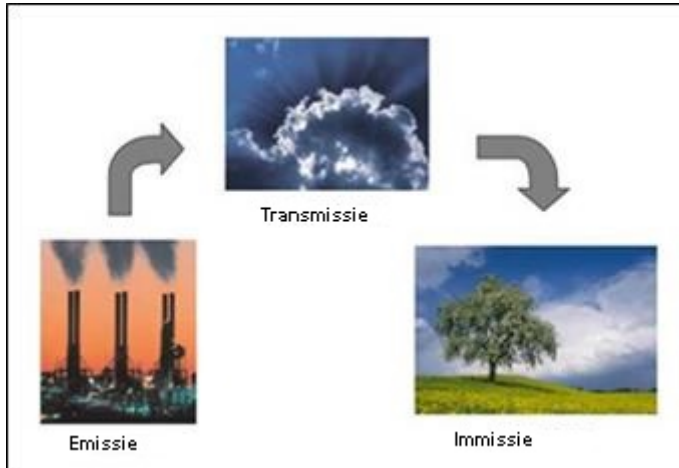
De term 'kritische last' is een indicator uit het MINA-PLAN die zijn oorsprong vindt in de Europese wetgeving. Op basis van modellen en studies bepaalt elk land de kritische last van zijn eigen ecosystemen. Voor Vlaanderen werden kritische lasten vastgelegd voor **bos**, **heide** en **grasland**. De kritische last voor verzuring is een norm voor stikstof- en zwaveldepositie. De kritische last voor vermistening is een norm die enkel geldt voor stikstofdepositie. Door de sterke daling van de SO₂-emissies neemt het relatief belang van de vermistening toe.

⁷ Europese Commissie, Europees Biodiversiteitsverslag 2020, <http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/comm2006/2020.htm>

3 Wetgeving

Vermesting en verzuring wordt gereguleerd op basis van internationale en Europese wetgeving, omgezet en aangevuld met Vlaamse regelgeving.

Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen emissies en immissies, zie Figuur 4.



Figuur 4: Schematisch overzicht van de stappen die een verontreinigende stof aflegt nadat ze door emissie vrijkomt

3.1 Emissies

Emissie is de uitstoot of lozing van verontreinigende stoffen in de lucht. De **Europese Nationale Emissie Plafond richtlijn 2001/81/EG**, beter gekend als de NEC-richtlijn (*National Emission Ceilings*), legt voor de uitstoot van verzurende stoffen een aantal maxima op. De richtlijn verplicht de lidstaten om een programma op te stellen waarin ze vastleggen hoe ze de emissies kunnen beperken. Meer informatie over emissies vindt u terug in het rapport *Lozingen in de Lucht van de Vlaamse Milieumaatschappij*⁸.

3.2 Immissies

Immissies zijn concentraties van stoffen in de omgevingslucht. Bij het meten van immissies maakt de VMM onderscheid in natte, droge en totale depositie omdat voor deze aspecten een verschillend regelgevend kader geldt.

3.2.1 Voorwaarden voor keuze meetposten

Om internationaal over vergelijkbare resultaten te beschikken, werd een aantal vereisten voor de keuze van de meetposten gebundeld in een internationale norm, namelijk de **ISO-norm 5667-8**. Een aantal van deze vereisten zijn:

- geen bewegingen in de nabije omgeving. Beweging betekent immers het opwaaien van stof;
- geen directe bronnen van verontreiniging in de omgeving;
- geen industrie, stad of voorstad op minder dan 10 kilometer;
- voldoende afstand van landbouwgebieden, veeteelt en stallen;
- geen autosnelwegen, (verbrandings)ovens, rioleringen binnen 1 kilometer;
- geen vervuilsbronnen zoals vliegtuig- of boottransporten binnen de 100 meter;
- ongestoord, vlak land als ondergrond om de invloed van de wind te beperken.

⁸ VMM (2014), *Lozingen in de lucht 2002-2013*

3.2.2 Norm voor concentratie in de lucht

De **Europese richtlijn 2008/50/EG** betreffende de luchtkwaliteit en schonere lucht voor Europa beschrijft kritieke niveaus voor de bescherming van ecosystemen voor SO_2 en NO_x . Deze kritieke niveaus gelden op jaarbasis. Deze toetsing is echter indicatief, omdat er strikt genomen geen gebieden in Vlaanderen zijn die volledig voldoen aan de voorwaarden van inplanting van meetposten, zoals opgelegd in de richtlijn. De VMM hanteert onder andere de volgende criteria: geen agglomeratie of industrieterrein in een straal van 5 kilometer rond de meetplaats, elektriciteit moet beschikbaar zijn, het terrein moet toegankelijk zijn voor monsterneming, representatief voor soortgelijke locaties.

Tabel 1: Kritieke niveaus voor de bescherming van de vegetatie op jaarbasis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	SO_2	NO_x	NH_3
Europese richtlijn 2008/50/EG	20	30	-
WGO (2000)	-	-	8

De VMM toetst de NH_3 -concentratie in de lucht aan het kritieke niveau dat de **Wereldgezondheidsorganisatie (WGO)** definieerde voor de bescherming van vegetatie. Het kritieke niveau bedraagt op dit moment $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De wetenschappelijke literatuur geeft echter aan dat deze waarde te hoog is en doet een aanbeveling van $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de bescherming van hogere plantensoorten⁹. Verder in dit rapport toetsen we het NH_3 -jaargemiddelde op verschillende meetposten in Vlaanderen aan het huidige en het aanbevolen kritieke niveau.

3.2.3 Streefwaarden en doelstellingen voor totale depositie

Voor totale depositie houdt de VMM rekening met streefwaarden en doelstellingen op Vlaams niveau, namelijk:

- **VLAREM:** Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning;
- **MILIEUBELEIDSPAN 2011-2015.**

3.2.3.1 VLAREM

Het VLAREM is de wettelijke basis voor het voorkomen en de bestrijding van milieuverontreiniging door hinderlijke inrichtingen (= bedrijven) en activiteiten in Vlaanderen. Voor verzuring zorgt deze wetgeving specifiek voor de bescherming van gevoelige gebieden. Daarom bepaalt VLAREM II streefwaarden voor totale verzurende (zie Tabel 2) en vermestende (zie Tabel 3) depositie per vegetatie- en bodemtype. De totale verzurende depositie drukt men uit in zuurequivalenten per hectare per jaar ($\text{Zeq}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$) en de totale vermestende depositie in kilogram stikstof per hectare per jaar ($\text{kg N}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$).

Tabel 2: VLAREM-streefwaarden voor totale verzurende depositie

Streefwaarde	Vegetatie- en bodemtype
1.400 $\text{Zeq}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$	Naaldbossen en heide op zandgronden
1.800 $\text{Zeq}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$	Loofbossen op armere zandgronden
2.400 $\text{Zeq}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$	Loofbossen op rijkere gronden

Tabel 3: VLAREM-streefwaarden voor totale vermestende depositie

Streefwaarde	Vegetatie- en bodemtype
14 $\text{kg N}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$	Loofbossen
5,6 $\text{kg N}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$	Meer natuurlijke soortensamenstelling in naaldbos, heide op zandgrond en vennen

De VMM toetst de meetresultaten van 2013 aan bovenstaande streefwaarden.

⁹ Cape J.N., van der Eerden L.J., Sheppard L.J., Leith I.D. and Sutton M.A. (2009), Evidence for changing the critical level for ammonia. *Environmental Pollution* 157, p. 1033-1037

3.2.3.2 Milieubeleidsplan 2011-2015

Het Milieubeleidsplan bepaalt de hoofdlijnen van het milieubeleid dat het Vlaamse Gewest, de provincies en gemeenten in aangelegenheden van gewestelijk belang uitvoeren. Voor de periode 2011-2015 heeft de Vlaamse Regering de doelstellingen gebundeld in het milieubeleidsplan MINA-plan 4. Dit stelt als doel dat tegen 2015 nog maar op 20% van de oppervlakte natuur in Vlaanderen een overschrijding van de kritische last verzuring mag voorkomen. Voor de kritische last vermessing werd het percentage van overschrijding vastgelegd op 65% (zie 5.4.2).

3.2.3.3 7de Europese Milieu Actieprogramma

Het recente 7de Europese Milieuactieprogramma vormt de leidraad voor het milieubeleid van de Europese Unie (EU) tot 2020. Eén van de prioriteiten binnen dit actieprogramma is de natuur beschermen en de ecologische veerkracht versterken.

3.3 Programmatistische Aanpak Stikstof

3.3.1 Situering

Natuurbehoud is sinds het begin van de jaren '70 één van de belangrijkste doelstellingen van het milieubeleid van de Europese Unie. De vogelrichtlijn en vervolgens de habitatrichtlijn vormen een wettelijke basis voor de bescherming van zeldzame en bedreigde planten en diersoorten en natuurlijke habitats. Deze twee richtlijnen beogen de **instandhouding**^{10,11} van de natuurlijke leefmilieus en de wilde fauna en flora, voornamelijk via een Europees netwerk van beschermde gebieden. Dit zijn de zogenaamde **Natura 2000-gebieden**.

De Programmatistische Aanpak Stikstof (PAS) geeft vorm aan het beleid gericht op het creëren van ruimte voor economische ontwikkeling mét behoud van de natuurdoelen van Natura 2000. Het vergunningenbeleid wordt hierbij in acht genomen. De vergunningverlening moet gestroomlijnd worden en vlotter verlopen.

3.3.2 Stand van zaken

De **Vlaamse regering** heeft op 23 april 2014 de zogenaamde 'instandhoudingsdoelstellingen' goedgekeurd. Op dezelfde vergadering heeft de Vlaamse Regering zich akkoord verklaard met de opmaak van een PAS en met een kader voor vergunningverlening in afwachting van een definitief PAS. Zo is beslist "met onmiddellijke ingang de overgangsfase in te stellen in aanloop naar een **Programmatistische Aanpak Stikstof (PAS)**; de voorbereiding van een Voorlopige PAS (VPAS) aan te vatten met het oog op inwerkingtreding begin 2015 bij de opstart van het Natura 2000-Programma; in samenhang met het lucht-, mest-, mobiliteits- en natuurbeleid een Definitieve PAS (DPAS) te ontwikkelen, die kan ingaan na de inwerkingtreding van het Omgevingsdecreet en het volledig operationaliseren van het herstelbeleid".

Het **Vlaams parlement** heeft op 25 april 2014 een nieuw 'Decreet voor Natuur en Bos' goedgekeurd. Dit decreet treedt in de plaats van onder andere het oude decreet op het natuurbehoud en het bosdecreet. Het nieuwe decreet biedt het wettelijk kader voor een reeks instrumenten waarmee Vlaanderen de instandhoudingsdoelstellingen wenst te realiseren. Dit decreet bevat ook verwijzingen naar PAS en vormt dus een wettelijke verankering voor (een deel van) het PAS.

¹⁰ Vlaamse Regering. Beslissing van woensdag 23 april 2014, Bijzondere vergadering VR PV 2014/16 – punt 0003.

¹¹ Instandhoudingsdoelstellingen zijn maatregelen die nodig zijn voor het behoud van waardevolle natuur in bepaalde afgebakende gebieden

4 Methodiek

Sinds 2011 is de dienst lucht van de VMM geaccrediteerd door de Belgische accreditatieinstelling (BELAC). Dit is een attest dat verklaart dat de bemonstering en analyses van de VMM voldoen aan strenge kwaliteitsvoorschriften. De specificaties over onder meer het meetprincipe en de meetonzekerheid staan in Bijlage 1: Informatie over geaccrediteerde metingen (normen ISO/IEC 17025:2005).

De methodiek van het meetnet verzuring steunt op het principe van **semiautomatische metingen**. Dit houdt in dat de bemonstering op het terrein gebeurt en de analyse achteraf in het labo wordt uitgevoerd.

De VMM bepaalde in Vlaanderen in 2013 op negen meetposten de natte en droge depositie van zowel NH_x , NO_y als SO_x . Bij het bepalen van deze locaties was de afstand tot mogelijke verontreinigingsbronnen een belangrijke factor. Met dit meetnet wil de VMM geen individuele bronnen, maar de invloed van alle bronnen samen op de leefomgeving meten.

Op acht andere meetposten waren er extra NH_3 -metingen. In Blankenberge, Torhout en Waasmunster gebeurden de metingen wel tussen akkers waar hoge NH_3 -waarden kunnen voorkomen. Door de spreiding van de verschillende concentratieniveaus en een hogere dichtheid van metingen proberen we een beter algemeen beeld van de NH_3 -concentraties in Vlaanderen te krijgen.

4.1 Natte depositie

Dit onderdeel beschrijft de methodiek voor natte depositie. Dit is de depositie die met neerslag – regen, sneeuw en hagel – uit de atmosfeer op een oppervlak terechtkomt.

4.1.1 Wat meten we in de neerslag

In de neerslag werden verschillende ionen geanalyseerd. In totaal maten we – naast de zuurtegraad (pH) en de geleidbaarheid – 12 ionen, waarvan voor natte depositie onderstaande de belangrijkste zijn:

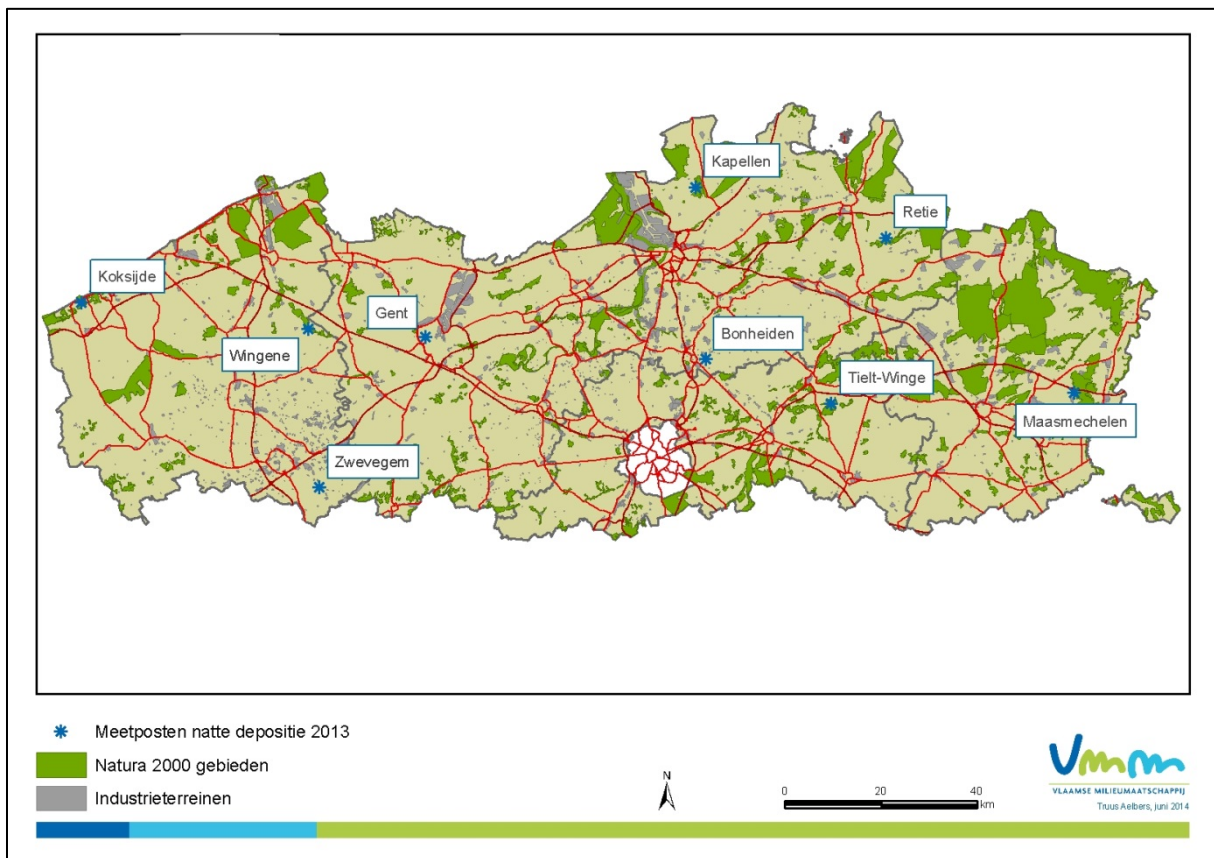
- ammonium (NH_4^+);
- sulfaat (SO_4^{2-});
- nitriet (NO_2^-);
- nitraat (NO_3^-).

De andere ionen dienden als kwaliteitscontrole of voor berekeningen (bijvoorbeeld berekening aandeel zeezout, zie resultaten).

4.1.2 Meetposten in Vlaanderen

In 2013 mat de VMM, net zoals in 2012, op 9 verschillende plaatsen in Vlaanderen de concentratie aan bovenvermelde ionen, in de neerslag. Voor de keuze van deze meetposten hielden we rekening met de ISO-norm (zie paragraaf 3.2.1). Onderstaande kaart geeft het overzicht van deze plaatsen in Vlaanderen. Om een duidelijk beeld te krijgen, werden industriegebieden, verkeersaders en Natura 2000-gebieden aangeduid. Vlaanderen telt 62 Natura 2000-gebieden.

De Natura 2000-gebieden worden ook '**speciale beschermingszones**' (SBZs) genoemd en worden afgebakend op basis van vogel- en habitatrichtlijnen. Op Europees niveau is afgesproken dat de overheid ervoor moet zorgen dat die habitats en soorten duurzaam kunnen overleven. Op deze manier blijft de biodiversiteit behouden. Zo staat bijvoorbeeld de historische fortengordel rond Antwerpen op de lijst als vleermuizenhabitat. De drijvende waterweegbree – een plant die gevoelig is voor de verzuring van het water – groeit nog in het natuurgebied rond de Visbeek (Kempen) waardoor ook dit gebied op de lijst van Natura 2000-gebieden staat.



Figuur 5: Meetposten voor natte depositie in Vlaanderen

4.1.3 Hoe gebeurt de monsterneming

De neerslag wordt opgevangen in een **natte depositievanger** of 'wet-only sampler' (WO).



Figuur 6: Voorbeeld van een natte depositievanger of wet-only sampler

Dit toestel heeft een trechter met een deksel, bemonsteringsflessen en een regensensor. Tijdens droge perioden is het deksel gesloten. Wanneer de sensor neerslag detecteert, opent het deksel automatisch. De neerslag komt dan via de trechter in één van de flessen terecht. Een fles kan maximaal vijf liter neerslag bevatten. Om het risico op overlopen te vermijden, is het aangeraden om in een fles niet meer dan de neerslag van één week op te vangen. Er is een rotatiesysteem voorzien waardoor na één week de fles doordraait naar de andere fles. Zo kan het toestel autonoom werken gedurende 14 dagen. De flessen staan in een gekoelde, donkere ruimte, zodat er geen chemische en biochemische omzettingen plaats grijpen. Ook algengroei is zo niet mogelijk.

In juli 2013 werden de bestaande toestellen – reeds meer dan tien jaar in gebruik – vervangen door nieuwe depositievangers. De werking van beide type toestellen is hetzelfde. Het enige verschil is dat de oude toestellen 2 bemonsteringsflessen hadden en de nieuwe toestellen 3 bemonsteringsflessen bevatten. Zo zijn de monsternemingsperiodes niet langer afhankelijk van het tijdstip waarop de monsternemer ter plaatse komt.

Na monsterneming worden de flessen gekoeld naar het labo getransporteerd voor analyse.

De natte depositievanger is door zijn vorm en hoogte niet geschikt voor het bepalen van de exacte neerslaghoeveelheid door de windturbulentie rond het toestel. Om de exacte neerslaghoeveelheid te kennen, staan er pluviografen op onze meetposten.



Figuur 7: Voorbeeld van een pluviograaf

Deze toestellen wegen de neerslag. De lamellen rond het toestel zorgen voor een egale windverdeling.

4.1.4 Analyse en berekening in het labo

In het labo worden twee bemonsterde flessen van eenzelfde meetpost bij elkaar gegoten, zodat er een resultaat beschikbaar is over 14 dagen. Volgende analyses gebeuren:

- ionenanalyse;
- pH-meting;
- geleidbaarheidsmeting.

De **ionenanalyse** gebeurt ofwel via de techniek van fotospectrometrie ofwel via ICP-OES (*inductively coupled plasma optical emission spectrometry*). De **pH- en geleidbaarheidsmetingen** gebeuren door middel van een pH-meter en een geleidbaarheidsmeter. De natte depositie per meetplaats is dan de vermenigvuldiging van de neerslaghoeveelheid op die bepaalde meetplaats met de concentratie van een bepaald ion in de neerslag:

$\text{natte depositie} = \text{concentratie in de neerslag} \times \text{neerslaghoeveelheid}$

Via deze formule kunnen natte deposities berekend worden per meetplaats. De natte deposities worden uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar). Om een volledig beeld te krijgen van Vlaanderen maakt het VLOPS-model een gebieddekkende inschatting.

4.2 Droge depositie

In dit onderdeel volgt meer uitleg over de methodiek rond droge depositie. Dit is de depositie die in gasvorm of als aerosoldeeltjes uit de lucht op een oppervlak terecht komt. De VMM berekende enkel de gasvormige depositie en meet geen aerosolen. Aangezien de meettechnieken rond aerosolen verder geoptimaliseerd moeten worden en omdat de link met fijn stof aan belang toeneemt, zal de VMM bekijken of dit onderdeel in de toekomst mee kan opgenomen worden in de meetstrategie.

De situering van de meetposten, evenals het aantal meetposten veranderde niet in 2013. Daarentegen werd het aantal passieve samplers per meetplaats afgebouwd. Hiervoor schakelde de VMM over van een triplometing naar een duplometing voor de componenten NO_2 , SO_2 en NH_3 . Bijkomend is ook een overschakeling doorgevoerd voor NO_2 en SO_2 van tweewekelijkse metingen naar maandelijkse metingen. Dit maakt dat deze drie belangrijkste verontreinigende stoffen worden gemeten op maandbasis en in duplo. Deze overschakeling is het gevolg van enerzijds de krimpende middelen. Anderzijds is het niet nodig om in triplo en per twee weken te meten als we de concentraties alleen gebruiken om een jaargemiddelde te berekenen.

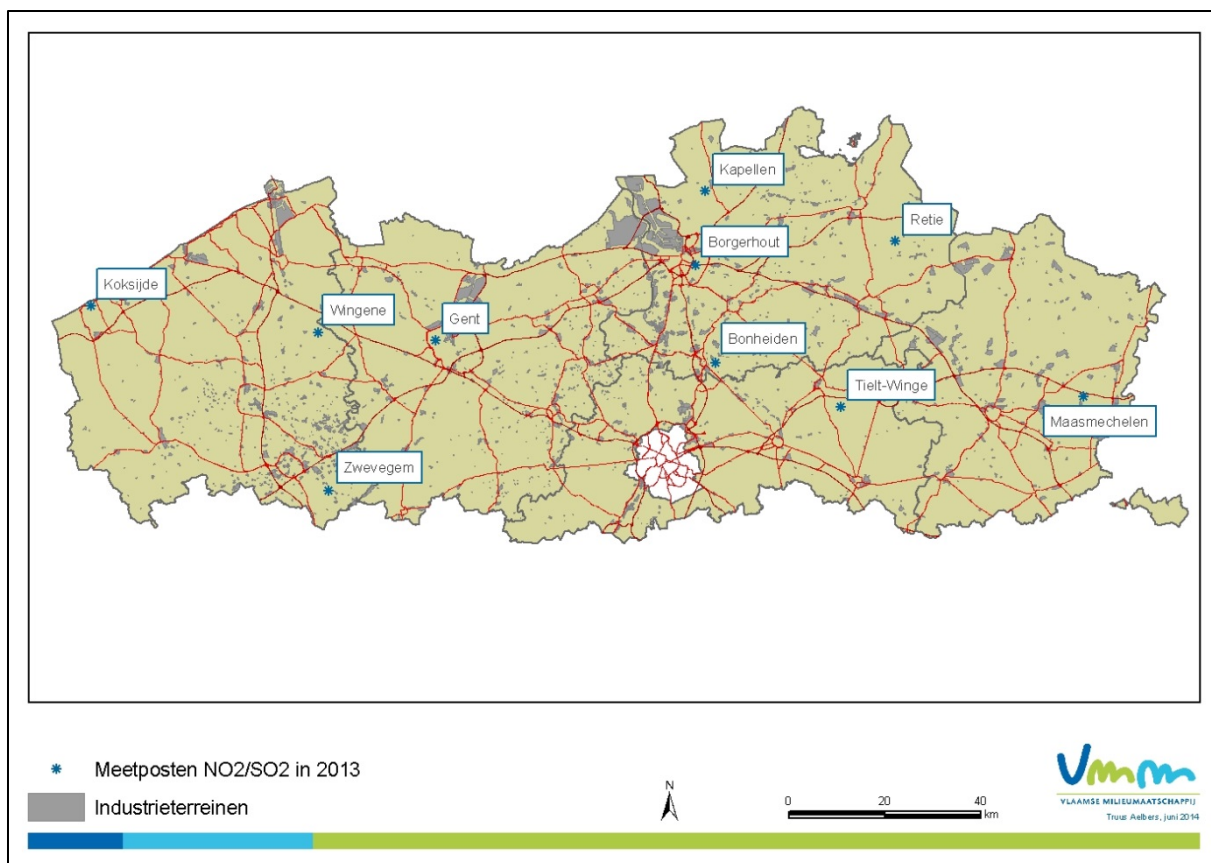
4.2.1 Verontreinigende stoffen

De verontreinigende stoffen die gemeten worden voor de droge depositiemetingen zijn:

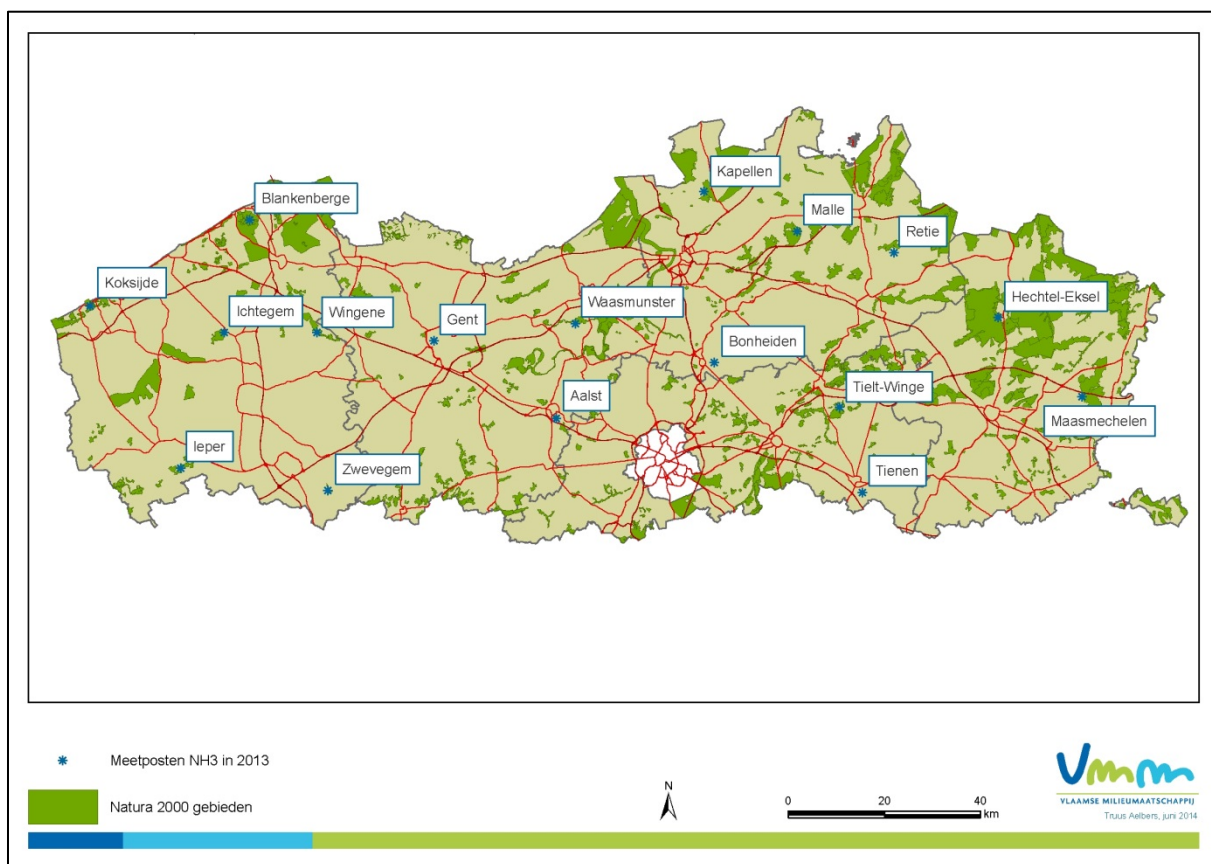
- stikstofdioxide (NO_2);
- ammoniak (NH_3);
- zwaveldioxide (SO_2).

4.2.2 Meetposten in Vlaanderen

In 2013 heeft de VMM, net zoals in 2012, **stikstofdioxide**, **ammoniak** en **zwaveldioxide** gemeten op negen verschillende plaatsen in Vlaanderen. Bijkomend meet de VMM op acht extra plaatsen de concentratie van ammoniak. Door de grote variatie in ruimte – ammoniak wordt over korte afstanden getransporteerd – is er nood aan een groter aantal meetposten om een voldoende dekking te bekomen voor het Vlaamse grondgebied. Dit wordt momenteel bekeken in het kader van de meetstrategie. Onderstaande kaarten tonen alle meetposten in 2013 waar concentraties worden gemeten met passieve samplers. Voor SO_2 en NO_2 (zie Figuur 8) vormen de grote verkeersaders en industriezones de belangrijkste bron. Deze zijn in beeld gebracht. Voor NH_3 (zie Figuur 9) worden de Natura 2000-gebieden getoond. Deze gebieden ondervinden schade als gevolg van de verzurende en vermestende depositie die in belangrijke mate onder de vorm van NH_x wordt aangevoerd in Vlaanderen.



Figuur 8: Meetposten voor de concentratiemetingen van NO₂ en SO₂ in 2013



Figuur 9: Meetposten voor de concentratiemetingen van NH₃ in 2013

4.2.3 Hoe gebeurt de monsterneming

De monsterneming maakt gebruik van **passieve samplers**.



Figuur 10: Voorbeeld van passieve samplers

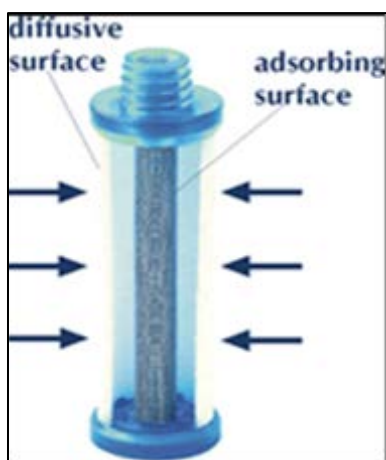
In Figuur 10 zijn lange blauwe buisjes te zien en platte ronde schijfjes. Dit zijn beiden passieve samplers. Bij de blauwe buisjes hebben we te maken met het radiaalttype en bij de schijfjes met het batchtype. Alle samplers zijn beschermd tegen de neerslag door een kap erboven of errond. De opening van de kap wordt naar het oosten, noordoosten gericht om regeninslag te vermijden.

Het oppervlak van de sampler is diffuus en adsorbeert. Passieve samplers bevatten steeds een membraan en een filter met welbepaald adsorbens¹². Het adsorbens is een kleverige chemische stof waarop de te meten stof wordt gevangen. Na blootstelling aan de lucht gedurende een bepaalde periode, wordt deze sampler geanalyseerd in het laboratorium.

Passieve samplers hebben als voordeel dat ze klein, licht en eenvoudig in gebruik zijn. Er is geen elektriciteit nodig en verzenden per post is mogelijk. Dit maakt deze meetmethodiek een geschikte techniek voor zowel grote en wijd verspreide netwerken, screening als kortere projecten.

4.2.3.1 Radiaalttype

Het kenmerk van deze sampler is de vorm, namelijk cilindrisch en coaxiaal. Op deze manier is er een groot diffusieoppervlak beschikbaar. De VMM gebruikt dit type sampler voor de concentratiemeting van ammoniak in de lucht.



Figuur 11: Voorbeeld van een radiaalttype

¹² Adsorptie is een fenomeen dat optreedt aan het grensvlak van twee fasen. Dit kan zijn het grensvlak vloeistof-vast, vloeistof-vloeistof, vast-vloeistof of vast-gas. Bij adsorptie hechten de moleculen van een gas of vloeistof zich door Londoninteracties aan het oppervlak van een vaste stof of vloeistof en bedekken deze daardoor met een laagje.

4.2.3.2 Batch type

Het batch type sampler heeft een ronde vorm. De VMM gebruikt dit type sampler voor de concentratiemeting van stikstofoxiden en zwaveldioxide in de lucht. Uit vroegere studies blijkt de batch-sampler de beste keuze voor NO_2 - en SO_2 -metingen.



Figuur 12: Voorbeeld van een batch type

4.2.3.3 Frequentie

Zoals reeds eerder vermeld, werd er een wijziging doorgevoerd in het meetnet. De VMM is overgeschakeld van een triplometing, waarbij telkens drie samplers naast elkaar op dezelfde meetplaats hangen, naar een **duplometing**. Hierbij worden maar twee samplers naast elkaar gehangen.

In 2013 stapten we over naar een blootstelling van een maand in plaats van tweewekelijks. Een maandgemiddelde concentratie is het resultaat.

4.2.4 Analyse en berekening in het laboratorium

De analyses van NH_3 gebeurden door het laboratorium van de VMM in Oostende. De analyses van SO_2 en NO_2 werden uitbesteed aan IVL (*Swedish Environmental Research Institute*). Deze keuze werd gemaakt op basis van de beschikbare analysetechnieken.

In 2013 werden de stalen door de VMM niet meer geanalyseerd met ionenchromatografie (IC), maar werd de methode van fotospectrofotometrie toegepast. De stalen geanalyseerd door IVL werden wel geanalyseerd met IC.

De droge depositie per meetpost werd berekend door het vermenigvuldigen van de concentratie met de depositiesnelheid:

droge depositie = concentratie in de lucht x depositiesnelheid
--

De **droge depositiesnelheid** is afhankelijk van het soort oppervlak waarop de chemische stof wordt afgezet. Dit kan zijn op bomen, maar dit kan ook op gras of heide. Voor de berekening van depositiesnelheden bestaan verschillende methoden. De VMM baseert zich hiervoor op literatuurwaarden. De depositiesnelheden voor de verschillende verzurende stoffen en types vegetatie zijn terug te vinden in bijlage 2.

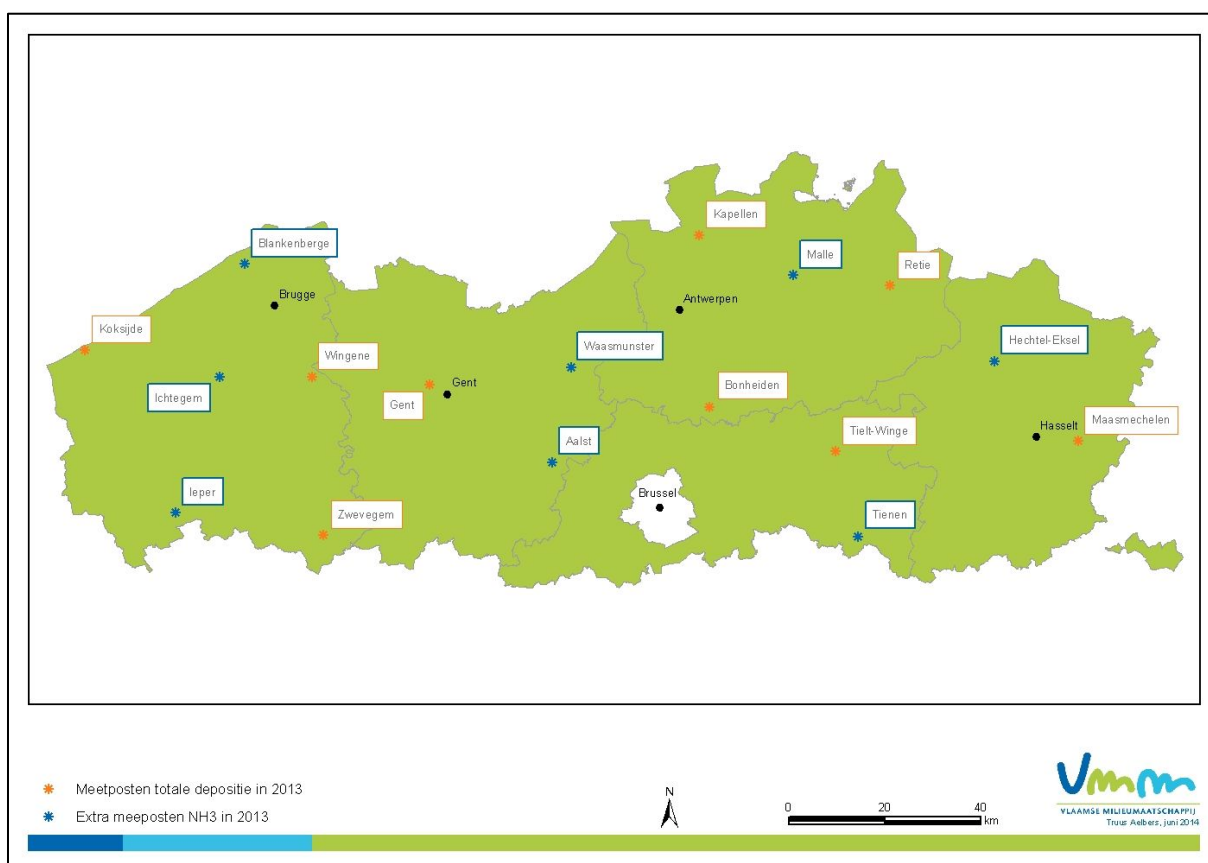
4.2.5 Berekeningen met het VLOPS-model

Terwijl in het meetnet enkel de droge depositie van de primaire gasvormige stoffen SO_2 , NO_2 en NH_3 wordt bepaald, rekent het VLOPS alle verzurende pollutanten in de gasvormige en de deeltjesfase door. Het model berekent eerst de concentraties van de gasvormige stoffen SO_2 , NO , NO_2 , HNO_2 , PAN (peroxyacetylnitraat), HNO_3 en NH_3 , en de deeltjes SO_4^{2-} , NO_3^- en NH_4^+ . Vervolgens bepaalt het model voor elk van deze stoffen de droge depositiesnelheid aan de hand van gegevens over de meteorologische omstandigheden, het landgebruik en de terreinruwheid. Tenslotte berekent het model de droge deposities door de luchtconcentraties te vermenigvuldigen met de droge depositiesnelheden.

