

Luchtkwaliteit in Vlaanderen
Verzurende en vermestende luchtverontreiniging in
Vlaanderen – jaarrapport 2012



DOCUMENTBESCHRIJVING

Titel

Verzurende en vermestende luchtverontreiniging in Vlaanderen – jaarrapport 2012

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 2012. Het omvat een beschrijving van de methodiek en meetresultaten voor 2012, 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 2012

Verantwoordelijke uitgever

Philippe D'Hondt, 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/2013/6871/048

Samenvatting

Verzuring is het gevolg van de emissie of **uitstoot** van **verontreinigende stoffen** – vooral zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH₃) – in de lucht. Hierdoor ontstaan verschillende stikstof- en zwavelverbindingen die in het milieu kunnen terechtkomen. Wanneer deze verbindingen na afzetting op de bodem of planten verzurend werken, spreekt men van verzurende depositie. Verzuring hangt nauw samen met **andere milieuproblemen**, zoals vermesting, fijn stof, Om de gevoeligheid van de ecosystemen voor verzuring en vermesting te berekenen, werd het concept '**kritische last**' ontwikkeld. Dit is een waarde die uitdrukt hoeveel verzurende depositie een ecosysteem kan verdragen zonder dat er risico's zijn op beschadiging op lange termijn.

Dit rapport geeft een beschrijving van de **methodiek en meetresultaten** voor het jaar **2012** voor natte, droge en totale verzurende depositie. Ook trend- en modelberekeningen komen aan bod om een beter beeld over de evolutie van verzuring en vermesting in Vlaanderen te krijgen. De meetresultaten en de modelberekeningen worden getoetst aan internationale, Europese en Vlaamse normen. Tenslotte berekenen we ook de oppervlakte natuur met een overschrijding van de kritische last verzuring en vermesting.

Polluent	Verzurende werking	Vermestende werking
Ammoniak (NH ₃)	X	X
Ammonium (NH ₄ ⁺)	X	X
Stikstofdioxide (NO ₂)	X	X
Nitraat (NO ₃ ⁻)	X	X
Nitriet (NO ₂ ⁻)	X	X
Zwaveldioxide (SO ₂)	X	
Sulfaat (SO ₄ ²⁻)	X	

De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) heeft 9 meetplaatsen en 8 extra voor ammoniak. Uit deze metingen kunnen we natte, droge en totale depositie berekenen.

De jaargemiddelde NH₃-**concentraties** tonen aan dat er één overschrijding van het kritieke niveau van 8 µg/m³ -bepaald door de Wereldgezondheidsorganisatie (WGO) is, namelijk voor de meetplaats in Wingene. Dit is te verklaren doordat de meetplaats in een gebied met intensieve landbouw en veeteelt ligt.

De hoge SO₄²⁻-**concentraties en -deposities** in Koksijde geven aan dat er een duidelijke relatie is met de afstand tot de kust. Het opstuiwend zeewater brengt zeezout in de lucht, dat nadien via de neerslag mee gemeten kan worden. In Kapellen is dit verschijnsel deels te verklaren door de Schelde en deels door de industrie.

De invloed van de Antwerpse haven zorgt dan weer voor verhoogde **NO₂-concentraties** in Kapellen. Voor de indicatieve toetsing aan de Europese richtlijn 2008/50/EG liggen de berekende stikstofoxiden (**NO_x-concentraties**) allemaal lager dan 30 µg/m³. De meetplaats Gent schommelt juist rond deze concentratie en dit omwille van verkeer, gebouwenverwarming en industrie. Voor **SO₂-concentraties** wordt het kritieke niveau voor vegetatie van 20 µg/m³ voor alle meetplaatsen wel gehaald.

Er is geen enkele meetplaats in Vlaanderen die voldoet aan de **streefwaarden** voor **verzuring** volgens het Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning (VLAREM), behalve Tielt-Winge voor loofbos. Voor **vermesting** is er geen enkele meetplaats die voldoet aan de streefwaarden. Vermits de SO₂-emissie de laatste twee decennia sterk daalde, is er een verschuiving van verzuring naar vermesting.

Gezien het grote aandeel van stikstof in de verzurende depositie zal het verzuringsbeleid in Vlaanderen in de toekomst **meer evolueren naar een landbouwbeleid** en dus nauwer moeten aansluiten bij het mestbeleid. Vermits ook transport en industrie een grote invloed hebben op de NO_x-

emissie, zal een emissie-daling in deze sectoren ook een positief effect hebben op de totale vermestende depositie.

In Vlaamse bos- en natuurgebieden zijn er meer overschrijdingen van de kritische last voor vermesting dan voor verzuring. Een geïntegreerde aanpak is nodig en maatregelen tegen verzuring en vermesting zijn daar een onderdeel van.

INHOUDSTAFEL

Samenvatting	3
1 Inleiding.....	11
2 Een woordje uitleg.....	12
2.1 Wat is verzuring?	12
2.2 Oorsprong en bestemming	12
2.3 Verzuring via het VLOPS-model.....	13
2.4 Link verzuring en andere milieuproblemen	14
2.5 Kritische last: maat voor verzuring en vermesting.....	14
3 Wetgeving	15
3.1 Emissies	15
3.2 Immissies.....	15
3.2.1 Norm voor natte depositie	15
3.2.2 Norm voor concentratie in de lucht.....	15
3.2.3 Normen voor totale depositie.....	16
3.2.3.1 VLAREM	16
3.2.3.2 Milieubeleidsplan 2011-2015.....	16
3.2.3.3 7de Europese Milieu Actieprogramma	17
4 Methodiek.....	18
4.1 Natte depositie.....	18
4.1.1 Wat meten we in de neerslag	18
4.1.2 Meetplaatsen in Vlaanderen	18
4.1.3 Hoe gebeurt de monsterneming	19
4.1.4 Analyse en berekening in het labo	20
4.2 Droge depositie.....	20
4.2.1 Verontreinigende stoffen	20
4.2.2 Meetplaatsen in Vlaanderen	21
4.2.3 Hoe gebeurt de monsterneming	22
4.2.3.1 Radiaaltype	23
4.2.3.2 Batch type.....	23
4.2.4 Analyse en berekening in het labo	23
4.2.5 Berekeningen met het VLOPS-model	23
4.3 Totale depositie	24
4.3.1 Meetplaatsen in Vlaanderen.....	24
4.3.2 Berekeningen totale verzurende depositie	24
4.3.3 Berekeningen totale vermestende depositie	24
4.4 Methodiek door de jaren heen.....	25
4.4.1 Meetplaatsen	25
4.4.2 Natte depositie.....	25
4.4.2.1 Hoeveelheid neerslag	25
4.4.2.2 Samenstelling van de neerslag	25
4.4.3 Droge depositie.....	26
4.4.3.1 Luchtconcentratie	26
4.4.3.2 Depositiesnelheid	26
5 Resultaten	28
5.1 Inleiding	28
5.1.1 Statistische berekeningen	28
5.1.2 Het VLOPS-model	28
5.2 Natte depositie.....	28
5.2.1 Neerslaghoeveelheid	28
5.2.2 Zuurtegraad	29
5.2.3 Concentratie in de neerslag en deposities	31
5.2.3.1 Ammonium.....	31
5.2.3.2 Nitriet en nitraat	33
5.2.3.3 Sulfaat.....	35
5.2.4 Totale natte depositie	37
5.2.5 Conclusies	38
5.3 Droge depositie.....	38

5.3.1	Concentraties en deposities	38
5.3.1.1	Ammoniak	38
5.3.1.2	Stikstofdioxide.....	43
5.3.1.3	Zwavel dioxide.....	47
5.3.2	Totale droge depositie	50
5.3.3	Regionale trend	50
5.3.4	Conclusies	51
5.4	Totale depositie	52
5.4.1	Totaal verzurende depositie	52
5.4.1.1	Oppervlakte natuur met overschrijding kritische last verzuring	57
5.4.2	Totaal vermestende depositie	58
5.4.2.1	Oppervlakte natuur met overschrijding kritische last vermesting	60
5.4.3	Conclusies totale depositie	61
6	Besluit.....	62
	Bijlage 1: Informatie over geaccrediteerde metingen (normen ISO/IEC 17025:2005)	2
	Bijlage 2: Het VLOPS-model	3
	Bijlage 3: Trends in natte depositie	13
	Bijlage 4: Trends in luchtconcentraties	16
	Bijlage 5: Trends in totale deposities	22

FIGUREN

Figuur 1: Meetplaats verzuring	11
Figuur 2: Oorsprong van verzurende stoffen uit emissiebronnen, de chemische omzettingen die deze stoffen kunnen ondergaan en de manier waarop deze verbindingen uiteindelijk neerslaan in de omgeving	12
Figuur 3: Overzicht van de potentieel verzurende stoffen: afkomst, omzetting en depositie. De stoffen die de VMM meet zijn in blauw aangegeven	13
Figuur 4: Schematisch overzicht van de stappen die een verontreinigende stof aflegt nadat ze door emissie vrijkomt	15
Figuur 5: Overzicht meetplaatsen natte depositie	19
Figuur 6: Voorbeeld van een natte depositievanger of wet-only sampler	19
Figuur 7: Voorbeeld van een pluviograaf	20
Figuur 8: Meetplaatsen voor NO ₂ - en SO ₂ -bemonstering	21
Figuur 9: Meetplaatsen voor NH ₃ -bemonstering met vermelding van de Natura 2000-gebieden	22
Figuur 10: Voorbeeld van passieve samplers	22
Figuur 11: Voorbeeld van een radiaaltype	23
Figuur 12: Voorbeeld van een batch type	23
Figuur 13: Overzicht meetplaatsen totale depositie	24
Figuur 14: Overzicht van de neerslaghoeveelheden op de 9 meetplaatsen van het depositiemeetnet verzuring, inclusief vergelijking met de gemiddelde neerslag in Ukkel en het KMI-10-jaargemiddelde	29
Figuur 15: Overzicht van de pH-metingen voor de meetplaats Wingene in de periode januari 2012 – januari 2013. Voor de periode in maart en in november is er geen tweewekelijks staal omdat er te weinig neerslag was	30
Figuur 16: Overzicht van de jaargemiddelde pH-meting over verschillende meetplaatsen, 2012	31
Figuur 17: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van NH ₄ ⁺ . 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	32
Figuur 18: Gemodelleerde natte depositie van NH _x in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km ² receptorenrooster	32
Figuur 19: 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 marginaal significant (P = 0,07) ...	33
Figuur 20: Totale stikstof uit NO ₃ ⁻ en NO ₂ ⁻ in de neerslag	34
Figuur 21: Verzurende natte depositie van NO ₃ ⁻ en NO ₂ ⁻ in 2012	34
Figuur 22: 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 = 0,009)	35
Figuur 23: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van SO ₄ ²⁻ in 2012. In de rechtse as staat de concentratie SO ₄ ²⁻ uitgedrukt in mg/L. Na vermenigvuldiging met de neerslaghoeveelheid bekomt men de natte depositie, uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar), aangeduid op de linkse as	36
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)	36
Figuur 25: Totale natte potentieel verzurende depositie per meetplaats	37
Figuur 26: 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) ...	38
Figuur 27: Concentratieverloop van ammoniak in Waasmunster. Op de X-as staan de maandelijkse data, op de Y-as de concentratie van ammoniak in µg/m ³	39
Figuur 28: Concentratieverloop van ammoniak in Tielt-Winge. Op de X-as staan de data van de maandelijkse monsterneming uitgezet, op de Y-as de concentraties in µg/m ³	40
Figuur 29: Gemodelleerd NH ₃ -jaargemiddelde in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km ² receptorenrooster	40
Figuur 30: Toetsing van de gemeten NH ₃ -concentraties per meetplaats aan het huidige kritieke niveau voor vegetatie (rode lijn in grafiek) en het aanbevolen niveau (groene lijn in grafiek)	41
Figuur 31: Overzicht van de NH ₃ -droge depositie in 2012 per aanwezig vegetatietype. De depositie wordt uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar) en is te zien op de Y-as	42
Figuur 32: Gemodelleerde droge depositie van NH _x in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km ² receptorenrooster	42
Figuur 33: 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)	43
Figuur 34: NO ₂ -jaargemiddelde in µg/m ³ per meetplaats	44
Figuur 35: Indicatieve toetsing van de omgerekende NO _x -concentraties, afkomstig van de passieve samplers, aan het kritieke niveau voor vegetatie	45

Figuur 36: NO ₂ -depositie in 2012 per vegetatietype. Op de linkse as de berekende droge depositie NO ₂ uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar). Enkel het aanwezige vegetatietype wordt uitgezet op de grafiek. Vermits de depositiesnelheden niet verschillen per vegetatietype, kunnen we gelijke deposities waarnemen.....	46
Figuur 37: Gemodelleerde droge depositie van NO _y in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km ² receptorenrooster	47
Figuur 38: 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 = 0,133).....	47
Figuur 39: SO ₂ -concentratie en indicatieve toetsing van de met passieve samplers gemeten SO ₂ -concentraties, aan het kritieke niveau voor vegetatie	48
Figuur 40: De gemiddelde SO ₂ -depositie in 2012, uitgedrukt per aanwezig vegetatietype in Zeq/(ha.jaar). Omdat de depositiesnelheden verschillen per vegetatietype, verschillen ook de deposities.....	48
Figuur 41: Gemodelleerde droge depositie SO _x in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km ² receptorenrooster ..	49
Figuur 42: 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).....	49
Figuur 43: Totale droge depositie.....	50
Figuur 44: Jaargemiddelde luchtconcentraties van NH ₃ , NO ₂ en SO ₂ op de negen meetplaatsen die sinds 2001 in gebruik zijn. De lijnen zijn niet-parametrische regressielijnen (regionale Kendall-test; P = 0,04 voor NH ₃ , P = 0,71 voor NO ₂ en P = 0,001 voor SO ₂)	51
Figuur 45: Overzicht van de belangrijkste sectoren die bijdragen tot de totale verzurende depositie op basis van gegevens van 2010	52
Figuur 46: Aandeel van de droge depositie en de natte depositie in de totale depositie voor het vegetatietype gras	53
Figuur 47: Overzicht van de totale verzurende depositie in 2012	54
Figuur 48: Gemodelleerde totale verzurende depositie in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km ² receptorenrooster	54
Figuur 49: Overzicht van de meetnetgemiddelde totale verzurende depositie in de periode 2005-2012 en de daartoe behorende relatieve bijdrage van de belangrijkste pollutanten.....	55
Figuur 50: 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)	56
Figuur 51: Gemiddelde Vlaamse verzurende deposities SO _x , NO _y en NH _x in de periode 1990-2012	57
Figuur 52: Overzicht van de oppervlakte natuur met overschrijding van de kritische last voor verzuring in de periode 1990-2012.....	58
Figuur 53: Overzicht van de totale vermestende depositie in 2012	58
Figuur 54: 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 < 0,001) ...	59
Figuur 55: Gemodelleerde totale vermestende depositie in 2012 in Vlaanderen. 1x1 km ² receptorenrooster	60
Figuur 56: Gemiddelde Vlaamse vermestende deposities NO _y en NH _x in de periode 1990-2012	60
Figuur 57: Overzicht van de oppervlakte natuur met overschrijding van de kritische last voor vermessing in de periode 1990-2012.....	61
Figuur 58: Niet-lineaire trend in natte verzurende depositie van 2001 tot 2012	15
Figuur 59: Niet-lineaire trend in de luchtconcentratie van NH ₃ van 2001 tot 2012.....	18
Figuur 60: Niet-lineaire trend in de luchtconcentratie van NO ₂ van 2001 tot 2012.....	19
Figuur 61: Niet-lineaire trend in de luchtconcentratie van SO ₂ van 2001 tot 2012.....	21
Figuur 62: Niet-lineaire trend in totale verzurende depositie voor gras van 2001 tot 2012	24
Figuur 63: Niet-lineaire trend in totale vermestende depositie voor gras van 2001 tot 2012.....	26

TABELLEN

Tabel 1: Kritieke niveaus voor de bescherming van de vegetatie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16
Tabel 2: VLAREM-streefwaarden voor verzurende depositie	16
Tabel 3: VLAREM-streefwaarden voor vermestende depositie	16
Tabel 4: Meetplaatsen en begindatum metingen natte en droge depositie	25
Tabel 5: Kenmerken van passieve monsternamen van NH_3 , NO_2 en SO_2	26
Tabel 6: Droge depositiesnelheden per vegetatietype, uitgedrukt in cm/s, in 2001-2003 en vanaf 2005	27
Tabel 7: Trend in de natte depositie van NH_4^+ , NO_3^- en SO_4^{2-} (Zeq/(ha.jaar)) van 2001 tot 2012	13
Tabel 8: Trend in de luchtconcentratie van NH_3 , NO_2 en SO_2 ($\mu\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{jaar})$) van 2001 tot 2012	16
Tabel 9: Trend in totale verzurende depositie (Zeq/(ha.jaar)) per vegetatietype van 2001 tot 2012	22
Tabel 10: Trend in totale vermestende depositie (kg N/(ha.jaar)) per vegetatietype van 2001 tot 2012	24

Lijst met afkortingen

BELAC	Belgische accreditatieinstelling
EU	Europese Unie
HNO ₂	Salpeterigzuur
HNO ₃	Salpeterzuur
H ₂ SO ₄	Zwavelzuur
ISO	International Organization for Standardization
KMI	Koninklijk Meteorologisch Instituut
MAP	7de Europese Milieu Actieprogramma
MINA	Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen
NEC	Europese Nationale Emissie Plafond richtlijn - National Emission Ceilings
NH ₃	Ammoniak
NH ₄ ⁺	Ammonium
NH _x	Gereduceerde stikstofverbindingen (NH ₃ en NH ₄ ⁺)
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 , ...)
PAN	Peroxyacetylnitraat
pH	Zuurtegraad
SO ₂	Zwavedioxiiden
SO ₄ ²⁻	Sulfaat
USAM	Uitbating Semiautomatisch Meetnet
VLAREM	Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning
VLOPS	Vlaamse Operationeel Prioritaire Stoffen model
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
WGO	Wereldgezondheidsorganisatie
WO	Wet-only sampler: natte depositievanger

1 Inleiding

Heeft u zich ooit afgevraagd wat er wordt bedoeld met zure regen? Om het thema ‘zure regen’ of ‘**verzuring**’ beter in beeld te brengen, geeft dit rapport een beschrijving van de methodiek en meetresultaten voor 2012 en dit voor **droge, natte** en **totale depositie**. Ook trend- en modelberekeningen komen aan bod om een beter beeld over de evolutie van verzuring in Vlaanderen te krijgen. De meetresultaten en de modelberekeningen worden getoetst aan normen in internationaal, Europees of Vlaams verband.

Verzuring is het gevolg van de emissie of uitstoot van verontreinigende stoffen – vooral zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3) – in de lucht. Hierdoor ontstaan verschillende stikstof- en zwavelverbindingen die in het milieu kunnen terechtkomen. Wanneer deze verbindingen na afzetting op de bodem of planten verzurend werken, spreekt men van verzurende depositie. Verzurende depositie is een **grensoverschrijdend probleem**. Verontreinigende stoffen kunnen zich immers over een lange afstand in de lucht verplaatsen en verspreiden. Dit blijft echter niet zonder gevolgen: verzuring speelt een belangrijke rol in de **verstoring van ecosystemen**. Zo verliezen bossen aan vitaliteit, vergrast de heide, vermindert de diversiteit aan planten- en diersoorten, verzuren meren, worden visbestanden aangetast en raakt het grondwater verontreinigd.

In eerste instantie heeft de **natuur** te lijden onder de verzurende deposities. Onrechtstreeks zal de **bevolking** ook de negatieve effecten van verzurende depositie ervaren. Zo tast de verzurende emissie **gebouwen en monumenten** aan. Daarnaast zal er door verzurende depositie, maar voornamelijk door vermestende depositie een overmaat aan stikstof in ons leefmilieu (bodem, oppervlaktewater en grondwater) terechtkomen. Nitraat verwijderen in de waterzuiveringsinstallaties en in drinkwaterwinningen is een dure aangelegenheid. Drinkwater uit eigen waterwinningen moet eveneens voldoen aan de norm voor de nitraatgehalten en dit kan een probleem vormen bij overmatige depositie.