4.3 Totale depositie

Het meetnet van de VMM omvat voor Vlaanderen 9 meetposten waar we zowel de natte depositie (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- en SO_4^{2-}) als de droge depositie (NH_3 , NO_2 en SO_2) meten en berekenen. Hierdoor kunnen we eenvoudig de totale verzurende depositie berekenen, door de som te maken van de natte depositie en droge depositie. Een belangrijke opmerking is dat de gemeten **totale verzurende depositie** niet alle mogelijke verzurende componenten omvat, maar enkel de voornaamste verzurende componenten.

4.3.1 Meetposten in Vlaanderen



Figuur 13: Meetposten totale depositie en NH_3

Figuur 13 toont de negen meetposten waar de totale verzurende depositie voor Vlaanderen berekend wordt uit de gemeten concentraties. Ook de extra meetposten voor de metingen van ammoniakconcentraties zijn hierop te zien.

4.3.2 Berekeningen totale verzurende depositie

De totale verzurende depositie wordt uitgedrukt in zuurequivalenten per hectare en per jaar, $\text{Zeq}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$. Zo kunnen we de verschillende verzurende polluenten met elkaar vergelijken en kunnen we ook de berekende totale verzurende depositie toetsen aan de VLAREM-regelgeving.

4.3.3 Berekeningen totale vermestende depositie

De polluenten die hierbij een rol spelen zijn de stikstofhoudende: NH_x en NO_y . Door de natte vermestende depositie op te tellen bij de droge vermestende depositie, verkrijgen we de totale vermestende depositie. Deze wordt uitgedrukt in kilogram stikstof per hectare en per jaar, $\text{kg N}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$. Deze kunnen we vervolgens opnieuw toetsen aan de VLAREM-regelgeving voor vermestende depositie.

5 Resultaten

In dit hoofdstuk bekijken we, aan de hand van de gemeten concentraties, de berekende deposities. Vervolgens worden deze totale deposities vergeleken met de modelresultaten. Tenslotte gaan we na of er ook nog een trend kan gedefinieerd worden door de resultaten over een langere periode heen te bekijken.

5.1 Inleiding

5.1.1 Het VLOPS-model

De metingen geven een exact beeld van de situatie per locatie. Daarnaast worden modelberekeningen gebruikt om de rest van Vlaanderen in kaart te brengen.

De in dit hoofdstuk gepresenteerde concentratie- en depositiekaarten zijn het resultaat van berekeningen met het VLOPS-model:

- op een 1x1 km² receptorenrooster;
- met emissies van het meest recent beschikbare jaar, namelijk 2011¹³;
- met de meteo-invoer van het jaar 2013 van de Nederlandse zone Midden-Brabant, Veluwe, Twente.

Dit wil zeggen dat het VLOPS-model de deposities van de verzurende stoffen voor Vlaanderen in 2013 berekent aan de hand van gekende emissiegegevens uit het verleden, in dit geval 2011, samen met de meteorologische gegevens van 2013. Dit geeft een vrij accuraat beeld, maar doordat er met emissiegegevens uit 2011 gerekend wordt, is deze kaart slechts een benadering.

Bij de modelresultaten werden kalibraties uitgevoerd met de beschikbare meetresultaten en bijtellingen berekend voor niet gemodelleerde bronnen (zie bijlage 6).

5.1.2 Kritische last berekening

Voor de bepaling van het percentage natuur met overschrijding van de kritische last gebruikt de VMM de methode van de statische massabalans. Dit betekent dat de kritische lasten bepaald zijn op basis van een statische massabalans, waarbij het aanvaardbare langetermijnniveau van atmosferische depositie berekend wordt voor een ecosysteem dat in evenwicht is met de depositie (*steady state*). Deze maximaal aanvaardbare depositie, of kritische last, wordt berekend door een limietwaarde op te leggen aan een bodemchemisch eindpunt. Voor verzuring is dit de bodemverzuring en voor vermeting de nitraatuitspoeling.

Voor circa 200.000 ha afgebakende natuur volgens de BWK1 (biologische waarderingskaart INBO) en de boskartering van 1990, zijn kritische lasten voor verzuring en vermeting bepaald.

De berekende oppervlaktes in overschrijding van de kritische lasten verschillen van de resultaten van vorig jaar. Dit is te verklaren door de volgende factoren:

- voorheen werden voor deze indicator VLOPS-berekeningen uitgevoerd met een vaste ruwheidslengte van puur grasland, heide of bos. In realiteit is het echter de gemiddelde ruwheidslengte over de 1x1 km² gridcel die de werkelijke gemiddelde depositie over deze gridcel bepaald. Daarom werden dit jaar VLOPS-berekeningen met deze 1x1 km² gemiddelde ruwheidslengte gebruikt.
- dit jaar werden voor het eerst bijtellingen en kalibraties uitgevoerd aan de ruwe VLOPS-resultaten.

5.1.3 Statistische berekeningen

Om de depositietrends te bepalen zijn twee statistische technieken gebruikt:

¹³ Voor de VLOPS-berekeningen zijn zowel emissies van Vlaanderen nodig, als van buiten Vlaanderen. Vlaamse emissies zijn beschikbaar tot en met 2012, maar die van buiten Vlaanderen slechts tot en met 2011.

- **Veralgemeende additieve modellen (GAM):** deze gaan na of er een langetermijntrend is in de twee- of vierwekelijkse data. De trend wordt op twee manieren berekend, namelijk door deze al dan niet lineair te veronderstellen. De lineariteit wordt getoetst met een F-test. Een niet-lineaire trend kan moeilijk gekwantificeerd worden en stellen we daarom grafisch voor.
- **Kendall-testen:** deze gaan na of er een continu stijgend of dalend verloop is in de jaarlijkse luchtconcentraties of deposities. De trend wordt bepaald via niet-parametrische regressie. Deze test kan ook uitgevoerd worden voor meerdere stations samen (regionale Kendall-test), waarbij de ruimtelijke afhankelijkheid van de stations in rekening wordt gebracht.

Sommige variabelen resulteren in een lineaire trend, andere niet. De variabelen zijn terug te vinden in bijlage 3, 4 en 5. Alle cijfers die niet tussen haakjes staan wijzen op een lineaire trend. Alle cijfers die tussen haakjes staan wijzen op een niet-lineaire trend aan.

Deze twee technieken werden gekozen op basis van intern onderzoek¹⁴.

In dit rapport bespreken we enkel trends voor de negen meetstations die al sinds 2002 in het meetnet actief zijn. Meer informatie over de statistische methodiek is hier te vinden¹⁵. P-waarden lager dan 0,05 beschouwen we als significant.

De trends worden net zoals in de eerdere rapporten over het meetnet verzuring bepaald vanaf de start van de metingen (halfweg 2001 voor de luchtconcentraties en begin 2002 voor de natte en totale deposities) tot en met het laatste meetjaar (2013). Bijkomend bekijken we voor het eerst in welke mate er trends te merken zijn gedurende de laatste vijf jaar, dus voor de periode 2009-2013. Het bepalen van deze trend op korte termijn, was een éénmalige oefening. De korte trends geven nergens een significante daling of stijging.

5.2 Natte depositie

In dit deel bekijken we de natte depositie. We gaan dieper in op wat we maten in 2013 en geven een interpretatie van de meetresultaten. Ook vergelijken we met voorgaande jaren om eventuele trends te kunnen vaststellen.

5.2.1 Neerslaghoeveelheid

Zoals eerder vermeld, wordt de natte depositie berekend door de concentratie van elke pollutant met de neerslaghoeveelheid te vermenigvuldigen (zie 4.1.4). Logischerwijs is er dus meer natte depositie naarmate er meer neerslag valt. Deze stijging is echter niet lineair omdat de concentratie daalt bij grote neerslaghoeveelheden. Daarnaast beïnvloeden droge en natte periodes elkaar: na een droge periode zal de concentratie in de neerslag hoger zijn doordat er meer pollutanten in de lucht zweven. Het omgekeerde geldt evenzeer: hoe meer neerslag er valt, hoe meer de aanwezige verontreiniging uitgewassen wordt. Daardoor zal er na een regenbui minder droge depositie zijn.

Weegpluviografen registreren per kwartier de hoeveelheid gevallen neerslag op iedere meetplaats (zie 4.1.3). Daar maken we per meetplaats een jaartotaal van. We vergelijken deze jaartotalen met die van het KMI-station in Ukkel omdat dit het referentiestation voor Vlaanderen is. De vergelijking met de 10-jaar gemiddelde neerslaghoeveelheid laat toe te bepalen of het jaar eerder nat of droog was. In een nat jaar zullen de concentraties van zure stoffen in het regenwater relatief lager liggen omdat alle pollutanten uitgewassen worden. Het omgekeerde geldt voor een droog jaar: in een periode dat het regent, zal de concentratie aan ionen in de neerslag relatief hoog zijn, omdat deze reeds lang in de lucht zweven.

In Figuur 14 zien we:

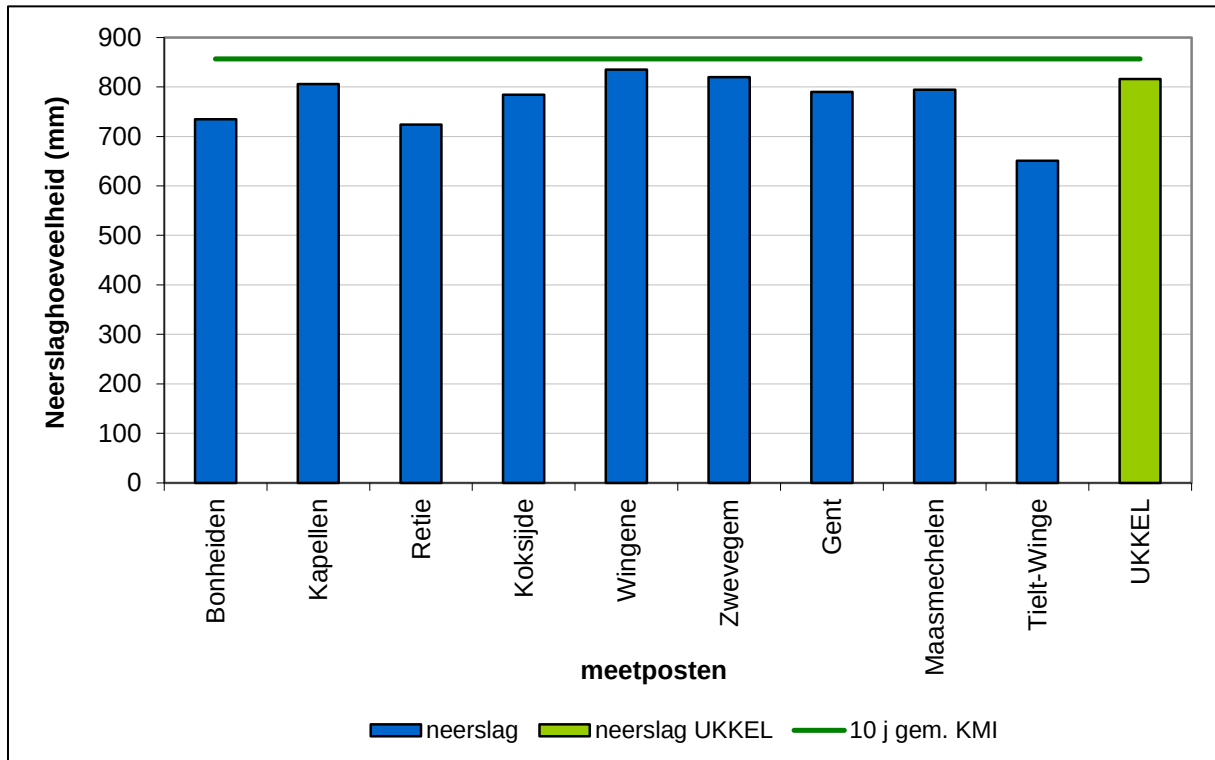
- de neerslaghoeveelheden (jaartotaal) gemeten in 2013 in de negen stations van het depositiemeetnet verzuring;

¹⁴ Staelens J., Deschepper E., Verheyen K., Thas O. (2007). Statistische verwerking meetdata verzuring. Studie in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij. Eindverslag, Universiteit Gent.

¹⁵ Staelens J., Wuyts K., Adriaenssens S., Van Avermaet P., Buysse H., Van den Bril B., Roekens E., Ottoy J.-P., Verheyen K., Thas O. and Deschepper E. (2012). Trends in atmospheric nitrogen and sulphur deposition in northern Belgium. Atmospheric Environment 49, p. 186-196

- het KMI-neerslagtotaal, gemeten in Ukkel;
- het KMI-10-jaargemiddelde (2004-2013, gemeten in Ukkel).

In 2013 viel er een normale hoeveelheid neerslag. De totale neerslaghoeveelheid van 2013 lag op alle meetposten onder het KMI-10-jaargemiddelde. Voor de meetposten van het meetnet verzurende depositie viel de meeste neerslag in Wingene. Tielt-Winge is door de jaren heen de meetpost waar we de minste neerslag waarnemen. Ook dit jaar ligt de neerslaghoeveelheid een stuk lager dan op andere meetposten. We vermoeden dat de neerslaghoeveelheden hier lager liggen door de specifieke ligging van de meetpost: open grasland midden in een bosomgeving.



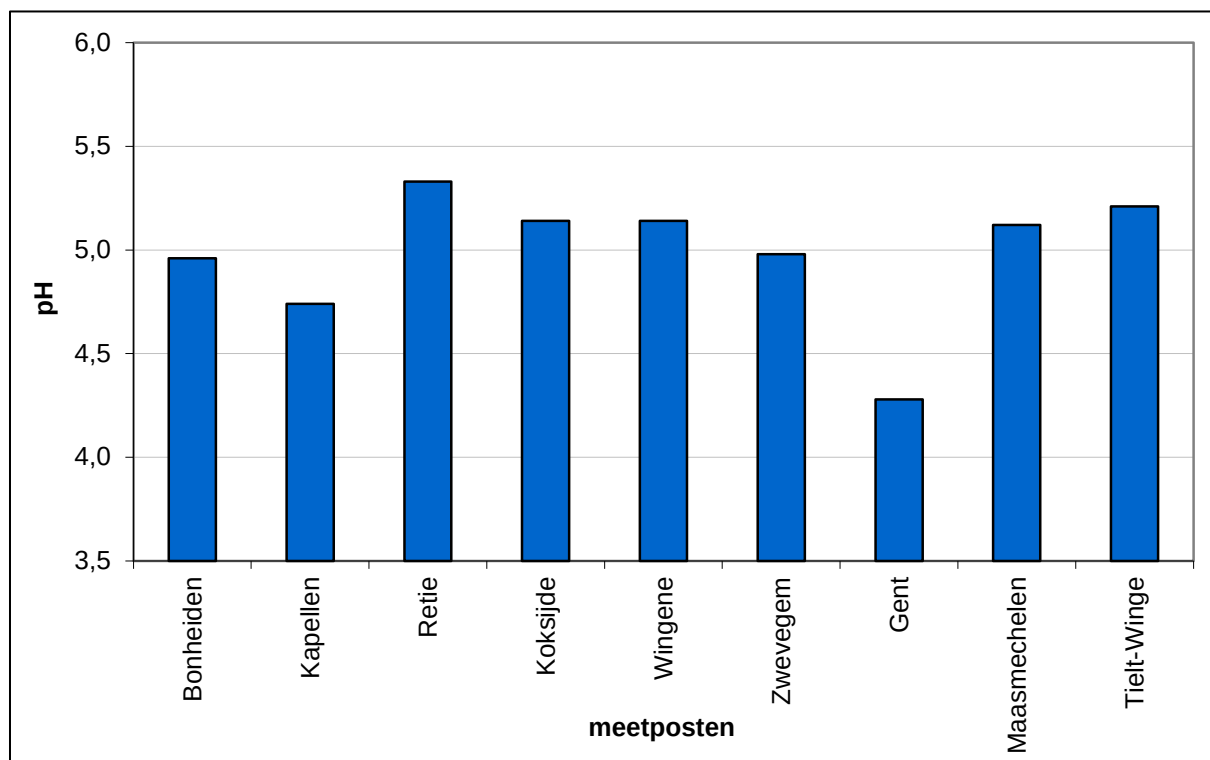
Figuur 14: Totale neerslaghoeveelheid per meetpost in 2013, uitgezet naast het KMI-neerslagtotaal in Ukkel in 2013 en het KMI-10-jaargemiddelde

5.2.2 Zuurtegraad

De pH is de eenheid van zuurtegraad en varieert van 0, zeer zuur, tot 14, zeer basisch. Bij pH 7 is de vloeistof noch zuur noch basisch, met andere woorden neutraal. Regen is van nature licht zuur omdat CO_2 uit de lucht in het regenwater oplost en het zwak zure koolzuur (H_2CO_3) vormt.

De pH van regenwater geeft aan hoe zuur de neerslag is, maar is geen geschikte parameter om de verzuring te meten. Ammoniak zorgt immers eerst voor een neutraliserende werking, maar wordt door nitrificatie in de bodem omgezet in een potentieel verzurende stof. Omdat pH alleen geen geschikte parameter voor verzurende natte depositie is, is het nodig de totale hoeveelheid verzurende depositie te bepalen.

'De Bourgoyen-Ossemeersen' in Gent is een stedelijk natuurreservaat. Het landschap van de Bourgoyen-Ossemeersen is een vallei, uitgeschuurd door de Leie, met vochtige graslanden die 's winters onder water lopen. Zulke natte graslanden worden meersen genoemd. Ze liggen op een bodem van klei die nauwelijks water doorlaat. Het deel ten noorden van de Leie heet de Bourgoyen, het deel ten zuiden ervan de Ossemeersen. Op het gewestplan zijn de percelen hoofdzakelijk ingekleurd als natuurreservaat en natuurgebied. Het grootste deel van het gebied is ook als landschap beschermd en aangeduid als GEN (Grote Eenheid Natuur). Omdat het reservaat regelmatig meer dan 1% van de Noordwest-Europese populatie van slobbeenden herbergt, komt het in aanmerking voor een aanduiding als 'Ramsargebied'. Dit is een wetland dat van internationaal belang is voor de overwinterende watervogels¹⁶.



Figuur 15: Gemiddelde pH per meetpost in 2013

In Figuur 15 zien we de gemiddelde pH per meetpost. Belangrijk om weten is dat we voor de pH geen gemiddelde jaarwaarde meer berekenen. Deze grafiek resulteert uit het gewogen gemiddelde. Dit wil zeggen dat we bij het berekenen van het gemiddelde rekening houden met de hoeveelheid neerslag.

De opvallend lage waarde in Gent heeft niets te maken met de nieuwe berekeningswijze. Wel merken we lagere pH's voor alle meetlocaties in de eerste maanden van 2013. Gent heeft over het algemeen al een iets lagere zuurtegraad, daarbovenop meten we in periode 2, een pH van 3.2 voor een groot regenvolume van 63 mm. Dit resulteert in een lage jaargemiddelde pH voor de meetplaats de Bourgoyen te Gent.

5.2.3 Concentratie en deposities in de neerslag

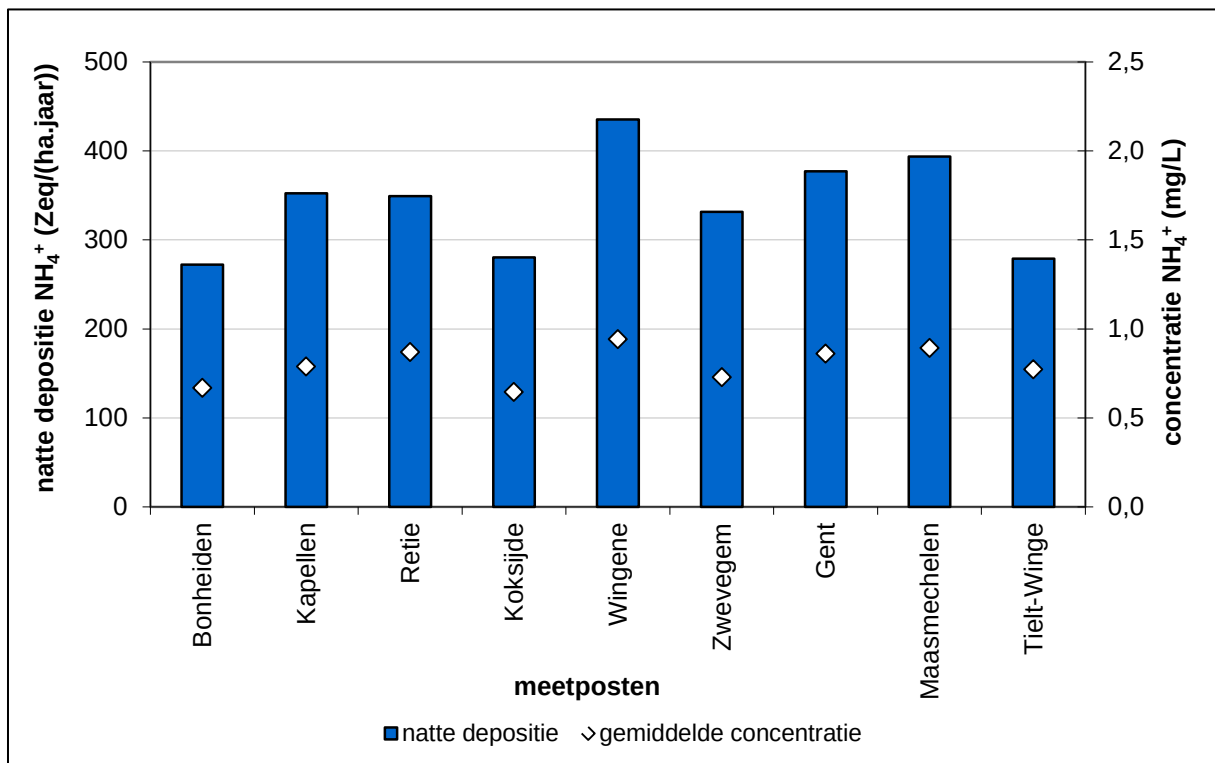
5.2.3.1 Ammonium

Figuur 16 toont de verzurende natte **concentratie** van NH_4^+ (rechtse as). Na vermenigvuldiging met de neerslaghoeveelheid verkrijgt men de natte depositie, uitgedrukt in $\text{Zeq}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$, aangeduid op de linkse as. In 2013 varieerde de gemiddelde concentratie van NH_4^+ tussen 0,65 mg/L in Koksijde en

¹⁶ Stad Gent, leefomgeving, <http://www.gent.be/bourgoyen-ossemeersen>

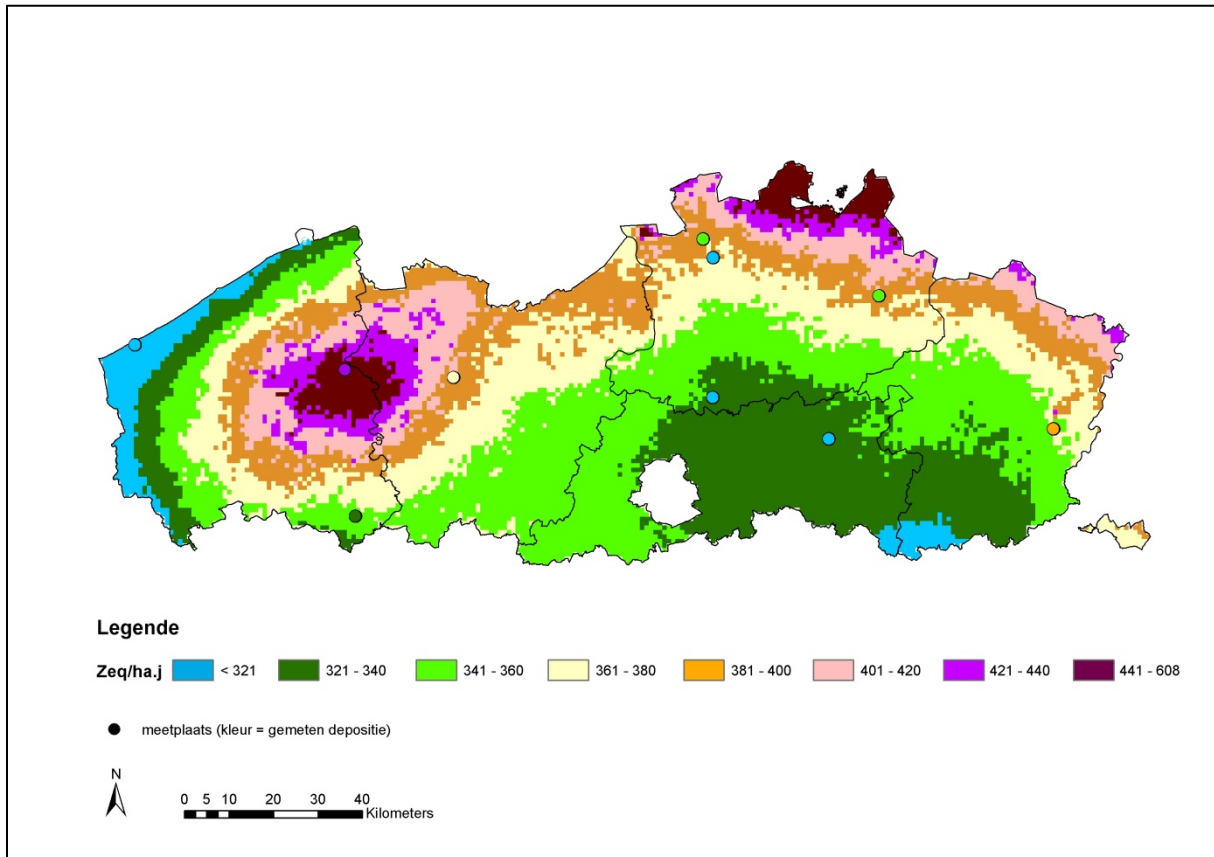
0,95 mg/L in Wingene. Deze waarden zijn vergelijkbaar met de waarden van vorige jaren. De hoogste concentratie werd waargenomen in Wingene.

In deze resultaten zien we duidelijk het verband tussen concentratie en **depositie**. In 2013 maten we in Wingene de hoogste concentratie aan NH_4^+ , evenals de hoogste neerslaghoeveelheid. Dit resulteert dan ook in de hoogste depositiewaarden. In Koksijde hebben we een lage concentratie – lager dan in Tielt-Winge – maar doordat de neerslaghoeveelheid in Tielt-Winge lager was dan in Koksijde waren de deposities nagenoeg gelijk. Tenslotte stelden we vast dat Kapellen en Tielt-Winge quasi dezelfde gemiddelde concentratie hebben, maar door de hogere neerslaghoeveelheid in Kapellen was de depositie daar hoger.



Figuur 16: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van NH_4^+ in 2013. In de rechtse as staat de concentratie NH_4^+ uitgedrukt in mg/L. Na vermenigvuldiging met de neerslaghoeveelheid bekomt men de natte depositie, uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar), aangeduid op de linkse as

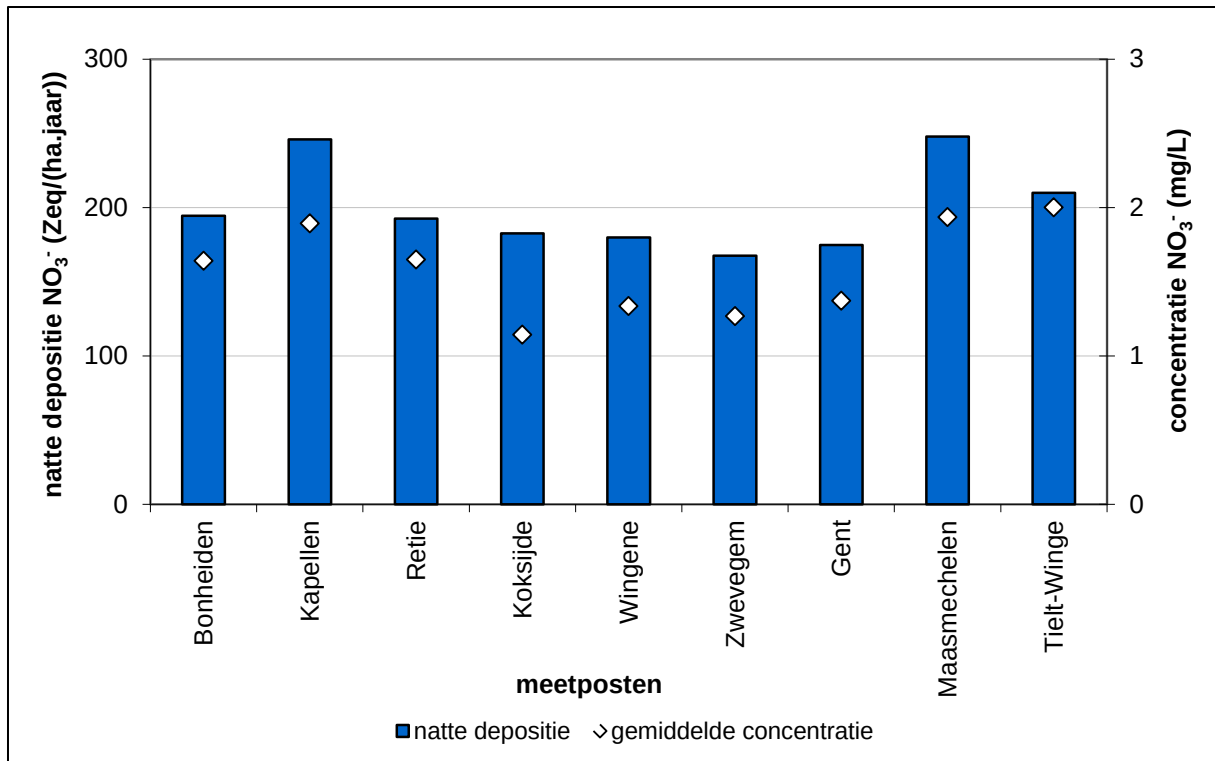
In Figuur 17 zien we de **gemodelleerde geografische spreiding** van de natte depositie van NH_x in Vlaanderen. Deze spreiding werd berekend met het VLOPS-model. De hoogste depositie zien we in het centrum van West-Vlaanderen en het noorden van Antwerpen. Dit zijn gebieden waar veel intensieve landbouw wordt bedreven. De hoogste gemeten depositie is terug te vinden in Wingene, gelegen in het oosten van de provincie West-Vlaanderen. De laagst gemeten depositie bevindt zich in Bonheiden, gelegen in Antwerpen.



Figuur 17: Gemodelleerde natte depositie van NH_x in 2013 in Vlaanderen, 1x1 km² receptorenrooster

5.2.3.2 Nitriet en nitraat

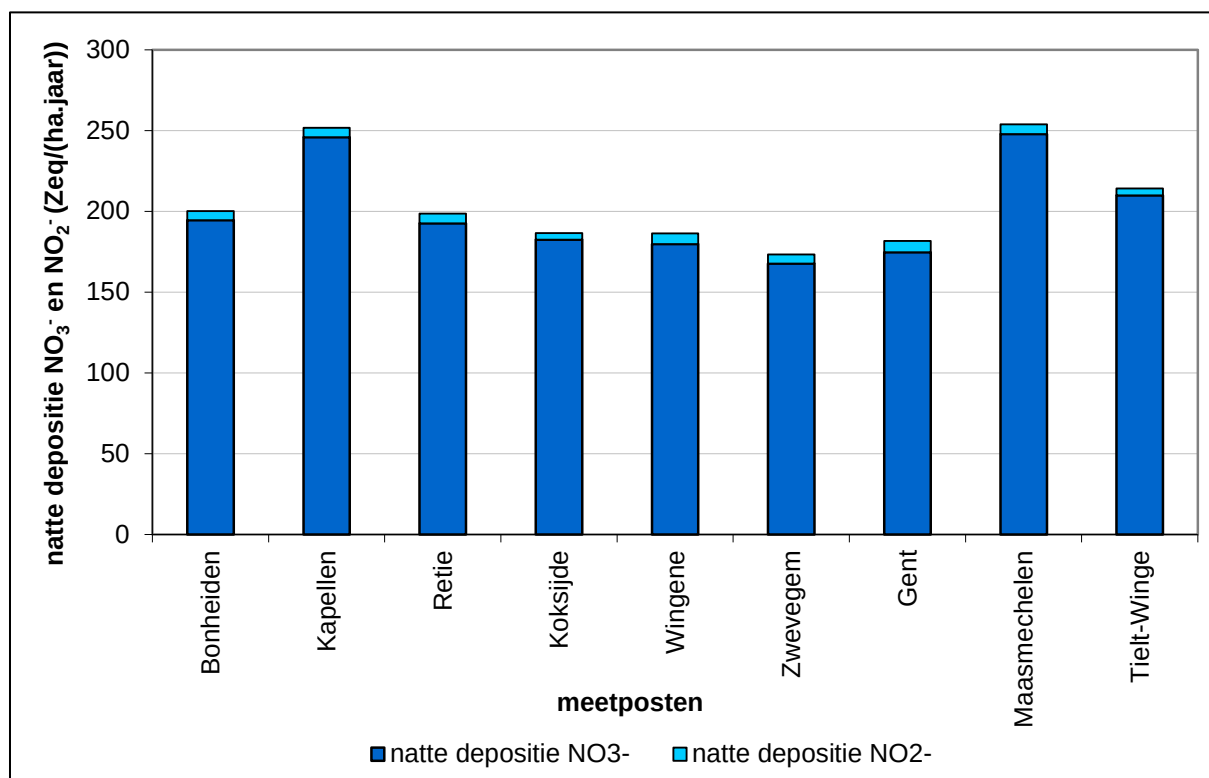
Ook voor nitraat zien we dat meetposten met hoge concentraties of hoge neerslaghoeveelheden een hoge depositie hebben. Dit is bijvoorbeeld het geval voor de meetpost in Kapellen. In Tielt-Winge en Maasmechelen hadden we een hoge concentratie. De neerslaghoeveelheid in Tielt-Winge was echter lager wat resulteerde in een lagere depositie in vergelijking met Maasmechelen. Dit volgt uit Figuur 18 met in de rechtse as de concentratie NO_3^- uitgedrukt in mg/L. Na vermenigvuldiging met de neerslaghoeveelheid verkregen we de natte depositie, uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar), aangeduid op de linkse as.



Figuur 18: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van NO_3^- in 2013

Voor nitriet waren de gemeten concentraties overal zeer laag en vergelijkbaar op de verschillende meetposten. De laagst gemeten concentratie bedroeg 0,029 mg/L in Tielt-Winge, de hoogst gemeten concentratie bedroeg 0,040 mg/L in Gent.

In het kader van de verzuring en vermessing problematiek is vooral het **stikstofaandeel** relevant. Daarom werden in Figuur 19 de deposities van nitriet en nitraat bij elkaar opgeteld. Dat toont dat het aandeel van nitriet veel kleiner is dan dat van nitraat. In verdere berekeningen gebruiken we steeds die totale depositie.