Een belangrijke indicator voor verzuring is de **kritische last**. Deze geeft aan waar de maximaal toelaatbare zwavel- en stikstofdeposities worden overschreden in Vlaanderen. In 2009 werd de kritische last voor verzuring overschreden op 32% van de totale oppervlakte terrestrische ecosystemen in Vlaanderen. Dit is een positieve evolutie ten opzichte van 2008, waar er nog 44% overschreden werd.

Omwille van bovenstaande redenen baat de VMM het **depositiemeetnet verzuring** uit. Dit bestaat uit verschillende meetplaatsen verspreid over Vlaanderen. Zo bekomt men concentraties en deposities van verzurende stoffen. Naast metingen worden ook modelberekeningen gemaakt om deze concentraties en deposities in kaart te brengen. Hiervoor wordt het **Vlaamse Operationeel Prioritaire Stoffen model** (VLOPS) gebruikt. Dit model simuleert de luchtkwaliteit aan de hand van emissiegegevens, gegevens over landgebruik en jaarlijkse meteogegevens.



Figuur 1: Meetplaats verzuring

2 Een woordje uitleg

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

2.1 Wat is verzuring?

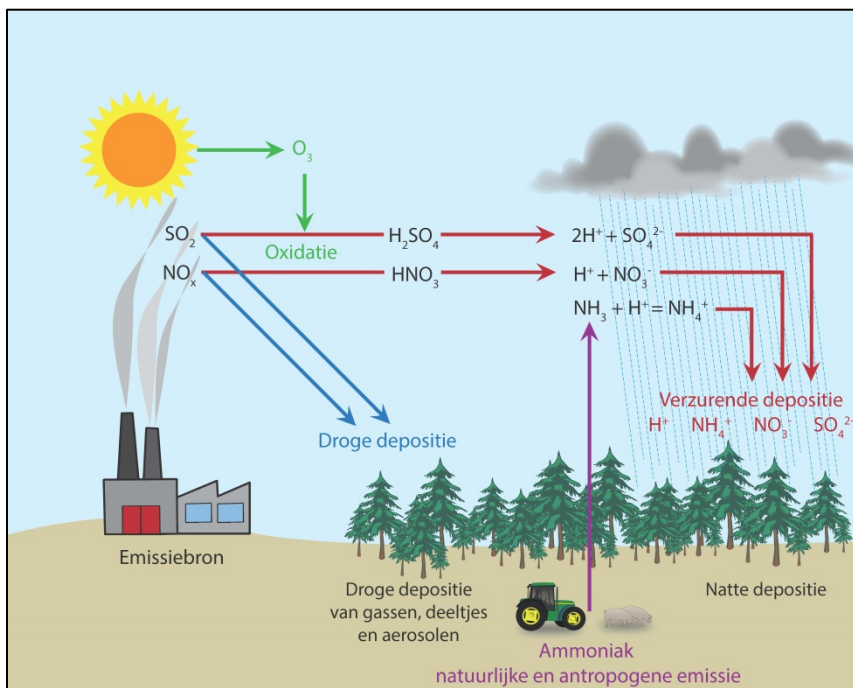
Verzuring wordt omschreven als zijnde de **gezamenlijke effecten van luchtverontreinigende stoffen** (afkomstig van emissies SO_2 , NO_x en NH_3) die via de atmosfeer worden aangevoerd en waaruit zuren (zwavelzuur en salpeterzuur) kunnen gevormd worden. Verzuring kan via **natte depositie** (regen, sneeuw 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 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** (NH_3), **stikstofdioxide** (NO_2) en **zwaveldioxide** (SO_2). De verzurende depositie door andere gassen en deeltjes bepaalt de VMM niet.

2.2 Oorsprong en bestemming

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



Figuur 2: Oorsprong van verzurende 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. Zwaveldioxide (SO_2) wordt in de lucht deels omgezet tot zwavelzuur (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-}).

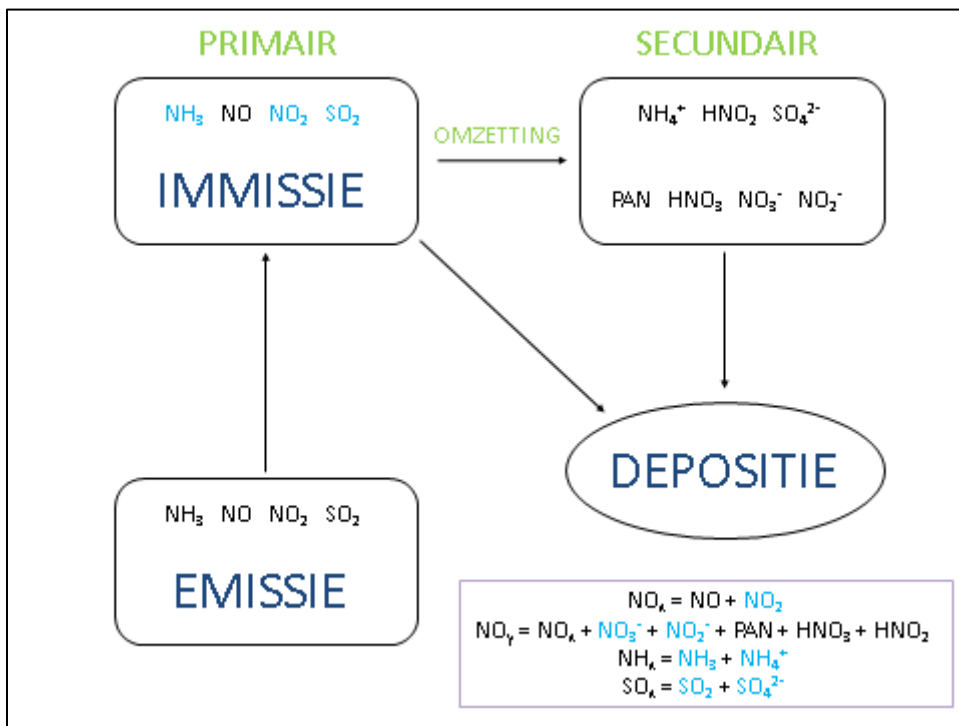
Emissies van **stikstofoxiden** (NO en NO_2 ; samen NO_x) worden veroorzaakt door het wegverkeer en andere verbrandingsprocessen zoals gebouwenverwarming en industriële processen. Stikstofoxiden (NO_x) worden deels in de lucht omgezet in salpeterzuur (HNO_3) en nitraten (NO_3^-). Via natte depositie (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.

Voor de emissies van **ammoniak** (NH_3) is, naast de industrie en het verkeer, vooral de land- en tuinbouw verantwoordelijk voor meer dan 90%: 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.

2.3 Verzuring via het VLOPS-model

Het VLOPS-model berekent luchtconcentraties van NH_3 , NH_4^+ , NO_x , NO_3^- , SO_2 en SO_4^{2-} en deposities van NH_x , NO_y en 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 (salpeterzuur), salpeterigzuur (HNO_2) en peroxyacetylnitraat (PAN) inbegrepen. In Bijlage 2: Het VLOPS-model staat een meer 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 gemeten in het depositiemeetnet verzuring.



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

2.4 Link verzuring en andere milieuproblemen

Verzuring hangt nauw samen met andere milieuproblemen, onder andere met **vermesting**. We spreken van vermesting als er een overmaat is aan nutriënten, het betreft nitraten en fosfaten. De nutriënten die niet door de planten worden opgenomen, komen in onze oppervlakte- en grondwateren terecht.

Stikstofoxiden (NO_x) 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 zwaveldioxide (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.

Ten slotte heeft verzurende depositie negatieve gevolgen voor ecosystemen en de soortenrijkdom: verzuring zorgt algemeen voor een vermindering in **biodiversiteit**. Biodiversiteit is volgens het Europees Biodiversiteitsverslag 2020 essentieel voor alle leven op aarde. Verlies aan biodiversiteit vormt één van de grote mondiale bedreigingen.

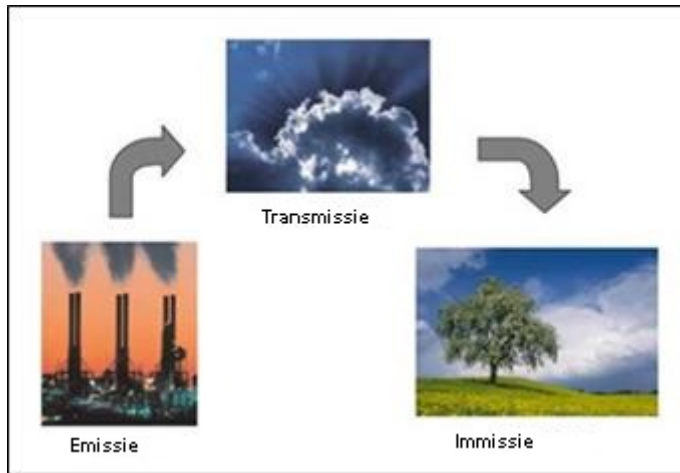
2.5 Kritische last: maat voor verzuring en vermesting

Om de gevoeligheid van de ecosystemen voor verzuring en vermesting te berekenen, werd het concept '**kritische last**' ontwikkeld. Dit is een waarde die uitdrukt hoeveel verzurende depositie een ecosysteem kan verdragen zonder dat er risico's zijn op beschadiging op lange termijn. We kunnen dit ook beschrijven aan de hand van een reëel probleem: bomen in een bos hebben bijvoorbeeld stikstof nodig om te groeien. Maar als er teveel stikstof uit de atmosfeer komt, kunnen bomen door toenemende verzuring problemen krijgen om bijvoorbeeld andere voedingsstoffen op te nemen. Zo kan er wortelschade optreden. Wanneer dit laatste het geval is, wil dit zeggen dat de verzurende depositie boven het niveau van de kritische last zit, met andere woorden, er is op termijn schade voor de natuur.

De term 'kritische last' is een **internationaal begrip**. Elk land bepaalt de 'kritische last' van zijn eigen ecosystemen, op basis van modellen en studies. 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 vermesting is een norm enkel voor stikstofdepositie. Door de sterke daling in de laatste 2 decennia van het aandeel van de SO_2 -emissie tot de totale verzurende emissie, neemt het relatief **belang** van de **vermesting** toe.

3 Wetgeving

Op internationaal en Europees niveau worden er regelgevingen en wetgeving ontwikkeld. Deze internationale en Europese visies worden in Vlaanderen verder aangevuld met de eigen beleidsvisie. 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'¹.

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 verschillende regelgevingen gelden.

3.2.1 Norm voor natte depositie

Om internationaal over vergelijkbare resultaten te beschikken, werden een aantal vereisten omtrent de keuze van de meetplaatsen gebundeld in een internationale norm, namelijk **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 vervuiliingsbronnen zoals vliegtuig- of boottransporten binnen de 100 meter;
- ongestoord, vlak land als ondergrond om de invloed van de wind te beperken.

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 SO₂ en NO_x. Deze kritieke niveaus voor beide pollutanten gelden op jaarbasis. Deze toetsing is echter indicatief, omdat er strikt

¹ Lozingen in de lucht 2000-2011, VMM, 2012

genomen geen gebieden in Vlaanderen zijn die volledig voldoen aan de voorwaarden van inplanting van meetplaatsen, zoals opgelegd in de richtlijn.

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

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

Voor concentratie in de lucht houdt de VMM rekening met de internationale norm van de **Wereldgezondheidsorganisatie (WGO)**. De WGO definieerde een kritiek niveau voor de bescherming van vegetatie en dit voor de verzurende stof ammoniak (NH_3). 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 hogere plantensoorten². Verder in dit rapport toetsen we het NH_3 -jaargemiddelde op verschillende meetplaatsen in Vlaanderen aan het huidige en het aanbevolen kritieke niveau.

3.2.3 Normen voor totale depositie

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

- **VLAREM**: Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning;
- **MILIEUBELEIDSPLAN 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 ($\text{Zeq}/(\text{ha.jaar})$) en de totale vermestende depositie in kilogram stikstof per hectare per jaar ($\text{kg N}/(\text{ha.jaar})$).

Tabel 2: VLAREM-streefwaarden voor verzurende depositie

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

Tabel 3: VLAREM-streefwaarden voor vermestende depositie

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

De VMM toetst de meetresultaten van 2012 aan bovenstaande streefwaarden.

3.2.3.2 Milieubeleidsplan 2011-2015

Het Milieubeleidsplan bepaalt de hoofdlijnen van het milieubeleid die door het Vlaamse Gewest en ook door de provincies en gemeenten dient te worden gevoerd. In dit milieubeleidsplan, opgesteld door de Milieu- en Natuurraad van Vlaanderen (MINA), zitten doelstellingen gebundeld, namelijk het MINA-plan 4 (2011-2015). Dit stelt als doel dat tegen 2015 nog maar op 20% van de oppervlakte

² J.N. Cape, L.J. van der Eerden, L.J. Sheppard, I.D. Leith and M.A. Sutton, 2009. Evidence for changing the critical level for ammonia. *Environmental Pollution* 157, 1033-1037

natuur in Vlaanderen een overschrijding van de kritische last verzuring mag voorkomen en op 65% een overschrijding van de kritische last vermesting.

3.2.3.3 7de Europese Milieu Actieprogramma

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

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 wil zeggen dat de bemonstering op het terrein gebeurt en de analyse achteraf in het labo.

De VMM bepaalt in Vlaanderen in 2012 op negen meetposten de natte en droge depositie van zowel NH_x , NO_y als SO_x . Bij het bepalen van deze locaties is 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. Zo zijn er bijvoorbeeld geen stallen, bedrijven of snelwegen in de onmiddellijke omgeving van deze meetplaatsen.

Op acht andere meetposten zijn er extra NH_3 -metingen. In Blankenberge, Torhout en Waasmunster gebeuren de metingen wel tussen akkers. Door de spreiding van de verschillende meetplaatsen proberen we een zo volledig mogelijk beeld van de NH_3 -problematiek in Vlaanderen te krijgen.

4.1 Natte depositie

In dit onderdeel volgt meer uitleg over de methodiek rond natte depositie. Met andere woorden, de depositie die met neerslag – regen, sneeuw en hagel – uit de atmosfeer op een oppervlak terecht komt.

4.1.1 Wat meten we in de neerslag

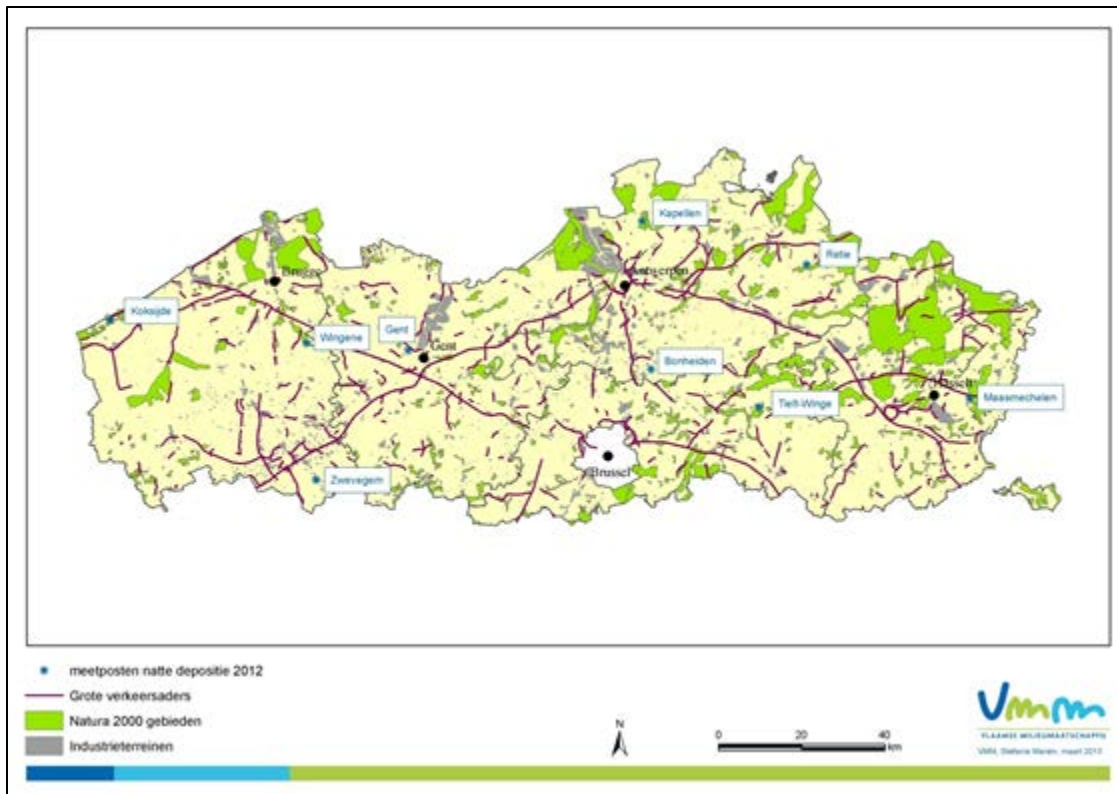
In de neerslag worden verschillende ionen geanalyseerd. In totaal meten we naast de zuurtegraad (pH) en geleidbaarheid 12 ionen, waarvan voor natte depositie onderstaande de belangrijkste zijn:

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

De andere ionen dienen als kwaliteitscontrole.

4.1.2 Meetplaatsen in Vlaanderen

In 2012 meet de VMM, net zoals in 2011, op 9 verschillende plaatsen in Vlaanderen de concentratie in de neerslag. Voor de keuze van deze meetplaatsen houdt men rekening met de ISO-norm (zie 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. De Natura 2000-gebieden worden ook 'speciale beschermingszones' genoemd. Dat is de officiële naam voor een Natura 2000-gebied. Deze gebieden zijn aangeduid om bijkomende kansen te geven aan habitats en soorten die van levensbelang zijn voor de Europese biodiversiteit. Op Europees niveau is afgesproken dat de overheid ervoor moet zorgen dat die habitats en soorten duurzaam kunnen overleven. Dat wordt een 'gunstige staat van instandhouding' genoemd. Vlaanderen telt 62 Natura 2000-gebieden. Naast hele grote en bekende natuurgebieden zoals de Kalmthoutse Heide of het Zwin behoren ook minder gekende gebieden tot het Europese natuurnetwerk in Vlaanderen: het Dommeldal in Limburg en het West-Vlaamse Heuvelland bijvoorbeeld. Het grootste gebied meet 13.125 hectare, het kleinste amper 86 hectare.



Figuur 5: Overzicht meetplaatsen natte depositie

4.1.3 Hoe gebeurt de monsterneming

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



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

Het toestel heeft een trechter met een deksel, twee 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.

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

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



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 de twee flessen van een bepaalde locatie bij elkaar gegoten, zodat er een resultaat beschikbaar is over 14 dagen. Volgende analyses gebeuren:

- ionenanalyse;
- pH-meting;
- geleidbaarheidsmeting.

De ionenanalyse gebeurt via de techniek van ionenchromatografie. 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. Om een volledig beeld te krijgen van Vlaanderen zorgt het VLOPS-model voor een gebied dekkende inschatting.

4.2 Droge depositie

In dit onderdeel volgt meer uitleg over de methodiek rond droge depositie. Met andere woorden de depositie die in gasvorm of als aerosoldeeltjes uit de lucht op een oppervlak terecht komt.