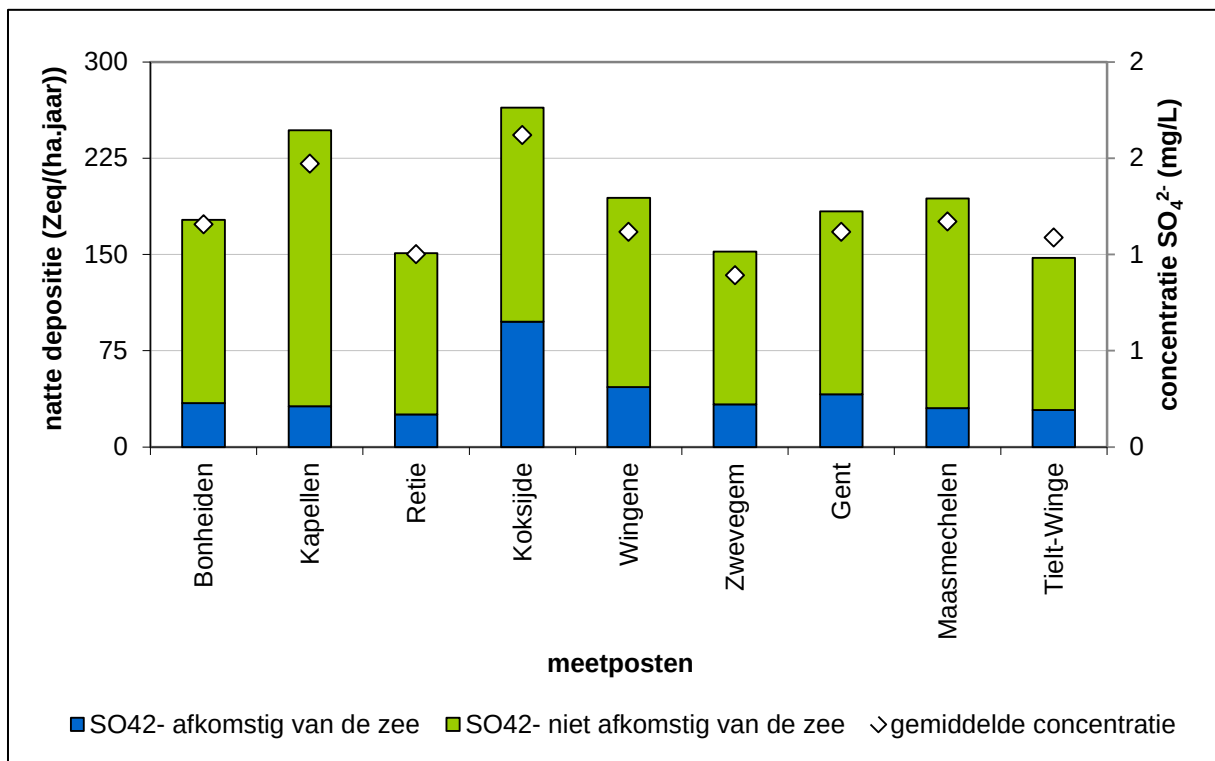
Figuur 19: Verzurende natte depositie van NO₃⁻ en NO₂⁻ in 2013

Voor NO_y kunnen we geen figuur tonen die de **gemodelleerde geografische spreiding** van natte depositie weergeeft. De zeer lage ruimtelijke correlatie tussen meet- en modelwaarden ($R^2 = 36\%$) toont immers aan dat het model voor het jaar 2013 niet in staat is om een zinvolle ruimtelijke spreiding te berekenen voor NO_y.

5.2.3.3 Sulfaat

Figuur 20 toont de verzurende natte concentratie en depositie van SO_4^{2-} in 2013. In de rechtse as staat de concentratie SO_4^{2-} uitgedrukt in mg/L. Na vermenigvuldiging met de neerslaghoeveelheid verkrijgt men de natte depositie, uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar), aangeduid op de linkse as. De concentraties SO_4^{2-} in de neerslag varieerden in 2013 tussen 0,82 mg/L in Zwevegem en 1,62 mg/L in Koksijde. De hoogste deposities zagen we in Koksijde en Kapellen. De laagste depositie was te zien in Tielt-Winge.

Een deel van deze sulfaatconcentraties zijn te verklaren doordat opstuivend zeewater zeezout in de lucht brengt, dat nadien via de neerslag mee gemeten wordt. Dit aandeel kan berekend worden aan de hand van andere ionen die we meten in de neerslag, zoals natrium. De balken voor depositie zijn in onderstaande figuur dan ook opgesplitst in een deel SO_4^{2-} dat afkomstig is van de zee, en een ander deel niet afkomstig van de zee. Als we de resultaten vergelijken van Koksijde, het dichtst bij de kust, met Maasmechelen, het verst van de kust, dan zien we dat de sulfaatdepositie veel hoger is in Koksijde. Dit lag aan het groter aandeel van sulfaat dat afkomstig is van zeewater. Aangezien dit sulfaat een verzurende invloed heeft, nemen we dit mee in de verdere berekeningen.



Figuur 20: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van SO_4^{2-} in 2013. De depositie is opgesplitst in het deel SO_4^{2-} afkomstig van de zee en een deel niet afkomstig van de zee

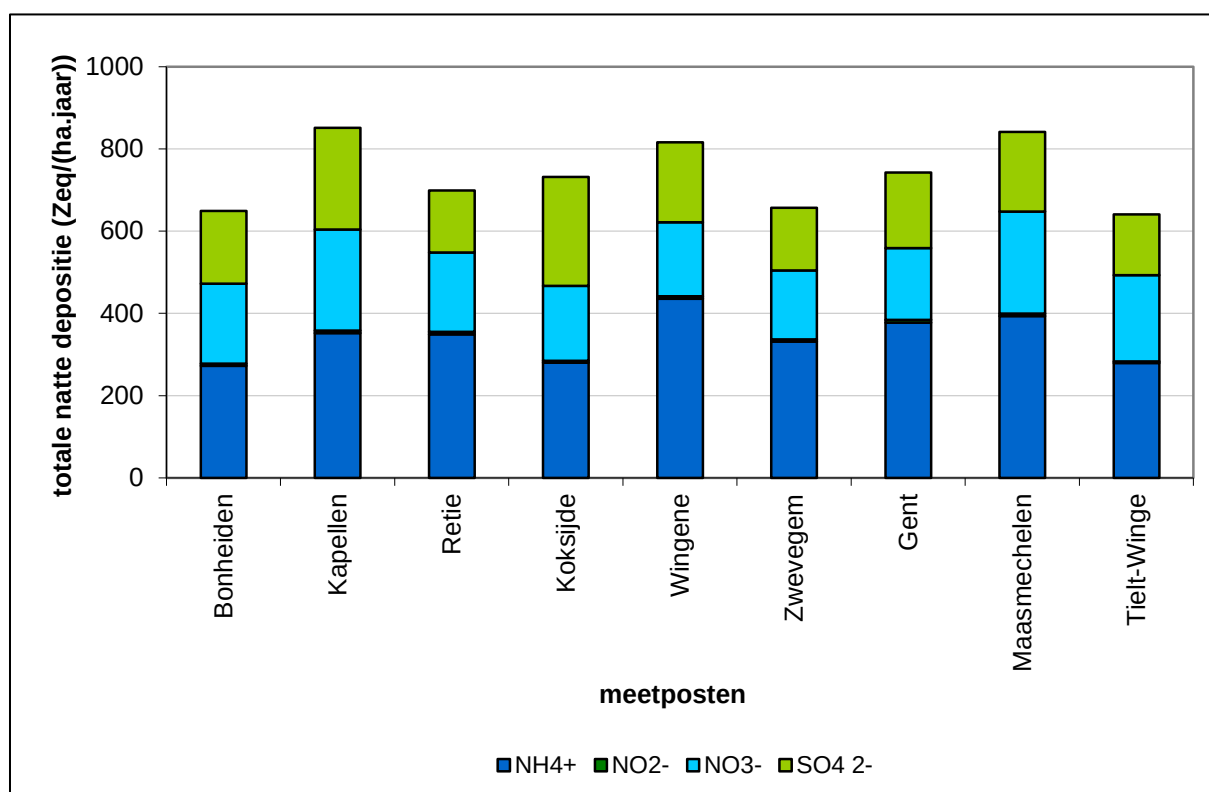
Ook voor SO_x tonen we geen figuur met de **gemodelleerde geografische spreiding**. Net zoals bij NO_y is er een zeer lage ruimtelijke correlatie tussen meet- en modelwaarden ($R^2 = 30\%$) waardoor het model voor het jaar 2013 niet in staat is om een zinvolle ruimtelijke spreiding te berekenen voor SO_x .

5.2.4 Totale natte depositie

Als we alle polluenten bij elkaar op één grafiek zetten, kunnen we zien dat in Kapellen de **totale natte depositie** – 851 Zeq/(ha.jaar) – het hoogst was in 2013. De meetpost met de laagste totale natte depositie – 640 Zeq/(ha.jaar) – is Tielt-Winge.

Het aandeel van de pollutant NH_4^+ blijkt hierbij steeds het hoogst. Dit aandeel varieert van 38% in Koksijde tot 54% in Wingene.

Voor vermesting is de stikstof fractie belangrijk. Het totale aandeel van stikstofdepositie in natte neerslag varieert van 64% in Koksijde tot 78% in Retie. Op alle meetposten is het aandeel stikstofdepositie in de totale depositie dus groter dan het aandeel sulfaatdepositie.



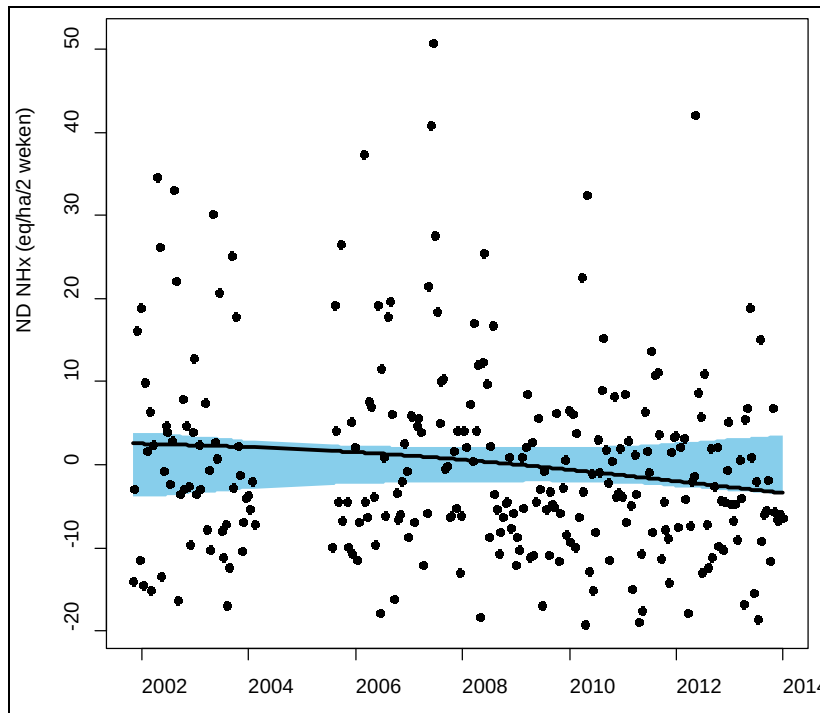
Figuur 21: Totale natte depositie per meetplaats in 2013

5.2.5 Trend

Hieronder wordt enerzijds een lange termijntrend besproken, en éénmalig werd er ook gekeken naar een korte termijntrend. Hier zijn geen significante trends uitgekomen.

Wat de trend betreft, is er in de **periode 2002-2013** algemeen een afname in de natte depositie van **ammonium**, maar volgens de gebruikte statistische technieken (zie 5.1.1) is er maar op twee van de negen meetplaatsen een betekenisvolle afname, namelijk in Retie (zie Figuur 22) en in Wingene (Bijlage 3: Trend in natte depositie). **Deze trends kunnen lineair benaderd worden.** Jaarlijks daalde de natte depositie van NH_4^+ in Retie met $13,3 \pm 5,6$ Zeq/(ha.jaar) (gemiddelde $\pm$ standaardafwijking) en in Wingene met $10,2 \pm 4,7$. Deze resultaten bevestigen wat vorig jaar werd vastgesteld voor Retie. Toen werd voor de periode 2002-2012 namelijk voor het eerst een marginaal significante ($P = 0,07$) afname in de natte NH_4^+ -depositie gevonden voor deze meetplaats.

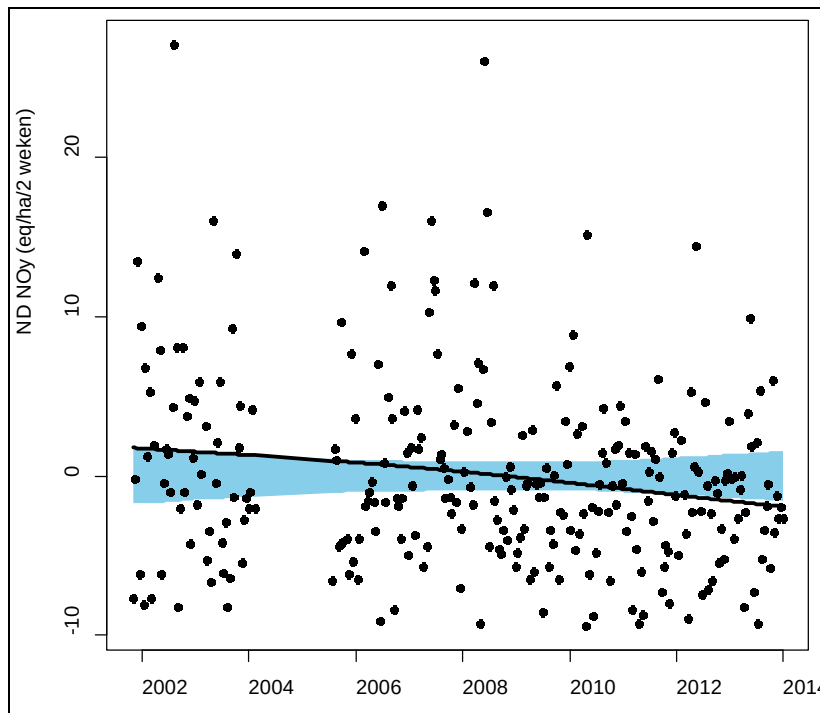
Wanneer we de trend berekenen over de laatste vijf meetjaren, blijkt er geen significante afname ($P > 0,57$) in de natte depositie van NH_4^+ voor de **periode 2009-2013**. De daling over de laatste vijf jaar is dus te klein om als betekenisvol beschouwd te worden (zie Bijlage 3). Voor ammonium kijken we beter naar de trend over de langere periode.



Figuur 22: Natte depositie van NH_4^+ in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P = 0,02$)

Als we de trend voor **nitraat** bekijken, stellen we vast dat de natte depositie van NO_3^- in de **periode 2002-2013** significant daalt ($P < 0,05$) op vijf meetplaatsen, namelijk:

- Bonheiden;
- Maasmechelen;
- Retie (zie Figuur 23);
- Wingene;
- Zwevegem.



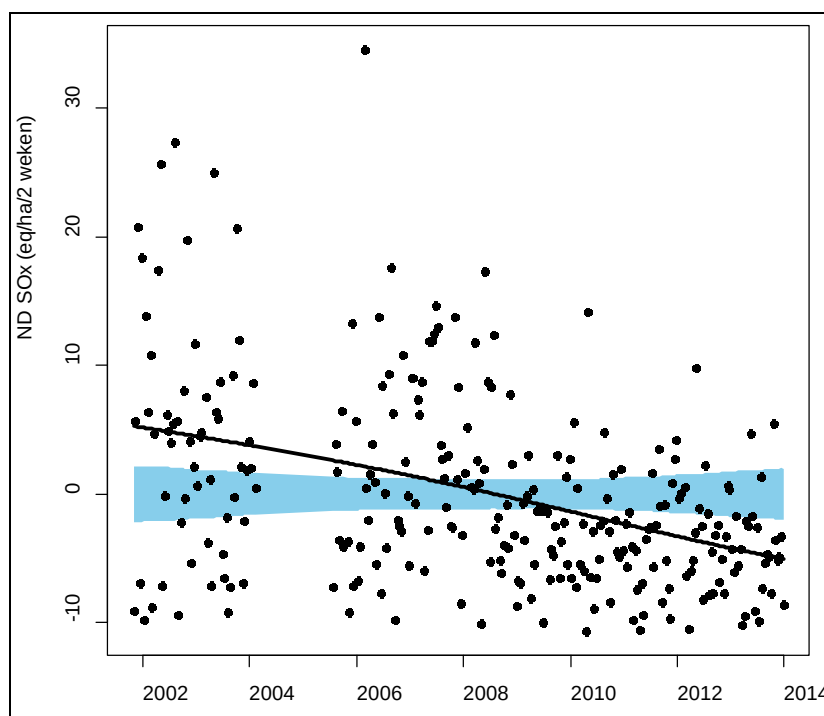
Figuur 23: Natte depositie van NO_3^- in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P = 0,003$)

Op vier van deze meetplaatsen was er in de periode 2002-2012 ook al een significante afname in de natte NO_3^- -depositie. Voor 2002-2013 was de afname voor Tielt-Winge net niet significant ($P = 0,052$). Voor Bonheiden daarentegen was de NO_3^- -afname voor het eerst wel significant ($P = 0,04$).

Voor 2002-2013 kan de trend als lineair benaderd worden voor de vijf plaatsen. De jaarlijkse afname in de natte depositie van NO_3^- gaat van $6,3 \pm 3,0$ Zeq/(ha.jaar) in Bonheiden tot $8,2 \pm 2,8$ Zeq/(ha.jaar) in Retie (zie Bijlage 3: Trend in natte depositie).

Wanneer we de trend berekenen over de laatste vijf meetjaren, blijkt er geen significante afname ($P > 0,24$) in de natte depositie van NO_3^- in de **periode 2009-2013**. De daling over de laatste vijf jaar is dus te klein om als betekenisvol beschouwd te worden (zie Bijlage 4). Voor nitraat kijken we beter naar de trend over de langere periode.

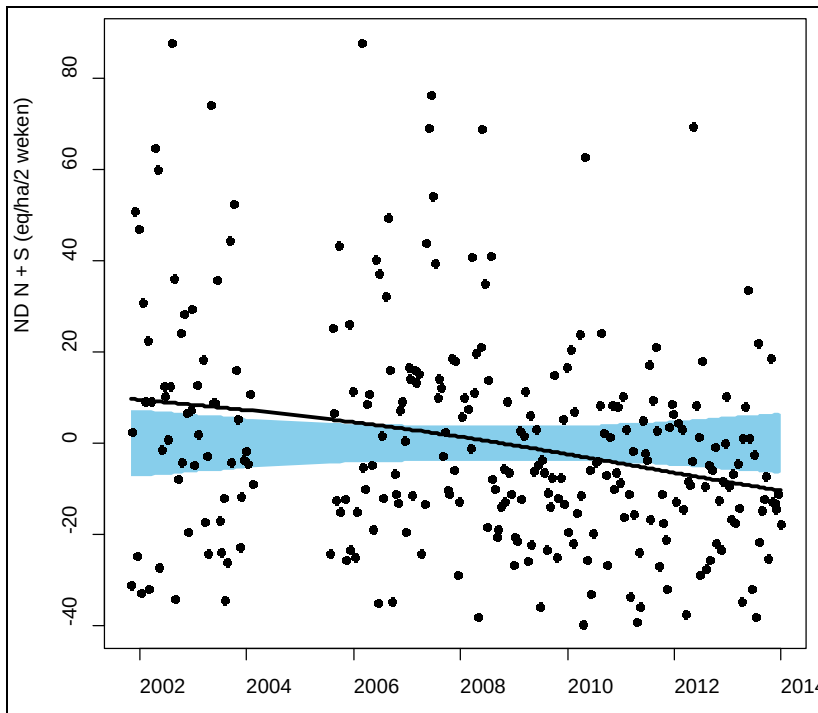
Net zoals bij de andere pollutanten, is ook de trend voor **sulfaat** berekend. Hierbij kunnen we besluiten dat er in de **periode 2002-2013** op de negen meetplaatsen een lineair dalende trend ($P < 0,001$) is in de natte depositie van SO_4^{2-} . Figuur 24 toont hiervan een voorbeeld voor de meetplaats Retie. De jaarlijkse afname ligt tussen $12,5 \pm 3,8$ Zeq/(ha.jaar) in Koksijde en $23,8 \pm 4,1$ Zeq/(ha.jaar) in Kapellen (zie Bijlage 3: Trend in natte depositie).



Figuur 24: Natte depositie van SO_4^{2-} in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P < 0,001$)

Wanneer we de trend berekenen over de laatste vijf meetjaren, blijkt er geen significante afname ($P > 0,20$) in de natte depositie van SO_4^{2-} in de **periode 2009-2013**. De daling over de laatste vijf jaar is dus te klein om als betekenisvol beschouwd te worden (zie Bijlage 3). Voor sulfaat kijken we beter naar de trend over de langere periode.

De **natte potentieel verzurende depositie** nam voor acht van de negen meetplaatsen significant af in de **periode 2002-2013**. Figuur 25 illustreert dit voor de meetplaats Retie. Het is voor het eerst dat ook voor Koksijde een significante afname in de natte potentieel verzurende depositie werd vastgesteld. Enkel in Gent werd geen trend gevonden in de totale twee- of vierwekelijkse natte depositie sinds 2002 (zie Bijlage 3: Trend in natte depositie).



Figuur 25: Totale natte depositie van N en S in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P < 0,001$)

Wanneer we de trend berekenen over de laatste vijf meetjaren, blijkt er geen significante afname ($P > 0,59$) in de totale natte verzurende depositie in de **periode 2009-2013**. De daling over de laatste vijf jaar is dus te klein om als betekenisvol beschouwd te worden (zie Bijlage 3). Voor de totale natte verzurende depositie kijken we beter naar de trend over de langere periode.

5.2.6 Conclusies natte depositie

2013 was een normaal jaar als het over neerslaghoeveelheden gaat. De hoogste neerslaghoeveelheid werd in Wingene vastgesteld. De laagste neerslaghoeveelheid viel in Tielt-Winge.

De concentraties van potentieel verzurende stoffen in het regenwater liggen in dezelfde grootteorde als vorige jaren. Voor NH_4^+ hebben we de hoogste gemeten concentratie en depositie in Wingene. De hoogste regenwaterconcentratie en natte depositie van NO_3^- deed zich voor in Maasmechelen. Als we de natte depositie van SO_4^{2-} bekijken, zien we de hoogste regenwaterconcentratie en depositie in Koksijde. De hoogste totale natte depositie werd gemeten in Kapellen.

Een belangrijke conclusie uit het deel natte depositie is dat de **stikstofdepositie de belangrijkste component** blijft. Binnen de stikstofdepositie zien we dat het aandeel van NH_4^+ het grootst is. Gezien dit grote aandeel zal het verzuringsbeleid in Vlaanderen in de toekomst nog meer een landbouwbeleid moeten worden en nog nauwer moeten aansluiten bij het mestbeleid.

Als we de korte termijntrend over 5 jaar bekijken, zijn de dalingen te klein om betekenisvol te zijn. Daarentegen is tijdens de langere periode (sinds 2002) op 2 meetposten sprake van een significante afname voor ammonium (Wingene en Retie). Voor nitraat zien we een afname in Bonheiden, Maasmechelen, Retie, Wingene en Zwevegem. Op alle meetplaatsen is er een significante afname voor sulfaat.

5.3 Droge depositie

Dit hoofdstuk bespreekt de metingen en de modelresultaten voor de concentratiemetingen en droge deposities van het jaar 2013 en geeft een overzicht van de berekende trends.

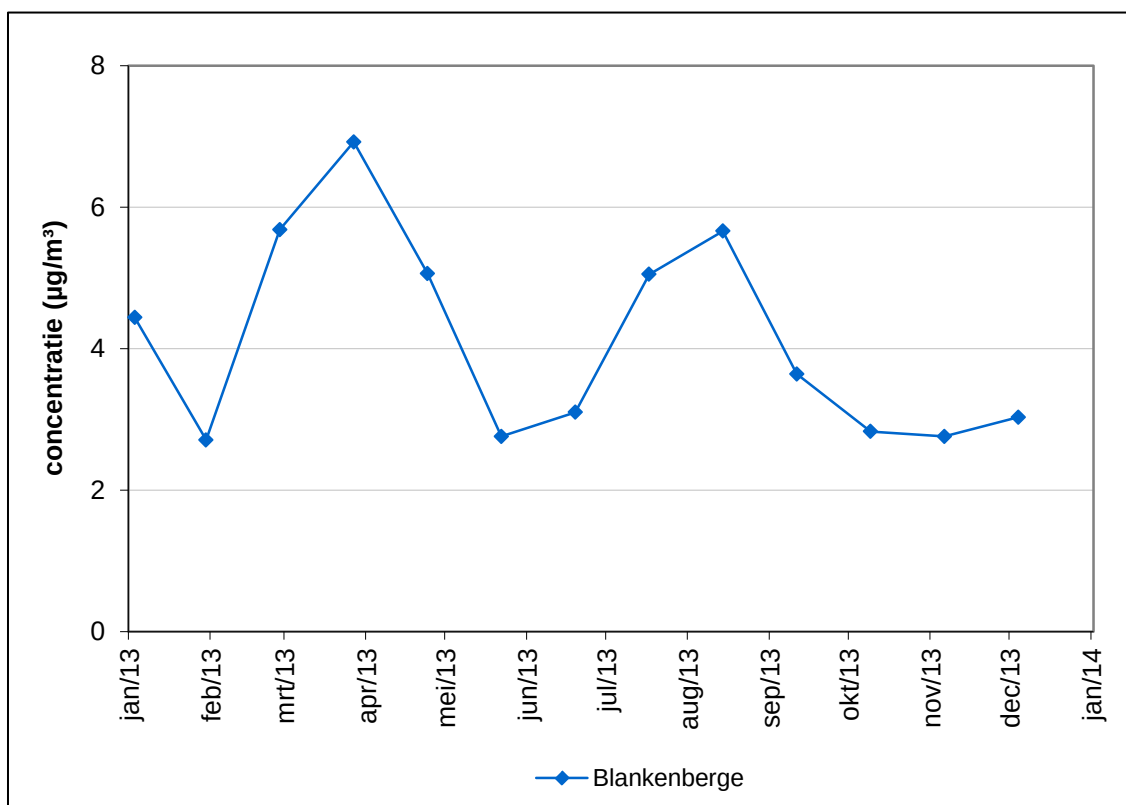
5.3.1 Concentraties en deposities

Uit de gemeten luchtconcentraties berekenden we de depositiewaarden per meetpost. De volgende hoofdstukken geven daarom eerst de concentraties weer en daarna de deposities per pollutant.

5.3.1.1 Ammoniak - concentratiemetingen

De **ammoniakconcentratie** fluctueerde in de omgevingslucht doorheen het jaar 2013 en piekte op momenten van mestuitspreiding en mestopslag. De piek die zich voordeed op alle meetposten was het hoogst op het moment van de mestuitspreiding, die in het voorjaar plaatsvindt in heel Vlaanderen. Verder waren er kleinere piekmomenten tussen juli en oktober. Vermoedelijk zijn deze kleinere piekmomenten te wijten aan de opslag van vaste dierlijke mest op landbouwgrond. De piekmomenten variëren ieder jaar in de tijd, afhankelijk van de weersomstandigheden. Tussen 15 november tot 15 januari is opslag van dierlijke mest op landbouwgrond verboden (decreet van 22 december 2006). Om dit te duiden, worden hieronder drie voorbeelden van drie verschillende meetposten toegelicht. De keuze van deze meetposten is gekozen op basis van de duidelijkste grafieken.

De concentraties in **Blankenberge** lagen tussen de $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $6,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tussen 27 maart en 24 april maten we de hoogste maandgemiddelde concentratie. Verder stegen de concentraties nog tussen 19 juni en 14 augustus (zie Figuur 26).

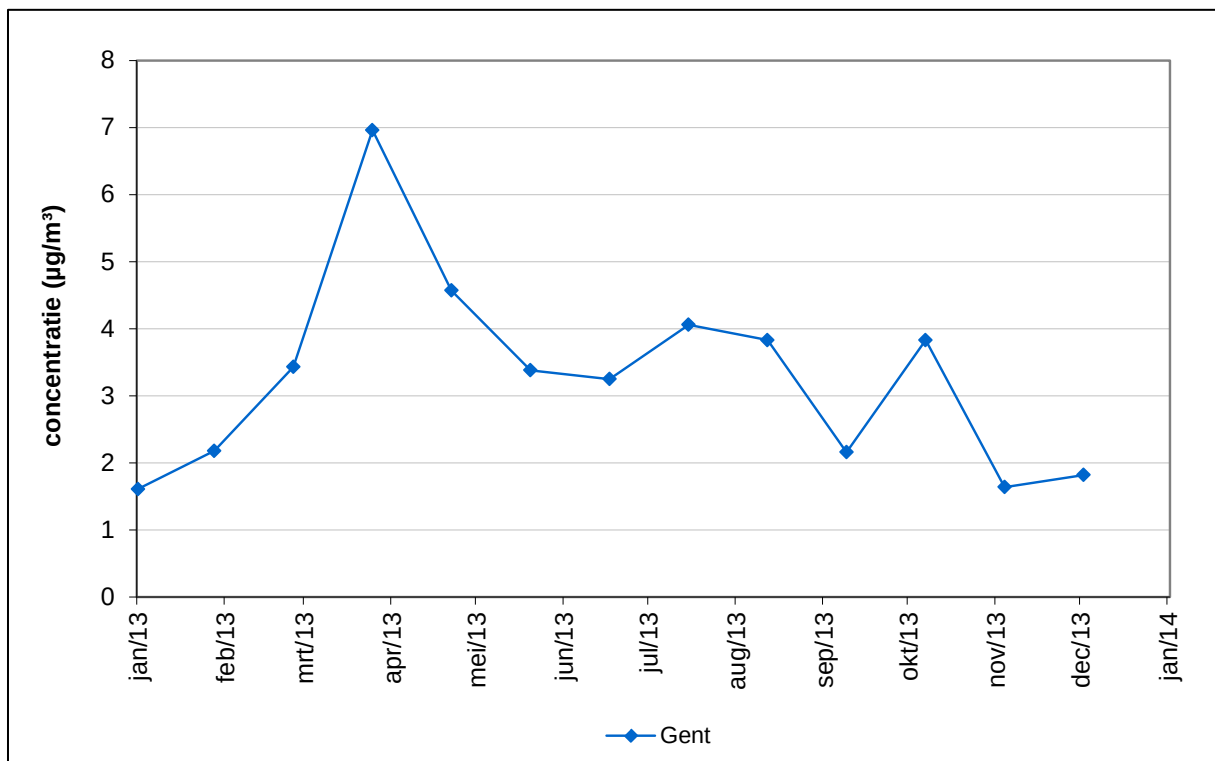


Figuur 26: Concentratieverloop van ammoniak in Blankenberge. Op de X-as staan de data van de maandelijkse monsterneming, op de Y-as de concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*De meetplaats in Blankenberge bevindt zich tussen de weilanden van het uitgestrekte poldergebied: de Uitkerkse Polder. De Uitkerkse Polder werd opgenomen in het Natura-2000 netwerk en maakt integraal deel uit van het Vogelrichtlijngebied 'Poldercomplex'. Het bestaat uit 9.765 hectare laaggelegen graslanden in de polders van Brugge en Damme. Daarenboven maakt zo'n 545 ha van dit poldergebied deel uit van het Habitatgebied 'Polders', dit omwille van haar *Salicornia*-vegetaties, haar *Glauco-Puccinelliatalia*-vegetaties en haar krekens.*

Via een samenwerking met lokale landbouwers werd een doordacht beheer uitgewerkt, waarbij onder andere akkers werden omgezet naar zilte graslanden en extensieve begrazing werd opgestart in samenwerking met de landbouwers¹⁷.

De concentraties in **Gent** lagen tussen 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 6,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ook hier lag het piekmoment tussen eind maart en eind april, en zagen we de verhoogde waarden in de zomermaanden en tussen de periode oktober-november (zie Figuur 27).

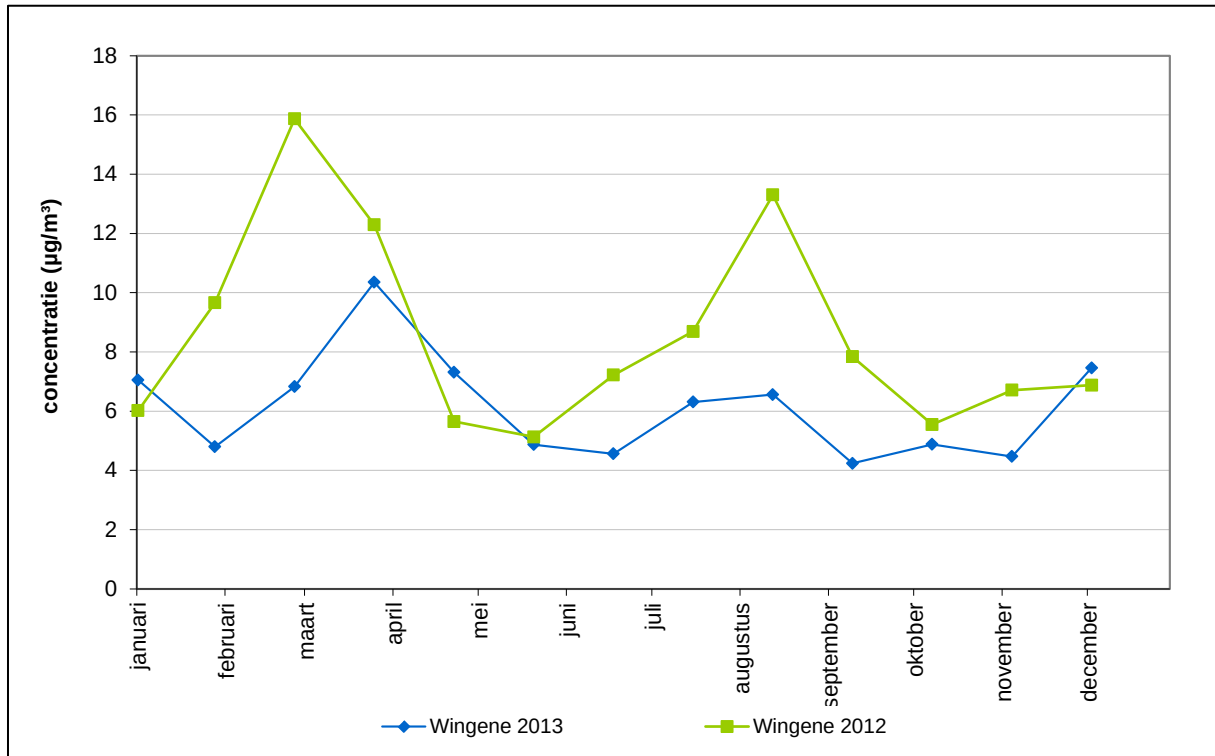


Figuur 27: Concentratieverloop van ammoniak in Gent, Mariakerke (Bourgoyen-Ossemeersen). Op de X-as staan de data van de maandelijkse monsterneming, op de Y-as de concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tot slot hieronder nog de ammoniakconcentraties in **Wingene**. De meetpost bevindt zich in het gebied 'de Gulke Putten'. De groene lijn in Figuur 28 toont de ammoniakconcentraties in 2012 en de blauwe lijn geeft de concentraties weer in 2013.

¹⁷ Layman 's report (2009), Uitkerkse Polder, een meerwaarde voor mens en natuur – Life03 nat/B/000023/Natuurpunt

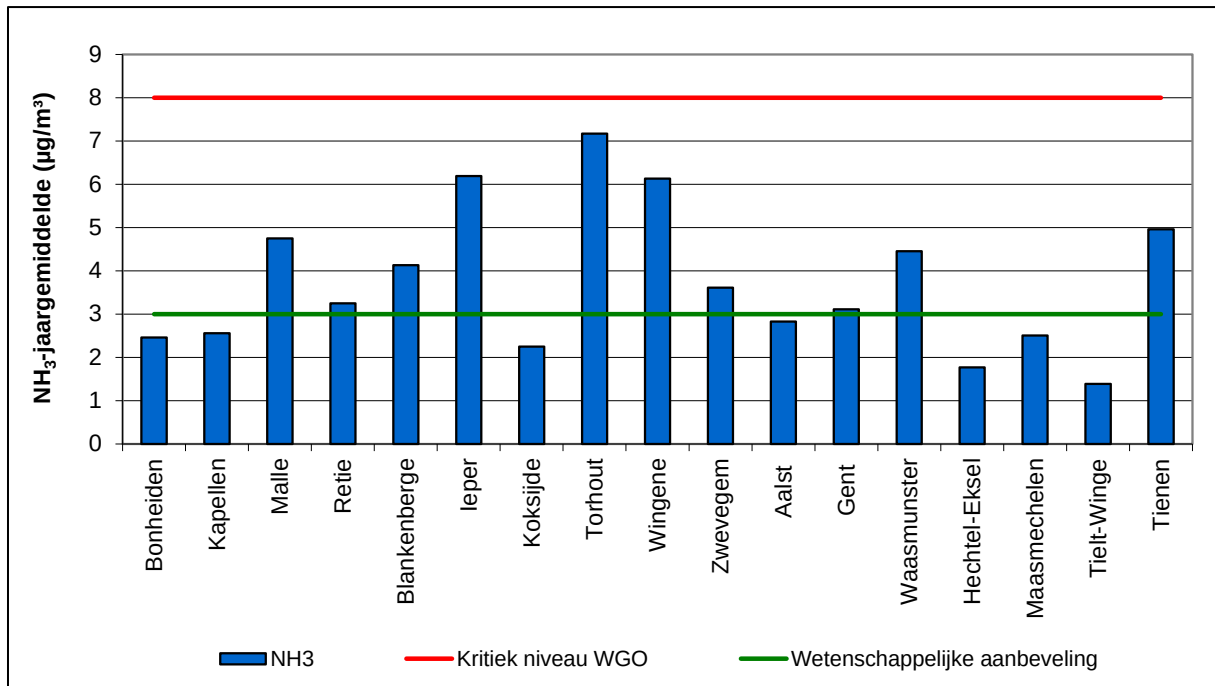
We kunnen algemeen vaststellen dat de concentraties van ammoniak in 2013 lager waren dan in 2012. De concentraties in Wingene lagen in 2013 tussen de 4,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 10,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Net als op de andere meetposten lag het piekmoment tussen eind maart en eind april. In het najaar lagen de piekmomenten lager en waren ze meer gespreid dan in 2012. Vermoedelijk is deze verbetering het gevolg van een verandering in beheer van omliggende gronden. Naast de meetpost zijn er namelijk twee percelen die niet meer bemest werden. Dit effect was waarneembaar in het Natura 2000-gebied.



Figuur 28: Concentratieverloop van ammoniak in Wingene in 2012 en in 2013. Op de X-as staan de data van de maandelijkse monsterneming uitgezet, op de Y-as de concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

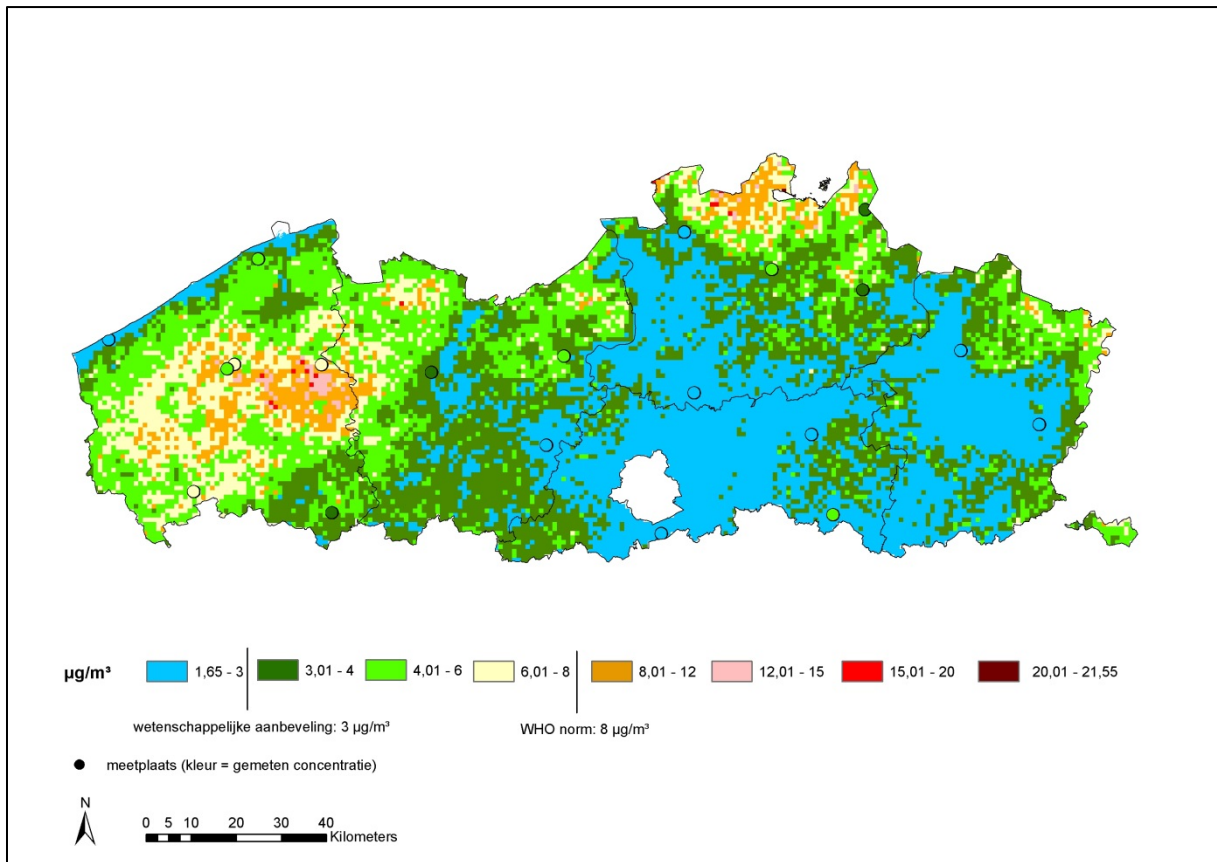
De Gulke Putten in Wingene bevinden zich in Natura 2000-gebied. Het gebied krijgt steun van Europa. De heidegebieden, vijvers en heischrale graslanden met zeldzame plantenrijkdom worden hierdoor gevrijwaard. Verder is er het Radio-Elektrisch centrum dat als patrimonium beschermd wordt.

In Figuur 29 toetst de VMM de NH_3 -jaargemiddelden aan het kritische niveau gedefinieerd door de WGO. Alle meetposten voldeden aan de WGO-norm van $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit betekent een positieve evolutie in vergelijking met vorige jaren, waar de jaargemiddelde concentraties hoger lagen. Zeven van de zeventien meetposten voldeden aan de wetenschappelijke aanbeveling van $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor hogere planten⁸.



Figuur 29: Toetsing van de gemiddelde NH_3 -concentraties per meetplaats aan het huidige kritieke niveau voor vegetatie (rode lijn) en het aanbevolen niveau (groene lijn)

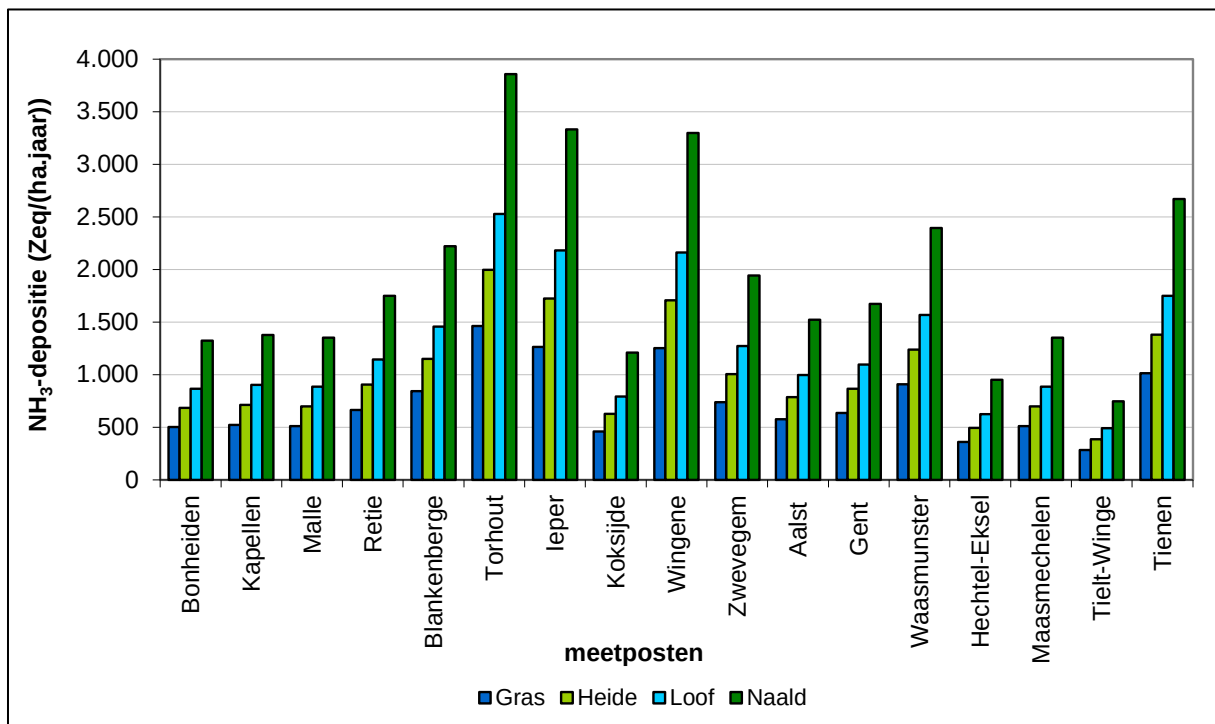
Figuur 30 toont **de gemodelleerde geografische spreiding van het NH_3 -jaargemiddelde** in Vlaanderen. Deze spreiding werd berekend met het VLOPS-model. De berekende NH_3 -concentraties hebben een gemiddelde relatieve onzekerheid 25,4% en een gemiddelde absolute onzekerheid van $0,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De concentraties waren het hoogst in West-Vlaanderen en in het noorden van de provincies Antwerpen en Limburg. Dit zijn gebieden met intensieve veeteelt.



Figuur 30: Gemodelleerd NH_3 -jaargemiddelde in 2013 in Vlaanderen, $1 \times 1 \text{ km}^2$ receptorenrooster

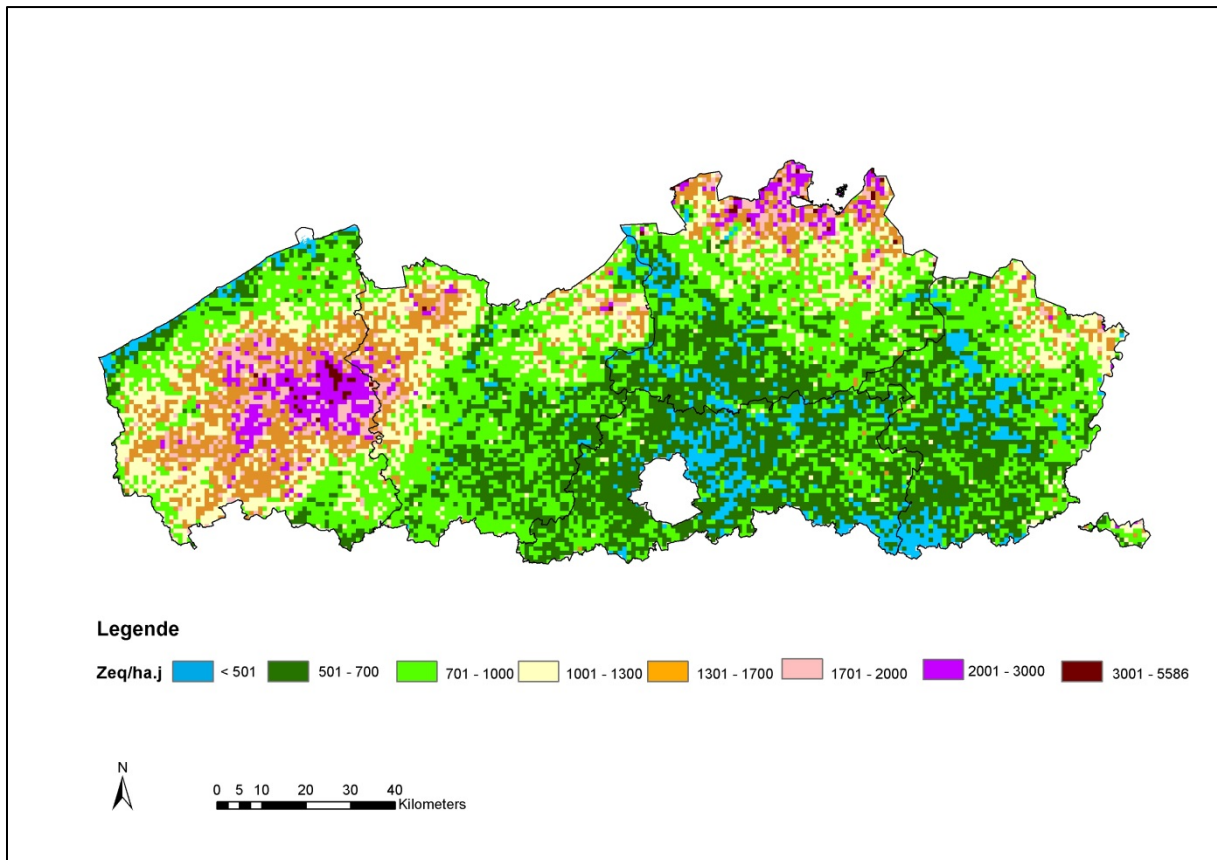
Figuur 31 toont de **berekende depositiewaarden** voor NH_3 . De berekening geeft een verschillende depositie weer afhankelijk van het vegetatietype. Mogelijke vegetatietypen zijn: gras, heide, loofbos en naaldbos. De figuur toont dat de hoogste NH_3 -deposities berekend werden op de meetposten in West-Vlaanderen (Torhout, Ieper en Wingene). De streek rond Gent, meetpost Waasmunster, en het oosten van Vlaams Brabant, meetpost Tienen, volgen. De depositie in Torhout op naaldbos was het hoogst, met 3.857 Zeq/(ha.jaar). De hoge depositie in Wingene is te verklaren door de landbouwactiviteiten in de omgeving. De deposities in Hechtel-Eksel, met een waarde voor gras van 361 Zeq/(ha.jaar) en de depositie in Tielt-Winge, ook op grasland met een waarde van 284 Zeq/(ha.jaar), waren het laagst. In Tielt-Winge komt dit ten goede aan de schrale graslanden in het Walenbos.

De deposities van ammoniak dragen bij tot de overschrijding van kritische lasten voor verzuring en vermisting (zie 5.4.2). Onderstaande grafiek is belangrijk voor de gevoelige stukken natuur, aangezien NH_3 in Vlaanderen het grootste aandeel uitmaakt in de totale stikstofdepositie.



Figuur 31: Overzicht van de NH_3 -droge depositie in 2013 per aanwezig vegetatietype. De depositie wordt uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar) en is te zien op de Y-as

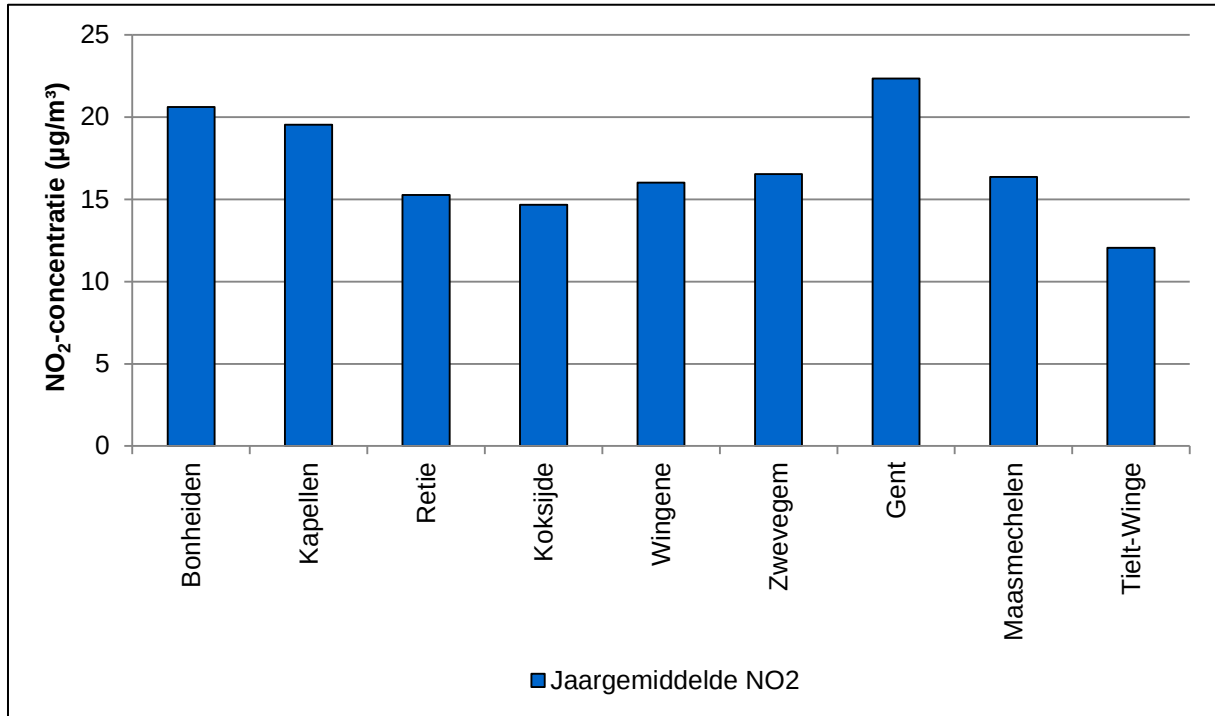
De **gemodelleerde geografische spreiding** van de **droge depositie van NH_x** toont aan dat de probleemgebieden voor de hoge depositiewaarden zich bevinden in West-Vlaanderen, in de Noorderkempen en in mindere mate ook in het noorden van Oost-Vlaanderen en in het noorden van Limburg. Deze spreiding werd berekend met het VLOPS-model en bevestigt de resultaten uit het meetnet.



Figuur 32: Gemodelleerde droge deposities van NH_x in 2013 in Vlaanderen, 1x1 km² receptorenrooster

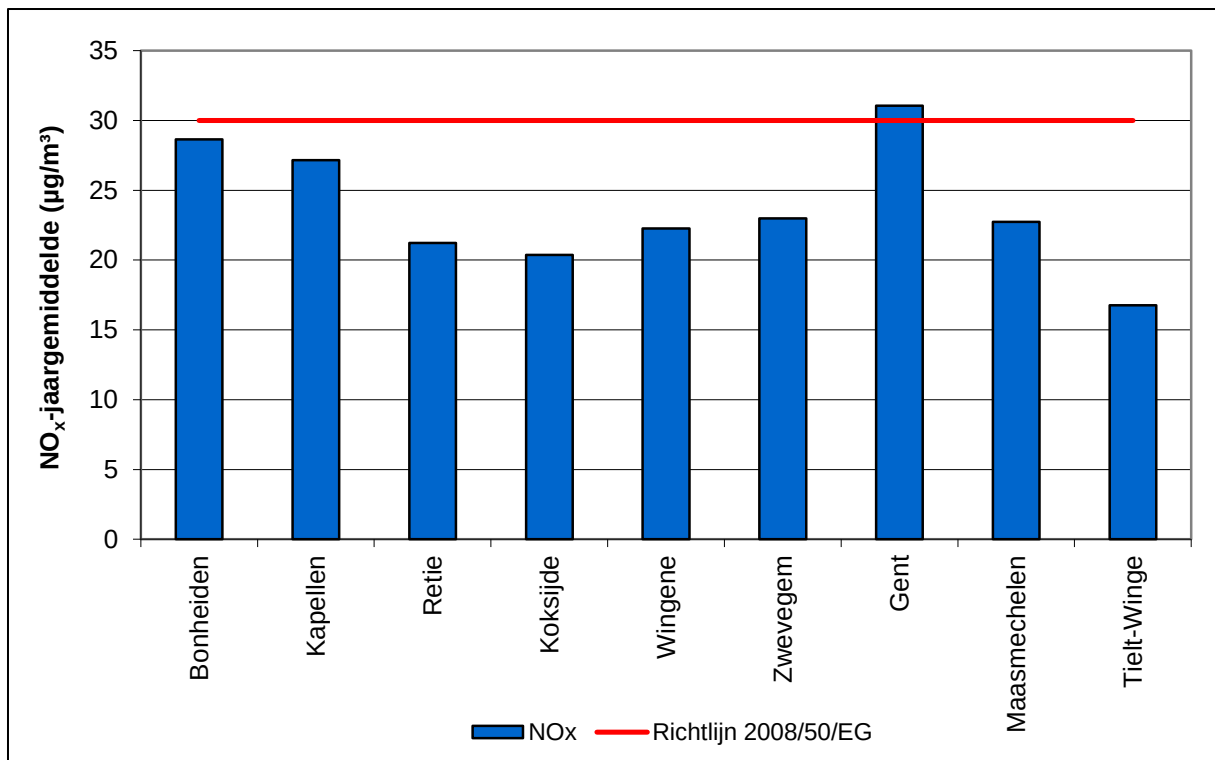
5.3.1.2 Stikstofdioxide

De onderstaande figuur geeft de gemeten **concentraties** weer van stikstofdioxide. In de grafiek wordt het jaargemiddelde getoond per meetplaats. De concentraties varieerden tussen 12,1 en 22,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Industrie en verkeerswegen zijn meestal de oorzaak van verhoogde stikstofdioxiden in de lucht. Zo zorgt de invloed van de Antwerpse haven voor de verhoogde NO_2 -concentraties in Kapellen. In Gent en Bonheiden zijn het eerder de verkeerswegen die zorgen voor hoge concentraties.



Figuur 33: NO_2 -jaargemiddelde in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per meetpost

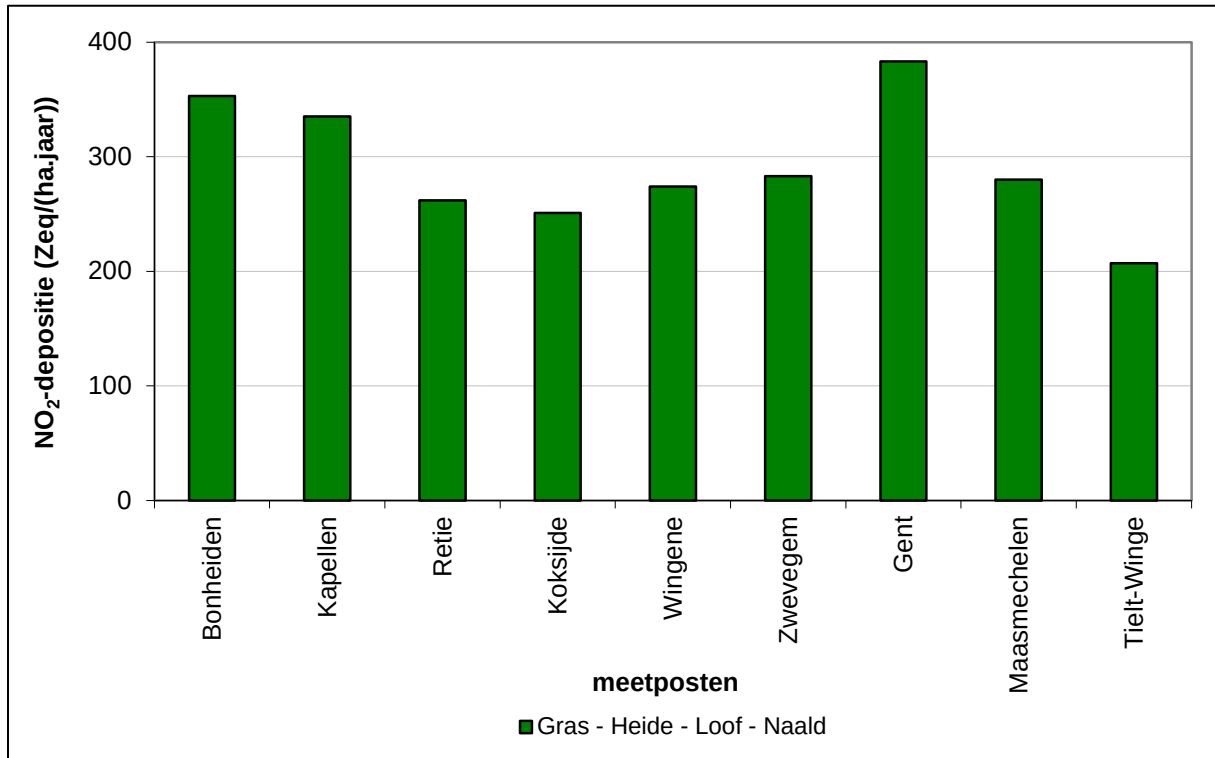
De Europese richtlijn definieerde een kritiek niveau voor vegetatie voor NO_x van 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Om een indicatieve toetsing uit te voeren met de gemeten NO_2 -concentraties van de passieve samplers, moest er een omzetting naar NO_x gebeuren. De omzettingfactor werd bepaald aan de hand van de gemiddelde verhouding van NO_x - en NO_2 -uurswaarden in 2013, afkomstig van 9 landelijke telemetrische achtergrondstations. Deze factor bedroeg 1,39.



Figuur 34: Indicatieve toetsing van de omgerekende NO_x-concentraties, afkomstig van de passieve samplers, aan het kritieke niveau voor vegetatie

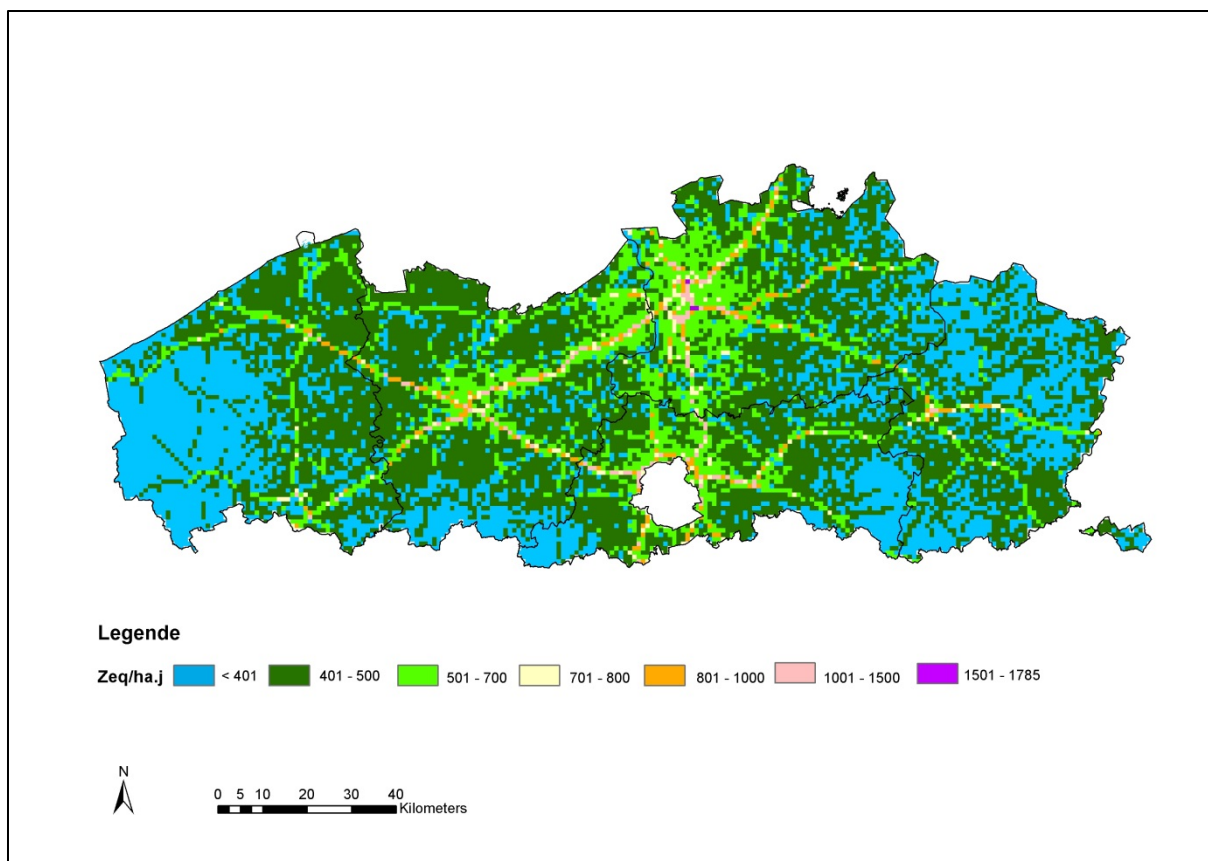
Figuur 34 laat zien dat de NO_x-concentraties op de meetpost in Gent hoger lag dan het kritieke niveau voor vegetatie. Dat bedroeg 31,1 µg/m³. Daarnaast benaderde de NO_x-concentratie in Bonheiden de 30 µg/m³. Alle andere waarden lagen onder het kritieke niveau voor vegetatie. Zoals reeds eerder vermeld zijn er in Vlaanderen echter geen gebieden die voldoen aan de vereisten opgenomen in de EU richtlijn 2008/50/EG.

Figuur 35 toont de depositie op de verschillende meetposten, berekend uit de concentratiemetingen. Aangezien alle vegetatietypes dezelfde depositiesnelheden hebben, gebeurde er in de grafiek geen verder opsplitsing naar vegetatietypes. Door de relatief constante NO_2 -concentraties op de meetposten bleef de **NO_2 -depositie** stabiel de laatste jaren (zie 5.3.3). In 2013 varieerde de NO_2 -depositie van 207 Zeq/(ha.jaar) in Tielt-Winge tot 383 Zeq/(ha.jaar) in Gent. Hier is te zien dat er een overeenkomst is tussen de meetposten met hoge deposities en deze met hoge concentraties.



Figuur 35: NO_2 -depositie in 2013 per vegetatietype. Op de linkse as de berekende droge depositie NO_2 uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar)

De NO_2 -depositie op basis van de metingen is enkel afhankelijk van de gemeten NO_2 -concentraties (aangezien geen concentratie van andere NO_y -componenten wordt gemeten) en de gebruikte depositiesnelheid voor NO_2 . Op basis van de literatuurgegevens wordt voor NO_2 voor elk van de vier beschouwde vegetatietypes dezelfde gemiddelde droge depositiesnelheid gebruikt, namelijk 0,25 cm/s (zie Bijlage 2: Depositiesnelheden). Er zijn wel dagelijkse en seizoensgebonden verschillen in de gerapporteerde depositiesnelheid van NO_2 , maar op jaarbasis is er volgens de wetenschappelijke literatuur weinig invloed van het soort vegetatie op de depositiesnelheid van NO_2 .⁷ Vandaar dat de grafiek ook dezelfde deposities voor verschillende vegetatietypes toont.



Figuur 36: Gemodelleerde droge deposities van NO_y in 2013 in Vlaanderen, 1x1 km² receptorenrooster

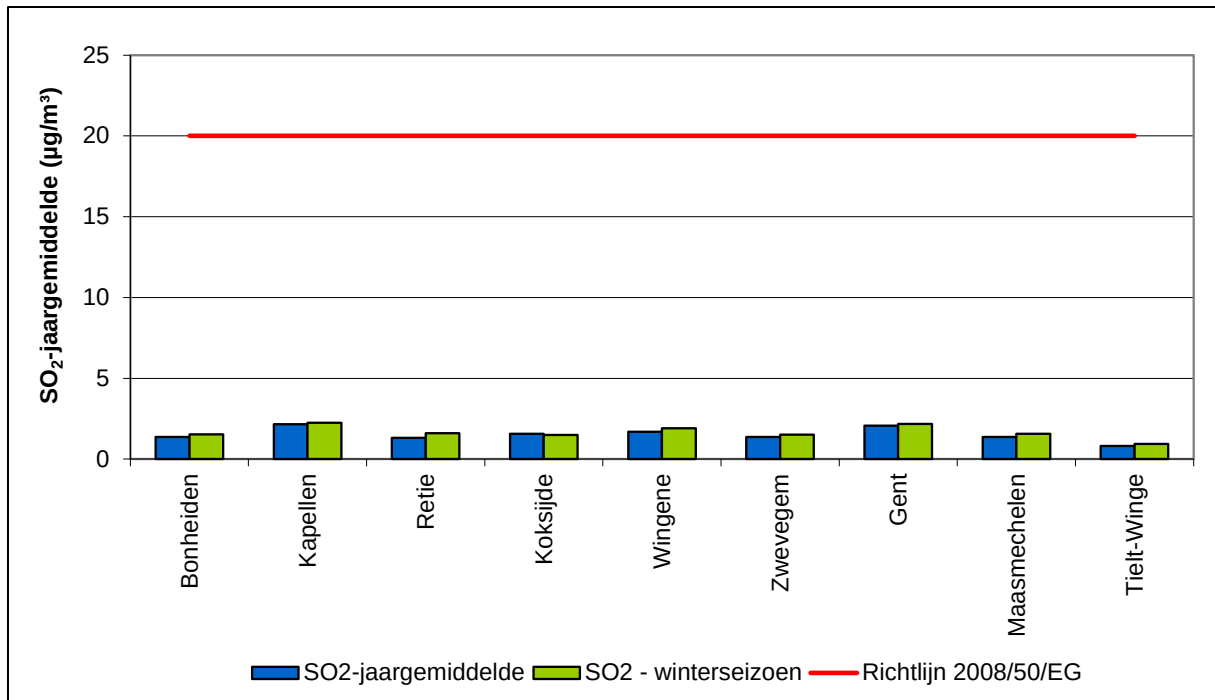
Figuur 36 toont de **gemodelleerde geografische spreiding** van de droge depositie van NO_y in Vlaanderen, berekend met het VLOPS-model. De depositie is het hoogst in Antwerpen, Gent en ten noorden van Brussel. Hogere waarden zijn zichtbaar op nagenoeg alle snelwegen rond Antwerpen, Gent en Brussel. Ook hier blijkt het verkeer de belangrijkste bron van stikstofoxiden. De industrie- en energiesector zijn andere belangrijke bronnen. De verkeerswegen en grote industriegebieden komen duidelijk in beeld op de bovenstaande kaart. Let wel: de metingen hierboven betreffen NO₂, de gemodelleerde resultaten gaan over NO_y.

5.3.1.3 Zwavel dioxide

Algemeen daalde het SO₂-jaargemiddelde sterk als we naar de evolutie kijken sinds 2003¹⁸. Indien we de gemeten **SO₂-concentraties** indicatief toetsen, zien we dat elke meetpost ruim voldoet. De resultaten zijn de laatste jaren stabiel.

De hogere concentratie in Kapellen en in beperktere mate in Gent, kunnen deels verklaard worden door de ligging van de meetpost in de buurt van industrie. Deze invloed is het grootst in Kapellen, omdat de Antwerpse haven ten zuidwesten ligt, de hoofdwindrichting ten opzichte van de meetpost.