4.2.1 Verontreinigende stoffen

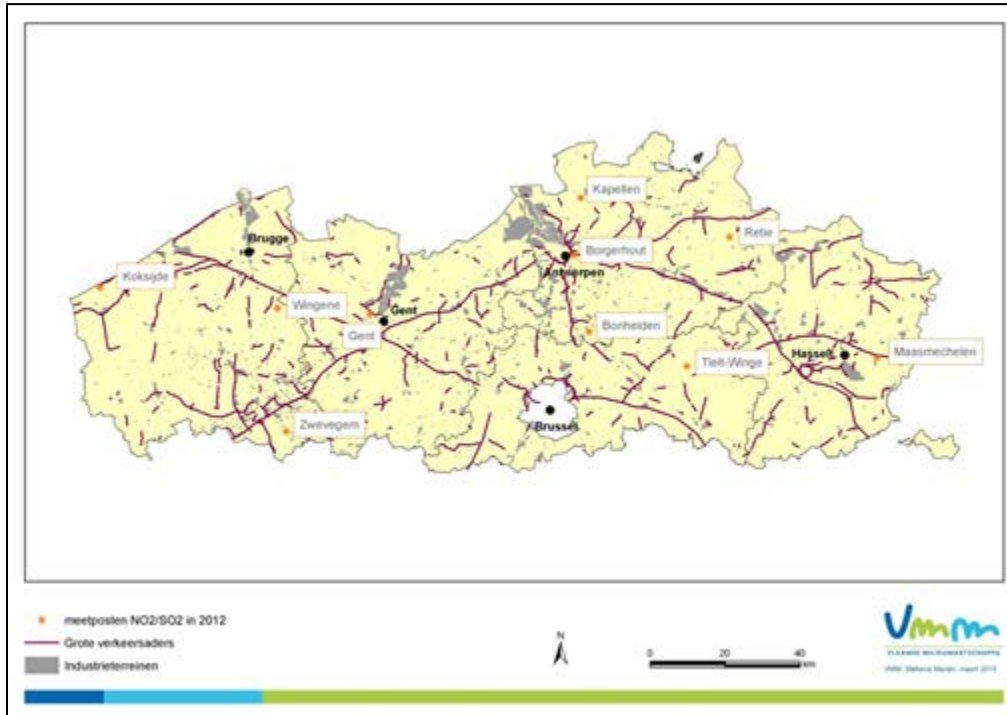
De verontreinigende stoffen die we bespreken in dit onderdeel zijn:

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

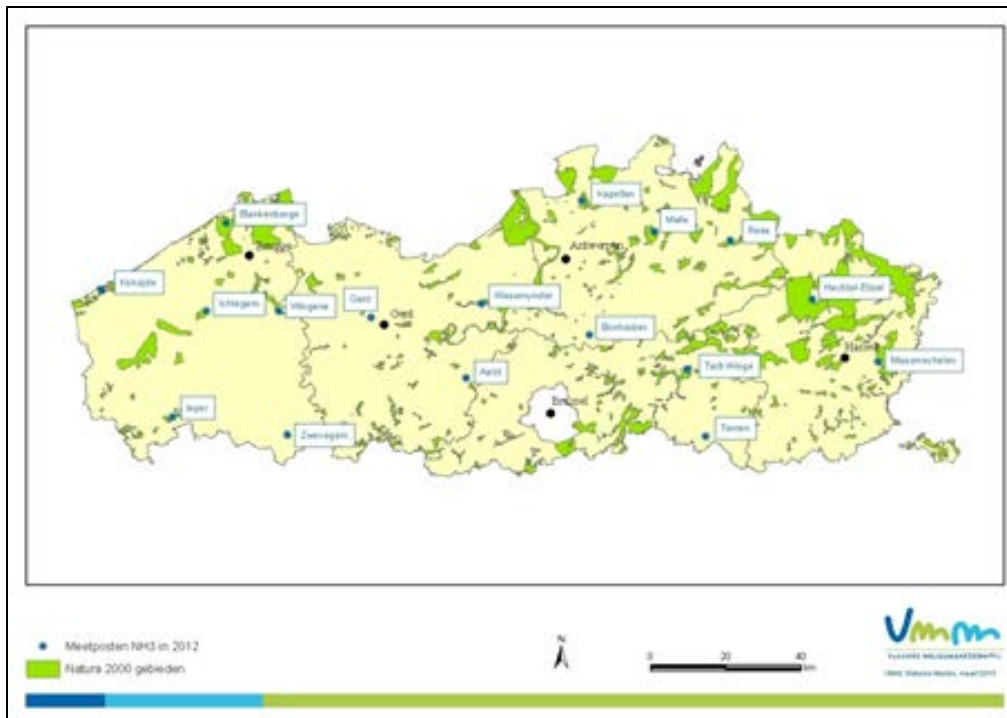
De VMM berekent enkel de gasvormige depositie en dus geen aerosolen.

4.2.2 Meetplaatsen in Vlaanderen

In 2012 meet de VMM deze drie verontreinigende stoffen op negen verschillende plaatsen in Vlaanderen, net zoals in 2011. Bovendien meet de VMM nog op acht extra plaatsen ammoniak, omdat deze stof op zeer korte afstand van de bron kan neerslaan. Door de grote variatie in ruimte is er nood aan een groter aantal meetplaatsen om een voldoende dekking te bekomen over het Vlaamse grondgebied. Onderstaande kaarten tonen deze meetposten. Voor SO_2 en NO_2 (zie Figuur 8) met vermelding van de grote verkeersaders en industriezones, die de belangrijkste bron vormen. Voor NH_3 (zie Figuur 9) worden de Natura 2000-gebieden getoond, die schade ondervinden als gevolg van de verzurende en vermestende depositie die in belangrijke mate onder de vorm van NH_x wordt aangevoerd.



Figuur 8: Meetplaatsen voor NO_2 - en SO_2 -bemonstering



Figuur 9: Meetplaatsen voor NH₃-bemonstering met vermelding van de Natura 2000-gebieden

4.2.3 Hoe gebeurt de monsterneming

De monsterneming maakt gebruik van passieve samplers als meetmethodiek.



Figuur 10: Voorbeeld van passieve samplers

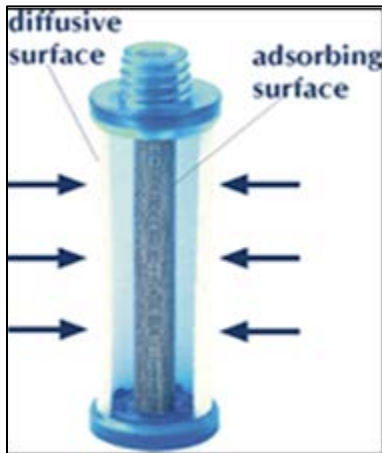
In Figuur 10 zijn enerzijds lange blauwe buisjes te zien en anderzijds platte ronde schijfjes. Dit zijn beide voorbeelden van passieve samplers. Bij de blauwe buisjes hebben we te maken met het radiaaltype en bij de schijfjes met het batch type. Alle samplers zijn beschermd tegen de neerslag door een kap erboven of errond.

De oppervlakte van de sampler is diffuus en adsorbeert. Passieve samplers bevatten steeds een membraan en een filter met welbepaald adsorbens. Het adsorbens is een kleverige chemische stof waarop of waarin 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 de meetmethodiek een geschikte techniek voor grote of wijd verspreide netwerken, screening en 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

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 NO₂- en SO₂-metingen.



Figuur 12: Voorbeeld van een batch type

4.2.4 Analyse en berekening in het labo

In het labo worden de passieve samplers uitgelooft in water. Door dit proces komen de gasvormige deeltjes terecht in een waterige oplossing en kan de concentratie bepaald worden met ionenchromatografie. De VMM gebruikt op elke meetplaats drie samplers per pollutant. Hieruit komen drie concentraties waaruit een gemiddelde concentratie wordt berekend. De samplers hangen telkens voor een periode van 14 dagen op een meetplaats.

De droge depositie per meetplaats is dan de vermenigvuldiging van de concentratie met de depositiesnelheid:

$$\text{droge depositie} = \text{concentratie in de lucht} \times \text{depositiesnelheid}$$

De droge depositiesnelheid is afhankelijk van het soort oppervlak waarop de stof wordt afgezet. 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 de bijlage.

4.2.5 Berekeningen met het VLOPS-model

Terwijl in het meetnet enkel de droge depositie van de primaire gasvormige stoffen SO₂, NO₂ en NH₃ wordt bepaald, rekt het VLOPS alle verzurende pollutanten in de gasvormige en de deeltjesfase

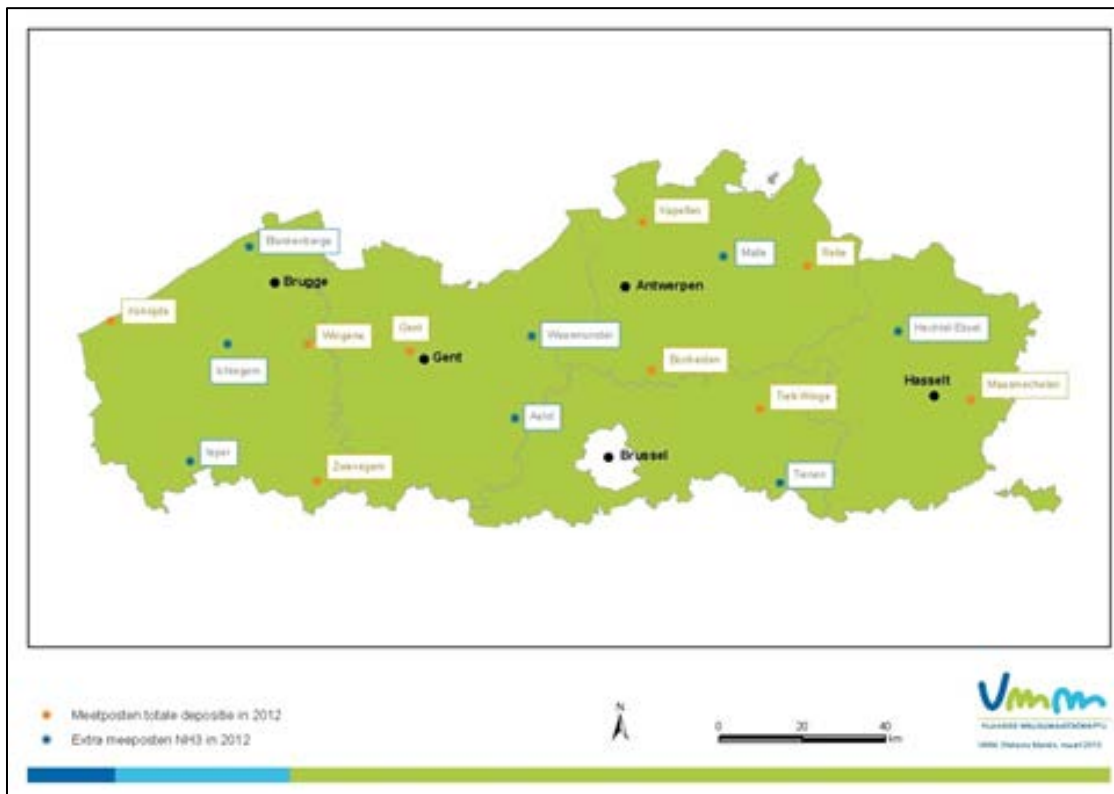
door. Het model berekent eerst de concentraties van de gasvormige stoffen SO_2 , NO , NO_2 , HNO_2 , PAN (peroxyacetylnitrat), HNO_3 en NH_3 , en de deeltjes SO_4^{2-} , NO_3^- en NH_4^+ . Vervolgens bepaalt het model voor elk van deze stoffen de droge depositiesnelheid aan de hand van gegevens over 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

De totale depositie is de som van de natte en droge depositie. Dit wil zeggen de optelling van de droge deposities, NH_3 , NO_x en SO_2 , met die van de natte deposities, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- en SO_4^{2-} . Merk op dat dit enkel de belangrijkste verzurende componenten zijn. De 'totale depositie' in het meetnet verzuring omvat dus niet alle mogelijke verzurende componenten (bijvoorbeeld droge depositie van deeltjesvormig NH_4^+ , NO_3^- en SO_4^{2-}). Dat is wel het geval voor de totale depositie volgens het VLOPS-model.

4.3.1 Meetplaatsen in Vlaanderen

Op negen plaatsen in Vlaanderen meet de VMM de totale verzurende depositie. Figuur 13 toont waar deze meetposten zich situeren in Vlaanderen. Ook de extra meetplaatsen voor de metingen van ammoniakconcentraties zijn hierop te zien.



Figuur 13: Overzicht meetplaatsen totale depositie

4.3.2 Berekeningen totale verzurende depositie

De totale verzurende depositie wordt uitgedrukt in zuurequivalenten per hectare per jaar ($\text{Zeq}/(\text{ha} \cdot \text{jaar})$). Deze eenheid laat toe om de verschillende verzurende stoffen met elkaar te vergelijken en om de depositie te toetsen aan de VLAREM-regelgeving.

4.3.3 Berekeningen totale vermestende depositie

De totale vermestende depositie is de som van droge en natte vermestende depositie. Hier spelen de zwavelverbindingen geen rol, het gaat over de stikstofdepositie. De pollutanten die bij vermestende

depositie een rol spelen, zijn NO_y en NH_x . De totale vermestende depositie wordt uitgedrukt in kilogram stikstof per hectare per jaar (kg N/(ha.jaar)).

4.4 Methodiek door de jaren heen

De VMM meet verzurende depositie in Vlaanderen sinds 2001. Doorheen de jaren zijn de gebruikte methodes gedeeltelijk veranderd om de kwaliteit van de metingen nog te verbeteren. Dit overzicht bespreekt de methodes voor het bepalen van verzurende depositie en de belangrijkste veranderingen in de periode 2001-2012.

4.4.1 Meetplaatsen

De metingen van natte en droge depositie startten in 2001 op tien meetplaatsen. Tabel 4 geeft de startdatum per meetplaats. In 2004 werd geen droge depositie gemeten. Vanaf 2008 werd op acht bijkomende meetplaatsen één component van de droge depositie gemeten, namelijk NH_3 .

De metingen in Mol stopten op 10 februari 2004 omwille van een brand. Vanaf 2005 werden de metingen hernomen op een nabijgelegen plaats in Retie, op 10 kilometer afstand. In de verwerking van de tijdsreeksen worden Mol en Retie als één meetplaats beschouwd.

Tabel 4: Meetplaatsen en begindatum metingen natte en droge depositie

Meetplaats	Natte depositie	Droge depositie
Bonheiden	Januari 2002	Juni 2001
Borgerhout	December 2001	Juni 2001
Gent	Augustus 2001	Juni 2001
Kapellen	Januari 2002	Juni 2001
Koksijde	Augustus 2001	Juni 2001
Maasmechelen	September 2001	Juni 2001
Mol	Oktober 2001	Juni 2002
Retie	Juli 2005	Januari 2005
Tielt-Winge	September 2001	Juni 2001
Wingene	April 2001	Juni 2001
Zwevegem	September 2001	Juni 2001
Aalst	-	Januari 2008 (enkel NH_3)
Blankenberge	-	Januari 2008 (enkel NH_3)
Hechtel-Eksel	-	Januari 2008 (enkel NH_3)
Ieper	-	Januari 2008 (enkel NH_3)
Torhout	-	Januari 2008 (enkel NH_3)
Malle	-	Januari 2008 (enkel NH_3)
Tienen	-	Januari 2008 (enkel NH_3)
Waasmunster	-	Januari 2008 (enkel NH_3)

4.4.2 Natte depositie

4.4.2.1 Hoeveelheid neerslag

Vanaf 2001 werd de neerslaghoeveelheid (mm/uur) gemeten met een pluviometer van het type 'tipping bucket' met een diameter van 16 centimeter (C101 A, Lastem). Vanaf 2009 gebruikt de VMM pluviometers die de hoeveelheid neerslag bepalen door weging (zie 4.1.3).

4.4.2.2 Samenstelling van de neerslag

Tot eind 2007 bepaalde de VMM de samenstelling van neerslag op wekelijkse basis. Vanaf 2008 bepalen we de samenstelling van de neerslag elke twee weken. Het regenwater wordt niet meer wekelijks geanalyseerd omdat deze wekelijkse data voor de natte depositie weinig meerwaarde hadden voor de interpretatie van de gegevens. De droge depositie is immers ook niet wekelijks gekend, zodat er geen totale depositie kan bepaald worden op wekelijkse basis.

De VMM gebruikt twee types neerslagsensoren:

- detectie van neerslag op basis van elektrische weerstand (RS85, Eigenbrodt);
- optische detectie van neerslag (IRSS88, Eigenbrodt).

De optische detectie gebruikt de VMM alleen op de meetplaats in Koksijde om corrosie van zout tegen te gaan, terwijl de detectie op basis van elektrische weerstand op alle andere meetplaatsen wordt gebruikt. Deze keuze werd gemaakt op basis van testen uitgevoerd door de VMM.

4.4.3 Droge depositie

4.4.3.1 Luchtconcentratie

In de periode 2001-2012 waren er veranderingen in het type sampler, de duur van de meetperiode en de hoeveelheid samplers (één, twee of drie gelijktijdige metingen) per meetplaats. Deze wijzigingen hadden als bedoeling om de metingen zo kwalitatief mogelijk te maken. De wijzigingen worden samengevat in Tabel 5.

- Type: voor NH₃ waren de passieve samplers tot 2003 van het merk Gradko, daarna van Radiello. Voor SO₂ en NO₂ gebruikten we gecombineerde samplers van Radiello tot 2003, daarna afzonderlijke samplers van IVL.
- Duur: tot eind 2003 werden de luchtconcentraties gemeten op vierwekelijks basis. Vanaf 2005 gebeurde dit tweewekelijks.
- Aantal: de VMM gebruikte eerst twee samplers per meetplaats. Voor NH₃ steeg dit vanaf 2007 naar drie herhalingen per meetplaats, voor SO₂ en NO₂ gebeurde dit vanaf februari 2006.

Tabel 5: Kenmerken van passieve monsternamen van NH₃, NO₂ en SO₂

Component	Kenmerk	Periode			
		2001 - 2003	2005 - jan 2006	feb - dec 2006	2007 - 2012
NH ₃	Type	Gradko	Radiello	Radiello	Radiello
	Duur (weken)	4	2	2	2
	Herhalingen	2	2	2	3
NO ₂	Type	Radiello	IVL	IVL	IVL
	Duur (weken)	4	2	2	2
	Herhalingen	2	2	3	3
SO ₂	Type	Radiello	IVL	IVL	IVL
	Duur (weken)	4	2	2	2
	Herhalingen	2	2	3	3

De metingen met passieve samplers zijn afhankelijk van de omgevingstemperatuur. Voor NO₂ en SO₂ zijn altijd luchtconcentraties gerapporteerd die gecorrigeerd waren voor deze invloed. Voor NH₃ was er volgens de fabrikant van de Radiello samplers geen temperatuurafhankelijkheid. Uit een experimentele validatiestudie³ bleek dat dit niet correct is. Sindsdien wordt ook voor NH₃ rekening gehouden met de temperatuur en zijn ook alle voorgaande data omgerekend.

4.4.3.2 Depositiesnelheid

Om de droge depositie te berekenen op basis van luchtconcentraties maken we gebruik van droge depositiesnelheden die gebaseerd zijn op literatuurwaarden. Deze depositiesnelheden werden geactualiseerd op basis van de toen beschikbare wetenschappelijke studie⁴ en zijn vanaf het meetjaar 2005 gebruikt. Tabel 6 geeft een overzicht van deze waarden voor en na de herziening.

³ Validatie van de Radiello NO₂-SO₂ passieve sampler, eindverslag, W. Swaans, E. Damen, E. Goelen, R. De Fré, 2005, VITO.

⁴ Staelens J., Deschepper E., Verheyen K., Thas O. 2007. Statistische verwerking meetdata verzuring. Studie in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij. Eindverslag, Universiteit Gent.

Tabel 6: Droge depositiesnelheden per vegetatietype, uitgedrukt in cm/s, in 2001-2003 en vanaf 2005

Vegetatietype	2001-2003			Vanaf 2005		
	NH ₃	NO ₂	SO ₂	NH ₃	NO ₂	SO ₂
Gras	0,73	0,28	1,39	1,1	0,25	0,9
Heide	1,61	0,30	0,80	1,5	0,25	1,2
Loofbos	1,95	0,31	1,17	1,9	0,25	0,9
Naaldbos	3,06	0,24	1,98	2,9	0,25	1,0

5 Resultaten

5.1 Inleiding

5.1.1 Statistische berekeningen

Om de depositietrends te bepalen zijn twee statistische technieken gebruikt:

- Veralgemeende additieve modellen (GAM): gaan na of er een lange-termijn trend 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: 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.