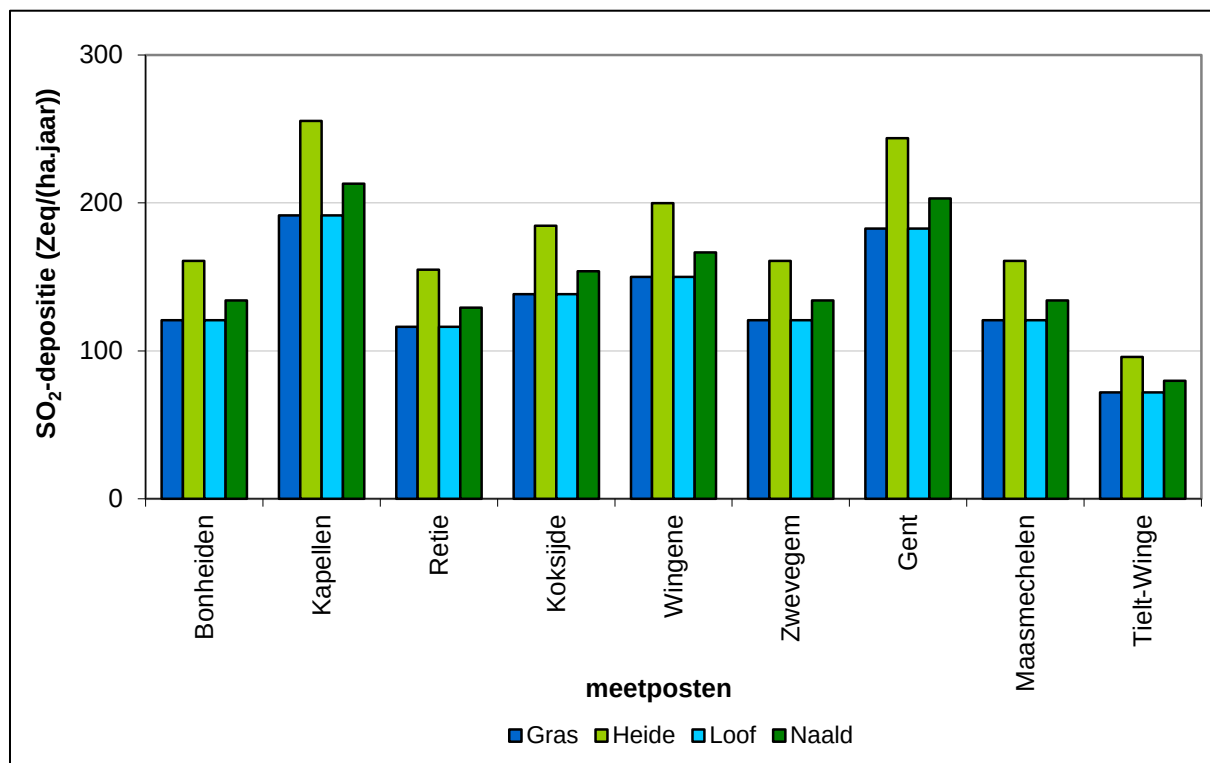
¹⁸ VMM (2014), Luchtkwaliteit in het Vlaamse Gewest - 2013



Figuur 37: SO₂-concentratie en indicatieve toetsing aan het kritieke niveau voor vegetatie

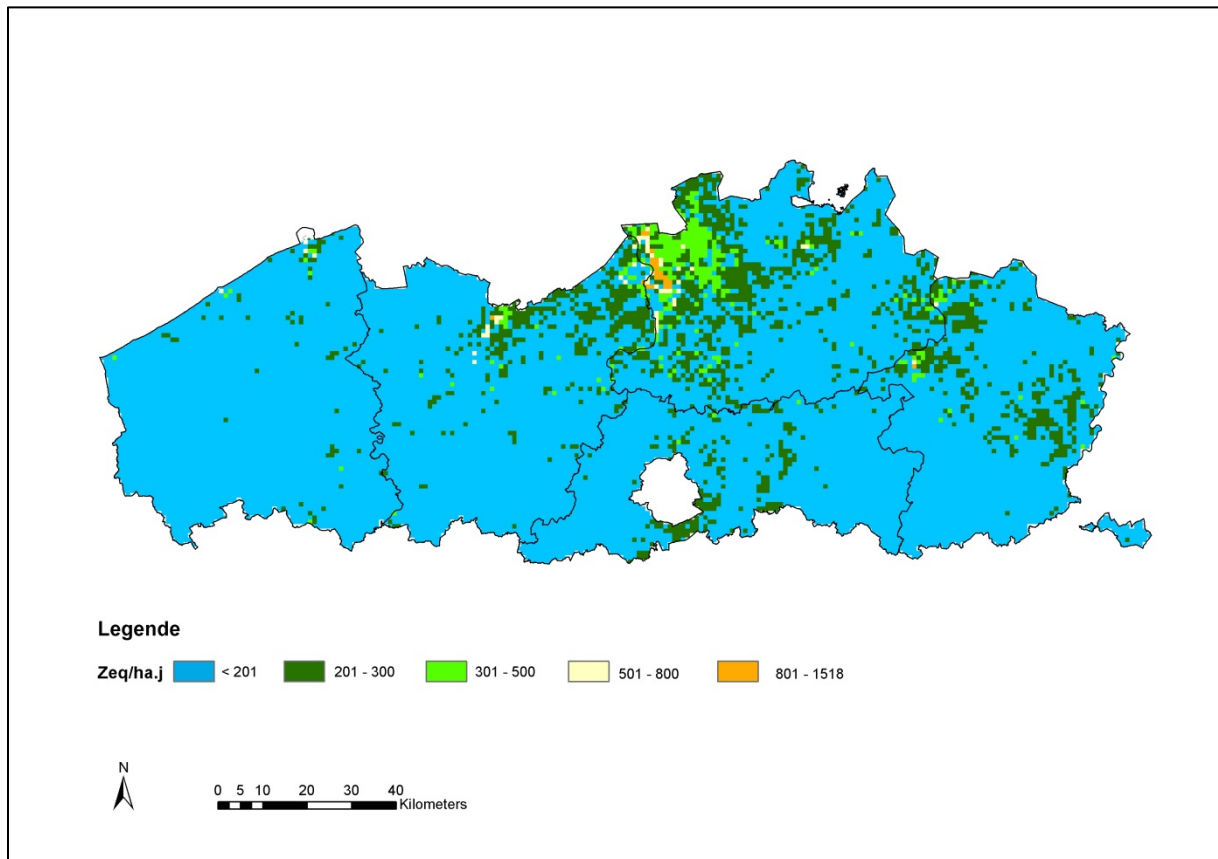
Figuur 37 toont de gemeten **concentraties** van zwaveldioxide. Dit jaargemiddelde varieerde tussen 0,81 en 2,2 µg/m³. De hoogste concentraties waren terug te vinden in Kapellen. Voor SO₂-concentraties werd het **kritieke niveau** voor **vegetatie** van 20 µg/m³ voor alle meetposten ruim gehaald aangezien alle concentraties onder de 3 µg/m³ lagen. De resultaten voor 2013 waren gelijkaardig aan die van de vorige jaren.

Figuur 38 toont de droge **depositie** van SO₂ in 2013. De depositie is afhankelijk van het vegetatietype en varieerde van 72 Zeq/(ha.jaar) op gras en loofbos in Tielt-Winge tot 255 Zeq/(ha.jaar) op heide in Kapellen.



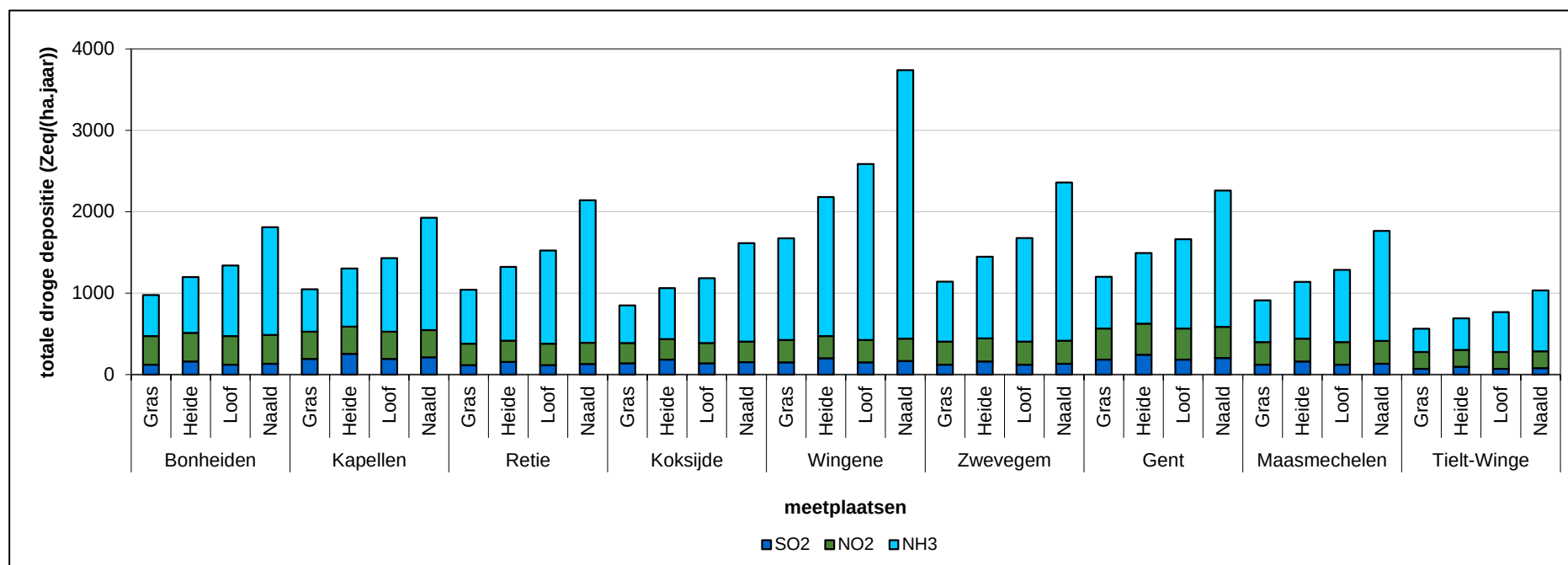
Figuur 38: De gemiddelde SO₂-depositie in 2013, uitgedrukt per aanwezig vegetatietype in Zeq/(ha/jaar). Omdat de depositiesnelheden verschillen per vegetatietype, verschillen ook de deposities

Figuur 39 toont de **gemodelleerde geografische spreiding** van de droge depositie van SO_x in Vlaanderen. Deze spreiding werd berekend met het VLOPS-model. De depositie is het hoogst in de Antwerpse havenzone en de Gentse kanaalzone, gevolgd door kleinere zones verspreid over het noorden van Vlaanderen, het noordoosten en de rand rond Brussel.



Figuur 39: Gemodelleerde droge deposities van SO_x in 2013 in Vlaanderen, 1x1 km² receptorenrooster

5.3.2 Totale droge depositie



Figuur 40: De totale droge depositie uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar) over de verschillende meetposten in Vlaanderen

Figuur 40 toont de totale droge depositie op de verschillende meetposten, en dit per vegetatietype. Wat onmiddellijk opvalt is het grote aandeel van ammoniak, ten opzichte van het aandeel stikstofdioxide en het nog kleinere aandeel zwaveldioxide.

De resultaten komen overeen met de gemodelleerde kaart van de droge depositie: in de gemodelleerde kaarten zien we voor zwaveloxiden en vooral stikstofdioxiden dat de *hotspots* liggen bij de grote steden. Voor ammoniak worden gebieden met hoge waarden ingekleurd in West-Vlaanderen en de Noorderkempen.

Ter vergelijking tonen de resultaten van metingen en berekeningen aan dat de hoogste deposities voorkomen in het oosten van West-Vlaanderen (Wingene). De kuststreek en de gebieden met weinig intensieve veeteelt zoals Koksijde en Tielt-Winge krijgen veel minder droge depositie te verwerken. De bosgebieden krijgen de meeste droge depositie te verwerken.

5.3.3 Trend

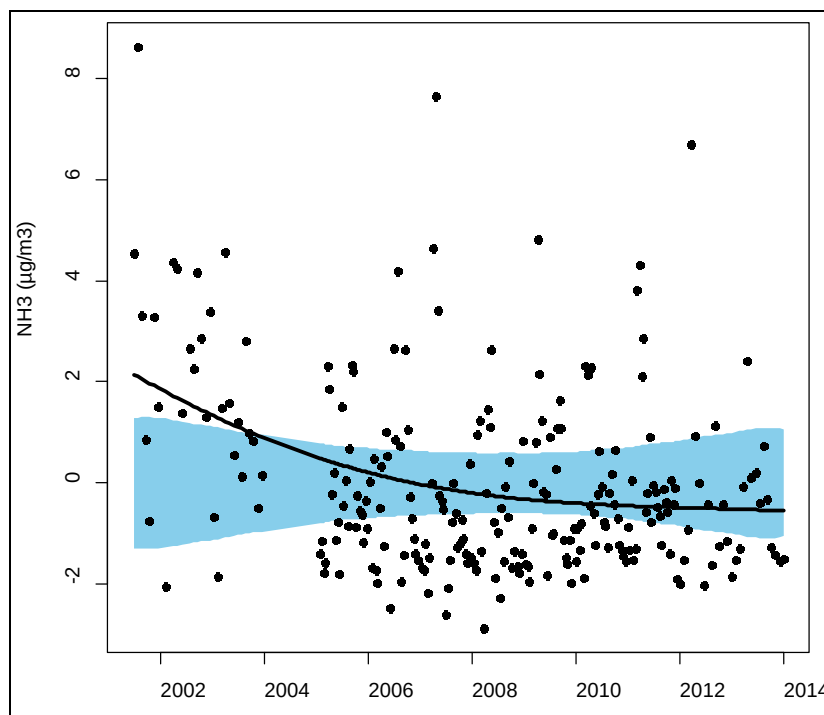
Hieronder worden twee berekeningen doorgevoerd: een trend op langere termijn, en een éénmalige oefening om een trend te bepalen op korte termijn.

Op zeven van de negen meetplaatsen is er een significant dalende trend in de **concentratie** van **NH₃** voor de **periode 2002-2013**. Figuur 41 illustreert dit voor de meetplaats Retie.

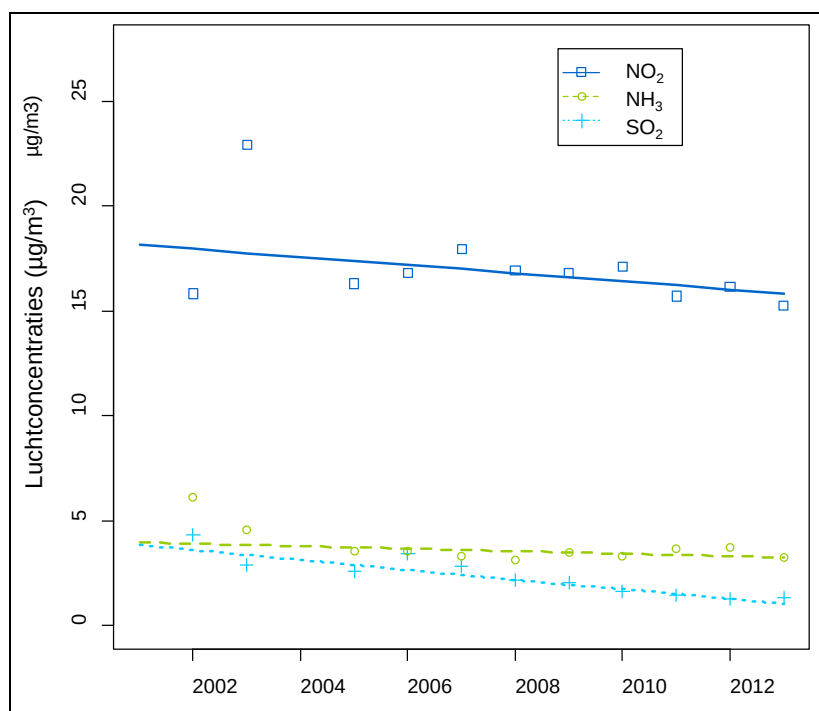
In Bonheiden was er een niet-significante daling voor NH₃. In Maasmechelen steeg de NH₃-concentratie van 2002 tot 2013 jaarlijks met gemiddeld 0,06 µg/m³, maar deze stijging is net niet significant (P = 0,051) op het vooropgestelde niveau. Deze resultaten van GAM-modellen met een lineair veronderstelde jaartrend zijn terug te vinden in Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties. Volgens de benaderende F-test op de twee- of vierwekelijkse data wijken al deze trends af van een lineair verband. De afwijking van de lineariteit verschilt naargelang de meetplaats.

Wanneer we de trend berekenen over de laatste vijf meetjaren, blijkt er geen significante afname (P > 0,59) in de twee- of vierwekelijkse NH₃-concentratie in de **periode 2009-2013**. De daling over de laatste vijf jaar is dus te klein om als betekenisvol beschouwd te worden. Dit kunnen we verduidelijken aan de hand van de **jaargemiddelden**, zoals geïllustreerd voor de meetplaats Retie in Figuur 42. Er was een significante afname voor de **periode 2002-2013** (Kendall-test met P = 0,003), maar dit kwam voornamelijk door de hogere NH₃-concentraties in 2002 en 2003. Sinds 2005 zijn de concentraties nauwelijks afgenomen, waardoor er dus ook geen significante trend is voor de periode 2009-2013 (Kendall-test met P = 0,81).

De NH₃-jaargemiddelden voor de andere meetplaatsen worden getoond in Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties.



Figuur 41: Luchtconcentratie van NH_3 in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P = 0,003$)

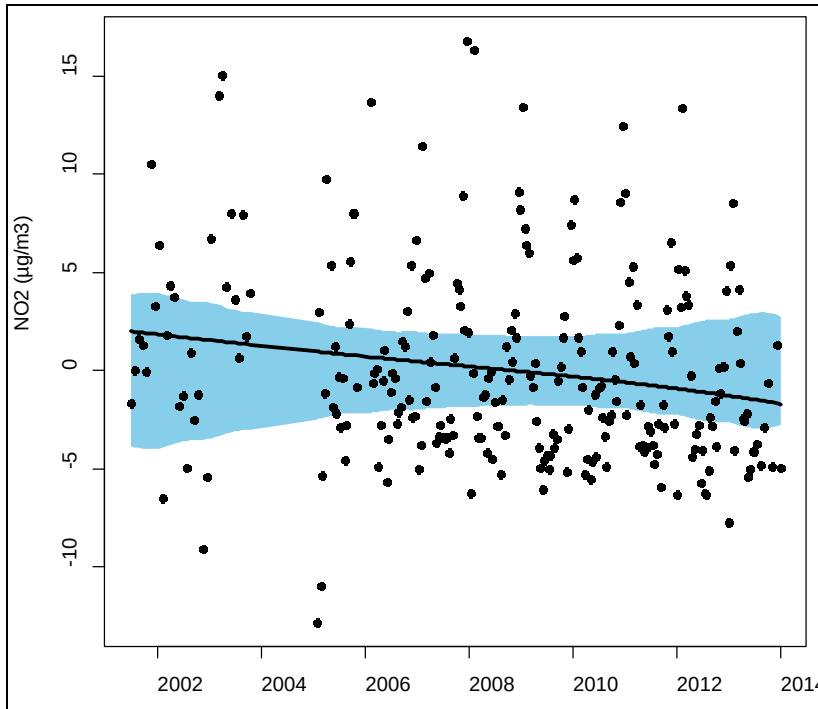


Figuur 42: Jaargemiddelde luchtconcentratie van NH_3 , NO_2 en SO_2 in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijnen zijn de geschatte trends volgens een Kendall-test. De trend voor NH_3 is significant voor de periode 2002-2013 ($P = 0,003$), maar niet voor de periode 2009-2013

De droge depositie van NH_4^+ -aerosol meet de VMM niet. Daardoor hangt de droge depositie van NH_x (som van NH_4^+ en NH_3), afgeleid uit de metingen, volledig af van de NH_3 -concentraties en de droge depositiesnelheid. Per vegetatietype wordt een vaste depositiesnelheid gebruikt. De trends in NH_x -deposities zijn daarom analoog aan deze in de NH_3 -concentraties.

Wat de trends voor **stikstofdioxide** betreft, is er voor geen enkele van de negen meetplaatsen van het meetnet verzuring een significante verandering in de concentratie van NO_2 in de **periode 2002-**

2013. Ook over de laatste vijf jaar – **periode 2009-2013** – is er geen betekenisvolle verandering in de NO_2 -concentraties ($P > 0,24$). Dit blijkt uit de GAM-modellen voor twee- of vierwekelijkse meetgegevens (zie Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties) en wordt voor de meetplaats Retie getoond in Figuur 43. Het ontbreken van trends blijkt ook uit de NO_2 -jaargemiddelden, zie Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties.

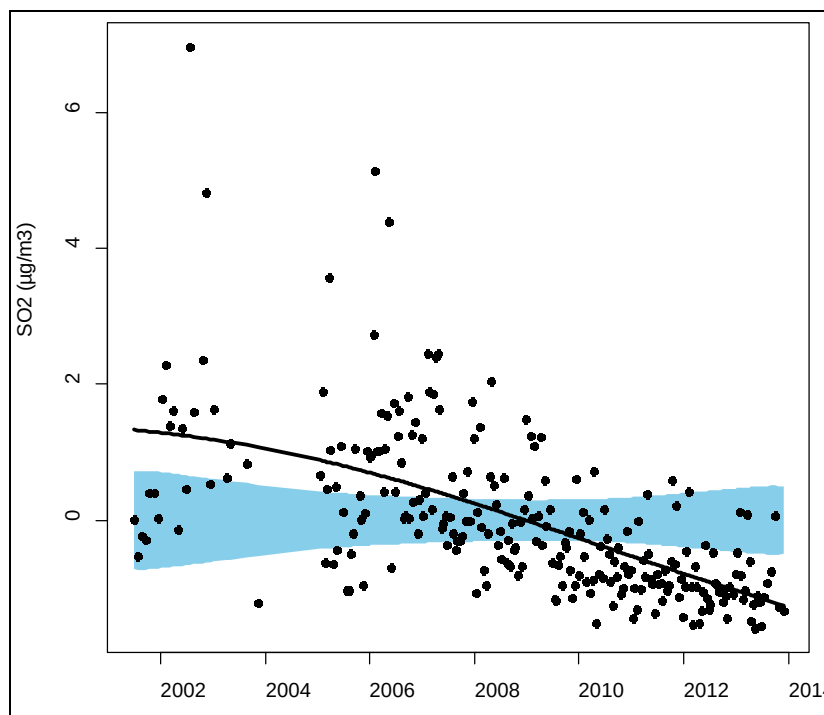


Figuur 43: Luchtconcentratie van NO_2 in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is niet significant ($P = 0,07$)

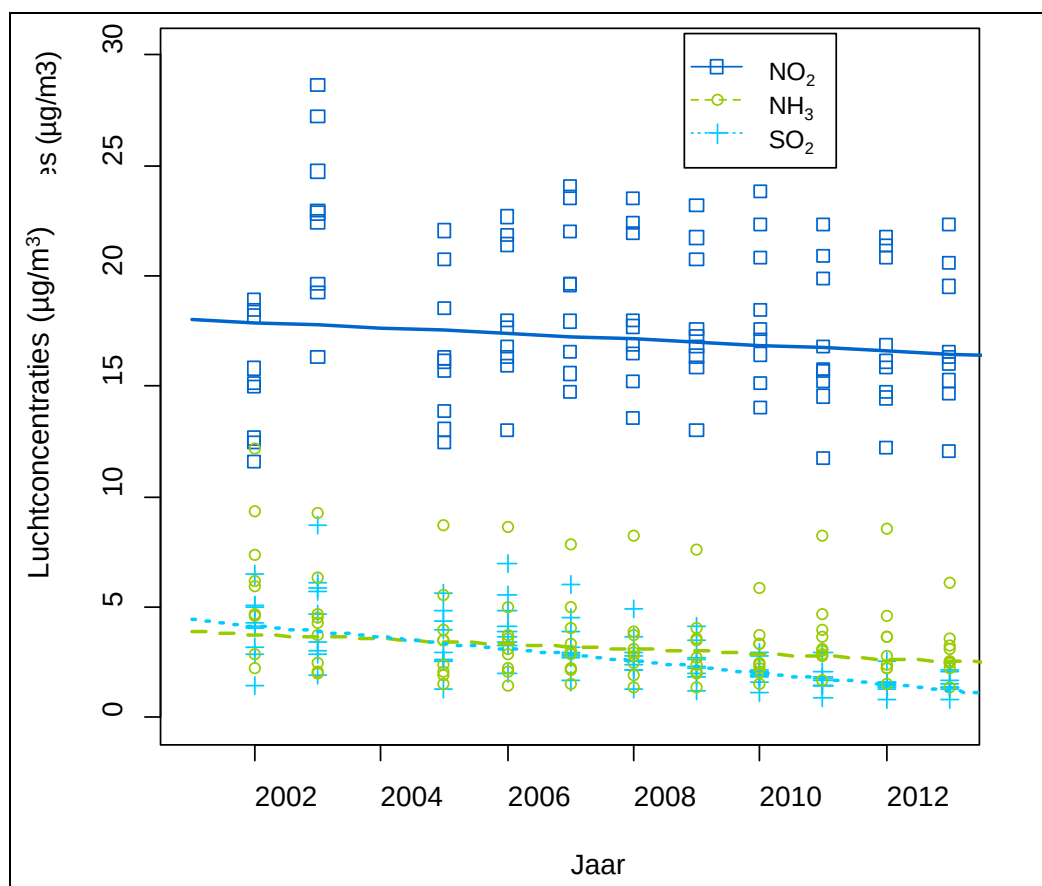
Tot slot gaan we in op de trend van **zwaveldioxide**. Op alle negen meetposten van het meetnet verzuring daalde de SO_2 -concentratie in de lucht significant in de **periode 2002-2013** ($P < 0,001$ volgens de GAM-modellen, zie Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties). Volgens de benaderende F-test was deze daling nergens lineair. Figuur 44 toont het geschatte niet-lineaire verloop voor de meetplaats Retie. Ook op jaarbasis daalde SO_2 steeds significant ($P < 0,002$ volgens de Kendall-testen). Het verloop van het SO_2 -jaargemiddelde voor Retie wordt getoond in Figuur 42. De SO_2 -jaargemiddelden voor de andere meetposten worden getoond in Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties.

Wanneer we de trend berekenen over de laatste vijf meetjaren, blijkt dat ook in de **periode 2009-2013** de SO_2 -concentratie significant daalde op alle meetposten ($P < 0,001$ volgens de GAM-modellen, zie Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties). Volgens de benaderende F-test is deze daling op alle meetposten lineair, behalve in Kapellen. De jaarlijkse daling ligt tussen $0,14 \pm 0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tielt-Winge) en $0,48 \pm 0,09$ (Gent).

Op de jaarlijkse data kan ook een **regionale Kendall-test** uitgevoerd worden. Deze test corrigeert voor de ruimtelijke spreiding tussen de meetposten. Voor de negen meetposten samen die sinds 2002 in gebruik zijn, daalde de NH_3 -concentratie van 2002-2013 jaarlijks met $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($P = 0,02$). Voor NO_2 was er voor de negen meetposten verzuring samen geen trend ($P = 0,47$) en voor SO_2 bedroeg de mediane jaarlijkse afname $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($P = 0,001$). Figuur 44 toont de jaargemiddelde luchtconcentraties en de trendlijn volgens deze regionale Kendall-test.



Figuur 44: Luchtconcentratie van SO_2 in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P < 0,001$)



Figuur 45: Jaargemiddelde luchtconcentraties van NH_3 , NO_2 en SO_2 op de negen meetposten die sinds 2002 in gebruik zijn. De lijnen zijn niet-parametrische regressielijnen (regionale Kendall-test; $P = 0,02$ voor NH_3 , $P = 0,47$ voor NO_2 en $P = 0,001$ voor SO_2)

Wanneer we dezelfde test uitvoeren op de jaargemiddelde luchtconcentraties voor de laatste vijf jaar, vinden we geen betekenisvolle trend in de **periode 2009-2013** voor NH_3 ($P = 0,85$) en voor NO_2 ($P =$

0,19). Enkel voor SO_2 is er in 2009-2013 een significante afname, met een mediane waarde van 0,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($P = 0,02$).

5.3.4 Extra onderzoek naar invloed kust

Volgens de beschreven resultaten uit het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden van Nederland (MAN-meetnet), geeft OPS geen goede overeenkomst met de metingen in de duingebieden. De metingen in de duinen zijn twee keer zo hoog aan de Hollandse duinen en vier keer zo hoog op de Waddeneilanden. De gemeten concentraties zijn in de duinen desalniettemin de laagste van heel Nederland. Hoewel in absolute zin model en metingen slechts 1 tot 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ van elkaar afwijken, is dit toch een beduidend verschil in de voor eutrofiëring kwetsbare duingebieden. Een verklaring kan zijn dat de zee en de Waddenzee een bron van ammoniak zijn. Indien de temperatuur hoog genoeg is en de pH van water boven de 8 komt, kan ammoniak naar de lucht ontsnappen. Het verschil tussen model en meting langs de Hollandse duinen en de Waddenzee, correspondeert goed met satellietbeelden van algenconcentraties. Een verklaring hiervoor is dat algengroei samenhangt met de nutriëntenconcentraties in zee, zoals bijvoorbeeld de concentratie van ammoniak¹⁹.

Naar aanleiding van bovenstaand onderzoek, keek de VMM naar de kustplaats in België, namelijk de gegevens van Koksijde, om te zien of er ook verschil was tussen de gemodelleerde en gemeten ammoniakconcentraties. Zowel de concentraties van ammoniak, alsook de natte deposities van ammoniummetingen en modelresultaten voor het jaar 2005, 2009, 2010 en 2011 werden vergeleken.

Hieruit bleek dat de verhouding meting/model voor ammoniak voor de meetplaats in Koksijde steeds hoger is dan de verhouding die we terugvinden op de andere 8 meetposten in Vlaanderen. Het VLOPS onderschat dus de ammoniakconcentratie in Koksijde sterker dan op andere meetposten. Ook in Vlaanderen zien we dus de zogenaamde 'duin-onderschatting'.

Bij de natte deposities NH_x is dit fenomeen niet eenduidig. Natte deposities gebeuren typisch verder van de bron dan droge deposities. Het effect van de NH_3 uit zeewater is hier dus minder duidelijk.

We bekijken hoe we deze 'duinonderschatting' naar de toekomst toe kunnen corrigeren in de VLOPS output.

5.3.5 Conclusies droge depositie

In 2013 piekte de **ammoniakconcentratie** redelijk laat in het voorjaar, namelijk tussen eind maart en eind april. Meteorologische omstandigheden speelden hier ongetwijfeld een rol, aangezien de winter lang en koud was, waardoor het uitrijden van mest later op het jaar plaatsvond.

De concentraties van ammoniak lagen voor het jaar 2013 merkbaar lager, in vergelijking met de concentraties van de jaren ervoor. Deze daling in ammoniakconcentratie kan tot minder secundair fijn stof leiden.

De concentratie in de lucht kunnen getoetst worden aan de **het kritieke niveau** gedefinieerd door de **WGO**. Het NH_3 -jaargemiddelde toonde aan dat er geen enkele overschrijding van het kritieke niveau van 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ was. Als we kijken naar de wetenschappelijke aanbeveling van 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, stellen we vast dat deze op 7 meetposten werd gehaald en op 3 meetposten overschreden.

De concentratie en depositie van stikstofoxiden stagneerde in vergelijking met de voorgaande jaren. We stellen voornamelijk hogere concentraties en deposities bij **industriegebieden** en **drukke verkeerswegen** vast. Het kritieke niveau werd niet gehaald in Mariakerke bij Gent.

Voor **zwaveldioxide** werd het kritieke niveau voor vegetatie overal ruim gehaald en bleven de concentraties dalen in de tijd.

In de periode 2001-2012 daalde de concentratie van NH_3 op zeven van de negen meetposten en van SO_2 op alle meetposten. Voor alle meetposten samen was er een significante daling van 0,13 μg NH_3/m^3 en van 0,19 μg SO_2/m^3 . De concentratie van NO_2 bleef stabiel.

Waar hogere concentratieniveaus werden gemeten, zien we ook hogere depositiewaarden. Dit vormt nog steeds een probleem voor de gevoelige gebieden, waar de depositiewaarden moeten dalen. De Programmatische Aanpak Stikstof zal zich focussen op het bufferen van de beschermde Natura 2000-gebieden om de deposities gebiedsgericht naar beneden te krijgen.

¹⁹ RIVM-rapport 680710001, AP Stolk et al (2009), Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden, meetresultaten 2005-2007

5.4 Totale depositie

In dit hoofdstuk geven we de totale verzurende depositie in Vlaanderen op verschillende manieren weer. De totale verzurende depositie is de som van de totale natte en de totale droge depositie. Deze natte en droge verzurende depositie meten we op negen meetposten in Vlaanderen. We rekenen in dit hoofdstuk dan ook met de meetresultaten van deze meetposten voor het bemonsteringsjaar 2013. We berekenden de totale verzurende depositie ook op een andere manier, namelijk als de som van de drie belangrijkste verzurende componenten, NH_x , NO_y en SO_x . Ook hier werken we met de meetresultaten van het bemonsteringsjaar 2013.

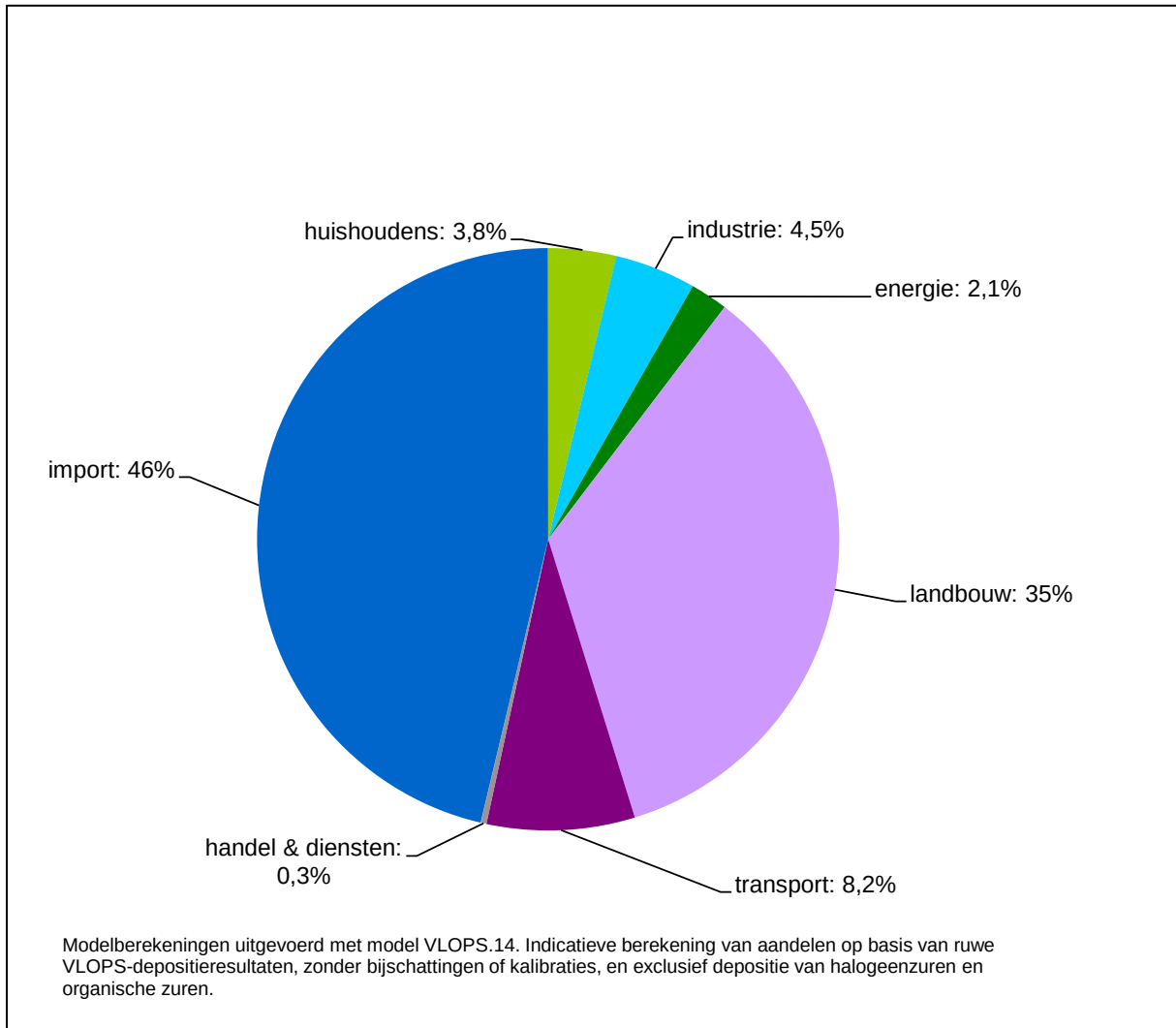
De stikstofcomponenten van de totaal verzurende depositie, namelijk NH_x en NO_y gebruiken we in een volgende stap om de vermestende depositie in Vlaanderen, voor 2013 te berekenen.

In tegenstelling tot bovenstaande uitspraken houdt het VLOPS-model rekening met alle verzurende polluenten in gasvormige en deeltjesfase om zo te komen tot een gemodelleerd geografische spreiding van de totale verzurende depositie.

5.4.1 Totaal verzurende depositie

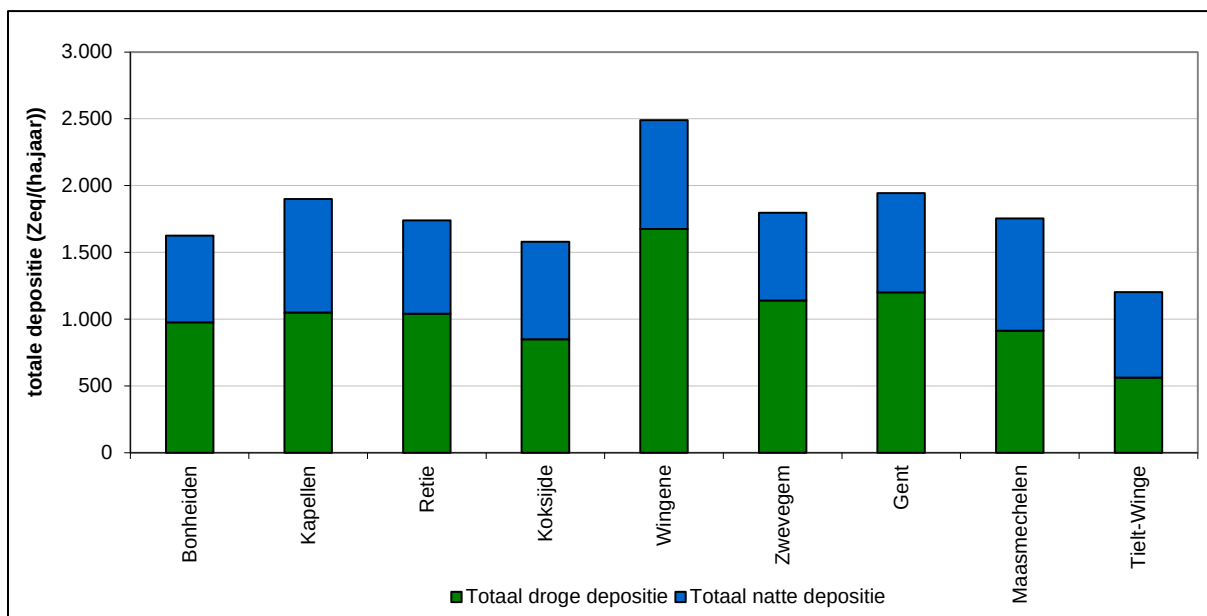
Een te hoge verzurende depositie zorgt voor een afname van de bodemkwaliteit, schade aan vegetatie en aantasting van de biodiversiteit. Voor Vlaanderen worden de voornaamste bronnen getoond in Figuur 46, berekend aan de hand van het VLOPS-model. Hierbij merken we dat import de grootste bijdrage levert. Deze bijdrage vertoont een verschillend beeld voor de afzonderlijke depositiecomponenten SO_x , NO_y en NH_x . Dit komt door de verschillende verblijftijden van verzurende stoffen in de atmosfeer. Vooral NO_x en SO_2 kunnen over lange afstanden getransporteerd worden. Daarom speelt de import vooral een grote rol bij de NO_y -depositie.

Bij landbouw bestaat de bijdrage hoofdzakelijk uit NH_x -depositie, bij transport is dit NO_y -depositie en bij de industrie SO_x -depositie.



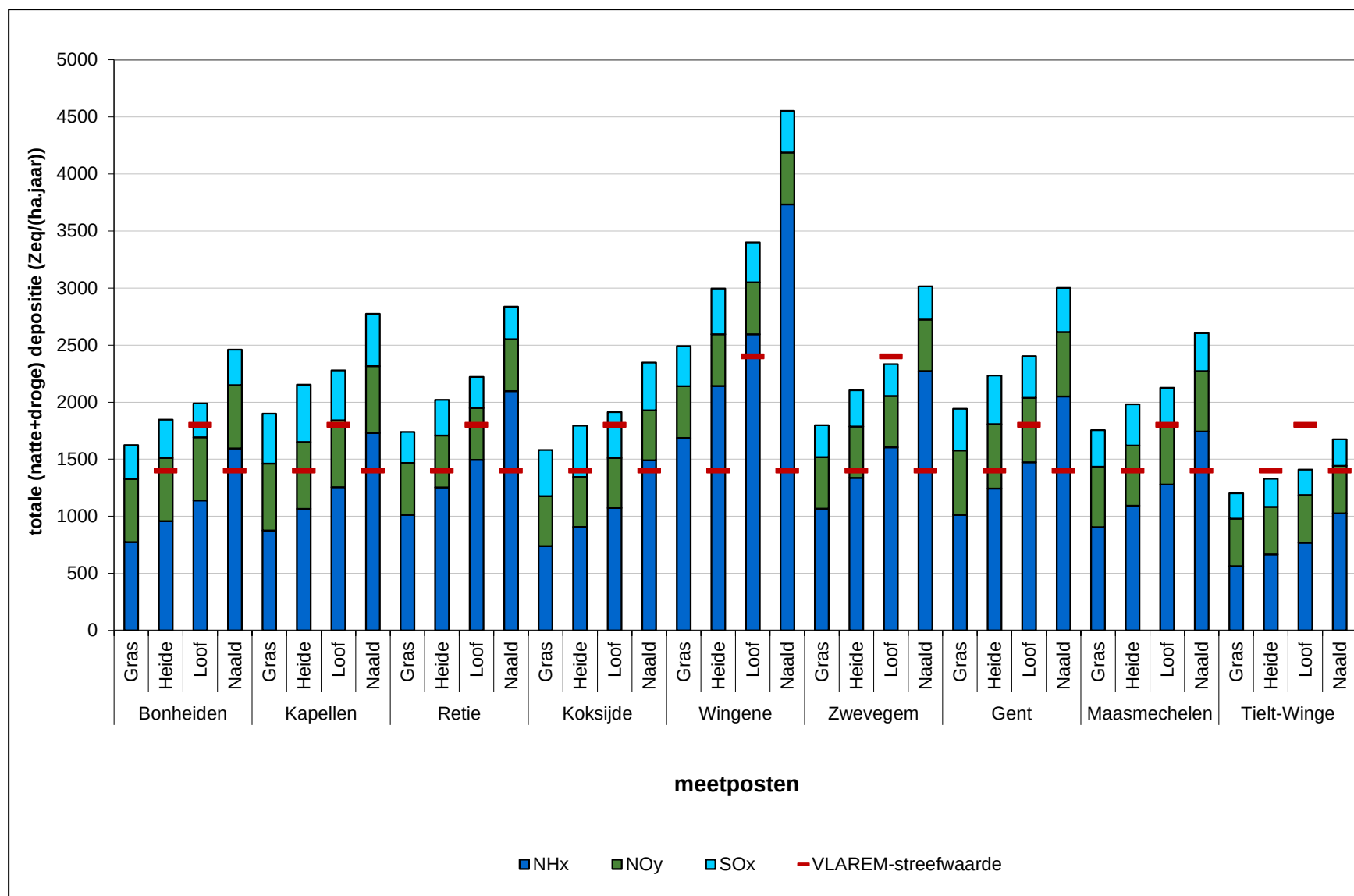
Figuur 46: Overzicht van de belangrijkste sectoren die bijdragen tot de totale verzurende depositie op basis van gegevens van 2011

Figuur 47 toont de **totale depositie** voor het vegetatietype gras. We gebruiken dit vegetatietype, omdat het op alle meetplaatsen voorkomt. Voor de totale verzurende depositie zit de grootste variatie in het deel van de droge depositie (groene balken). De grootste verschillen zien we voor de meetposten Tielt-Winge en Wingene. In Tielt-Winge is de droge depositie nagenoeg gelijk aan de natte depositie, terwijl het aandeel droge depositie voor Wingene twee keer zo groot is als het aandeel van natte depositie. Dit grotere aandeel in droge verzurende depositie komt door de hoge NH_3 -concentraties. Dit is te verklaren door de aanwezigheid van landbouw en intensieve veeteelt in de omgeving van Wingene.



Figuur 47: Totale verzurende depositie voor het vegetatietype gras als de som van de totale droge depositie en de totale natte depositie

De resultaten voor de verschillende meetposten kunnen we vervolgens toetsen aan de **VLAREM-streefwaarden**. Zoals vermeld in het hoofdstuk met wetgeving (paragraaf 3.2.3) zorgen deze streefwaarden specifiek voor de bescherming van gevoelige gebieden, met een onderscheid voor de verschillende vegetatie- en bodemtypes (met uitzondering van gras). De totale verzurende depositie is in onderstaande figuur de som van de totale droge depositie (NH_3 , NO_2 en SO_2) en de totale natte depositie (NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^- , SO_4^{2-}). Het wordt uitgedrukt in NH_x , NO_y en SO_x .



Figuur 48: Overzicht van de totale verzurende depositie in 2013, per meetpost en per vegetatietype

Uit Figuur 48 volgt dat het overgrote deel van de meetposten deze streefwaarden overschreden werden.

Op volgende meetposten werden de streefwaarden gehaald:

- Zwevegem voor vegetatietype loofbos;
- Tielt-Winge voor vegetatietypes heide en loofbos.

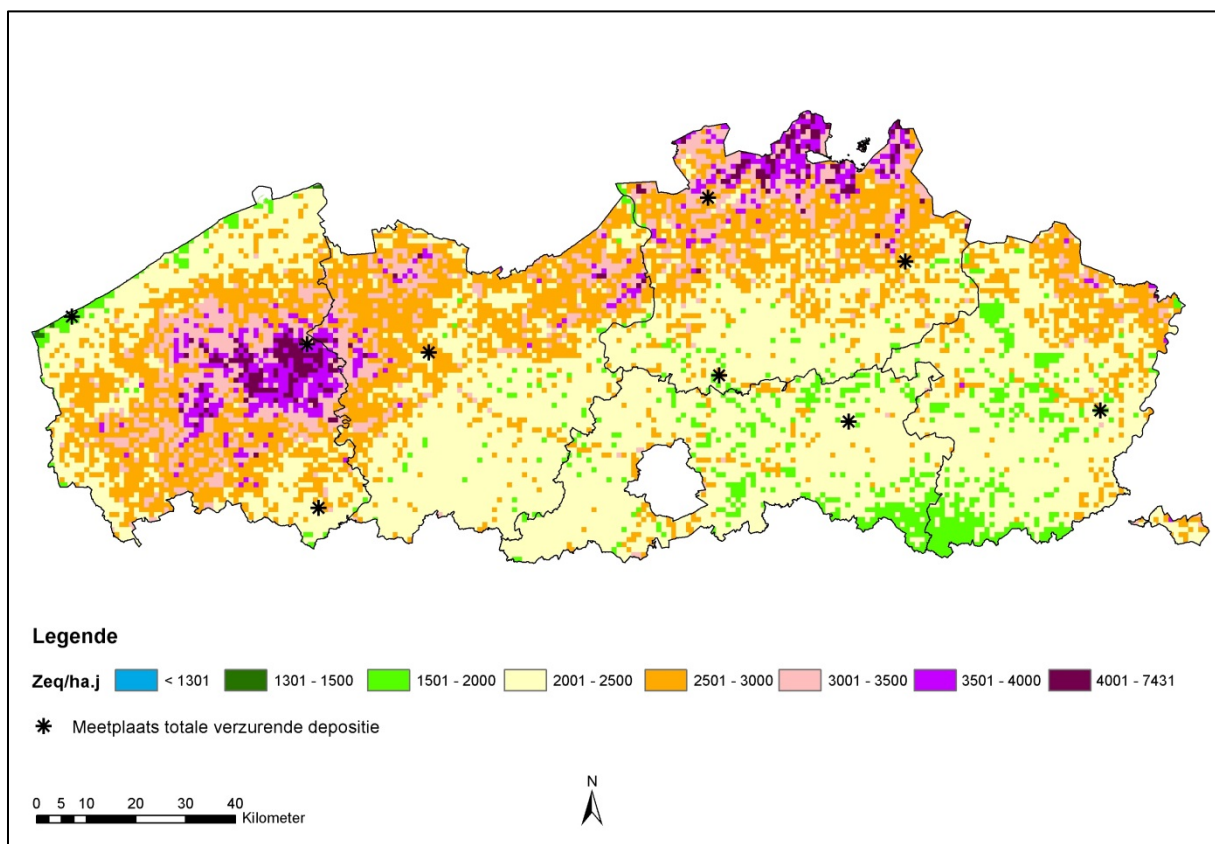
Op te merken valt dat de VLAREM-streefwaarden voor het vegetatietype loofbos verschillend zijn voor beide meetposten. Voor de rijke ondergrond van de meetplaats Zwevegem is deze streefwaarde hoger, namelijk 2.400 Zeq/(ha.jaar).

Opnieuw blijkt uit deze figuur dat voor de meetpost Wingene het grootste deel van totale verzurende depositie afkomstig is van NH_x .

Figuur 49 toont de **gemodelleerde geografische spreiding** van de totale verzurende depositie in Vlaanderen. De totale verzurende depositie berekend met het VLOPS-model is de som van de droge en natte deposities van SO_x , NO_y , NH_x , halogeenzuren en organische zuren (HZ + OZ). Voor het eerst worden bijtellingen van organische zuren en halogeenzuren uitgevoerd (zie bijlage 6). De natte NH_x -deposities die hierbij werden gebruikt, zijn gekalibreerd met de metingen. De samenstelling van de totaal verzurende depositie was als volgt:

- NH_x : 52%;
- NO_y : 25%;
- SO_x : 12%;
- HZ + OZ: 11%.

Uit de modelkaart blijkt dat de hoogste verzurende depositie voorkwam in het centrum van West-Vlaanderen, waar de meetpost Wingene zich bevindt. Ook in het noorden van de provincie Antwerpen was de depositie hoog.



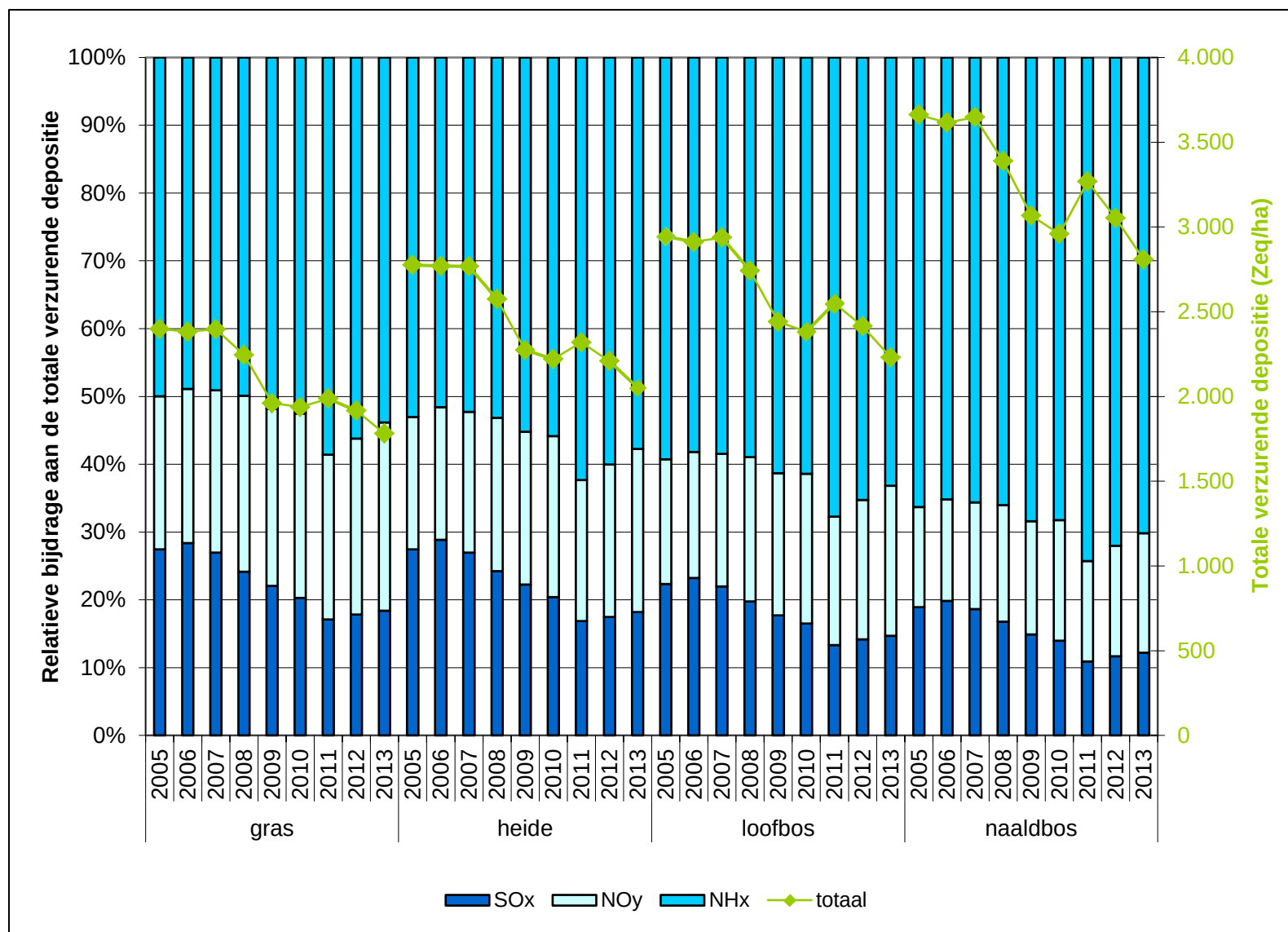
Figuur 49: Gemodelleerde totale verzurende depositie in 2013 in Vlaanderen, 1x1 km² receptorenrooster

Voor Wingene zien we dat zowel het VLOPS-model als de metingen voor totale verzurende depositie sterk verhoogde waarden aangeven. Deze werden veroorzaakt door de grote NH_x -component. Als we nog gedetailleerder gaan kijken, zien we zowel voor het VLOPS-model als voor de metingen dat de NH_3 -component doorslaggevend is. Specifiek voor de meetpost Wingene is dit, door afwezigheid van industrie, toe te schrijven aan de aanwezigheid van landbouw en intensieve veeteelt.

Het VLOPS-model geeft ook duidelijk een probleemzone aan voor Noord-Antwerpen. De metingen voor de dichtstbijzijnde meetpost, Kapellen, zijn echter niet zo uitgesproken als deze voor Wingene. Dit komt omdat de meetpost Kapellen – in tegenstelling tot Wingene – verder van de, door het VLOPS-model aangeduide, probleemzone ligt.

We kunnen de totale verzurende deposities ook bekijken in functie van de tijd. In Figuur 50 zien we de meetnetgemiddelde totale verzurende depositie, uitgedrukt in $\text{Zeq}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$, voor de vier vegetatietypes sinds 2005. De relatieve bijdrage per pollutant aan deze totale verzurende depositie wordt ook berekend en uitgedrukt als percentage op de linker as.

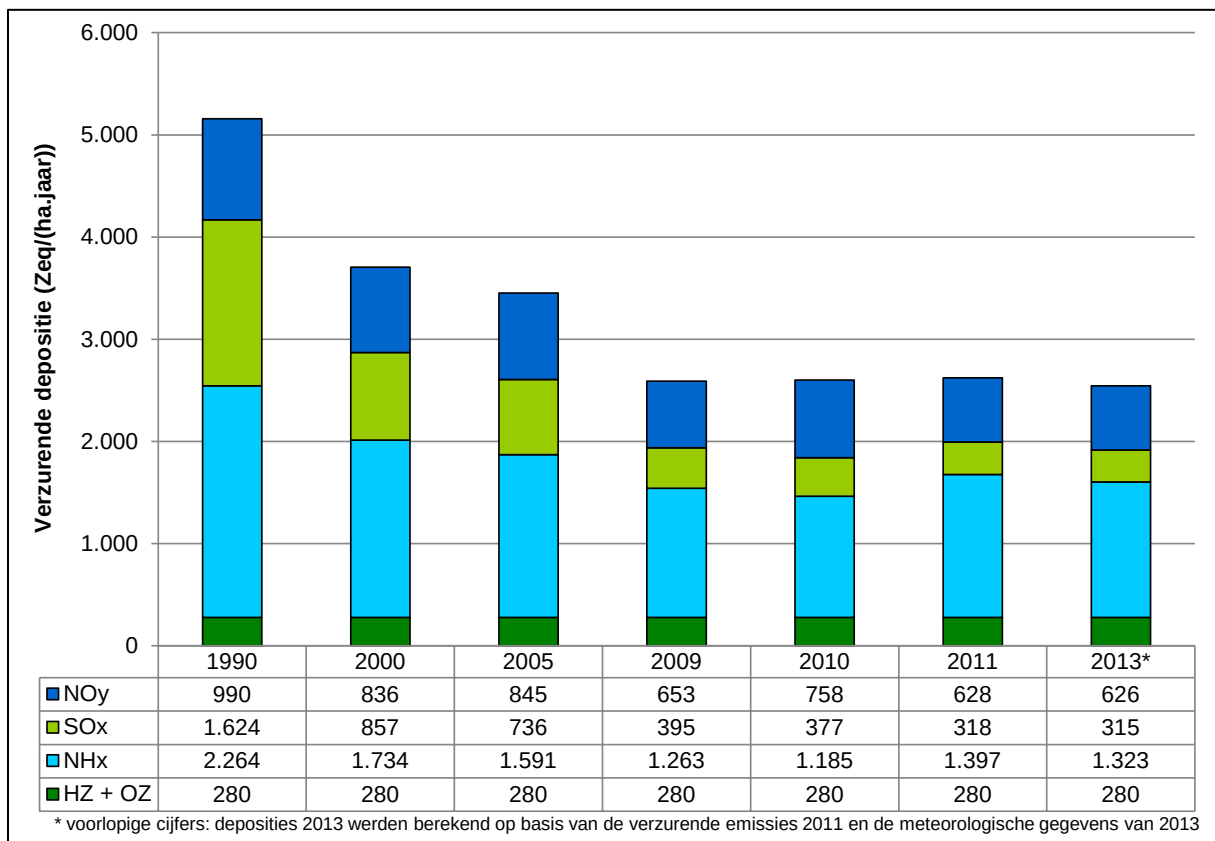
Hieruit volgt dat de totale verzurende depositie in de periode 2005-2007 nagenoeg stabiel bleef, om dan jaarlijks af te nemen tot in 2013, met uitzondering van een stijging in 2011. De daling is het meest uitgesproken in 2008 en 2009.



Figuur 50: Overzicht van de meetnetgemiddelde totale verzurende depositie in de periode 2005-2013 en de bijhorende relatieve bijdrage van de belangrijkste polluenten

Om de evolutie van verzurende componenten beter in kaart te brengen werd de gemiddelde Vlaamse verzurende depositie berekend met het VLOPS-model voor de jaren 1990, 2000, 2005, 2009, 2010, 2011 en 2013 (zie Figuur 51). Tot 2009 was er een duidelijk dalende trend. In 2010 volgde een lichte stijging van de totale verzurende deposities, wat in lijn ligt met de hogere NO_x-emissies in 2010. Tussen 2010 en 2013 neemt het aandeel van NO_y en SO_x af, terwijl dat van NH_x toeneemt. De depositieresultaten van 2013 zijn voorlopige cijfers.

Wanneer we de trend in de totale verzurende depositie bekijken, zien we een verschil tussen de trend gebaseerd op metingen en de trend op basis van het VLOPS-model. Bij de metingen zien we dalende deposities in 2013 ten opzichte van 2011, terwijl bij de VLOPS-data de deposities ongeveer gelijk blijven. Mogelijk wordt het verschil tussen de twee trends kleiner wanneer de emissies van 2013 beschikbaar zijn. Bijlage 6 geeft meer informatie over het model: over de koppeling met meteorologie en emissies in het model en over de kalibraties en de bijtellingen (van o.a. DON, HZ en OZ) in het model.



Figuur 51: Gemiddelde Vlaamse verzurende deposities in Vlaanderen in de periode 1990-2013, met als componenten stikstofoxiden, zwaveloxiden, gereduceerde N verbindingen, halogeenzuren en organische zuren.

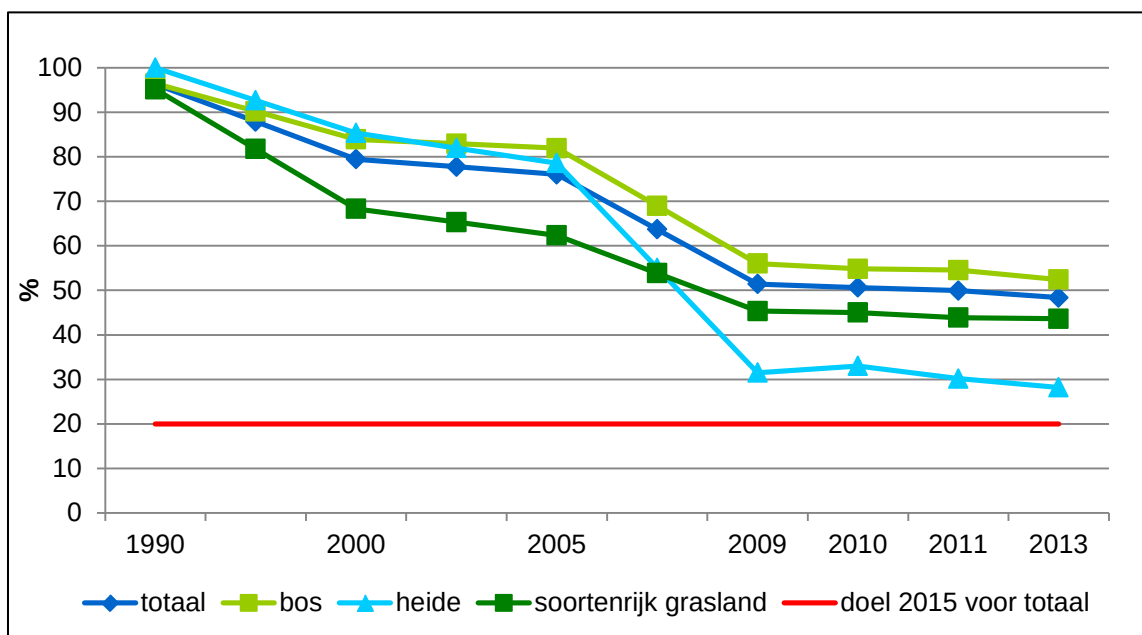
5.4.2 Kritische last

Zoals vermeld onder 5.1.2 werd de berekening van de kritische last verzuring dit jaar anders uitgevoerd. De resultaten verschillen dan ook sterk ten opzichte van de resultaten die getoond werden in het rapport over het meetjaar 2012.

5.4.2.1 Oppervlakte natuur met overschrijding kritische last verzuring

Per vegetatietype zijn de kritische lasten voor verzuring bepaald als schadedrempel voor de verzurende depositie. In Figuur 52 wordt de oppervlakte natuur met overschrijding van de kritische last voor verzuring getoond en uitgedrukt in percentage. Uit de figuur kunnen we vaststellen dat de totale oppervlakte natuur (bos, heide en soortenrijk grasland) in overschrijding daalt tot 2009. Het percentage in overschrijding in 2010 is hetzelfde als in 2009, namelijk 51%. Vanaf dan een daling van slechts 3% in 2013.

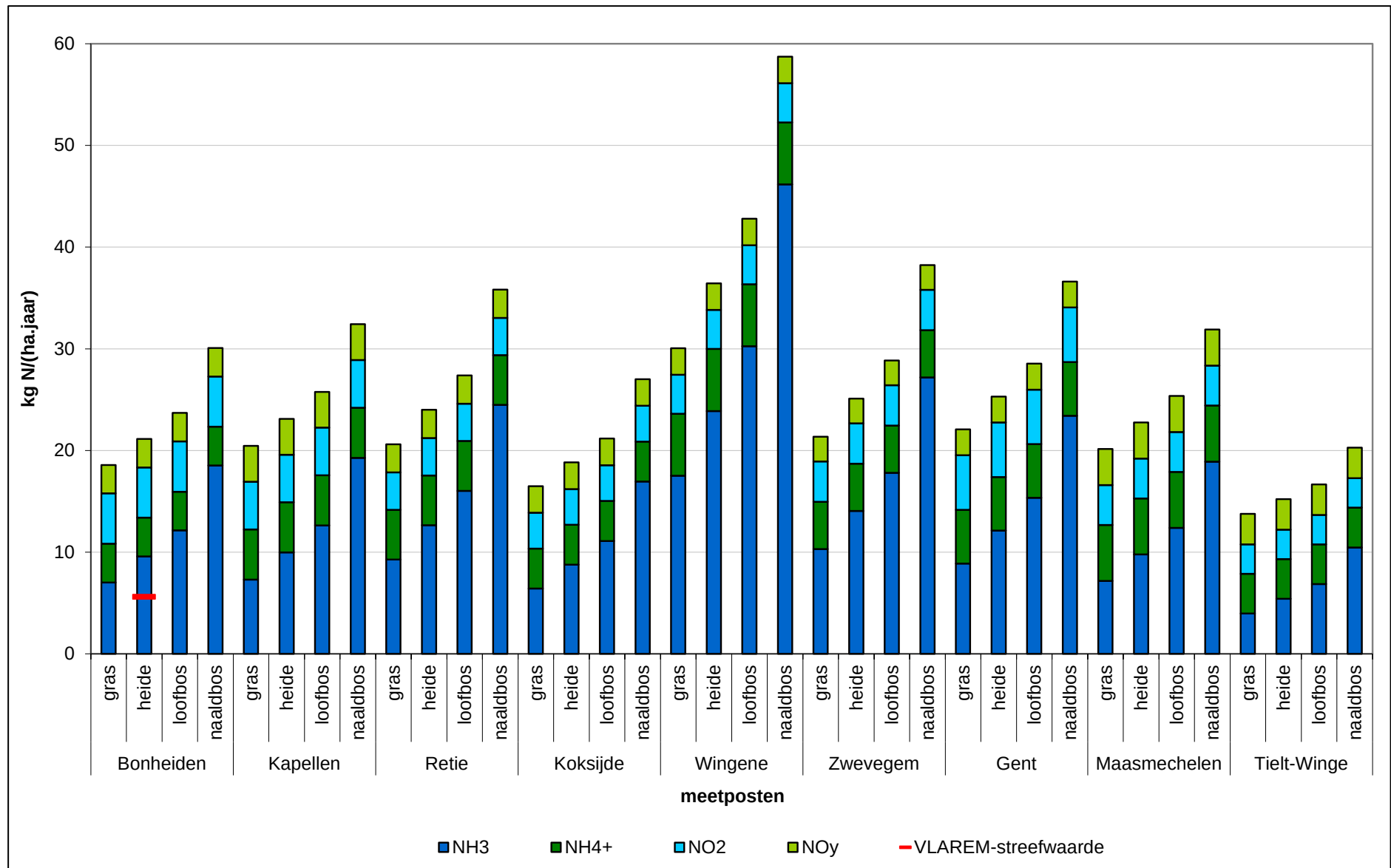
Er blijven dus nog extra inspanningen nodig voor de toekomst, zeker om de MINA 4-doelstellingen te behalen, namelijk het percentage oppervlakte natuur in Vlaanderen met overschrijding verzuring terugbrengen tot 20% tegen 2015.



Figuur 52: Oppervlakte natuur in Vlaanderen met overschrijding van de kritische last verzuring

5.4.3 Totaal vermestende depositie

Voor de totale vermestende depositie wordt er, in tegenstelling tot de verzurende, enkel gewerkt met de **stikstofcomponent**. De resultaten voor vermesting worden berekend uit zowel de natte depositiewaarden (NH_4^+ , NO_2^- en NO_3^-) als de droge depositiewaarden (NH_3 en NO_2).

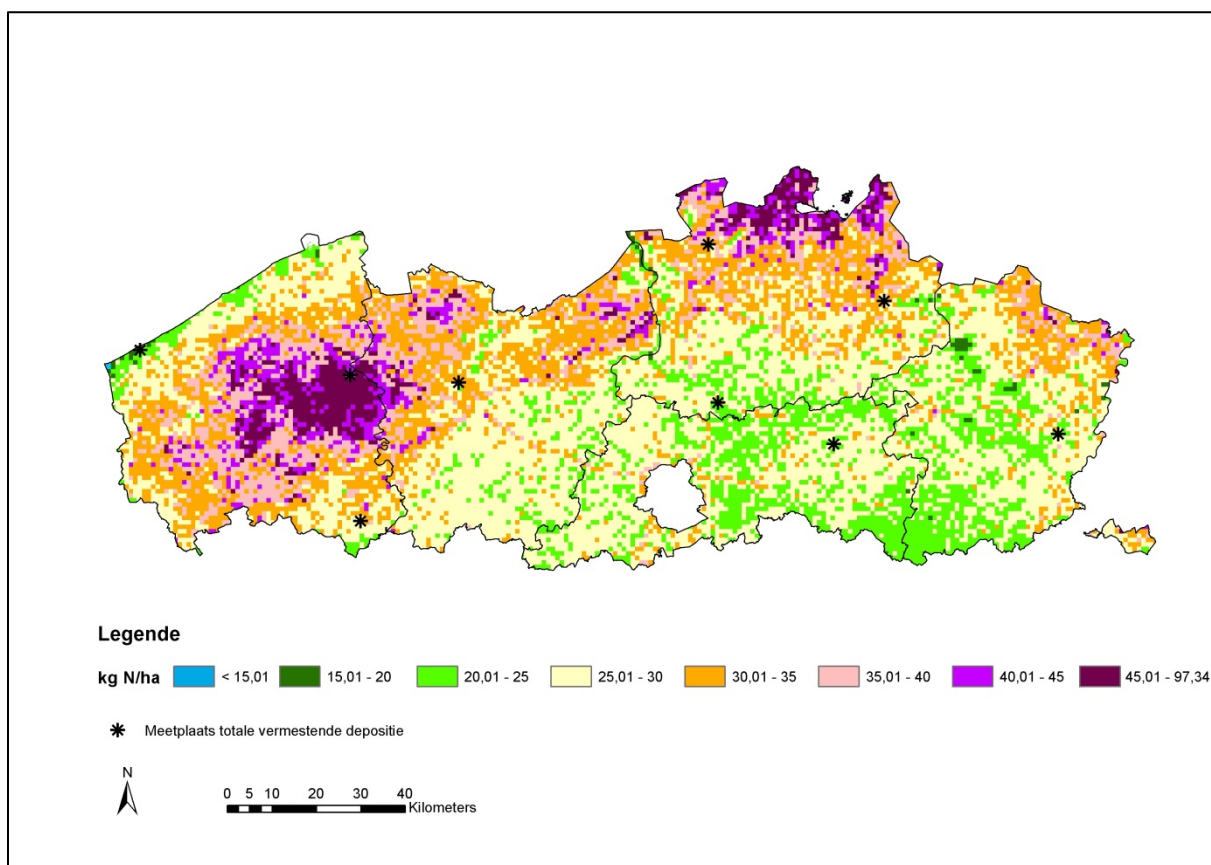


Figuur 53: Overzicht van de totale vermestende depositie in 2013

Figuur 53 toont de totale vermestende depositie, uitgedrukt in kg N/(ha.jaar) en dit voor de verschillende vegetatietypes. Ook hier merken we dat het grootste aandeel afkomstig is van de NH_x -component. In de figuur zijn de **VLAREM-streefwaarden** weergegeven als een rode lijn, overeenkomstig het vegetatietype. We zien duidelijk dat deze streefwaarden overschreden werden op alle meetposten, ook op deze met de laagste totale vermestende depositie namelijk Tielt-Winge. Meetpost Wingene valt met zijn hoge waarden eveneens op. In deze regio is er veel landbouw en intensieve veeteelt.

Figuur 54 toont de gemodelleerde geografische spreiding van de totale vermestende depositie over Vlaanderen. De totale vermestende depositie, berekend door het VLOPS-model, is de som van droge en natte deposities van NO_y , NH_x en organisch stikstof (*Dissolved Organic Nitrogen*). De natte NH_x -deposities die hierbij werden gebruikt, zijn gekalibreerd met de metingen. Uit onderstaande VLOPS-kaart kunnen we vaststellen dat de hoogste vermestende deposities voorkomen in het centrum van West-Vlaanderen en het noorden van de provincie Antwerpen. De samenstelling van de totaal vermestende depositie was als volgt:

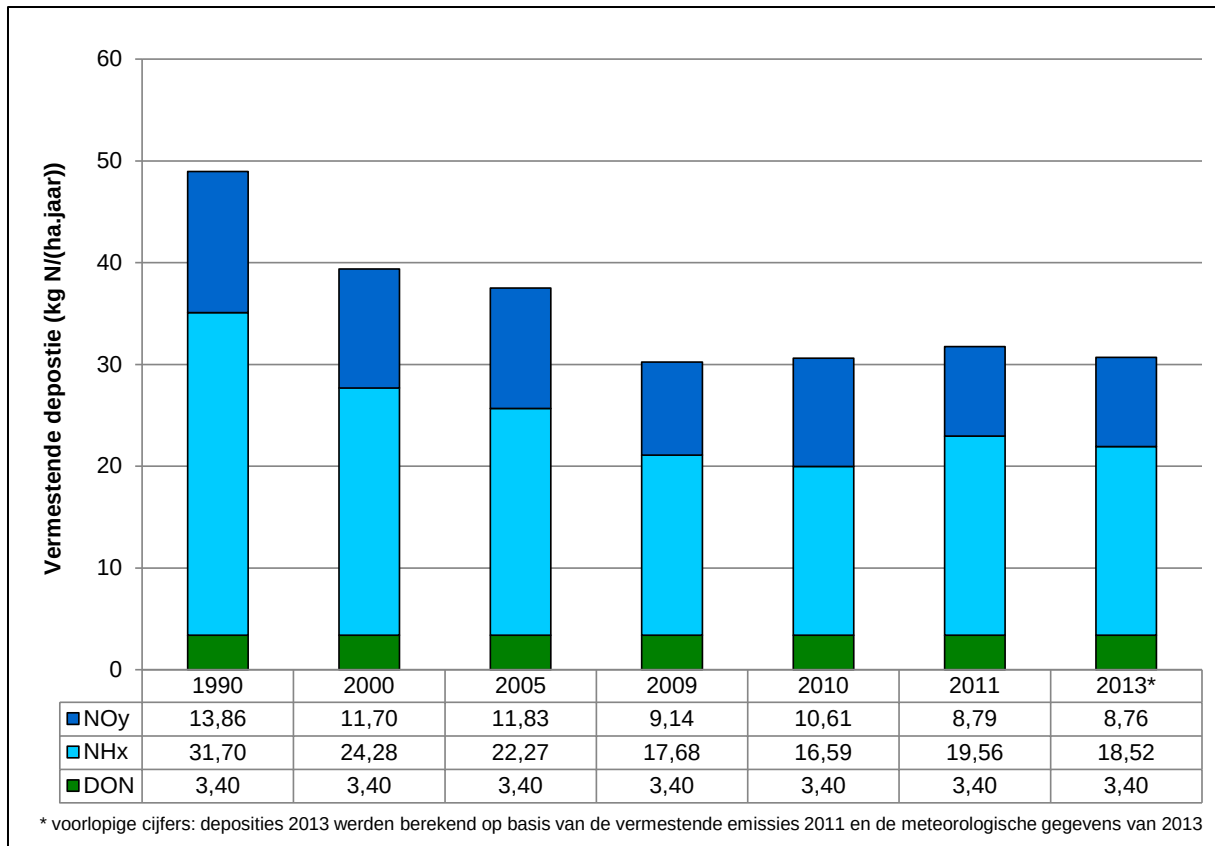
- NH_x : 60%;
- NO_y : 29%;
- DON: 11%.