P-waarden lager dan 0,05 beschouwen we als significant, p-waarden tussen 0,1 en 0,05 als marginaal significant, dus net niet significant.

In dit rapport bespreken we enkel trends voor de negen meetstations die al sinds 2001 in het meetnet actief zijn. Meer informatie over de statistische methodiek is te vinden in Staelens *et al.*⁵.

5.1.2 Het VLOPS-model

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 2010⁶;
- met de meteo-invoer van het jaar 2012 van de Nederlandse zone Midden-Brabant, Veluwe, Twente.

Dit wil zeggen dat het VLOPS-model de deposities van de verzurende stoffen voor Vlaanderen in 2012 berekent aan de hand van gekende emissiegegevens uit het verleden, in dit geval 2010, samen met de meteorologische gegevens van 2012. Dit geeft een vrij accuraat beeld, maar doordat er met emissiegegevens uit 2010 gerekend wordt, is deze kaart slechts een benadering.

De modelresultaten van de NH₃-concentratie en de natte depositie van NH_x werden vervolgens gekalibreerd met de orthogonale regressie zoals beschreven in de bijlage. Door de lage ruimtelijke correlatie tussen meet- en modelresultaten is het niet mogelijk de berekende natte deposities van SO_x en NO_y te kalibreren. De resultaten van de droge depositie kan men niet kalibreren vermits in de meetmethode niet alle stoffen zijn opgenomen die bij het droge depositieproces betrokken zijn, zie 4.2.5.

5.2 Natte depositie

In dit hoofdstuk bekijken we de natte depositie. We gaan dieper in op wat we meten en geven in de mate van het mogelijke een interpretatie van de meetresultaten van 2012.

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 meestal daalt bij grote neerslaghoeveelheden. Daarnaast beïnvloeden droge en natte periodes elkaar: na een

⁵ Staelens J., Wuyts K., Adriaenssens S., Van Avermaet P., Buysse H., Van den Bril B., Roekens E., Ottoy J.-P., Verheyen K., Thas O., Deschepper E. (2012). Trends in atmospheric nitrogen and sulphur deposition in northern Belgium. *Atmospheric Environment* 49, 186-196

⁶ Voor de VLOPS-berekeningen zijn zowel emissies van Vlaanderen nodig, als van buiten Vlaanderen. Vlaamse emissies zijn beschikbaar tot en met 2011, maar die van buiten Vlaanderen slechts tot en met 2010

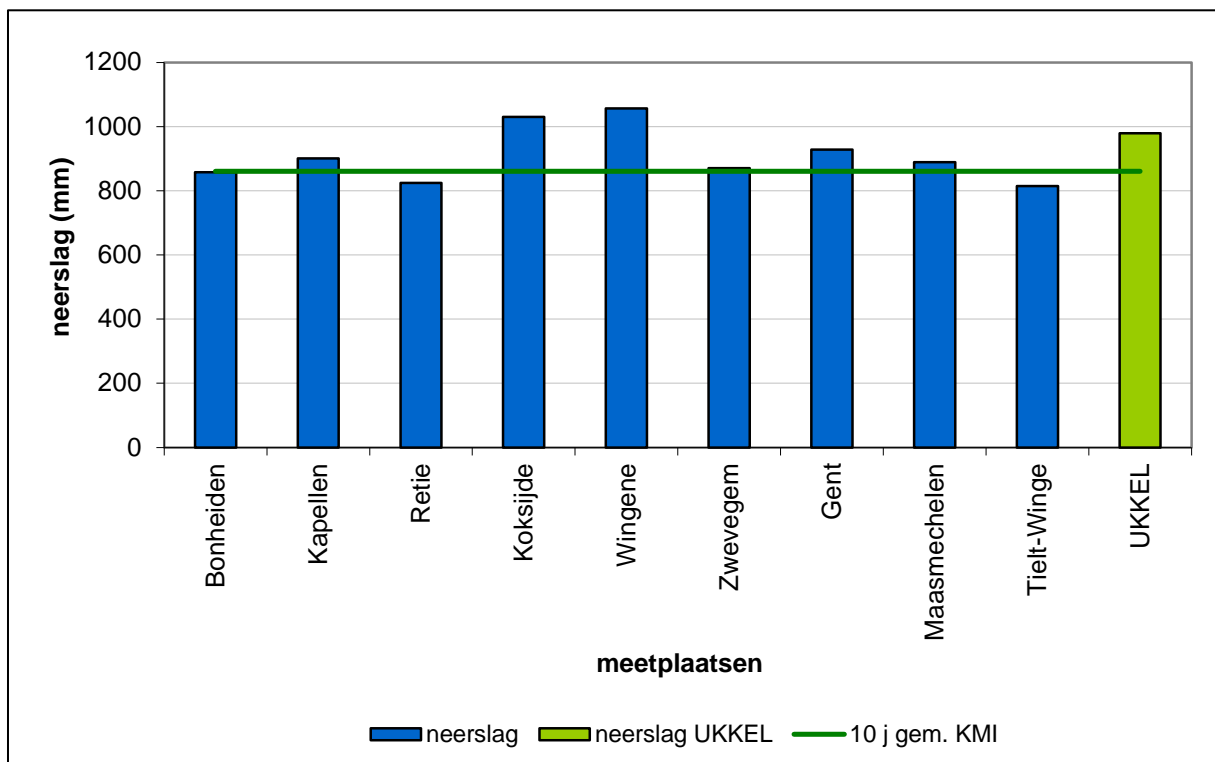
droge periode zal de concentratie in de neerslag hoger zijn doordat er meer pollutanten in de lucht zweven. Hetzelfde geldt omgekeerd: hoe meer neerslag er valt, hoe meer de aanwezige verontreiniging uitgewassen wordt. Daardoor zal er na een regenbui minder droge depositie zijn.

Om de neerslaghoeveelheden te bepalen, registreren weegpluviografen per kwartier de hoeveelheid gevallen neerslag (zie 4.1.3). Daar maken we per meetplaats een jaartotaal van. We vergelijken met het KMI-station in Ukkel omdat dit het referentiestation voor Vlaanderen is. De vergelijking met het 10-jaar gemiddelde is om te kunnen vaststellen of we met een eerder nat of droog jaar te maken hebben. In een nat jaar zullen de concentraties in het regenwater 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 hoog zijn, omdat deze reeds lang in de lucht zweven.

Figuur 14 toont:

- de neerslaghoeveelheden gemeten in 2012 in negen stations van het depositiemeetnet verzuring;
- het KMI-neerslagtotaal, gemeten in Ukkel;
- het KMI-10-jaar gemiddelde (2003-2012, gemeten in Ukkel).

Uit deze figuur en aan de hand van de gegevens van het KMI kunnen we besluiten dat de neerslaghoeveelheid voor het jaar 2012 abnormaal hoog is⁷. Het neerslagtotaal gemeten in Ukkel in 2012 is immers hoger dan het KMI-10-jaar gemiddelde. Niet overal valt evenveel neerslag. Vooral in Retie en Tielt-Winge viel, relatief gezien, weinig neerslag. Het zijn de enige meetplaatsen met minder neerslag dan het KMI-10-jaargemiddelde. Op alle andere plaatsen, met uitzondering van Bonheiden, viel meer neerslag dan het KMI-10-jaargemiddelde.



Figuur 14: Overzicht van de neerslaghoeveelheden op de 9 meetplaatsen van het depositiemeetnet verzuring, inclusief vergelijking met de gemiddelde neerslag in Ukkel⁸ en het KMI-10-jaargemiddelde

5.2.2 Zuurtegraad

De pH is de eenheid van zuurtegraad en varieert van 1, 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

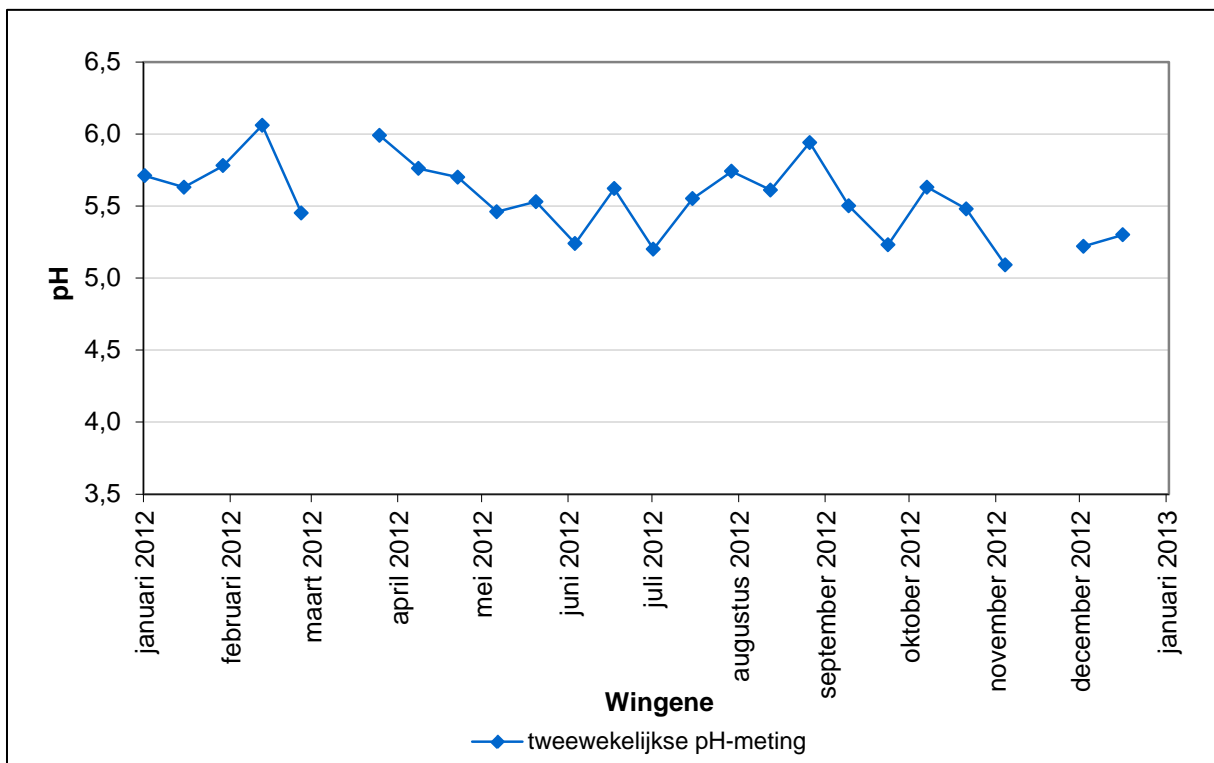
⁷ Meer informatie en definities rond abnormaal of uitzonderlijk natte of droge jaren zijn terug te vinden op www.kmi.be

⁸ www.kmi.be

CO₂ uit de lucht in het regenwater oplost en het zwak zure koolzuur (H₂CO₃) vormt. Algemeen wordt regenwater als zuur beschouwd als de pH lager is dan 5,6.

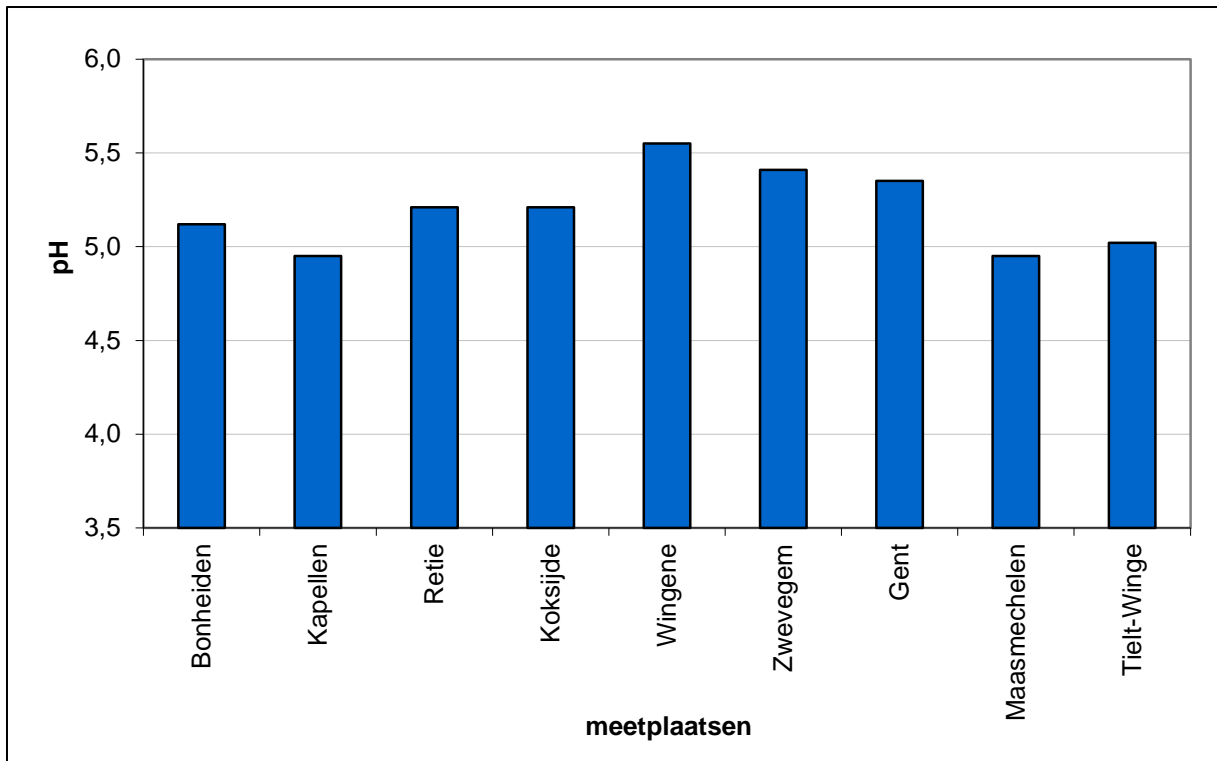
De pH van regenwater geeft dus aan hoe zuur de neerslag is, maar is geen geschikte parameter om de verzuring te meten. Ammoniak, wat op zich een base is, zorgt immers eerst voor een neutraliserende werking, maar wordt door nitrificatie in de bodem omgezet in een potentieel verzurende stof. Ammoniak maakt de regen zelf dus niet zuurder, maar heeft wel een verzurende werking na depositie. Hierdoor kunnen en mogen we enkel aan de hand van de pH geen conclusies trekken betreffende de potentiële verzurende (natte) depositie en is het nodig om andere stoffen mee te bekijken.

Deze theorie kunnen we het best illustreren aan de hand van een voorbeeld. In Figuur 15 staan we even stil bij de verschillende pH-waarden doorheen het jaar voor de meetplaats Wingene. We zien dat de pH gemeten in februari, april en eind augustus de hoogst gemeten pH's van 2012 zijn. Dit zou willen zeggen dat op dat moment de regen minder zuur is, maar dit is niet zo. Het zijn net de momenten dat er in Vlaanderen mest op het land wordt verspreid en er dus meer ammoniak in de lucht aanwezig is. Deze heeft als base een neutraliserend effect op de regen, maar heeft eens neergeslagen op de bodem, daar wel een verzurend effect.



Figuur 15: Overzicht van de pH-metingen voor de meetplaats Wingene in de periode januari 2012 – januari 2013. Voor de periode in maart en in november is er geen tweewekelijks staal omdat er te weinig neerslag was

Figuur 16 geeft een overzicht van de jaargemiddelde pH-waarden per meetplaats. Zo zien we dat de pH het hoogst (= minder zuur) is in gebieden met intensieve landbouwactiviteiten zoals Wingene en Zwevegem. Ook in Gent ligt het jaargemiddelde vrij hoog, hoewel dit niet meteen bekend staat als een gebied met intensieve landbouw. Hier moeten we vermelden dat in Gent de laatste 14 dagen van maart een extreem hoge pH werd gemeten, namelijk 6,88, die het gemiddelde naar omhoog trekt. Tijdens deze periode worden ook opmerkelijke waarden gemeten voor de luchtconcentraties van SO₂, NO₂ en NH₃ in Gent. De reden hiervoor is onbekend.



Figuur 16: Overzicht van de jaargemiddelde pH-meting over verschillende meetplaatsen, 2012

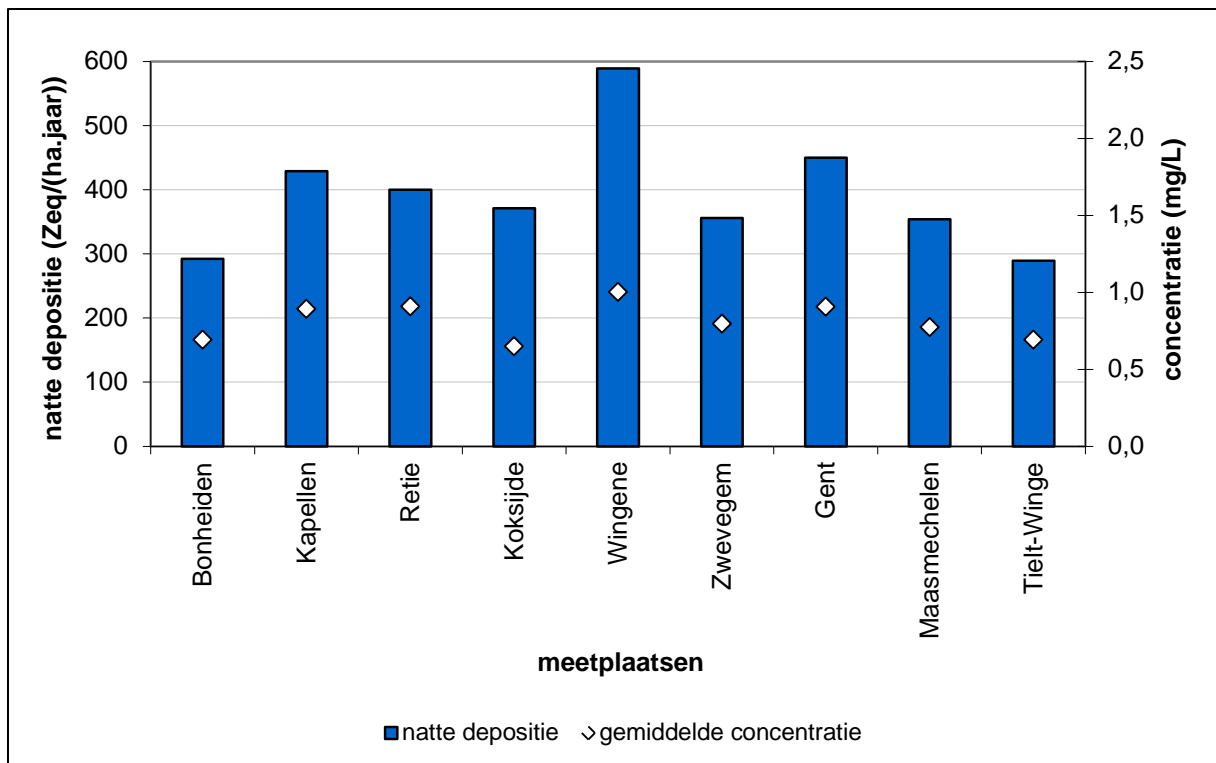
5.2.3 Concentratie in de neerslag en deposities

5.2.3.1 Ammonium

Voor 2012 varieert de gemiddelde **concentratie** van NH_4^+ tussen 0,65 mg/L in Koksijde en 1,00 mg/L in Wingene. Deze waarden zijn gelijkaardig aan de waarden van vorige jaren.

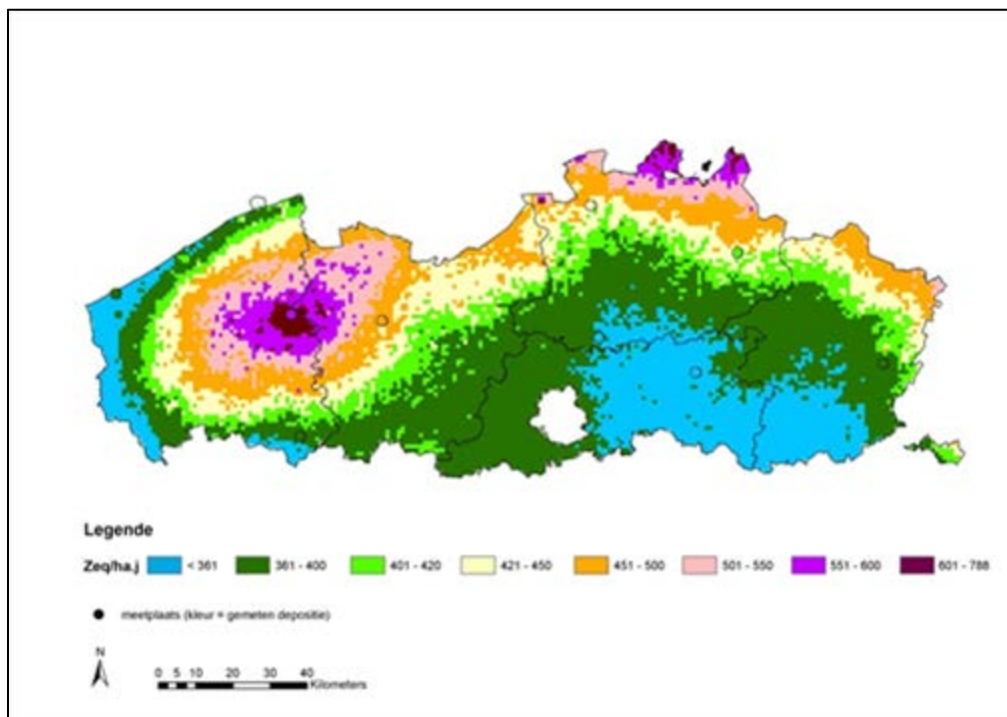
De **depositie** daarentegen heeft, met een gemiddelde depositie van 589 Zeq/(ha.jaar), een opvallende piek in Wingene. Deze piek is te verklaren door een hoge gemiddelde concentratie, in combinatie met een hoge neerslaghoeveelheid (zie Figuur 14).

Verder is de depositie in Koksijde duidelijk hoger dan in Tielt-Winge, niettegenstaande de NH_4^+ -concentratie in Koksijde (0,65 mg/L) lager is dan in Tielt-Winge (0,69 mg/L). Dit komt omdat er meer neerslag is in Koksijde en de NH_4^+ -concentratie daalt bij hoge neerslaghoeveelheden.



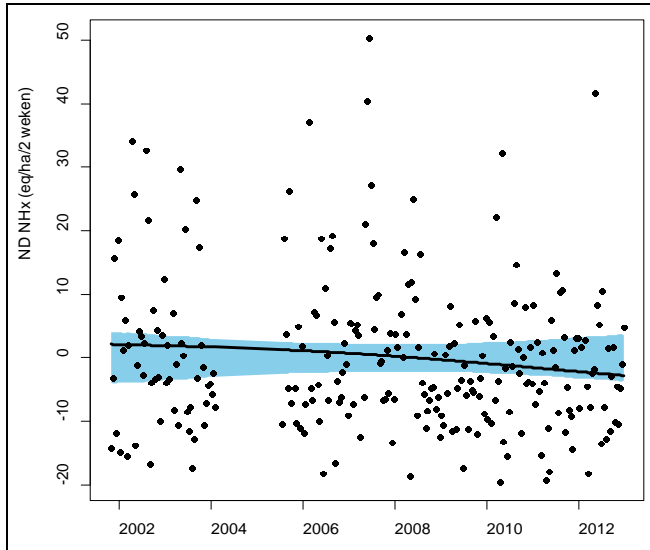
Figuur 17: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van NH_4^+ . In de rechtse as staat de concentratie NH_4^+ uitgedrukt in mg/L. Na vermenigvuldiging met de neerslaghoeveelheid bekomt men de natte depositie, uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar), aangeduid op de linkse as

In Figuur 18 zien we de **gemodelleerde geografische spreiding** van 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 landbouw intensieve gebieden. De hoogste gemeten depositie is terug te vinden in Wingene, gelegen in het oosten van de provincie West-Vlaanderen. De laagst gemeten deposities bevinden zich in Tielt-Winge, gelegen in Vlaams-Brabant.



Figuur 18: Gemodelleerde natte depositie van NH_x in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km² receptorenrooster

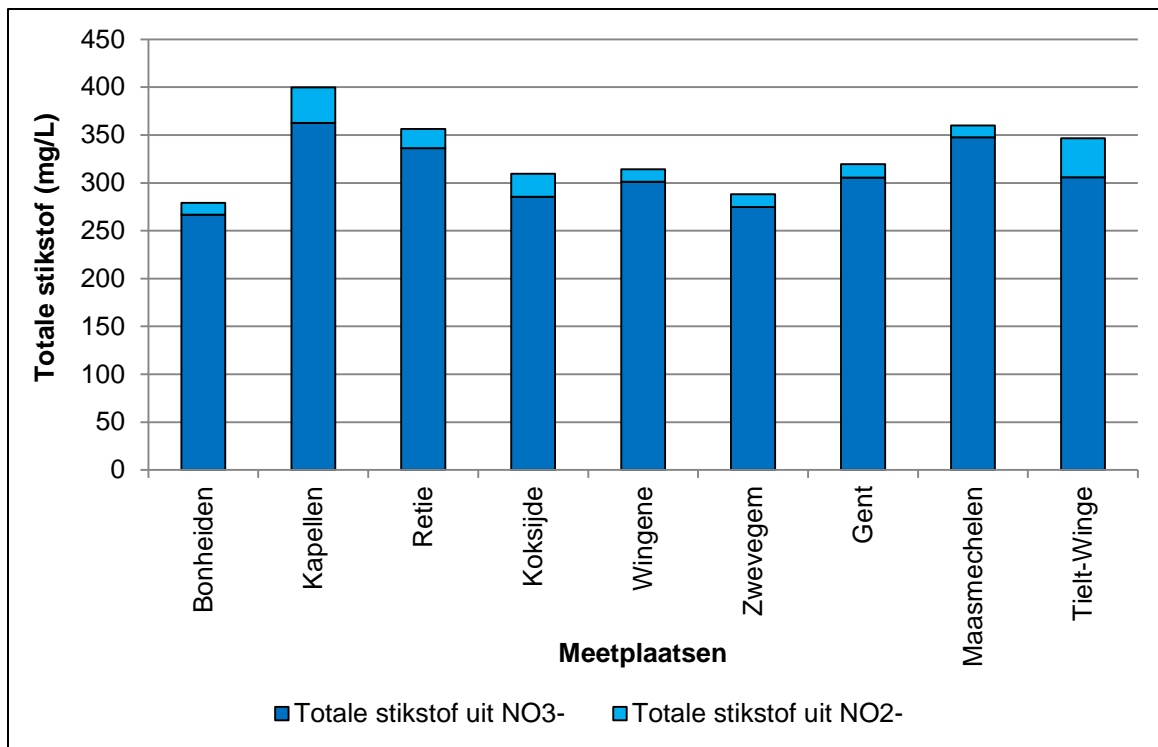
Wat de **trend** betreft, is er in de periode 2001-2012 algemeen een afname in de natte depositie van NH_4^+ , maar volgens de gebruikte statistische technieken (zie 5.1.1) is er maar op 1 van de 9 meetplaatsen een aanwijzing voor een betekenisvolle afname, namelijk in Retie (Figuur 19, Tabel 7 in Bijlage 3: Trends in natte depositie). Hier zien we namelijk een marginaal significante daling ($P = 0,07$). Deze trend kan lineair benaderd worden; jaarlijks daalde de natte depositie van NH_4^+ in Retie met $11,9 \pm 6,6$ Zeq/ha (gemiddelde \pm standaardafwijking). Het is het eerste jaar dat op één van de meetplaatsen een marginaal significante afname in de natte NH_4^+ -depositie wordt gevonden.



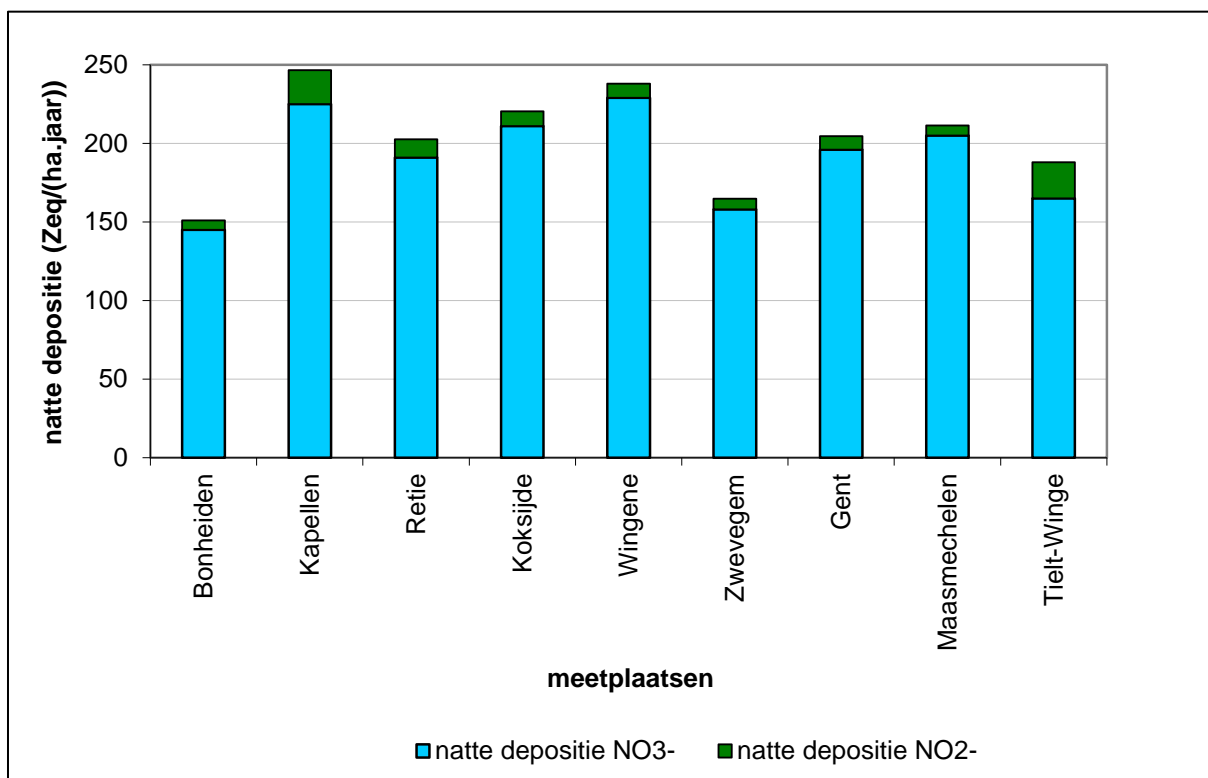
Figuur 19: Natte depositie van NH_4^+ in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is marginaal significant ($P = 0,07$)

5.2.3.2 Nitriet en nitraat

Figuur 20 toont de **totale concentratie stikstof** uit nitraat (NO_3^-) en nitriet (NO_2^-) in neerslag. Er is duidelijk te zien dat het aandeel van nitraat veel meer doorweegt dan dat van nitriet. Dit verschil komt ook terug naar voor in Figuur 21, die de **deposities** van nitriet en nitraat toont. Meetplaatsen met hoge concentraties hebben ook hoge depositiewaarden. Enkel in Wingene en Koksijde zien we een eerder lage concentratie, maar toch een hoge depositie. Dit is grotendeels te verklaren omdat de neerslaghoeveelheden in Wingene en Koksijde het hoogst zijn voor 2012.



Figuur 20: Totale stikstof uit NO₃⁻ en NO₂⁻ in de neerslag

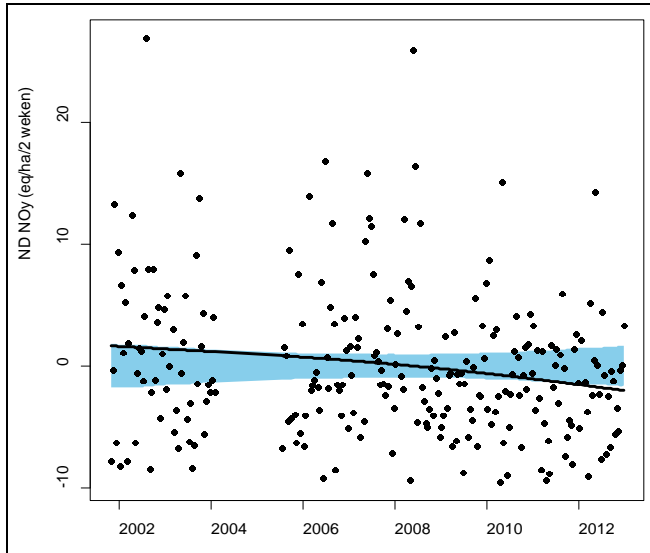


Figuur 21: Verzurende natte depositie van NO₃⁻ en NO₂⁻ in 2012

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 (zie Bijlage 3: Trends in natte depositie) toont immers aan dat het model voor het jaar 2012 niet in staat is om een zinvolle ruimtelijke spreiding te berekenen voor NO_y.

Als we de **trend** voor nitraat bekijken, stellen we vast dat de natte depositie van NO_3^- significant daalt ($P < 0,05$) in de periode 2001-2012 op vijf meetplaatsen, namelijk:

- Maasmechelen;
- Retie, zie Figuur 22;
- Tielt-Winge;
- Wingene;
- Zwevegem.

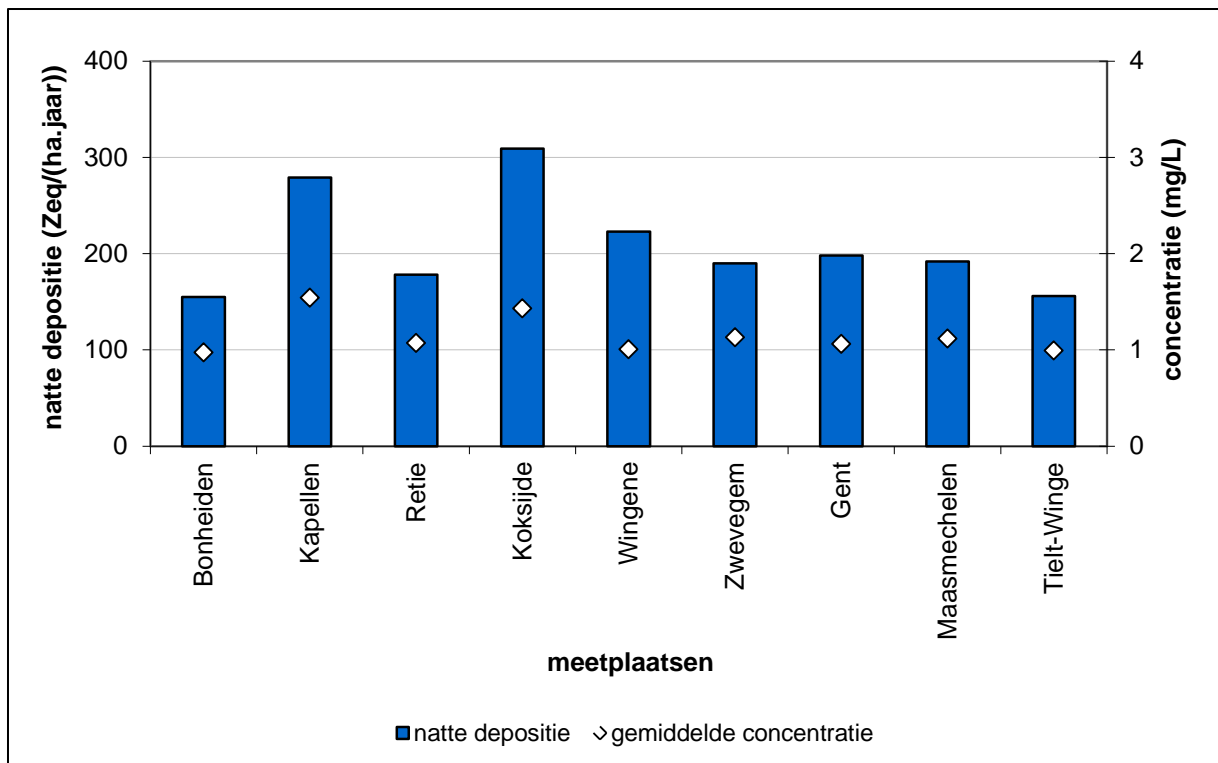


Figuur 22: Natte depositie van NO_3^- in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P = 0,009$)

Op deze meetplaatsen was er in de periode 2001-2011 ook al een significante afname in de natte NO_3^- -depositie. Voor 2001-2012 blijft de trend lineair op de vijf plaatsen. De jaarlijkse afname in de natte depositie van NO_3^- gaat van $5,8 \pm 2,8$ Zeq/ha in Tielt-Winge tot $8,5 \pm 3,2$ Zeq/ha in Retie (zie Tabel 7 in Bijlage 3: Trends in natte depositie).

5.2.3.3 Sulfaat

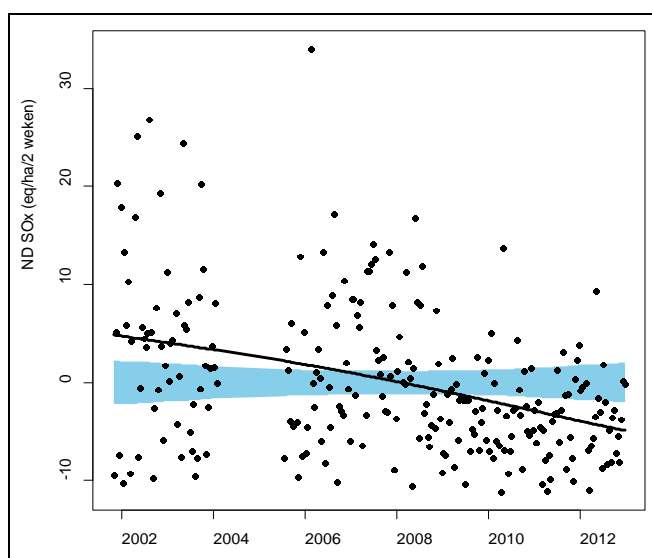
De **concentraties** SO_4^{2-} in de neerslag variëren tussen 0,97 mg/L in Bonheiden en 1,54 mg/L in Kapellen. Een deel van deze concentraties zijn te verklaren doordat opstuiwend zeewater zeezout in de lucht brengt, dat nadien via de neerslag mee gemeten kan worden. Dit zeezout beïnvloedt de sulfaatconcentraties. We weten uit het verleden dat hier een duidelijke correlatie is met de afstand tot de kust. Het aandeel van opstuiwend zeezout is dan ook groter in Koksijde dan in Maasmechelen. De hoogste **deposities** zien we in Koksijde en Kapellen. De verhoogde sulfaatconcentraties en -deposities in Kapellen worden voornamelijk veroorzaakt door de industrie gelegen ten zuidwesten van de meetplaats. De laagste depositie vinden we in Tielt-Winge.



Figuur 23: Verzurende concentratie in de neerslag en depositie van SO_4^{2-} in 2012. In de rechtse as staat de concentratie SO_4^{2-} uitgedrukt in mg/L. Na vermenigvuldiging met de neerslaghoeveelheid bekomt men de natte depositie, uitgedrukt in Zeq/(ha.jaar), aangeduid op de linkse as

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 waardoor het model voor het jaar 2012 niet in staat is om een zinvolle ruimtelijke spreiding te berekenen voor SO_x .