Figuur 54: Gemodelleerde totale vermestende depositie in 2013 in Vlaanderen. 1x1 km² receptorenrooster

Ook hier merken we, ter hoogte van de meetpost Wingene, de overeenkomstige hoge vermestende depositie tussen het VLOPS-model en de metingen.

Het VLOPS-model berekende ook de gemiddelde Vlaamse vermestende depositie voor de jaren 1990, 2000, 2005, 2009, 2010, 2011 en 2013. Net zoals bij verzurende deposities is een dalende trend waar te nemen tot 2009. In 2011 zien we een lichte stijging van de totale vermestende deposities ten opzichte van 2010. Nadien blijven de gemodelleerde deposities vrijwel hetzelfde. Ook hier geldt de opmerking dat de waarden voor 2013 slechts voorlopige cijfers zijn.



Figuur 55: Gemiddelde Vlaamse vermestende deposities van NO_y en NH_x in de periode 1990-2013

5.4.4 Kritische last

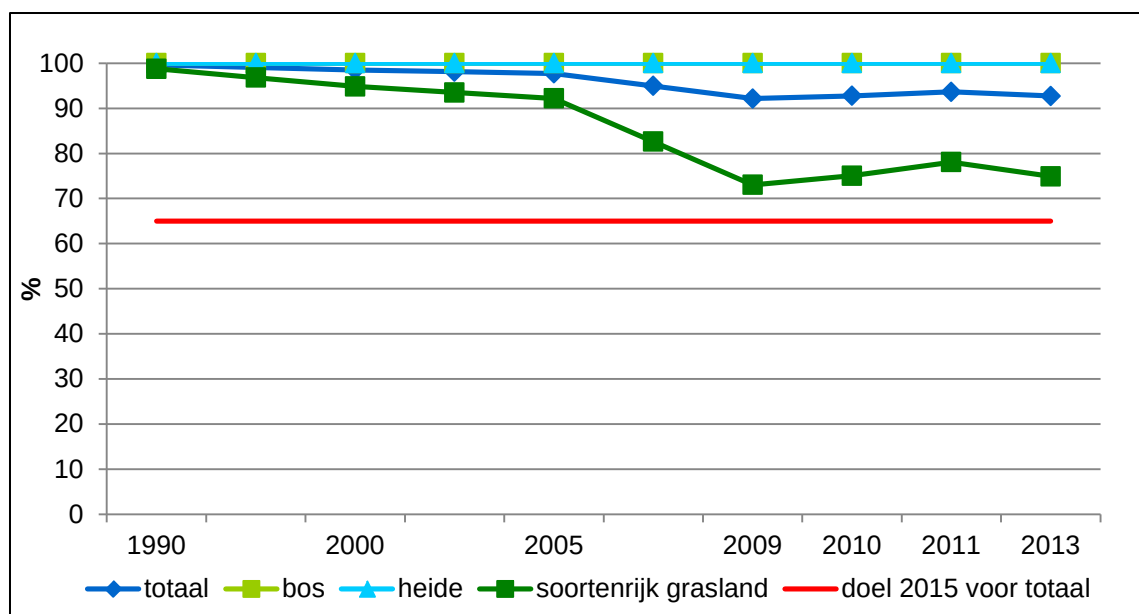
Zoals vermeld onder 5.1.2 werd de berekening van de kritische last vermesting dit jaar anders uitgevoerd. De resultaten verschillen dan ook sterk ten opzichte van de resultaten die getoond werden in het rapport over het meetjaar 2012.

5.4.4.1 Oppervlakte natuur met overschrijding kritische last vermesting

Figuur 56 toont de oppervlakte natuur met overschrijding van de kritische last voor vermesting, uitgedrukt in percentage. Tegen 2015 mag volgens het MINA-plan 4 (2011-2015) nog op 65% van de oppervlakte natuur in Vlaanderen overschrijding voorkomen. In 2009 werd op 92% van de Vlaamse oppervlakte natuur (bos, heide en soortenrijk grasland) de kritische last voor vermesting overschreden. In 2013 is dit zelfs 93%. We merken op dat er de laatste jaren eerder een stijging is dan een daling.

De langdurige overschrijding van de kritische last voor vermesting leidt tot een accumulatie van stikstof in de bodem, waarvan niet alle effecten gekend zijn. Hierdoor is vermesting een veel grotere bedreiging voor het behoud van de biodiversiteit dan verzuring.

Ook hier blijven inspanningen voor verdere emissiereducties noodzakelijk.



Figuur 56: Oppervlakte natuur in Vlaanderen met overschrijding van de kritische last vermesting

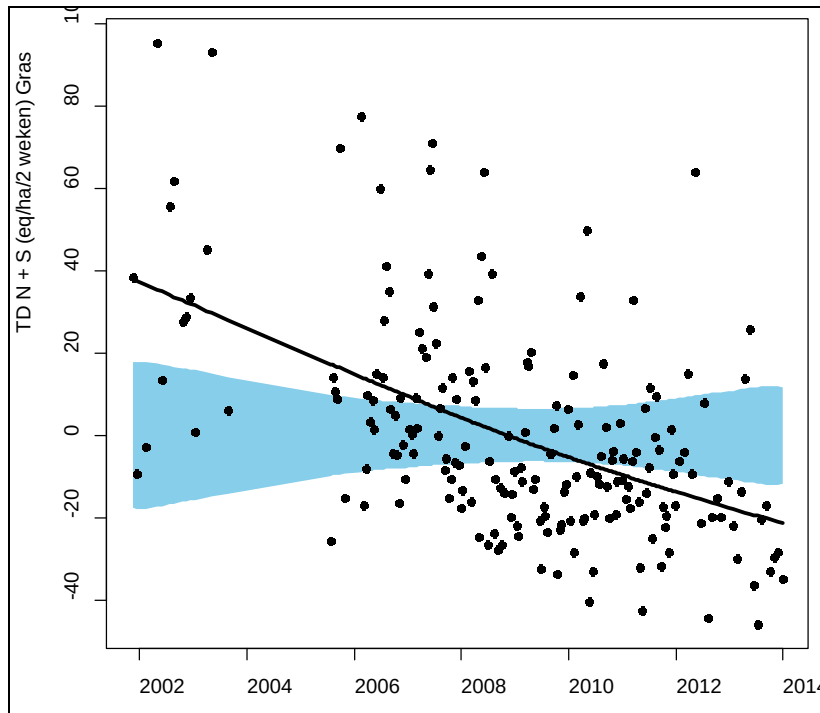
5.4.5 Trend

Wat de **trend van verzuring** betreft, is er een significante afname ($P < 0,05$) in de totale verzurende depositie van zwavel en stikstof in de **periode 2002-2013** voor alle meetplaatsen, behalve Maasmechelen (zie Bijlage 5: Trend in totale deposities). Voor Maasmechelen stijgt de depositie in de eerste helft van de jaren 2000 en neemt dan weer af. Figuur JS10 toont de geschatte niet-lineaire trend in de totale verzurende depositie op gras voor Retie.

Als we de trend lineair schatten, daalt de totale depositie voor het vegetatietype 'gras' jaarlijks met 44 ± 13 Zeq/(ha.jaar) in Tielt-Winge tot 125 ± 17 Zeq/(ha.jaar) in Retie. Voor de drie andere vegetatietypes daalt de depositie sterker dan voor gras omwille van de hogere depositiesnelheden (zie Bijlage 5: Trend in totale deposities).

Voor de negen meetposten samen en op basis van de jaarlijkse depositie (regionale Kendall-test), daalt de totale verzurende depositie op gras in de periode 2002-2013 jaarlijks gemiddeld met 109 Zeq/(ha.jaar) ($P < 0,001$).

Wanneer we de trend berekenen over de laatste vijf meetjaren, blijkt er in de **periode 2009-2013** maar op twee meetplaatsen een afname in de totale verzurende depositie: enkel in Gent ($P = 0,003$ voor gras) en Koksijde ($P = 0,02$ voor gras) is er een significante afname volgens de GAM-modellen. Voor de totale verzurende depositie op naaldbos is de afname in de laatste vijf jaar enkel betekenisvol in Gent. Voor de negen meetplaatsen samen (regionale Kendall-test) is er dan ook geen significante daling in de totale verzurende depositie tijdens de periode 2009-2013 ($P > 0,14$).

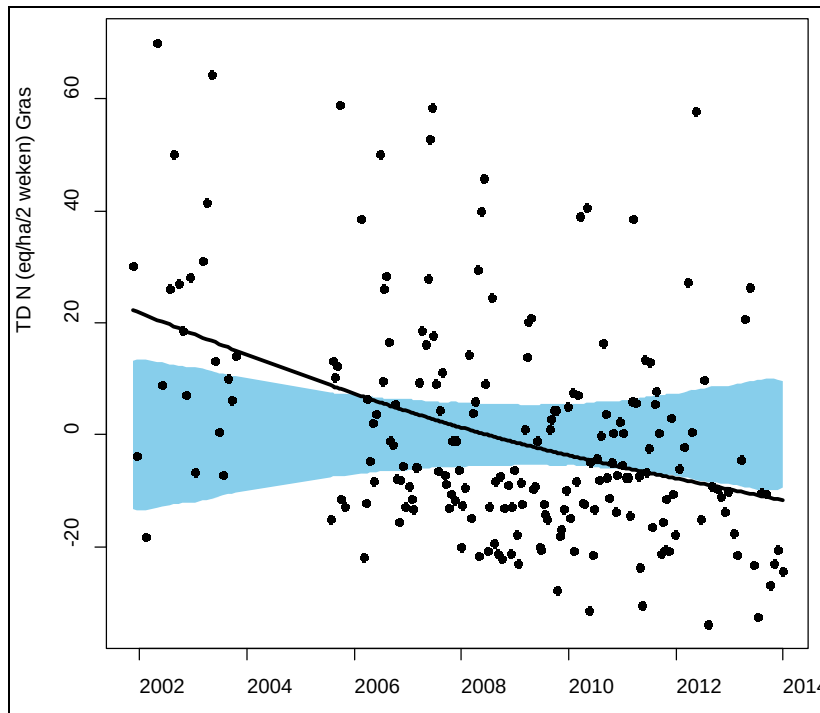


Figuur 57: Totale verzurende depositie van N en S in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P < 0,001$)

Wat betreft de **trend van vermesting**, kunnen we vaststellen dat de **N-depositie** significant ($P < 0,001$) daalt voor zeven van de negen meetplaatsen tijdens de **periode 2002-2013** (Bijlage 5: Trend in totale deposities). In Bonheiden en Maasmechelen neemt de N-depositie af, maar de veranderingen zijn te klein om statistisch betekenisvol te zijn. De daling in N-depositie kan niet steeds lineair benaderd worden volgens de F-testen. Figuur 58 toont de totale vermestende depositie van N in Retie.

Voor de andere meetplaatsen ligt de jaarlijkse afname in de vermestende depositie op gras tussen $0,54 \pm 0,18$ kg N/(ha.jaar) in Tielt-Winge en $1,23 \pm 0,23$ kg N/(ha.jaar) in Wingene. Voor alle meetplaatsen samen daalt de jaarlijkse N-depositie tussen 2002 en 2013 significant ($-0,76$ kg N/(ha.jaar) en $P = 0,004$ voor bijvoorbeeld gras).

Wanneer we de trend berekenen over de laatste vijf meetjaren, blijkt er in de **periode 2009-2013** echter op geen enkele meetplaats een afname in de totale vermestende depositie. Dat blijkt ook uit de regionale Kendall-test voor alle meetplaatsen samen ($P > 0,66$).



Figuur 58: Totale vermestende depositie van N in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P = 0,01$)

5.4.6 Conclusies totale depositie

Met uitzondering van Tielt-Winge geldt dat voor alle andere meetposten de bijdrage van totale droge depositie groter is dan deze van totale natte depositie.

Voor bijna alle meetposten was de totale verzurende depositie te hoog in 2013. Enkel voor Zwevegem en Tielt-Winge waren er deposities die onder de streefwaarden liggen. Wanneer we dan kijken naar de totale vermestende depositie stellen we vast dat de VLAREM-streefwaarden nergens werden gehaald.

De tijdreeksen voor verzurende en vermestende deposities geven aan dat er een daling was tot 2009, maar dat nadien de gemiddelde Vlaamse deposities vrijwel hetzelfde bleven.

De kritische lasten verzuring en vermesting geven aan, op basis van de nieuwe en betrouwbaardere berekeningswijze (zie 5.1.2), dat de doelstellingen voor 2015 voor de totale oppervlakte natuur in Vlaanderen overal ruim worden overschreden.

6 Besluit

Zowel in natte depositie als in droge depositie hebben stikstofcomponenten de bovenhand ten opzichte van zwavelcomponenten. Dit is het gevolg van emissiereducties van SO_2 in de voorbije decennia. De effecten van verzuring en vermesting overlappen voor een stuk. Zowel verzuring als vermesting veroorzaken schade aan gevoelige ecosystemen en vormen een bedreiging voor de biodiversiteit. Omwille van het grote aandeel stikstof in de totale depositie heeft vermesting aan belang gewonnen.

De concentratie van SO_2 bleef in 2013 overal ruimschoots onder $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de Europese norm voor bescherming van de vegetatie. Sinds 2002 nam de SO_2 -concentratie voor alle meetposten samen af met zo'n $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar. Voor de NH_3 -concentratie werd het kritieke niveau van $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gedefinieerd door de WGO overal gehaald. Onderzoek wijst echter uit dat hogere planten al schade kunnen ondervinden bij ammoniakconcentraties boven $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Wanneer deze drempelwaarde wordt gehanteerd voldoen slechts 7 van de 17 meetposten. De trend sinds 2002 is een jaarlijkse daling van ongeveer $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Een indicatieve toetsing van de berekende NO_x -concentraties aan de Europese norm geeft aan dat enkel in Gent de norm van $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werd overschreden. Voor de NO_2 -concentratie kon geen significante trend worden vastgesteld voor de periode 2002-2013.

Het aandeel droge depositie in de totale depositie was op alle meetposten hoger dan het aandeel natte depositie. Wanneer we de totale depositie toetsen aan de VLAREM-streefwaarden, zien we dat op de meerderheid van de meetposten de VLAREM-streefwaarden voor verzuring niet werden gehaald voor de verschillende vegetatietypes. Wat betreft de VLAREM-streefwaarden voor vermesting werd zelfs overal en voor alle vegetatietypes een overschrijding vastgesteld. Dit geeft aan dat bijkomende beleidsmaatregelen noodzakelijk zijn om kwetsbare ecosystemen in natuurgebieden te beschermen. In 2013 werd de kritische last voor verzuring overschreden op 48% van de totale oppervlakte natuur (bos, heide en soortenrijk grasland). De kritische last voor vermesting werd overschreden op 93% van de totale oppervlakte. De beleidsdoelstelling voor 2015, geformuleerd in het Milieubeleidsplan 2011-2015 (MINA 4), is een overschrijding van maximaal 20% van de oppervlakte natuur voor verzuring en 65% voor vermesting. Om gevoelige natuurgebieden te beschermen is een gebiedsgerichte benadering aangewezen. De Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) komt hieraan tegemoet.

Omdat NH_3 en NH_4^+ de belangrijkste polluenten zijn in respectievelijk droge depositie en natte depositie is het van belang dat de uitstoot van NH_3 prioritair wordt aangepakt. De NH_3 -uitstoot is vooral afkomstig van de landbouwsector. Een geïntegreerde aanpak, waarbij reductiedoelstellingen deel uitmaken van het landbouwbeleid, is nodig. Voor een daling in de uitstoot van stikstofoxiden (NO_x) zijn bijkomende inspanningen nodig in de sectoren transport en industrie. NH_3 , NO_x en SO_2 zijn, naast hun rol in verzuring, ook betrokken in de vorming van secundaire aerosolen. Beleid dat zich richt op verdere emissiereducties van deze drie stoffen kadert dus ook in de strijd tegen fijn stof.

BIJLAGEN

Bijlage 1: Informatie over geaccrediteerde metingen (normen ISO/IEC 17025:2005)

parameter	SAROADcode	eenheid	toesteltype bemonstering	meetprincipe analyse	volgens norm	meetonzekerheid	bepaling meet- onzekerheid	onder accreditatie	onderraaneming	uitbesteding
Ca ²⁺	69314	Zeq/ha	Wet only sampler	ICP-OES	ISO 11885:2007	7,00%	Nordtest methode	ja ²	ja	nee
Cl ⁻	69316	Zeq/ha	Wet only sampler	photospectrometrie		21,00%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja ¹	ja	nee
EC 25	69601		Wet only sampler	geleidbaarheidsmeter		11,70%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja ¹	ja	nee
K ⁺	69312	Zeq/ha	Wet only sampler	ICP-OES	ISO 11885:2007	14,20%	Nordtest methode	ja ²	ja	nee
Mg ²⁺	69313	Zeq/ha	Wet only sampler	ICP-OES	ISO 11885:2007	4,80%	Nordtest methode	ja ²	ja	nee
NH ₄ ⁺	69318	Zeq/ha	Wet only sampler	photospectrometrie		6,00%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja ¹	ja	nee
NO ₂ ⁻	69343	Zeq/ha	Wet only sampler	photospectrometrie		10,00%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja ¹	ja	nee
NO ₃ ⁻	69321	Zeq/ha	Wet only sampler	photospectrometrie		5,00%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja ¹	ja	nee
Na ⁺	69311	Zeq/ha	Wet only sampler	ICP-OES	ISO 11885:2007	5,20%	Nordtest methode	ja ²	ja	nee
SO ₄ ²⁺	69322	Zeq/ha	Wet only sampler	photospectrometrie		42,00%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja ¹	ja	nee

Volume	69301	Zeq/ha	Pluviograaf weegprincipe	gravimetrie	0,01 mm	Fabrikant Ott	ja ¹	ja	nee
PO ₄ ³⁻	69323	Zeq/ha	Wet only sampler	photospectrometrie	42,00%	$CV_{\text{tot}} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{\text{sup},i})^2}$	ja ¹	ja	nee
pH	69600		Wet only sampler	pH meter	5,00%	$CV_{\text{tot}} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{\text{sup},i})^2}$	ja ¹	ja	nee
NH ₃	42604	Zeq/ha	Passieve sampler	photospectrometrie	6,00%	$CV_{\text{tot}} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{\text{sup},i})^2}$	ja ¹	ja	nee
NO ₂	42602	Zeq/ha	Passieve sampler	IC	10%	Fabrikant IVL	ja ³	ja	nee
SO ₂	42401	Zeq/ha	Passieve sampler	IC	10%	Fabrikant IVL	ja ³	ja	nee

¹ : BELAC 163-TEST - VMM labo Gent² : BELAC 005-TEST - SGS Belgium NV³ : ATTEST ZWEDEN - SWEDAC ACKREDITERING 1213 ISO/IEC 17025

Bijlage 2: Depositiesnelheden

De depositiesnelheid die gebruikt wordt om de verzurende depositie te berekenen is een gemiddelde van verschillende literatuurwaarden. De spreiding van deze waarden is mee opgenomen in onderstaande tabel en is een belangrijke factor bij het berekenen van de onzekerheid op de meting. Een meer nauwkeurige bepaling van de depositiesnelheid kan de fout op de meting aanzienlijk doen dalen.

De depositiesnelheid van NO_2 is hetzelfde voor de vier vegetatietypes. Deze zijn lager dan de depositiesnelheden van NH_3 en SO_2 . Voor SO_2 blijkt de depositiesnelheid het hoogst voor heide, gevolgd door naaldbos, loofbos en gras, terwijl deze van NH_3 het hoogste is in naaldbos.

Tabel 4: Depositiesnelheid per pollutant en vegetatietype (cm/s)

	SO_2	NO_2	NH_3
Gras	$0,9 \pm 0,6$	$0,25 \pm 0,15$	$1,1 \pm 0,4$
Heide	$1,2 \pm 0,4$	$0,25 \pm 0,15$	$1,5 \pm 0,7$
Loofbos	$0,9 \pm 0,6$	$0,25 \pm 0,15$	$1,9 \pm 1,1$
Naaldbos	$1,0 \pm 0,7$	$0,25 \pm 0,15$	$2,9 \pm 0,9$

Bijlage 3: Trend in natte depositie

Tabel B1: Trend in de natte depositie van NH_4^+ , NO_3^- en SO_4^{2-} (Zeq/(ha.jaar)) voor drie verschillende periodes: 2002-2012, 2002-2013 en 2009-2013

Gemiddeldes $\pm$ standaardafwijking van de trends zijn bepaald via GAM-modellen met een lineair veronderstelde trendfactor, die opgesteld zijn op basis van de twee- of vierwekelijkse metingen. Significantieniveaus: (*) $P < 0,1$; * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ en *** $P < 0,001$.

2002-2012

Meetplaats	NH_4^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Totaal
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	$-19,6 \pm 3,6$ ***	$-32,5 \pm 11,9$ **
Gent	Geen trend	Geen trend	$-18,8 \pm 3,8$ ***	Geen trend
Kapellen	Geen trend	Geen trend	$-23,1 \pm 4,8$ ***	$-31,9 \pm 12,4$ *
Koksijde	Geen trend	Geen trend	$-13,5 \pm 4,4$ **	Geen trend
Maasmechelen	Geen trend	$-8,0 \pm 3,8$ *	$-17,3 \pm 3,5$ ***	$-27,6 \pm 12,3$ *
Retie	$-11,9 \pm 6,6$ (*)	$-8,5 \pm 3,2$ **	$-23,0 \pm 3,6$ ***	$-43,3 \pm 12,6$ **
Tielt-Winge	Geen trend	$-5,8 \pm 2,8$ *	$-15,9 \pm 2,3$ ***	$-26,0 \pm 8,7$ **
Wingene	Geen trend	$-6,0 \pm 2,9$ *	$-20,8 \pm 3,6$ ***	$-34,6 \pm 11,2$ **
Zwevegem	Geen trend	$-6,6 \pm 3,0$ *	$-18,7 \pm 3,1$ ***	$-31,8 \pm 10,4$ **

2002-2013

Meetplaats	NH_4^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Totaal
Bonheiden	Geen trend	$-6,3 \pm 3,0$ *	$-18,1 \pm 3,1$ ***	$-33,1 \pm 10,0$ ***
Gent	Geen trend	Geen trend	$-19,2 \pm 3,3$ ***	$-25,8 \pm 10,2$ *
Kapellen	Geen trend	Geen trend	$-23,8 \pm 4,1$ ***	$-35,8 \pm 10,6$ ***
Koksijde	Geen trend	Geen trend	$-12,5 \pm 3,8$ **	Geen trend
Maasmechelen	Geen trend	$-6,6 \pm 3,2$ *	$-16,1 \pm 3,0$ ***	$-24,8 \pm 10,4$ *
Retie	$-13,3 \pm 5,6$ *	$-8,2 \pm 2,8$ **	$-22,7 \pm 3,0$ ***	$-44,2 \pm 10,8$ ***
Tielt-Winge	Geen trend	Geen trend	$-15,3 \pm 2,0$ ***	$-26,1 \pm 7,5$ ***
Wingene	$-10,2 \pm 4,7$ *	$-6,6 \pm 2,5$ **	$-20,3 \pm 3,1$ ***	$-35,8 \pm 9,7$ ***
Zwevegem	Geen trend	$-6,1 \pm 2,5$ *	$-17,9 \pm 2,6$ ***	$-30,9 \pm 8,9$ ***

2009-2013

Meetplaats	NH_4^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Totaal
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Gent	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Kapellen	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Koksijde	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Maasmechelen	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Retie	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Tielt-Winge	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Wingene	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Zwevegem	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend

Bijlage 4: Trend in luchtconcentraties

Tabel B2: Trend in de luchtconcentratie van NH_3 , NO_2 en SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) voor drie verschillende periodes: 2002-2012, 2002-2013 en 2009-2013

Gemiddeldes $\pm$ standaardafwijking van de trends zijn bepaald via GAM-modellen met een lineair veronderstelde trendfactor, die opgesteld zijn op basis van de twee- of vierwekelijkse metingen. Significantieniveaus: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ en *** $P < 0,001$. Haakjes wijzen op een niet-lineaire trend volgens een benaderende F-test.

2002-2012

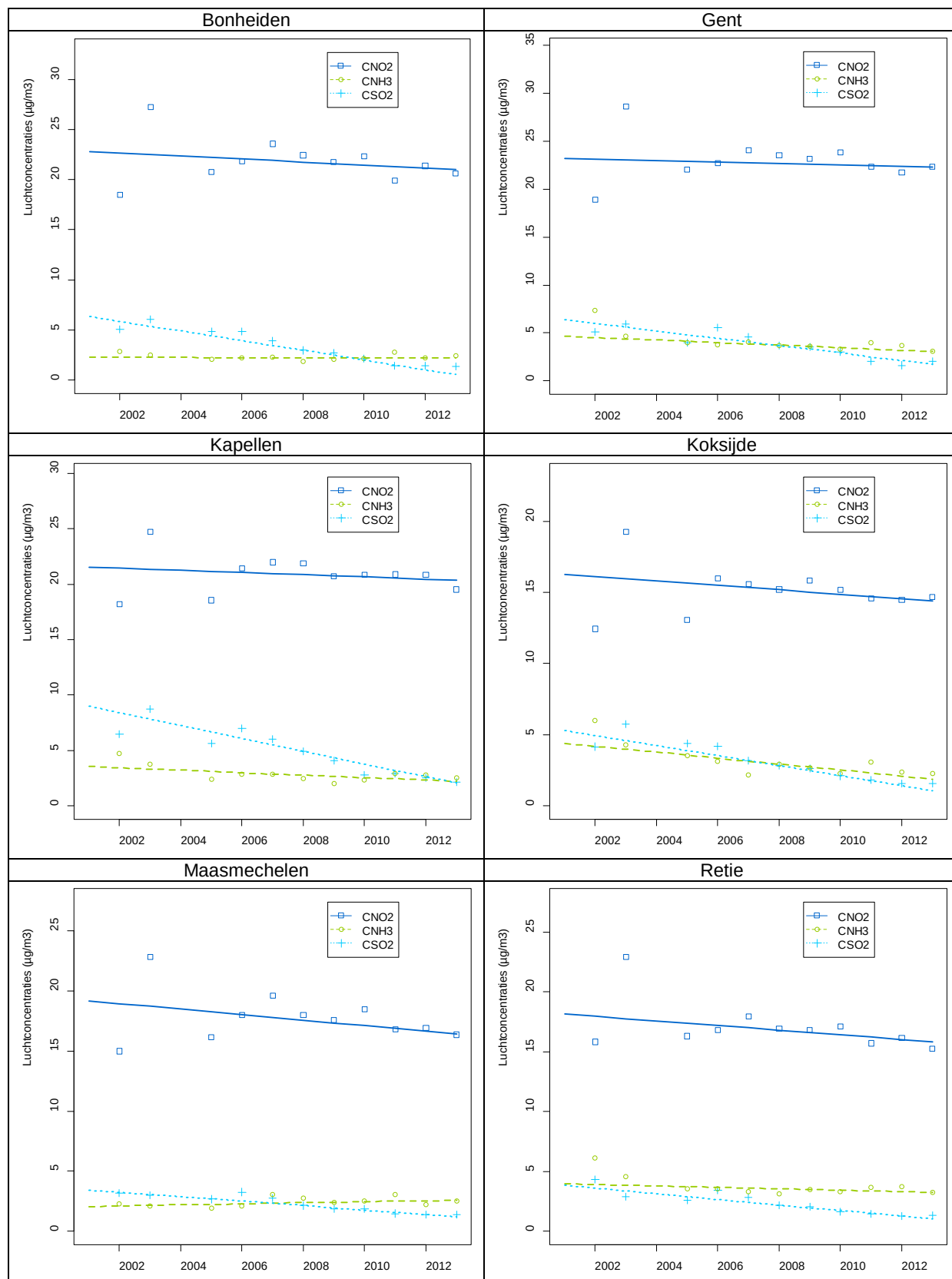
Meetplaats	NH_3	NO_2	SO_2
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	$(-0,43 \pm 0,05)$ ***
Gent	$(-0,26 \pm 0,06)$ ***	Geen trend	$(-0,37 \pm 0,06)$ ***
Kapellen	$(-0,16 \pm 0,06)$ *	Geen trend	$(-0,49 \pm 0,06)$ ***
Koksijde	$(-0,24 \pm 0,05)$ ***	Geen trend	$(-0,33 \pm 0,04)$ ***
Maasmechelen	Geen trend	Geen trend	$(-0,17 \pm 0,03)$ ***
Retie	$(-0,20 \pm 0,07)$ **	Geen trend	$(-0,23 \pm 0,03)$ ***
Tielt-Winge	$(-0,14 \pm 0,05)$ **	Geen trend	$(-0,08 \pm 0,02)$ ***
Wingene	$(-0,36 \pm 0,09)$ ***	Geen trend	$(-0,16 \pm 0,03)$ ***
Zwevegem	$(-0,44 \pm 0,10)$ ***	Geen trend	$(-0,28 \pm 0,03)$ ***

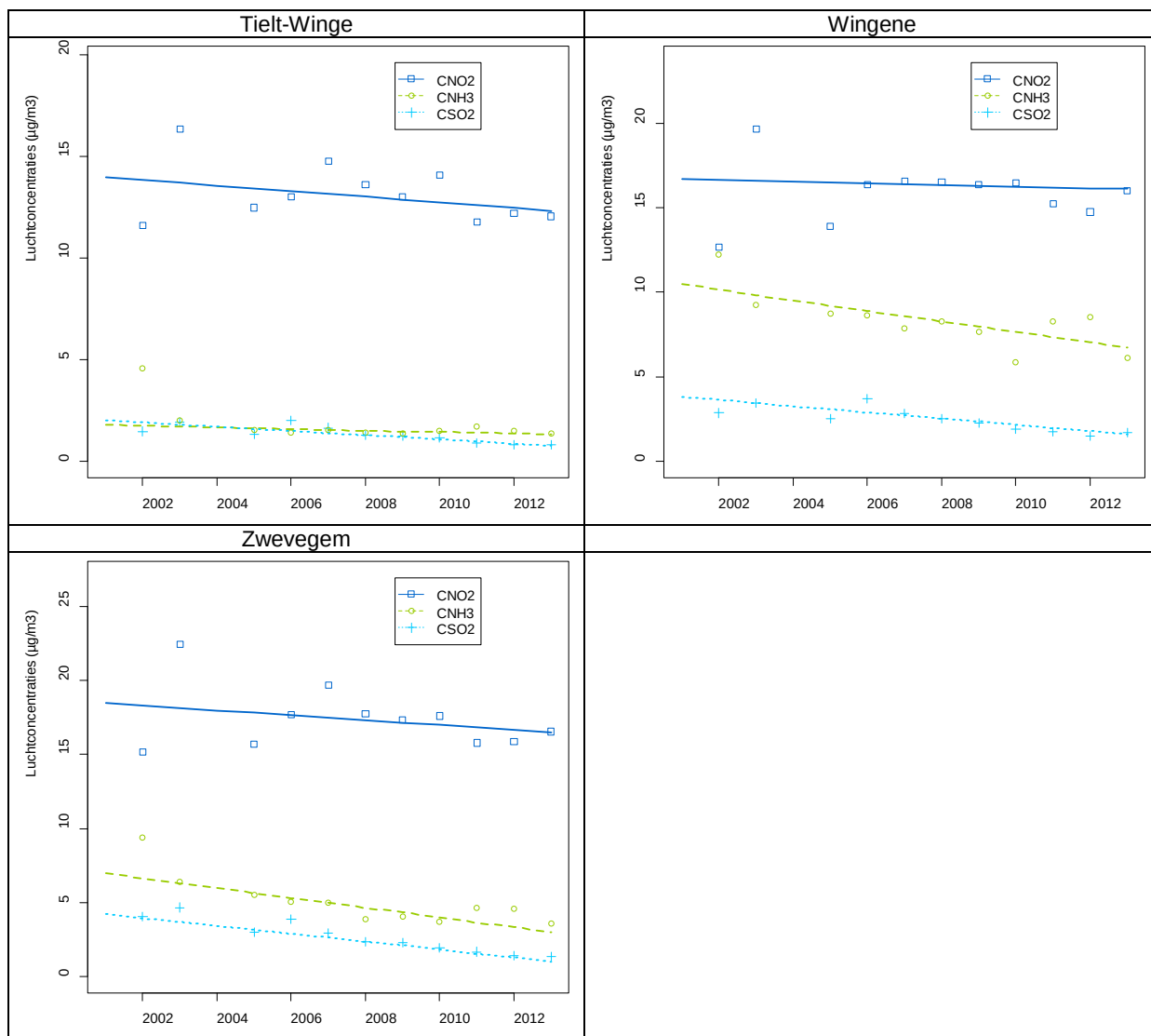
2002-2013

Meetplaats	NH_3	NO_2	SO_2
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	$(-0,42 \pm 0,04)$ ***
Gent	$(-0,24 \pm 0,05)$ ***	Geen trend	$(-0,36 \pm 0,06)$ ***
Kapellen	$(-0,14 \pm 0,05)$ *	Geen trend	$(-0,50 \pm 0,06)$ ***
Koksijde	$(-0,22 \pm 0,05)$ ***	Geen trend	$(-0,32 \pm 0,04)$ ***
Maasmechelen	Geen trend	Geen trend	$(-0,16 \pm 0,03)$ ***
Retie	$(-0,18 \pm 0,06)$ **	Geen trend	$(-0,23 \pm 0,03)$ ***
Tielt-Winge	$(-0,13 \pm 0,04)$ **	Geen trend	$(-0,09 \pm 0,02)$ ***
Wingene	$(-0,37 \pm 0,08)$ ***	Geen trend	$(-0,15 \pm 0,03)$ ***
Zwevegem	$(-0,41 \pm 0,09)$ ***	Geen trend	$(-0,27 \pm 0,03)$ ***

2009-2013

Meetplaats	NH_3	NO_2	SO_2
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	$-0,37 \pm 0,07$ ***
Gent	Geen trend	Geen trend	$-0,48 \pm 0,09$ ***
Kapellen	Geen trend	Geen trend	$(-0,42 \pm 0,07)$ ***
Koksijde	Geen trend	Geen trend	$-0,31 \pm 0,05$ ***
Maasmechelen	Geen trend	Geen trend	$-0,18 \pm 0,04$ ***
Retie	Geen trend	Geen trend	$-0,21 \pm 0,04$ ***
Tielt-Winge	Geen trend	Geen trend	$-0,14 \pm 0,04$ ***
Wingene	Geen trend	Geen trend	$-0,18 \pm 0,04$ ***
Zwevegem	Geen trend	Geen trend	$-0,26 \pm 0,04$ ***





Figuur 59: Jaargemiddelde luchtconcentratie van NH₃, NO₂ en SO₂ (µg/m³) voor elk van de negen meetposten die sinds 2002 in gebruik zijn. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijnen zijn niet-parametrische regressielijnen volgens een Kendall-test

Bijlage 5: Trend in totale deposities

Tabel B3: Trend in totale verzurende depositie (Zeq/(ha.jaar)) per vegetatietype (gras, heide, loofbos en naaldbos) voor drie verschillende periodes: 2002-2012, 2002-2013 en 2009-2013

Gemiddeldes $\pm$ standaardafwijking van de trends zijn bepaald via GAM-modellen met een lineair veronderstelde trendfactor, die opgesteld zijn op basis van de twee- of vierwekelijkse metingen. Significantieniveaus: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ en *** $P < 0,001$. Haakjes wijzen op een niet-lineaire trend volgens een benaderende F-test.