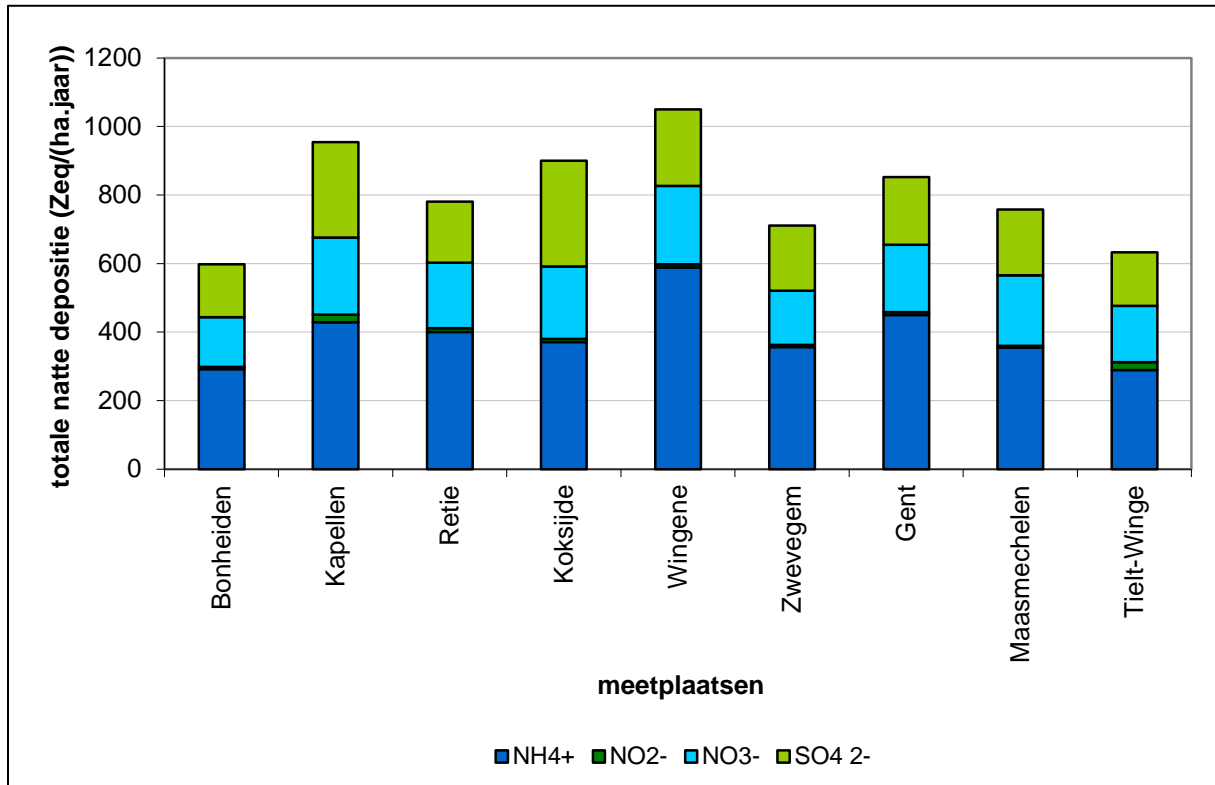
Net zoals bij de andere pollutanten, is ook hier de **trend** berekend. Hierbij kunnen we besluiten dat er in de periode 2001-2012 op de negen meetplaatsen een lineair dalende trend ($P < 0,002$) is in de natte depositie van SO_4^{2-} . Figuur 24 toont hiervan een voorbeeld voor de meetplaats Retie. De jaarlijkse afname ligt tussen $13,5 \pm 4,3$ Zeq/ha in Koksijde en $23,1 \pm 4,8$ Zeq/ha in Kapellen (zie Tabel 7 in Bijlage 3: Trends 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 ($P < 0,001$)

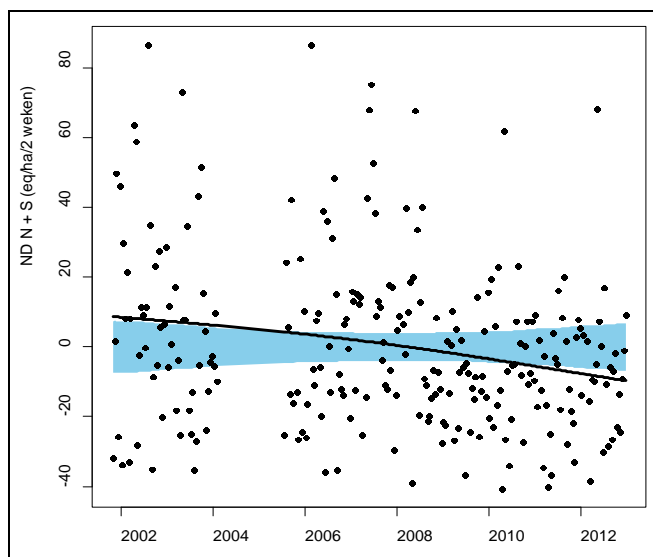
5.2.4 Totale natte depositie

Als we dan alle pollutanten bij elkaar op één grafiek zetten, kunnen we zien waar de **totale natte depositie** het hoogst was in 2012. De meetplaatsen met de hoogste deposities zijn Wingene, Koksijde en Kapellen. In Wingene en Kapellen is dit logisch omdat deze meetplaatsen voor alle pollutanten een hoge depositie hebben. In Koksijde is dit vooral te wijten aan de hoge sulfaatdepositie. De meetplaatsen Gent en Retie, die toch hogere NH_x -deposities hebben, volgen. Uit deze figuur kunnen we ook besluiten dat het aandeel van NH_x -depositie in de totale natte depositie 2012 het grootst is op alle meetplaatsen.



Figuur 25: Totale natte potentieel verzurende depositie per meetplaats

Voor zeven van de negen meetplaatsen nam de natte potentieel verzurende depositie significant af in de periode 2001-2012. Figuur 26 illustreert dit voor de meetplaats Retie. Enkel in Gent en Koksijde werd geen **trend** gevonden in de totale twee- of vierwekelijkse natte depositie (Bijlage 3: Trends in natte depositie, Tabel 7 en Figuur 58).



Figuur 26: 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 ($P = 0,001$)

5.2.5 Conclusies

2012 was een abnormaal nat jaar: de hoogste neerslaghoeveelheden werden in Wingene en Koksijde vastgesteld.

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^- doet zich voor in Kapellen. Als we de natte depositie van SO_4^{2-} bekijken, zien we de hoogste regenwaterconcentraties van SO_4^{2-} in Kapellen en de hoogste depositie in Koksijde. Een deel van deze hoge depositie is afkomstig uit natuurlijke bronnen, namelijk zeezout. De hoogste totale natte depositie werd gemeten in Wingene.

Voor de tijdtrends in de periode 2001-2012 zien we dit jaar voor het eerst een marginaal significante afname in de natte NH_4^+ -depositie voor één van de meetplaatsen (Retie). De natte depositie van NO_3^- daalt in deze periode op vijf van de negen meetplaatsen. De natte depositie van SO_4^{2-} daalt op alle meetplaatsen van 2001 tot 2012.

Een belangrijke conclusie uit het deel natte depositie is dat de pollutant **NH_x de belangrijkste component** blijft. Gezien dit grote aandeel zal het verzuringsbeleid in Vlaanderen in de toekomst nog meer landbouwbeleid moeten worden en nog nauwer moeten aansluiten bij het mestbeleid.

5.3 Droge depositie

In dit hoofdstuk bekijken we de droge depositie. We gaan dieper in op wat we meten en geven een interpretatie van de meetresultaten van 2012. Door de gegevens meer in detail te bestuderen kunnen er resultaten worden gerapporteerd per vegetatietype op de verschillende meetplaatsen.

5.3.1 Concentraties en deposities

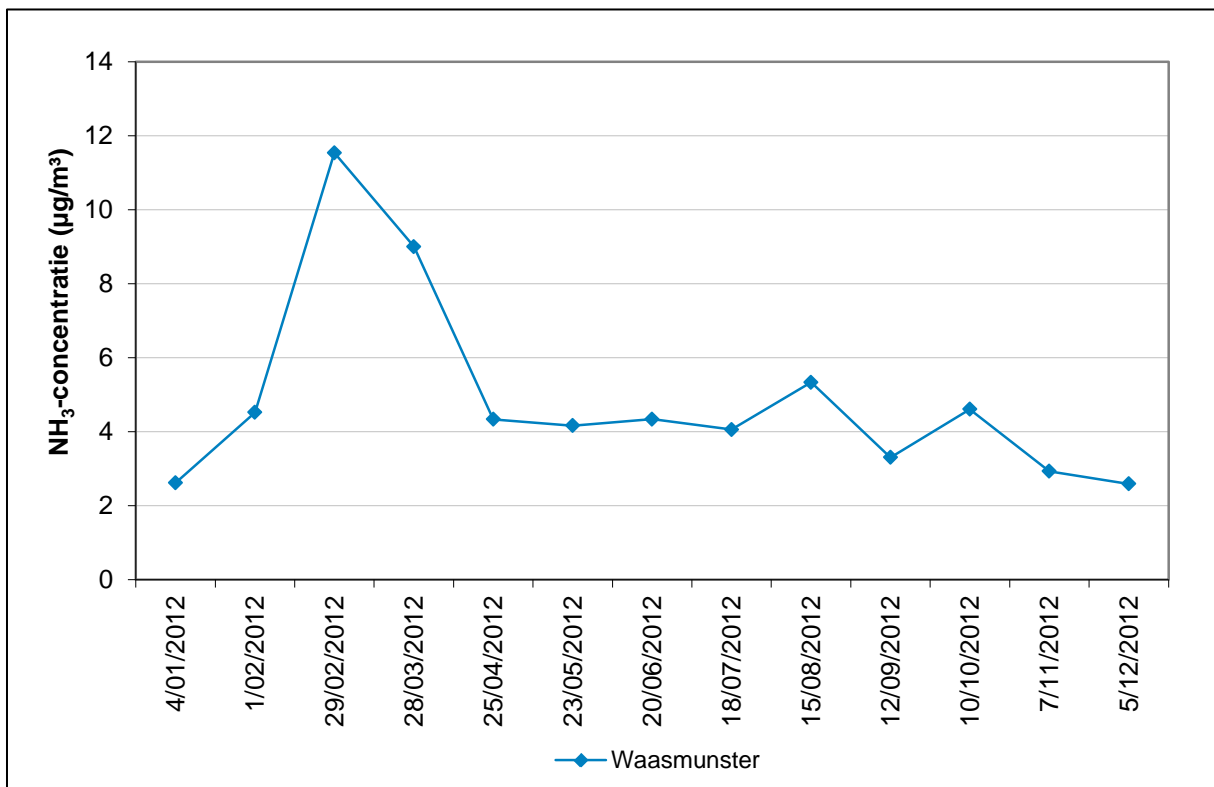
Op de meetplaatsen worden de depositiewaarden berekend uit de gemeten luchtconcentraties. De volgende hoofdstukken geven daarom eerst de concentraties weer en daarna de deposities per pollutant.

5.3.1.1 Ammoniak

Om een duidelijk beeld te krijgen van de mogelijke fluctuaties in de ammoniakconcentraties doorheen het jaar maken we een vergelijking tussen een meetplaats in een agrarisch gebied, namelijk Waasmunster, en één in een achtergrondgebied, Tielt-Winge.

Figuur 27 toont het verloop van de ammoniakconcentratie in Waasmunster over een jaar. In deze grafiek staan de gemeten maandelijkse ammoniakconcentraties. De concentraties liggen tussen 2,59 en 11,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, wat zeer hoog is. De ammoniakconcentratie piekt tussen eind februari en eind maart, ten gevolge van de mestuitspreiding die dan plaatsvindt in heel Vlaanderen. Het is toegelaten om dierlijke mest, andere meststoffen en kunstmest te spreiden tijdens de periode van 16 februari tot en met 31 augustus. In de polders mag dit nog op akkerland tot 14 oktober. Verder zijn er kleinere piekmomenten in de maanden augustus-september-oktober. Vermoedelijk zijn deze te wijten aan de opslag van vaste dierlijke mest op landbouwgrond. Deze piekmomenten kunnen ieder jaar iets vroeger of later vallen en dit afhankelijk van de weersomstandigheden. Vanaf 15 november tot 15 januari is er een verbodsperiode op deze opslag⁹.

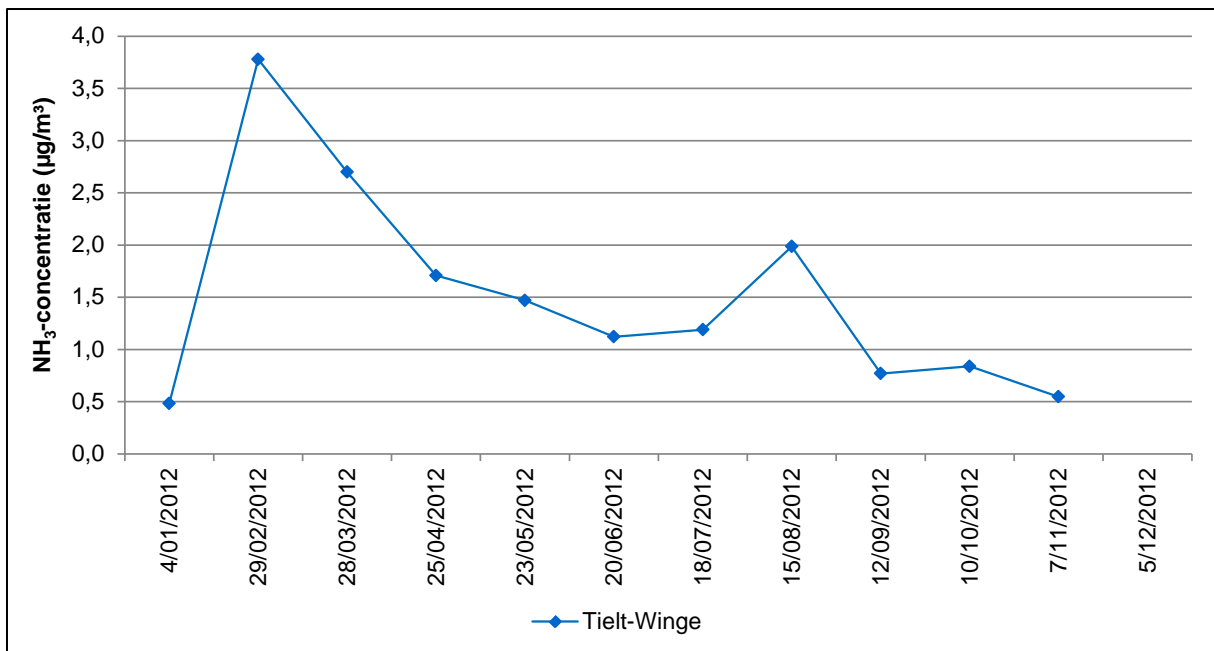
Dezelfde hoge NH_3 -concentratie is terug te vinden op alle meetplaatsen met een vergelijkbaar omgevingskarakter, namelijk landbouwactiviteiten of veeteelt in de onmiddellijke omgeving. Dit zijn Blankenberge, Torhout, Wingene, Zwevegem en Ieper.



Figuur 27: Concentratieverloop van ammoniak in Waasmunster. Op de X-as staan de maandelijkse data, op de Y-as de concentratie van ammoniak in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

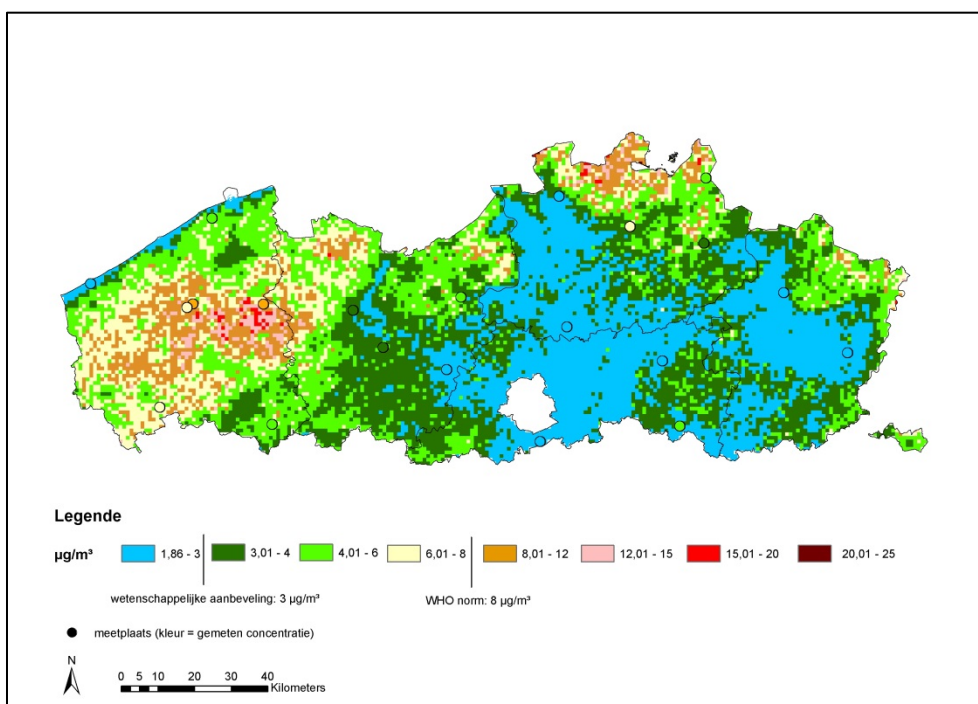
De meetplaats in Tielt-Winge bevindt zich daarentegen in achtergrondgebied. Hier zijn geen landbouwactiviteiten in de directe omgeving, maar wel extensieve begrazing van runderen. Het Walenbos waarin de meetplaats van de VMM zich bevindt, vormt bovendien een buffer. Desondanks is hier eenzelfde verloop van de concentraties in de tijd, met andere woorden we zien op deze meetplaats evengoed de piekmomenten. De concentraties liggen hier wel een stuk lager dan in Waasmunster (tussen 0,48 en 3,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

⁹ Bron: het mestdecreet: Decreet van 22 december 2006 houdende de bescherming van water tegen de verontreiniging door nitraten uit agrarische bronnen.



Figuur 28: Concentratieverloop van ammoniak in Tielt-Winge. Op de X-as staan de data van de maandelijkse monsterneming uitgezet, op de Y-as de concentraties in µg/m³

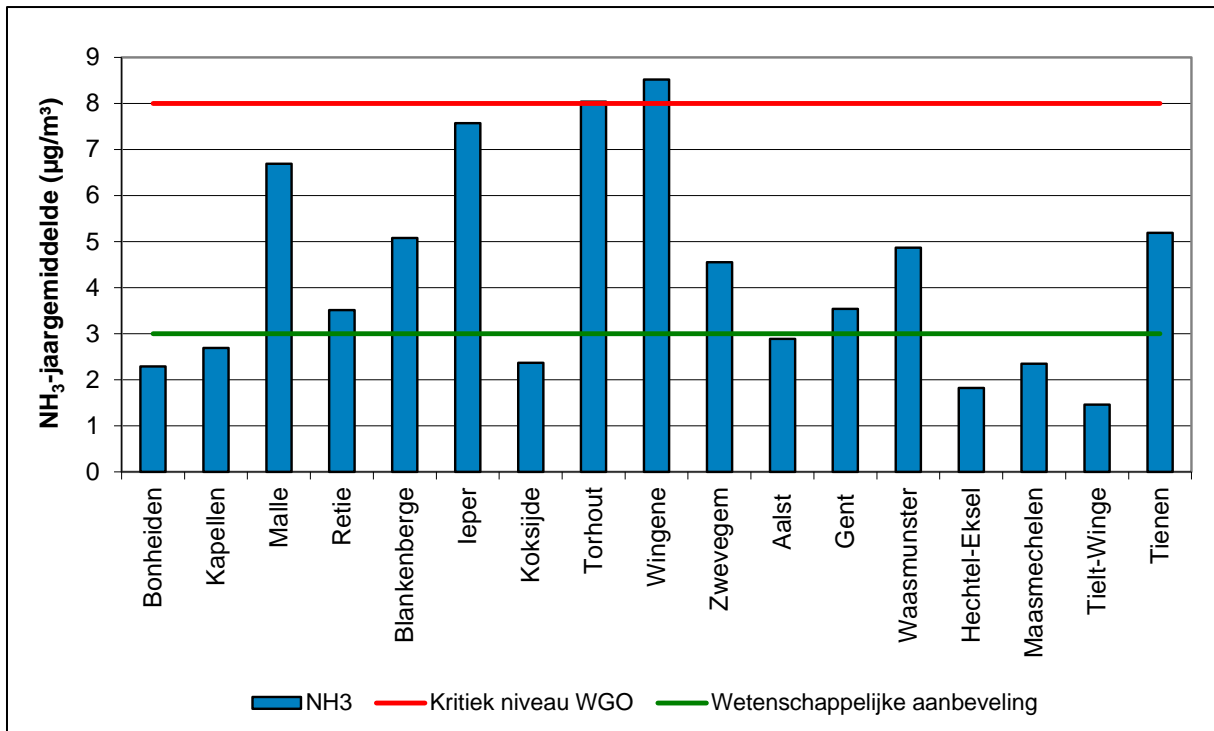
Figuur 29 toont vervolgens **de gemodelleerde geografische spreiding** van het **NH₃-jaargemiddelde** over Vlaanderen, berekend met het VLOPS-model. De concentraties zijn het hoogst in West-Vlaanderen en ten noorden van de provincies Antwerpen en Limburg. Dit zijn gebieden met intensieve veeteelt zoals hierboven besproken.



Figuur 29: Gemodelleerd NH₃-jaargemiddelde in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km² receptorenrooster

Voor de concentratie in de lucht moet rekening gehouden worden met de **internationale norm** van de **WGO**. Het NH₃-jaargemiddelde (zie Figuur 30) toont aan dat er één overschrijding van het kritieke niveau van 8 µg/m³ is, namelijk voor de meetplaats in Wingene. Zoals reeds aangegeven ligt deze meetplaats in een gebied met intensieve landbouw en veeteelt. Omdat het kritieke niveau slechts een advieswaarde is, zijn er aan deze overschrijdingen geen sancties gekoppeld.

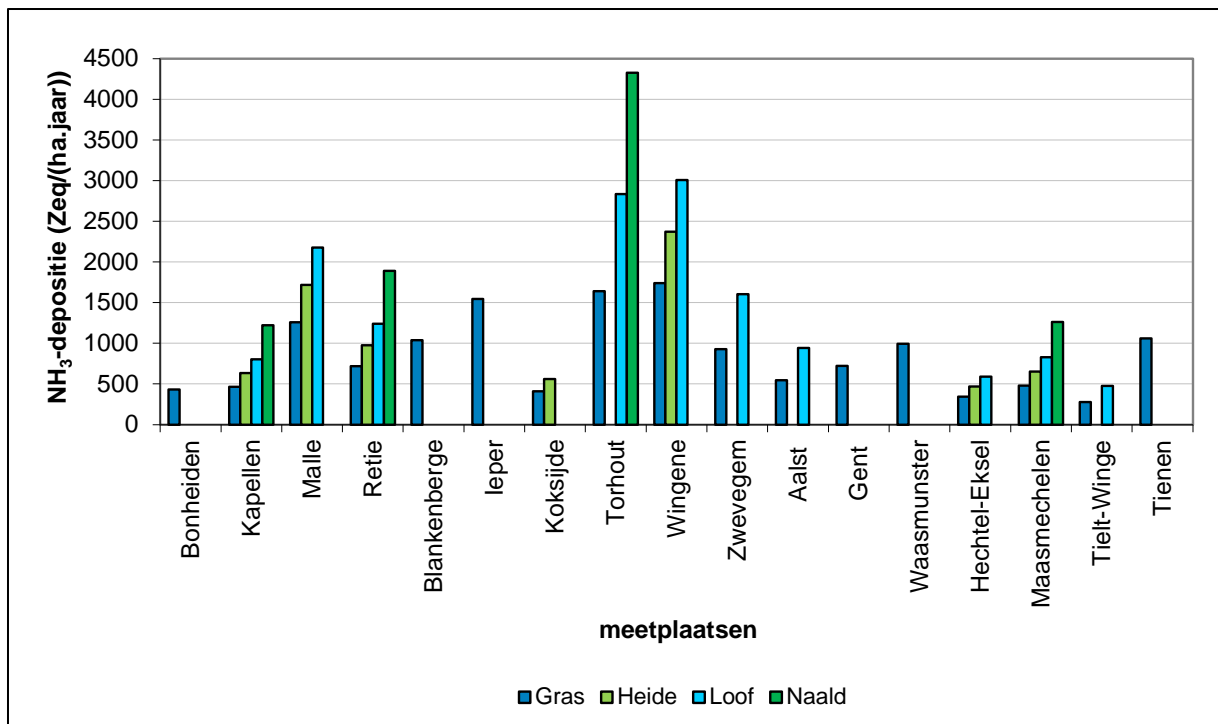
Momenteel voldoet geen enkele meetplaats aan de wetenschappelijke aanbeveling van $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor hogere planten¹⁰. Bijkomende inspanningen zijn dus aangewezen.



Figuur 30: Toetsing van de gemeten NH₃-concentraties per meetplaats aan het huidige kritieke niveau voor vegetatie (rode lijn in grafiek) en het aanbevolen niveau (groene lijn in grafiek)

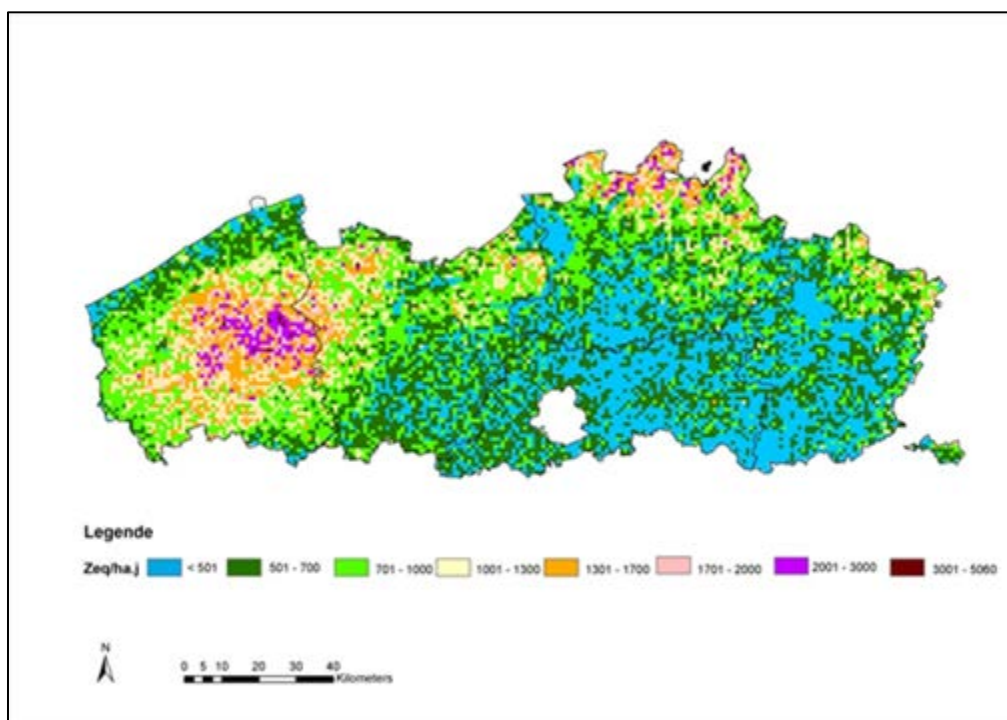
Als we dan kijken naar de **deposities**, toont Figuur 31 de berekende depositiewaarden voor NH₃. De berekening geeft een verschillende depositie weer afhankelijk van het vegetatietype. De hoogste NH₃-deposities worden gemeten op de meetplaatsen in West-Vlaanderen (Torhout, Ieper en Wingene) en in de Noorderkempen (Malle). De gebieden met heide zijn het meest gevoelig en kennen een grote druk door de hoge deposities van N en NH₃. De deposities in Tielt-Winge op grasland zijn het laagst met 298 Zeq/(ha.jaar), en die in Torhout op naaldbos het hoogst, 4.327 Zeq/(ha.jaar). In Tielt-Winge is dit te verklaren doordat de meetplaats ver van mogelijke verontreinigingsbronnen ligt. Bovendien ligt het Walenbos, dat de aangevoerde lucht filtert, ten zuidwesten van de meetplaats in de richting van de overheersende winden. De combinatie van deze twee factoren zorgt dan voor lage deposities. De hoge depositie in Wingene is te verklaren door de aanwezige landbouwactiviteiten in de onmiddellijke omgeving. De deposities van ammoniak dragen bij tot de overschrijding van kritische lasten voor verzuring en vermesting (zie 5.4.1.1 en 5.4.2.1).

¹⁰ Cape J.N., van der Eerden L.J., Sheppard L.J., Leith I.D., Sutton M.A. (2009) Evidence for changing the critical level for ammonia. *Environmental Pollution* 157, 1033-1037



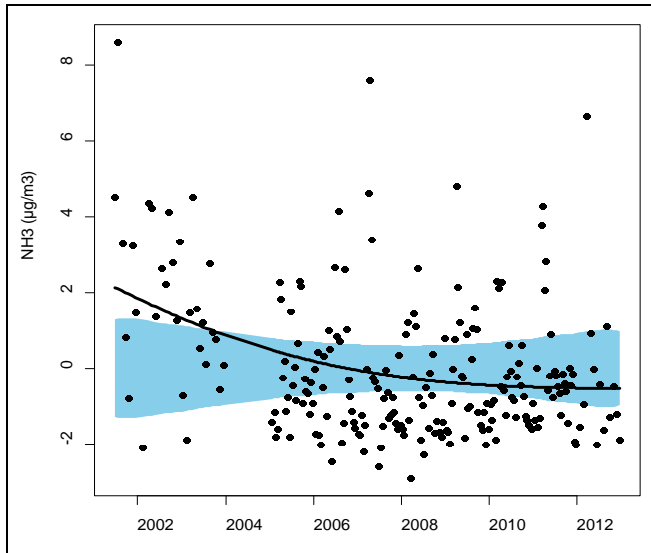
Figuur 31: Overzicht van de NH_3 -droge depositie in 2012 per aanwezig vegetatietype. De depositie wordt uitgedrukt in $Zeq/(ha.jaar)$ en is te zien op de Y-as

De **gemodelleerde geografische spreiding** van de jaargemiddelde **droge depositie NH_x** over Vlaanderen, berekend met het VLOPS-model, bevestigt bovenstaande resultaten.



Figuur 32: Gemodelleerde droge depositie van NH_x in 2012 in Vlaanderen, $1 \times 1 \text{ km}^2$ receptorenrooster

Tot slot kunnen we nog iets vertellen over de **trend**. Op zeven van de negen meetplaatsen is er een significant dalende trend in de concentratie van NH_3 in 2001-2012. Figuur 33 illustreert dit voor de meetplaats Retie.



Figuur 33: 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 ($P = 0,003$)

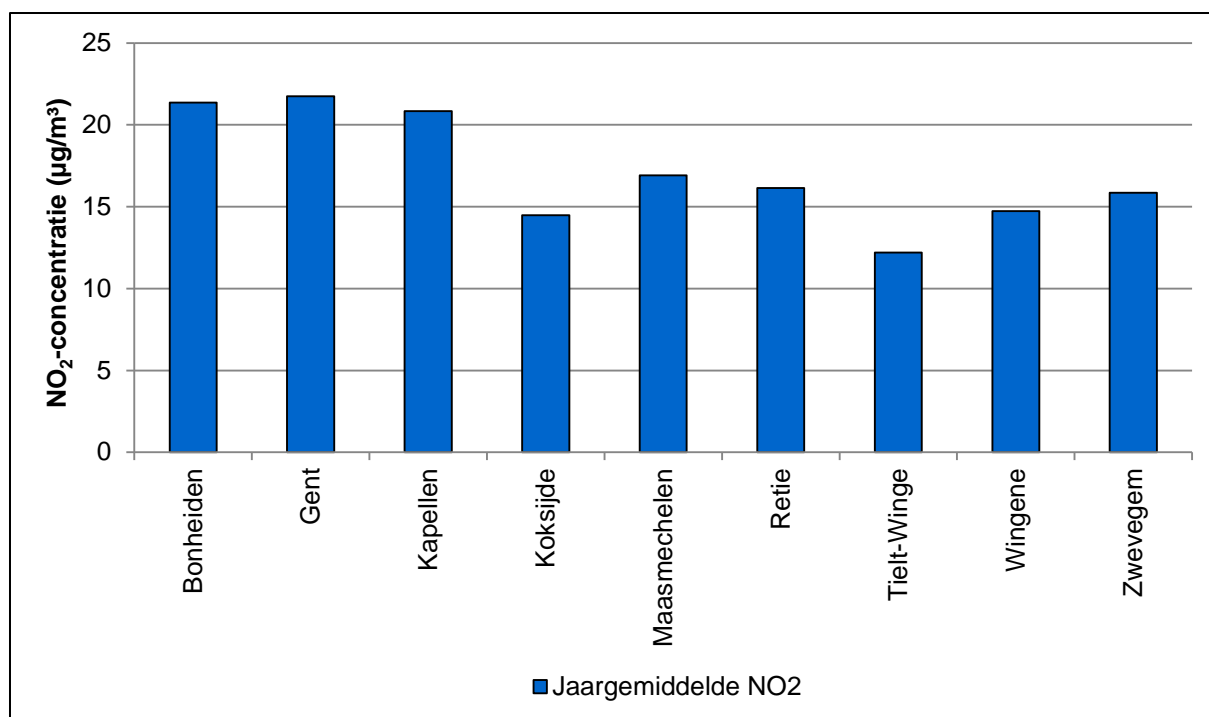
In Bonheiden is er een niet-significante daling voor NH_3 . In Maasmechelen stijgt de NH_3 -concentratie van 2001 tot 2012 jaarlijks met gemiddeld $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, maar deze stijging is onvoldoende om van een significante trend te spreken ($P = 0,19$). Deze resultaten van GAM-modellen met een lineair veronderstelde jaartrend zijn terug te vinden in Bijlage 4: Trends in luchtconcentraties (Tabel 8).

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, zoals geïllustreerd door de niet-lineaire trendlijnen in Bijlage 4: Trends in luchtconcentraties (Figuur 59).

De depositie van NH_4^+ aerosol wordt door de VMM niet gemeten. Daardoor hangt de droge depositie van NH_x , afgeleid uit de metingen, volledig af van de NH_3 -concentraties en de droge depositiesnelheid. Omdat er voor gekozen is om per vegetatietype een vaste depositiesnelheid te gebruiken, zijn de trends in NH_x -deposities analoog aan deze in de NH_3 -concentraties.

5.3.1.2 Stikstofdioxide

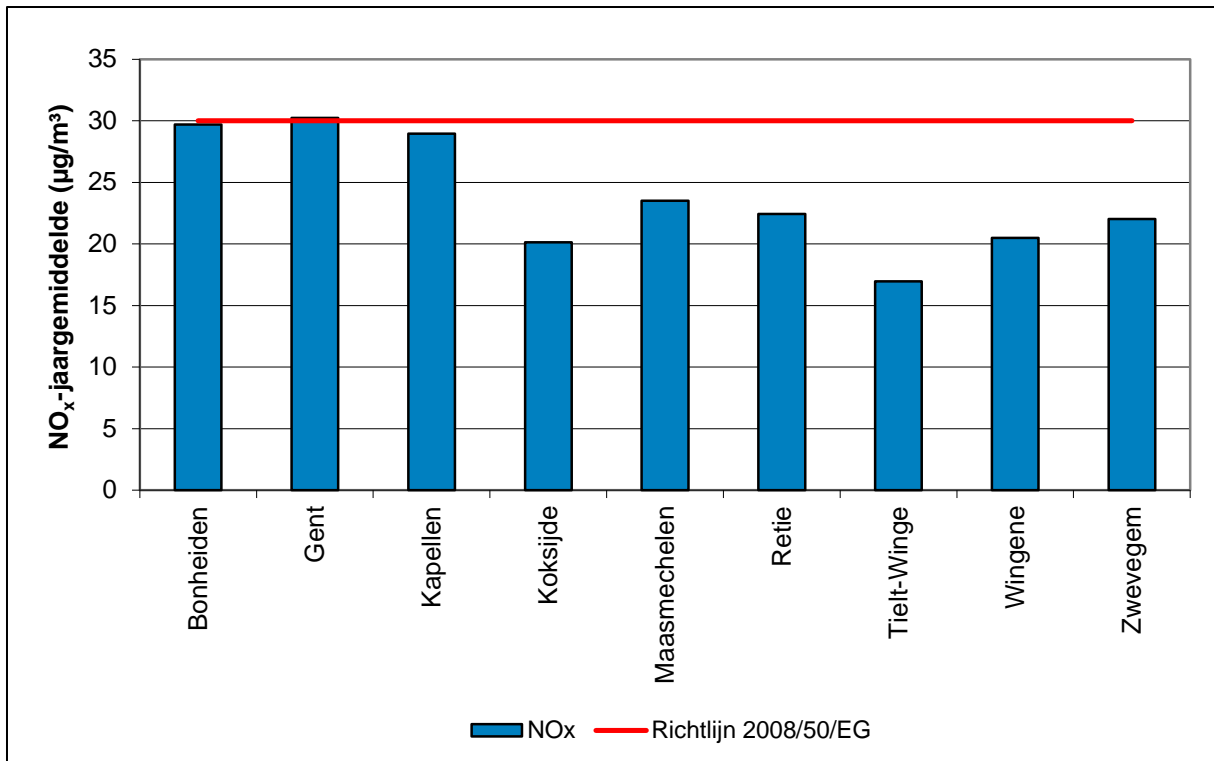
De onderstaande figuur geeft de gemeten **concentraties** weer van stikstofdioxide. In de grafiek is het jaargemiddelde uitgezet per meetlocatie. De concentraties variëren tussen $12,2$ en $21,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Industrie en verkeerswegen zijn de oorzaak van verhoogde stikstofdioxiden in de lucht, zo zorgt de invloed van de Antwerpse haven voor de verhoogde NO_2 -concentraties in Kapellen. De hoogste concentraties zijn terug te vinden in Gent, Kapellen en Bonheiden.



Figuur 34: NO₂-jaargemiddelde in µg/m³ per meetplaats

De Europese richtlijn bepaalt een **kritiek niveau** voor **vegetatie** voor NO_x van 30 µg/m³. Om een indicatieve toetsing uit te voeren met de gemeten NO₂-concentraties van de passieve samplers, moet er een omzetting naar NO_x gebeuren. De gebruikte omzettingsfactor is bepaald aan de hand van de gemiddelde verhouding van NO_x- en NO₂-uurswaarden in 2012, afkomstig van 9 landelijke telemetrische achtergrondstations, en bedraagt 1,39.

Uit Figuur 35 kunnen we vaststellen dat op de meetplaats in Gent en Bonheiden de 30 µg/m³ benaderd wordt en dat de waarden voor alle meetplaatsen onder het kritieke niveau voor vegetatie liggen.