2002-2012

Meetplaats	Gras		Heide		Loofbos		Naaldbos	
Bonheiden	-55 $\pm$ 20	**	-71 $\pm$ 21	**	-56 $\pm$ 22	*	-62 $\pm$ 28	*
Gent	-101 $\pm$ 18	***	-132 $\pm$ 21	***	-141 $\pm$ 23	***	(-194 $\pm$ 33)	***
Kapellen	-113 $\pm$ 21	***	-136 $\pm$ 24	***	-126 $\pm$ 28	***	-147 $\pm$ 39	***
Koksijde	-73 $\pm$ 16	***	-95 $\pm$ 19	***	-96 $\pm$ 23	***	-128 $\pm$ 33	***
Maasmechelen	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	
Retie	-126 $\pm$ 19	***	(-147 $\pm$ 22)	***	(-151 $\pm$ 25)	***	(-185 $\pm$ 36)	***
Tielt-Winge	-40 $\pm$ 15	**	-47 $\pm$ 15	**	-48 $\pm$ 17	**	-59 $\pm$ 21	**
Wingene	-101 $\pm$ 19	***	(-129 $\pm$ 24)	***	(-149 $\pm$ 30)	***	(-211 $\pm$ 46)	***
Zwevegem	(-130 $\pm$ 23)	***	(-170 $\pm$ 30)	***	(-192 $\pm$ 36)	***	(-273 $\pm$ 54)	***

2002-2013

Meetplaats	Gras		Heide		Loofbos		Naaldbos	
Bonheiden	-63 $\pm$ 17	***	-77 $\pm$ 19	***	-63 $\pm$ 20	**	-68 $\pm$ 25	**
Gent	-110 $\pm$ 16	***	-139 $\pm$ 19	***	-147 $\pm$ 21	***	(-197 $\pm$ 29)	***
Kapellen	-119 $\pm$ 19	***	-141 $\pm$ 21	***	-129 $\pm$ 24	***	-147 $\pm$ 34	***
Koksijde	-77 $\pm$ 15	***	-98 $\pm$ 17	***	-100 $\pm$ 20	***	-132 $\pm$ 30	***
Maasmechelen	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	
Retie	-125 $\pm$ 17	***	(-144 $\pm$ 20)	***	(-148 $\pm$ 23)	***	(-178 $\pm$ 32)	***
Tielt-Winge	-44 $\pm$ 13	***	-51 $\pm$ 14	***	-51 $\pm$ 15	***	-62 $\pm$ 19	***
Wingene	-109 $\pm$ 17	***	-138 $\pm$ 22	***	-158 $\pm$ 27	***	(-221 $\pm$ 41)	***
Zwevegem	-128 $\pm$ 21	***	(-165 $\pm$ 26)	***	(-185 $\pm$ 32)	***	(-260 $\pm$ 48)	***

2009 tot 2013

Meetplaats	Gras		Heide		Loofbos		Naaldbos	
Bonheiden	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	
Gent	-123 $\pm$ 41	**	-147 $\pm$ 47	**	-138 $\pm$ 54	*	-162 $\pm$ 79	*
Kapellen	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	
Koksijde	-72 $\pm$ 30	*	-89 $\pm$ 36	*	-86 $\pm$ 43	*	Geen trend	
Maasmechelen	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	
Retie	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	
Tielt-Winge	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	
Wingene	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	
Zwevegem	Geen trend		Geen trend		Geen trend		Geen trend	

Tabel B4: Trend in totale vermestende depositie (kg N/(ha.jaar)) per vegetatietype (gras, heide, loofbos en naaldbos) voor drie verschillende periodes: 2002-2012, 2002-2013 en 2009-2013

Gemiddeldes $\pm$ standaardafwijking van de trends zijn bepaald via GAM-modellen met een lineair veronderstelde trendfactor, die opgesteld zijn op basis van de twee- of vierwekelijkse metingen. Significantieniveaus: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ en *** $P < 0,001$. Haakjes wijzen op een niet-lineaire trend volgens een benaderende F-test.

2002 tot 2012

Meetplaats	Gras	Heide	Loofbos	Naaldbos
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Gent	$-0,72 \pm 0,20$ ***	$-1 \pm 0,24$ ***	$(-1,28 \pm 0,29)$ ***	$(-1,97 \pm 0,43)$ ***
Kapellen	$-0,50 \pm 0,23$ *	$-0,62 \pm 0,28$ *	$-0,73 \pm 0,34$ *	$-1,02 \pm 0,51$ *
Koksijde	$-0,60 \pm 0,17$ ***	$-0,83 \pm 0,22$ ***	$-1,05 \pm 0,27$ ***	$-1,61 \pm 0,40$ ***
Maasmechelen	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Retie	$(-0,97 \pm 0,22)$ ***	$(-1,16 \pm 0,27)$ ***	$(-1,35 \pm 0,32)$ ***	$(-1,83 \pm 0,48)$ ***
Tielt-Winge	$-0,54 \pm 0,19$ **	$-0,68 \pm 0,23$ **	$(-0,83 \pm 0,28)$ **	$(-1,18 \pm 0,40)$ **
Wingene	$(-1,16 \pm 0,26)$ ***	$(-1,53 \pm 0,34)$ ***	$(-1,91 \pm 0,42)$ ***	$(-2,86 \pm 0,64)$ ***
Zwevegem	$(-1,35 \pm 0,29)$ ***	$(-1,79 \pm 0,38)$ ***	$(-2,23 \pm 0,47)$ ***	$(-3,32 \pm 0,71)$ ***

2002 tot 2013

Meetplaats	Gras	Heide	Loofbos	Naaldbos
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Gent	$-0,81 \pm 0,18$ ***	$-1,07 \pm 0,22$ ***	$-1,33 \pm 0,26$ ***	$(-1,99 \pm 0,39)$ ***
Kapellen	$-0,56 \pm 0,20$ **	$-0,66 \pm 0,25$ **	$-0,75 \pm 0,31$ *	$-0,99 \pm 0,45$ *
Koksijde	$-0,63 \pm 0,16$ ***	$-0,84 \pm 0,20$ ***	$-1,05 \pm 0,24$ ***	$-1,59 \pm 0,36$ ***
Maasmechelen	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Retie	$-0,98 \pm 0,20$ ***	$(-1,15 \pm 0,24)$ ***	$(-1,32 \pm 0,29)$ ***	$(-1,75 \pm 0,43)$ ***
Tielt-Winge	$-0,54 \pm 0,18$ **	$-0,67 \pm 0,21$ **	$(-0,8 \pm 0,25)$ **	$(-1,11 \pm 0,36)$ **
Wingene	$(-1,23 \pm 0,23)$ ***	$(-1,61 \pm 0,30)$ ***	$(-1,99 \pm 0,38)$ ***	$(-2,94 \pm 0,58)$ ***
Zwevegem	$(-1,32 \pm 0,26)$ ***	$(-1,73 \pm 0,34)$ ***	$(-2,13 \pm 0,42)$ ***	$(-3,15 \pm 0,64)$ ***

2009 tot 2013

Meetplaats	Gras	Heide	Loofbos	Naaldbos
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Gent	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Kapellen	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Koksijde	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Maasmechelen	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Retie	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Tielt-Winge	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Wingene	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend
Zwevegem	Geen trend	Geen trend	Geen trend	Geen trend

Bijlage 6: Het Vlaams operationeel prioritair stoffen-model

Inleiding

Naast het tonen van meetresultaten op de meetpunten in Vlaanderen, is het ook mogelijk om de verspreiding van de verzurende en vermestende depositie te berekenen met een atmosferisch transport- en dispersiemodel. Zo'n model heeft als voordeel de situatie voor heel Vlaanderen in kaart te kunnen brengen in plaats van enkel voor een aantal meetlocaties.

Het VLOPS-model wordt gebruikt om onder andere de concentraties en deposities van verzurende en vermestende stoffen in kaart te brengen. Het VLOPS-model staat voor Vlaamse versie Operationeel Prioritaire Stoffenmodel en berekent jaargemiddelde concentraties en deposities op basis van emissiegegevens en de jaarlijkse meteogegevens.

De emissiegegevens worden aangeleverd door bedrijven of zijn gebaseerd op ramingen en/of emissiemodellen (bijvoorbeeld verkeer). De meteogegevens zijn afkomstig van meteomasten. Na bijtelling en kalibratie met meetgegevens, zet GIS-software de resultaten om tot kaartmateriaal.

Voorstelling van het model

Het VLOPS-model is een atmosferisch transport- en dispersiemodel dat de verspreiding en depositie van verzurende en vermestende bestanddelen en onder meer zware metalen op lokale, maar vooral op regionale schaal modelleert. Het model werd oorspronkelijk ontwikkeld onder de naam OPS door het Nederlandse Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)²⁰. De VITO werkte dit in opdracht van de VMM verder uit voor Vlaanderen.

Het VLOPS-model berekent concentraties en deposities uitgaande van:

- emissiegegevens van puntbronnen en oppervlaktebronnen;
- een meteorologische statistiek;
- gegevens over het receptorgebied.

In de huidige versie zijn de Vlaamse emissiegegevens gebaseerd op de meest recente cijfers van de Emissie-Inventaris Lucht van de VMM²¹. De gegevens voor bronnen buiten Vlaanderen zijn afkomstig van de EMEP- en CORINAIR-emissie-inventaris en worden gespreid met de emissie-preprocessor E-MAP²². De emissies worden opgedeeld in 45 sectoren voor Vlaanderen en 10 sectoren buiten Vlaanderen²³.

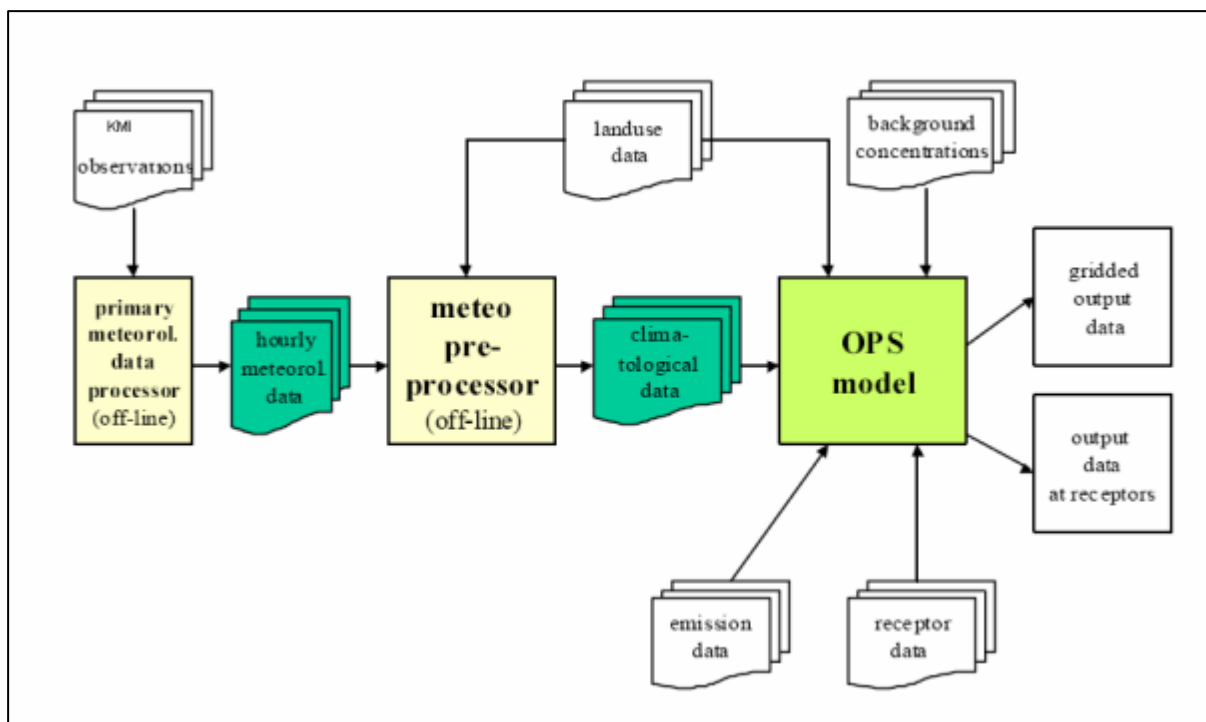
De gebruiker bepaalt voor welke receptoren de berekeningen gebeuren. Meestal is dit voor heel Vlaanderen, met een ruimtelijke resolutie van 1x1 km². Het VLOPS kan ook rekenen voor een door de gebruiker ingegeven lijst van puntlocaties. Zo is het mogelijk om de meetresultaten van het meetnet te vergelijken met VLOPS-berekeningen. Onderstaande figuur geeft een gedetailleerd schema van de gegevensstructuur rond het OPS-model.

²⁰ Van jaarsveld, J.A. et al., 2012. Description of OPS 4.3.15, RIVM. Bilthoven Nederland

²¹ VMM (2014), Lozingen in de lucht 1990-2013

²² Maes, J. et al. 2008. Nieuw concept voor de emissieprocessor van BelEUROS (E-map), VITO-rapport n° 2008/IMS/R/217

²³ Veldeman, N. et al., 2011. Herwerken van de Vlaamse emissiedataset volgens de nieuwe sectorindeling en de nieuwe spreidingspatronen. Eindrapport. VITO, Mol



Voor wie meer wil weten...

Het OPS-model is een analytisch model dat voor de lokale schaal gebruik maakt van de Gaussische dispersieformule. Voor transport over grotere afstand werkt het model als een Lagrangiaans trajectoriemodel. Dit model verrekent alle fysico-chemische processen tijdens het transport in een assenstelsel dat meereist met de emissie. Een Euleriaans transportmodel daarentegen verrekent al die processen in een assenstelsel dat vastligt aan het modeldomein, wat de beschrijving van die processen moeilijker maakt omwille van het transport.

Het model maakt gebruik van een statistisch klimatologisch bestand dat wordt aangemaakt op basis van enkele actuele meteorologische waarnemingen afkomstig van meteomasten (uurlijks gemeten waarden voor windrichting en windsnelheid, globale straling, temperatuur, relatieve vochtigheid, neerslagduur en neerslaghoeveelheid) en is statistisch in de zin dat voorkomende verspreidingssituaties vooraf in een preprocessor worden verdeeld over een aantal klassen (transportrichting, atmosferische stabiliteit, transportschaal) waarbij de bijbehorende verspreidingsparameters worden bepaald aan de hand van de eigenschappen van alle trajectorieën die binnen de klasse vallen. In de meteostatistiek wordt onderscheid gemaakt tussen zes verschillende stabiliteitsklassen met elk hun eigen menglaaghoogteverdeling. Verdere invoergegevens hebben betrekking op de receptoren (coördinaten, ruwheidslengte, landgebruik) en op de emissiebronnen (coördinaten, emissiesterkte, hoogte, warmte-inhoud, horizontale afmeting indien oppervlaktebron, dagverloop en deeltjesgrootteverdeling)

De chemische omzettingen worden beschreven met lineaire eerste orde vergelijkingen. De droge depositie wordt beschreven aan de hand van een hoogteonafhankelijke depositieflux. Deze wordt afgeleid uit de verticale depositiesnelheid op een bepaalde hoogte (50 meter) en de concentratie aan het oppervlak. Bij de berekening van de natte depositie worden twee processen onderscheiden: uitwassen en uitregenen. De natte depositie bij uitwassing wordt gemodelleerd met behulp van een uitwassingscoëfficiënt. Uitregenen gebeurt nadat de pluim de wolk is binnengedrongen en dus op grotere afstanden van de bron. Dit wordt ook gemodelleerd met behulp van een coëfficiënt. Een gedetailleerde beschrijving van het programma vindt u in de voetnoot²⁴.

Een verdere beschrijving van het OPS-model is te vinden op: <http://www.mnp.nl/ops/model/>

Upgrade naar VLOPS.14

De voor dit rapport gebruikte modelversie bevat een aantal verbeteringen ten opzichte van VLOPS.13:

- Nieuwe landgebruiks- en ruwheidskaarten op basis van de INBO 10x10m. landgebruikskaart NARA 2013. Door een beter onderscheid tussen gebouwen en open ruimte nabij bebouwing kon de ruwheidslengte van de klasse 'bebouwing' correcter ingeschat worden. Hierdoor daalt

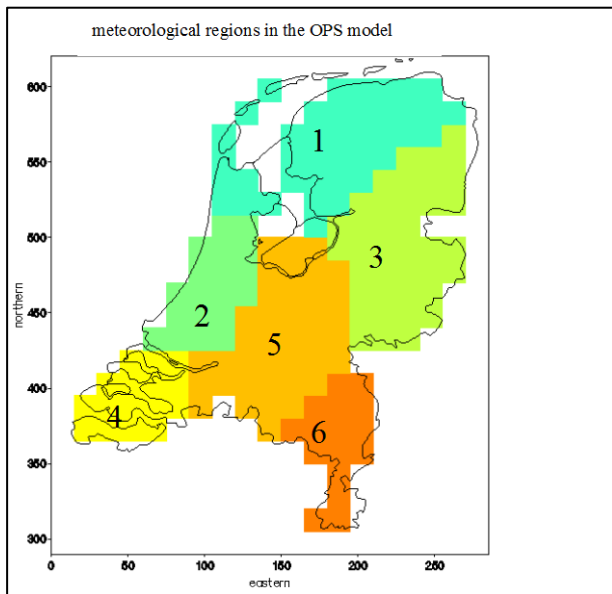
²⁴ Van jaarsveld, J.A. et al (2012). Description of OPS 4.3.15, RIVM. Bilthoven Nederland

de gemiddelde Vlaams ruwheidslengte op de 250x250m kaart van 0,42 m in VLOPS.13 naar 0,3 m in VLOPS.14

- Correctie van een bug in de landgebruikskarten van VLOPS.13. Deze kaarten toonden slechts de helft van Vlaanderen. VLOPS.14 bevat correcte landgebruikskarten

Gebruikte meteo-invoer

Voor berekeningen met het VLOPS-model is geopteerd om steeds de Nederlandse meteo-invoer van de zone Midden-Brabant, Veluwe, Twente (zone 5 in onderstaande figuur) te gebruiken omdat deze het dichtste aansluit bij de gemiddelde Vlaamse meteo.



Bijtelling of kalibratie bij de berekende verzurende en vermestende depositie

Het VLOPS-model rekent de Europese antropogene emissies van SO_2 , NO_x en NH_3 (zie onderstaande figuur) door tot verzurende en vermestende deposities.



Figuur 60: Afbakening emissiegebied VLOPS

Het model houdt hierbij geen rekening met de deposities veroorzaakt door:

- antropogene emissies van SO_2 , NO_x en NH_3 buiten Europa;

- natuurlijke emissiebronnen;
- andere polluenten zoals organisch stikstof, organische zuren en halogeenzuren.

Buijsman²⁵ onderscheidt volgende natuurlijke emissiebronnen:

- emissies uit vulkanen en emissies van dimethylsulfide uit zeewater voor de depositie van geoxideerd zwavel;
- emissies uit bodem en onweer voor de depositie van geoxideerd stikstof;
- emissies uit bodem en fauna voor de depositie van gereduceerd stikstof;
- emissies van halogeenzuren uit vulkanen en oceanen voor de depositie van halogeenhoudende zuren.

In de gemeten deposities en luchtconcentraties is de bijdrage van deze niet gemodelleerde bronnen wel aanwezig. De kalibratie van de berekende deposities aan de gemeten deposities is een rechtstreekse methode om het effect van deze bronnen mee in rekening te brengen. Bovendien corrigeert de kalibratie ook voor onzekerheden in het model en de gebruikte emissies.

Bij de polluenten waarvoor gemeten deposities (of concentraties) beschikbaar zijn, zal daarom gekozen worden om een kalibratie uit te voeren. Bij de polluenten waarvoor geen gemeten deposities beschikbaar zijn zullen de door Buijsman voorgestelde bijtellingen gebruikt worden.

Hieronder worden de kalibraties en bijtellingen voor Vlaanderen per polluent besproken.

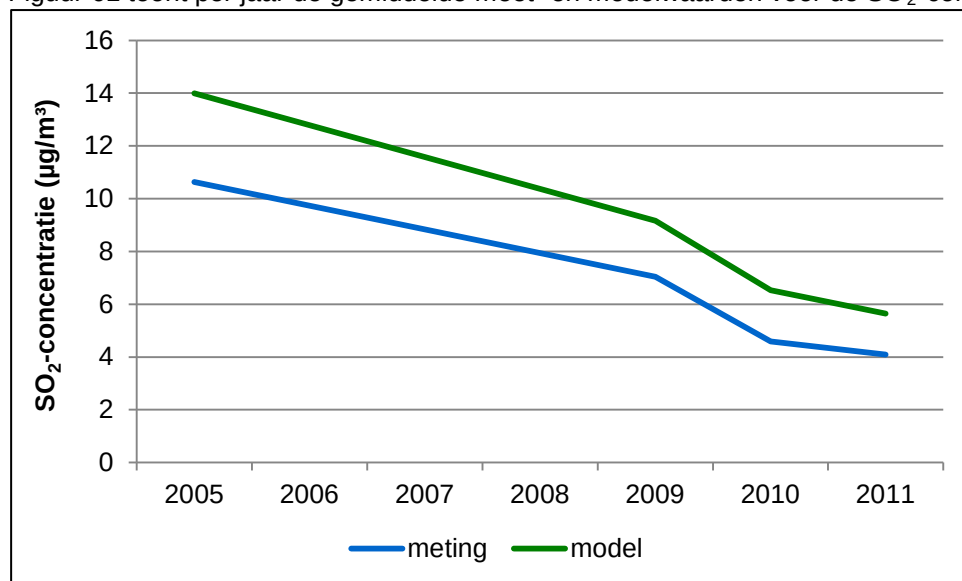
1. Geoxideerd zwavel (SO_x)

• Droge SO_x -depositie

Uit berekeningen met VLOPS12 blijkt dat de droge SO_x -depositie voor 97% uit SO_2 en voor 3% uit SO_4^{2-} bestaat. Dit betekent dat de door VLOPS gemiddelde over- of onderschatting van de gemeten SO_2 -concentratie in de lucht kan gebruikt worden voor de benodigde kalibratie op de door VLOPS berekende droge SO_x -depositie. Hierbij geldt de veronderstelling dat VLOPS de droge depositiesnelheid van SO_2 correct berekend.

Voor de jaren 2005, 2009, 2010 en 2011 is de gemeten jaargemiddelde SO_2 -concentratie beschikbaar voor dezelfde 22 VMM meetplaatsen met steeds minstens 75% databeschikbaarheid.

Figuur 61 toont per jaar de gemiddelde meet- en modelwaarden voor de SO_2 -concentratie.



Figuur 61: Gemiddelde jaargemiddelde gemeten en met VLOPS berekende SO_2 -concentraties over 22 meetplaatsen

²⁵ Buijsman, E. (2008), De bijdragen van niet-gemodelleerde bronnen aan de verzurende en vermestende depositie, PBL-rapport 550039001, Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.

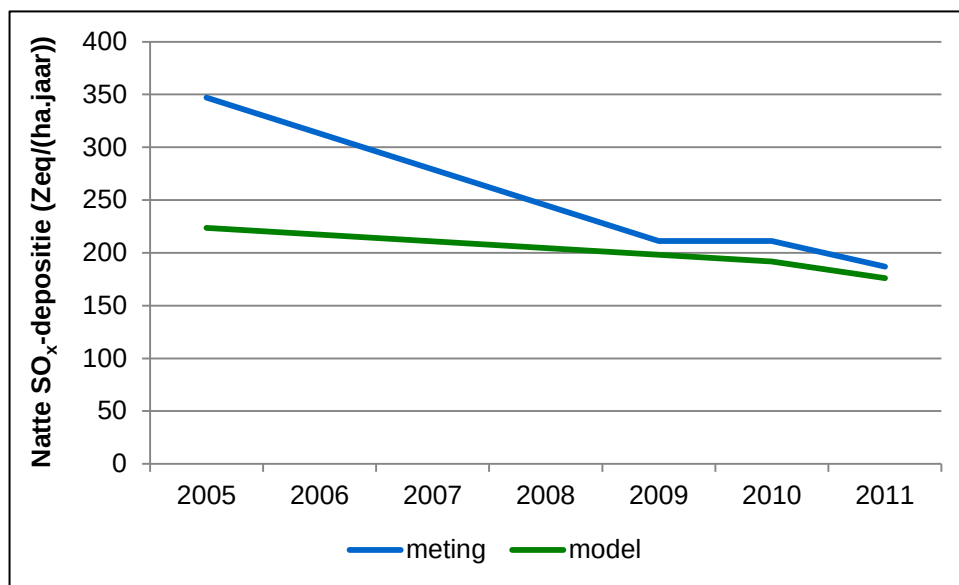
Uit de vergelijking van meet- en modelwaarden blijkt dat VLOPS de metingen gemiddeld vergelijkbaar overschat. De overschatting door onzekerheden in emissies en/of het model primeert hier dus op de benodigde bijtelling van niet gemodelleerde bronnen. De gemiddelde verhouding van de individuele meet- en modelwaarden bedraagt over alle jaren heen 0,73.

De door VLOPS berekende droge SO_x -depositie zal dus voor alle jaren verlaagd worden met een factor 0,73.

- Natte SO_x -depositie

Voor de jaren 2005, 2009, 2010 en 2011 is de gemeten totale natte SO_x -depositie beschikbaar voor dezelfde 9 VMM meetplaatsen met steeds minstens 75% databeschikbaarheid.

Figuur 62 toont per jaar de gemiddelde meet- en modelwaarden voor de natte SO_x -depositie.



Figuur 62: Gemiddelde gemeten en met VLOPS berekende totale natte SO_x -depositie per jaar over 9 meetplaatsen

Uit de vergelijking van meet- en modelwaarden blijkt dat VLOPS de metingen gemiddeld niet vergelijkbaar onderschat. Voor het jaar 2005 bedraagt de onderschatting ongeveer 125 Zeq/(ha.jaar). Voor de jaren 2009, 2010 en 2011 is de onderschatting kleiner dan 20 Zeq/(ha.jaar) en dus verwaarloosbaar.

Voor de door VLOPS berekende natte SO_x -depositie zal enkel voor de jaren tot en met 2005 een bijtelling van 125 Zeq/(ha.jaar) gebeuren.

2. Geoxideerd stikstof (NO_y)

- Droge NO_y -depositie

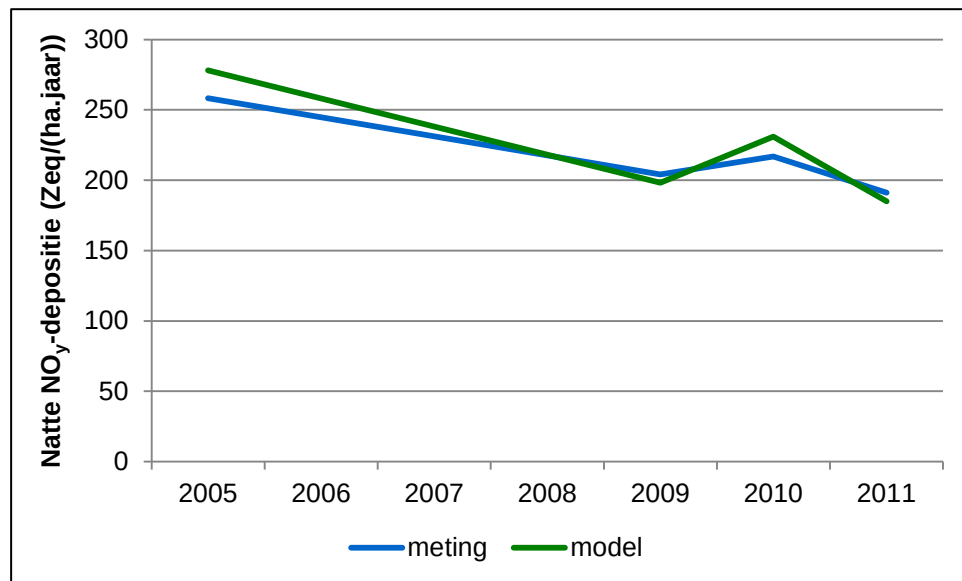
Uit berekeningen met VLOPS12 blijkt dat 75% van de droge NO_y -depositie uit NO_x bestaat en 25% uit NO_3^- en HNO_3 . Het deel NO_x is nog onderverdeeld in NO_2 , NO , HNO_2 en PAN. Door de lage fractie van NO_2 in de droge NO_y -depositie kan de benodigde kalibratie niet correct geschat worden op basis van de beschikbare gemeten NO_2 -concentraties.

Naar voorbeeld van Bujsman zal voor de droge NO_y -depositie voor alle jaren een bijtelling van 25 mol/(ha.jaar) (=0,35 kg N/(ha.jaar)) gebeuren.

- Natte NO_y -depositie

Voor de jaren 2005, 2009, 2010 en 2011 is de gemeten totale natte NO_y -depositie beschikbaar voor dezelfde 9 VMM meetplaatsen met steeds minstens 75% databeschikbaarheid.

Figuur 63 toont per jaar de gemiddelde meet- en modelwaarden voor de natte NO_y -depositie.



Figuur 63: Gemiddelde gemeten en met VLOPS berekende totale natte NO_y -depositie per jaar over 9 meetplaatsen

Uit de vergelijking van meet- en modelwaarden blijkt dat VLOPS de metingen gemiddeld niet onder- of overschat.

Er is dus geen kalibratie nodig van de berekende natte NO_y -depositie.

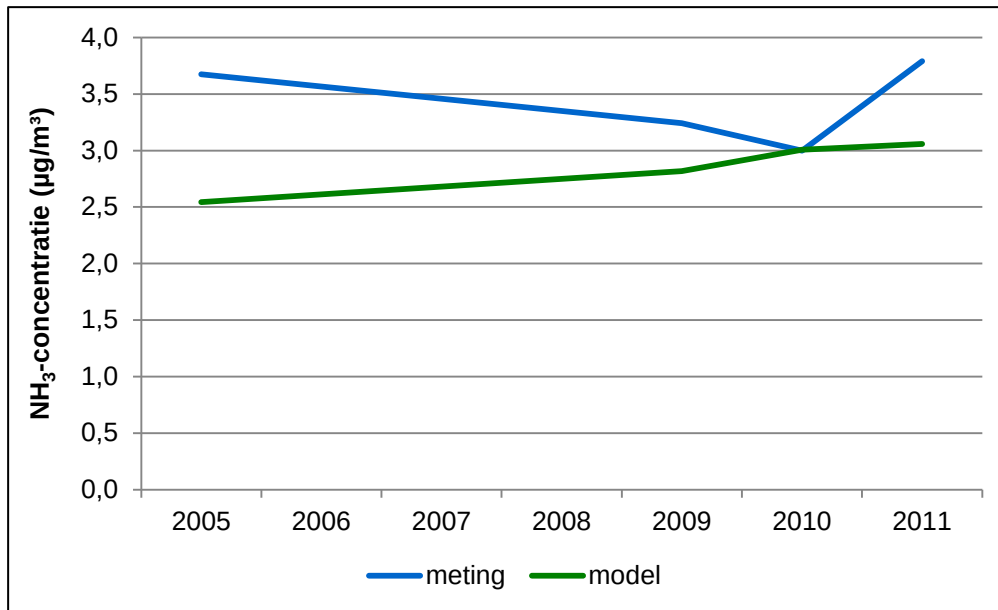
3. Gereduceerd stikstof (NH_x)

- Droge NH_x -depositie

Uit berekeningen met VLOPS12 blijkt dat de droge NH_x -depositie voor 96% uit NH_3 en voor 4% uit NH_4^+ bestaat. Dit betekent dat de door VLOPS gemiddelde over- of onderschatting van de gemeten NH_3 -concentratie in de lucht kan gebruikt worden voor de benodigde kalibratie op de door VLOPS berekende droge NH_x -depositie. Hierbij geldt de veronderstelling dat VLOPS de droge depositiesnelheid van NH_3 correct berekend.

Voor de jaren 2005, 2009, 2010 en 2011 is de gemeten jaargemiddelde NH_3 -concentratie beschikbaar voor dezelfde 9 VMM meetplaatsen met steeds minstens 75% databeschikbaarheid.

Figuur 64 toont per jaar de gemiddelde meet- en modelwaarden van de NH_3 -concentratie.



Figuur 64: Gemiddelde jaargemiddelde gemeten en met VLOPS berekende NH_3 -concentraties over 9 meetplaatsen

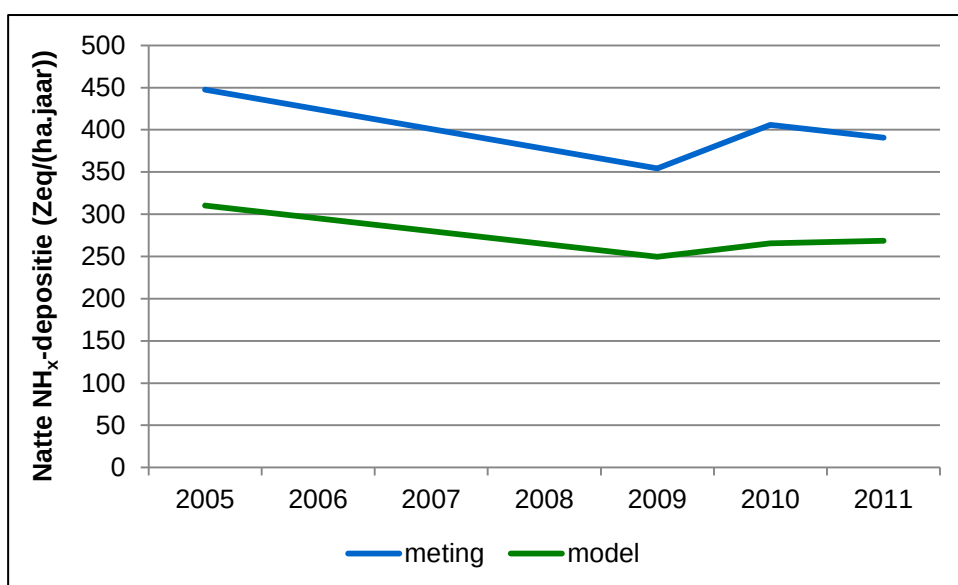
Uit de vergelijking van meet- en modelwaarden blijkt dat VLOPS de metingen gemiddeld niet vergelijkbaar onderschat. Voor de jaren 2005, 2009, 2010 en 2011 is gemiddelde verhouding van de individuele meet- en modelwaarden respectievelijk 1,56; 1,2; 1,08 en 1,32.

De berekende droge NH_x -depositie zal voor de jaren 2005, 2009, 2010 en 2011 verhoogd worden met de betreffende factor. Voor alle andere historische en prognose jaren zal een verhoging gebeuren met de gemiddelde verhouding van de individuele meet- en modelwaarden over de 4 jaren, namelijk 1,29.

- Natte NH_x -depositie

Voor de jaren 2005, 2009, 2010 en 2011 is de gemeten totale natte NH_x -depositie beschikbaar voor dezelfde 9 VMM meetplaatsen met steeds minstens 75% databeschikbaarheid.

Figuur 65 toont per jaar de gemiddelde meet- en modelwaarden van de natte NH_x -depositie.



Figuur 65: Gemiddelde gemeten en met VLOPS berekende natte NH_x -depositie per jaar over 9 meetplaatsen

Uit de vergelijking van meet- en modelwaarden blijkt dat VLOPS de metingen gemiddeld vergelijkbaar onderschat.

Het gemiddelde verschil tussen de gemiddelde meet- en modelwaarden bedraagt ongeveer 125 Zeq/(ha.jaar).

Voor de berekende natte NH_x -depositie zal voor alle jaren een bijtelling van 125 mol/(ha.jaar) (1,75 kg N/(ha.jaar)) gebeuren.

4. Organisch stikstof (DON)

Organisch stikstof (dissolved organic nitrogen of DON) komt voor onder de vorm van aminozuren, eiwitten of ureum. DON wordt net als anorganisch stikstof door micro-organismen en planten opgenomen^{26,27} en dient dus ook in rekening gebracht te worden bij de bepaling van de totale vermestende depositie.

Natte DON-depositie metingen zijn beschikbaar in open veld in Brasschaat voor de jaren 2011, 2012 en 2013. Het gemiddelde over de 3 jaren bedraagt ongeveer 245 mol/(ha.jaar) (= 3,4 kgN/(ha.jaar).

Bij de berekende totale vermestende depositie zal voor alle jaren een bijtelling 3,4 kg N/(ha.jaar) gebeuren.

5. Halogeenzuren

Buijsman stelt zowel voor de droge als de natte depositie van waterstofchloride (HCl) en waterstoffluoride (HF) een bijtelling voor van 25 Zeq/(ha.jaar).

Bij de berekende totale verzurende depositie zal voor alle jaren een bijtelling van 50 Zeq/(ha.jaar) gebeuren.

6. Organische zuren

Buijsman stelt voor de droge depositie van mierenzuur en azijnzuur een bijtelling voor van 170 Zeq/(ha.jaar). Voor de natte depositie van deze pollutanten wordt 60 Zeq/(ha.jaar) als bijtelling voorgesteld.

Zowel voor halogeenzuren als organische zuren zijn geen meetwaarden voor Vlaanderen beschikbaar.

Bij de berekende totale verzurende depositie zal voor alle jaren een bijtelling van 230 Zeq/(ha.jaar) gebeuren.

Tabel 5 vat alle hierboven vermelde benodigde kalibraties en bijtellingen voor Vlaanderen samen.

²⁶ Schimel, J.P. en Bennet, J. (2004), Nitrogen mineralisation: challenges of a changing paradigm. Ecology, Vol. 85, No 3 (Mar., 2004), pp. 591-602.

²⁷ Scott, E.E. (2012), Dissolved organic nitrogen (DON) cycling along a temperate forest nitrogen availability gradient. PhD dissertation Michigan State University.

Tabel 5: Benodigde bijtellings/kalibraties bij de met VLOPS berekende verzurende en vermestende deposities in Vlaanderen

	Droge depositie	Natte depositie
Verzurende en vermestende depositie		
NHx	2005: x 1,56 2009: x 1,2 2010: x 1,08 2011: x 1,32 andere jaren: x 1,29	+ 125 mol/ha.j
NOy	+ 25 mol/ha.j	geen bijtelling/kalibratie
Verzurende depositie		
SOx	x 0,73	jaren tot en met 2005: + 125 zeq/ha.j jaren vanaf 2005: geen bijtelling/kalibratie
Halogeenzuren	+ 25 zeq/ha.j	+ 25 zeq/ha.j
Organische zuren	+ 170 zeq/ha.j	+ 60 zeq/ha.j
Vermestende depositie		
DON	geen bijtelling/kalibratie	+ 245 mol/ha.j