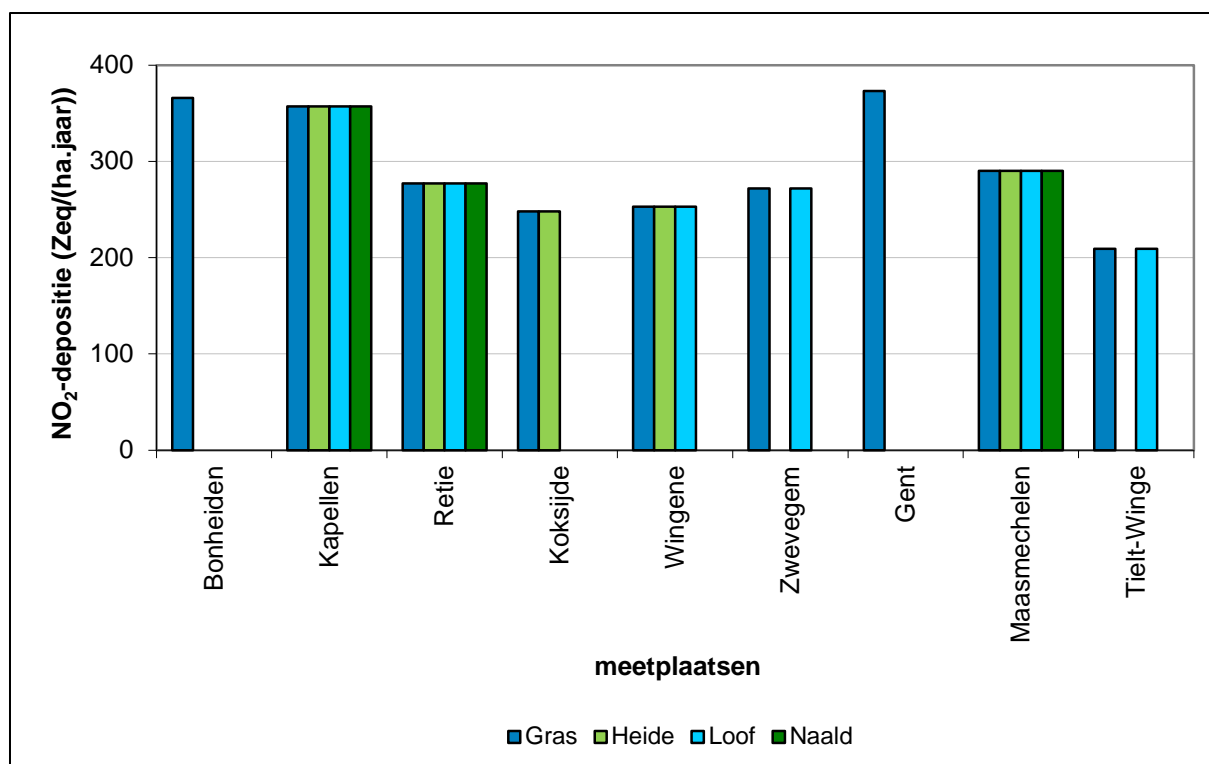


Figuur 35: Indicatieve toetsing van de omgerekende NO_x-concentraties, afkomstig van de passieve samplers, aan het kritieke niveau voor vegetatie

Door de relatief constante NO₂-concentraties op de meetplaatsen verzuring blijft de **NO₂-depositie** ook stabiel de laatste jaren. In 2012 varieert de NO₂-depositie van 209 Zeq/(ha.jaar) in Tielt-Winge tot 373 Zeq/(ha.jaar) in Gent. Figuur 36 toont de depositie op de verschillende meetplaatsen, berekend uit de concentraties. Hier is te zien dat op de meetplaatsen waar hoge concentraties worden gemeten, ook hoge deposities zijn.

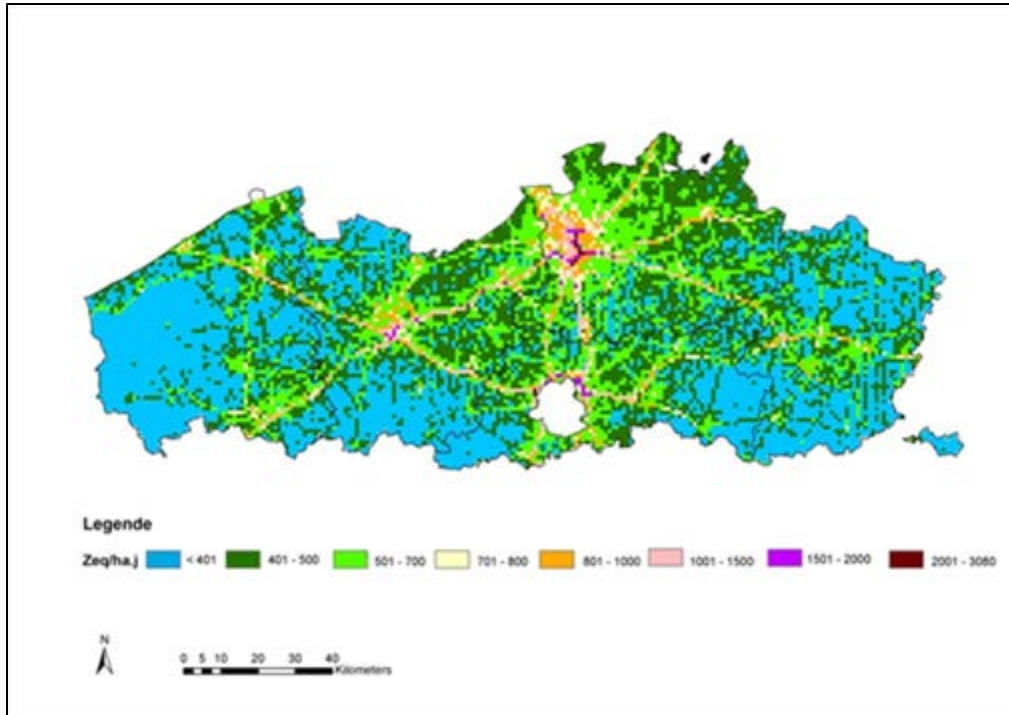
De NO₂-depositie op basis van de metingen is enkel afhankelijk van de gemeten NO₂-concentraties (aangezien geen concentratie van andere NO_y-componenten wordt gemeten) en de gebruikte depositiesnelheid voor NO₂. Op basis van de literatuurgegevens wordt voor NO₂ voor elk van de vier beschouwde vegetatietypes dezelfde gemiddelde droge depositiesnelheid gebruikt, namelijk 0,25 cm/s (zie 4.4.3.2). Er zijn wel dagelijkse en seizoenale verschillen in de gerapporteerde depositiesnelheid van NO₂, maar op jaarbasis is er volgens de wetenschappelijke literatuur weinig invloed van het soort vegetatie op de depositiesnelheid van NO₂¹¹. Vandaar dat de grafiek ook dezelfde deposities voor verschillende vegetatietypes toont.

¹¹ Staelens J., Deschepper E., Verheyen K., Thas O. 2007. Statistische verwerking meetdata verzuring. Studie in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij. Eindverslag, Universiteit Gent



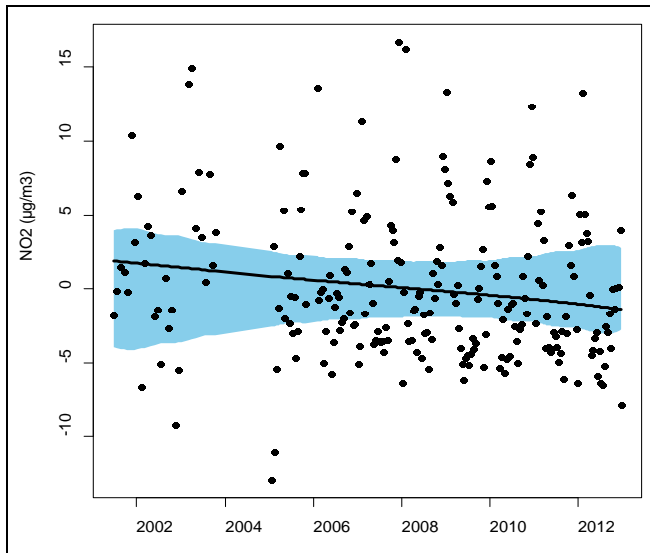
Figuur 36: NO_2 -depositie in 2012 per vegetatietype. Op de linkse as de berekende droge depositie NO_2 uitgedrukt in $Zeq/(ha.jaar)$. Enkel het aanwezige vegetatietype wordt uitgezet op de grafiek. Vermits de depositiesnelheden niet verschillen per vegetatietype, kunnen we gelijke deposities waarnemen

Figuur 37 toont de **gemodelleerde geografische spreiding** van de droge depositie van NO_y over Vlaanderen, berekend met het VLOPS-model. De depositie piekt in Antwerpen, Gent en ten noorden van Brussel en op nagenoeg alle snelwegen rond Antwerpen, Gent en Brussel. Ook hier blijkt het verkeer de belangrijkste bron van stikstofoxiden. Industrie- en energiesector zijn andere belangrijke bronnen. De verkeerswegen en grote industriegebieden komen duidelijk in beeld op de onderstaande kaart. Let wel: de metingen hierboven betreffen NO_2 , deze gemodelleerde resultaten gaan over NO_y .



Figuur 37: Gemodelleerde droge depositie van NO_y in 2012 in Vlaanderen, $1 \times 1 \text{ km}^2$ receptorenrooster

Voor de **trends** kunnen we stellen dat er voor geen enkele van de negen meetplaatsen van het meetnet verzuring een significante verandering is in de concentratie van NO_2 in de periode 2002-2012. Dit blijkt uit de GAM-modellen voor twee- of vierwekelijkse meetgegevens (Bijlage 4: Trends in luchtconcentraties, Tabel 8 en Figuur 60) en wordt voor de meetplaats Retie getoond in Figuur 38.



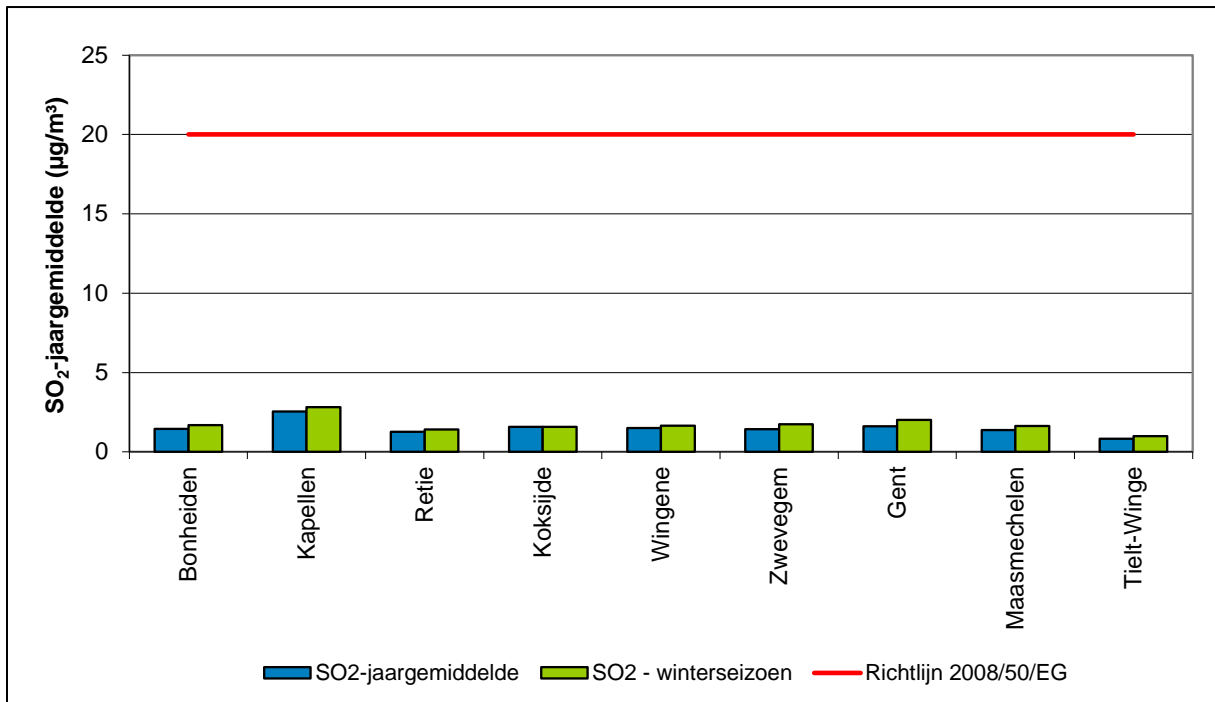
Figuur 38: Luchtconcentratie van NO_2 in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is niet significant ($P = 0,133$)

5.3.1.3 Zwaveldioxide

Figuur 39 toont de gemeten **concentraties** van zwaveldioxide. Dit jaargemiddelde varieert tussen 0,83 en 2,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De hoogste concentraties zijn terug te vinden in Kapellen. Voor SO_2 -concentraties wordt het **kritieke niveau** voor **vegetatie** van 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor alle meetplaatsen gehaald. De resultaten voor 2012 zijn gelijkaardig aan die van de vorige jaren.

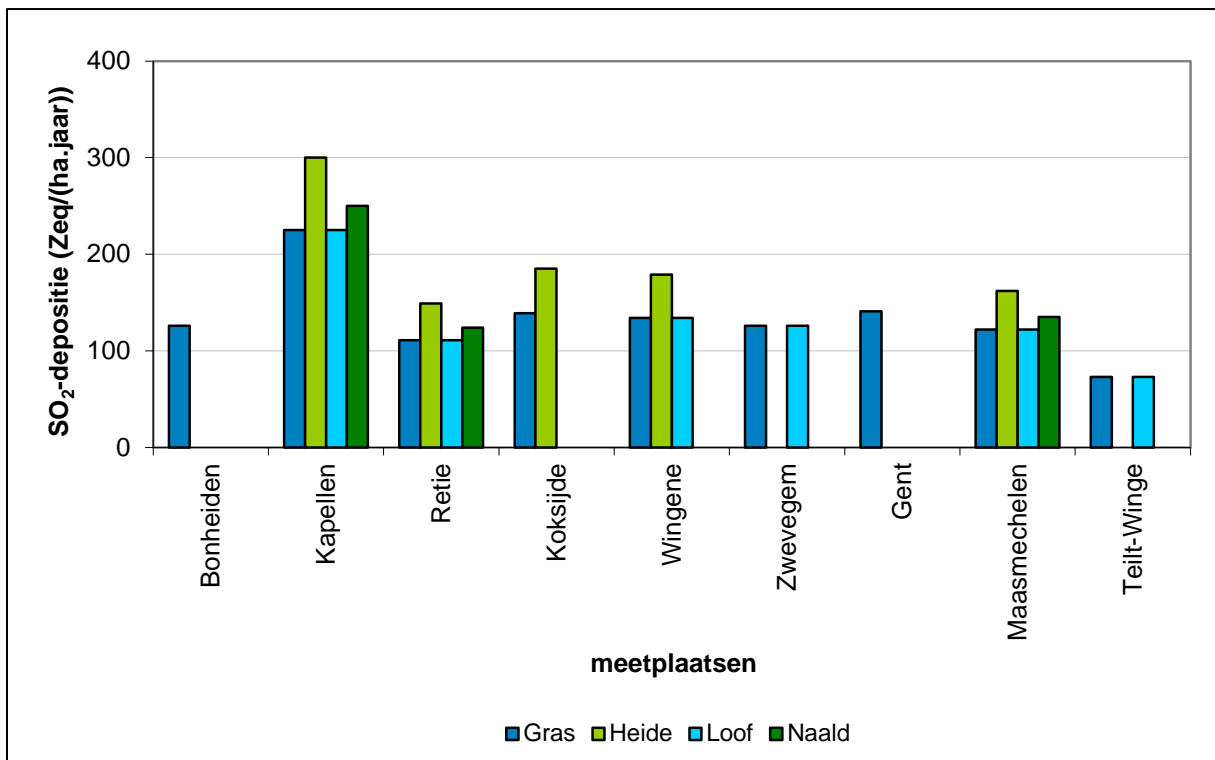
Algemeen daalt het SO_2 -jaargemiddelde sterk als we naar de evolutie kijken sinds 2003 (Jaarimmissieverslag Lucht 2012). De hogere concentratie in Kapellen en in beperktere mate in Gent, kunnen deels verklaard worden door de ligging van de meetplaats in de buurt van industrie. Deze

invloed is het grootst in Kapellen, omdat de Antwerpse haven ten zuidwesten ligt, de hoofdwindrichting van de meetplaats.



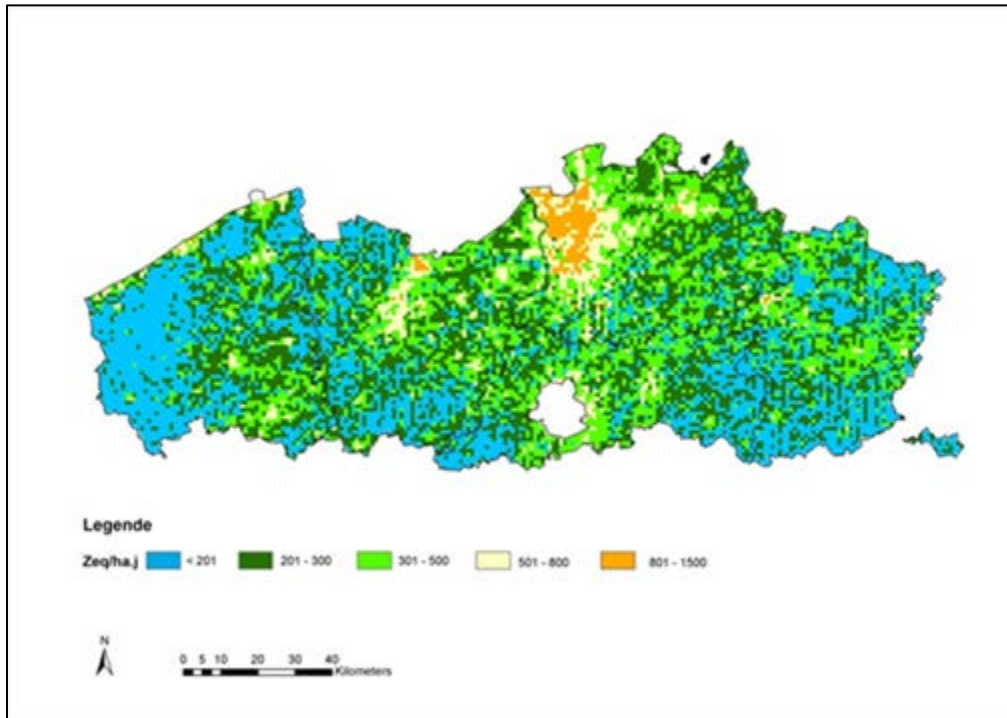
Figuur 39: SO₂-concentratie en indicatieve toetsing van de met passieve samplers gemeten SO₂-concentraties, aan het kritieke niveau voor vegetatie

Figuur 40 toont de droge **depositie** van SO₂ in 2012. De depositie is afhankelijk van het vegetatietype en varieert van 73 Zeq/(ha.jaar) op gras en loofbos in Tielt-Winge tot 300 Zeq/(ha.jaar) op heide in Kapellen.



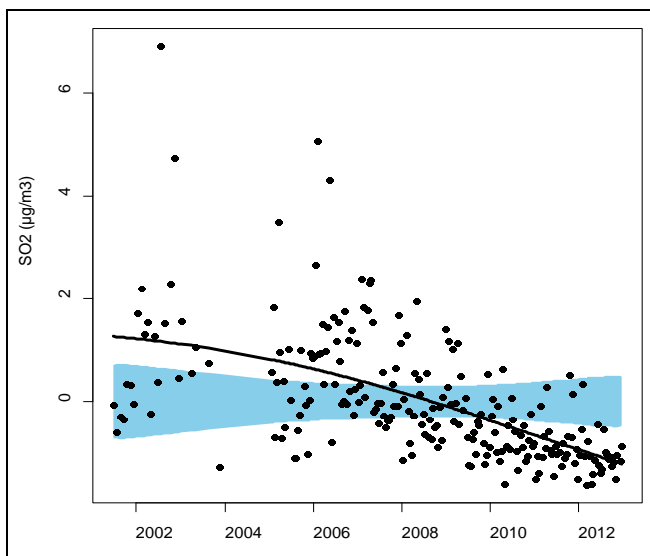
Figuur 40: De gemiddelde SO₂-depositie in 2012, uitgedrukt per aanwezig vegetatietype in Zeq/(ha.jaar). Omdat de depositiesnelheden verschillen per vegetatietype, verschillen ook de deposities

Figuur 41 toont de **gemodelleerde geografische spreiding** van de droge depositie van SO_x over Vlaanderen, 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.



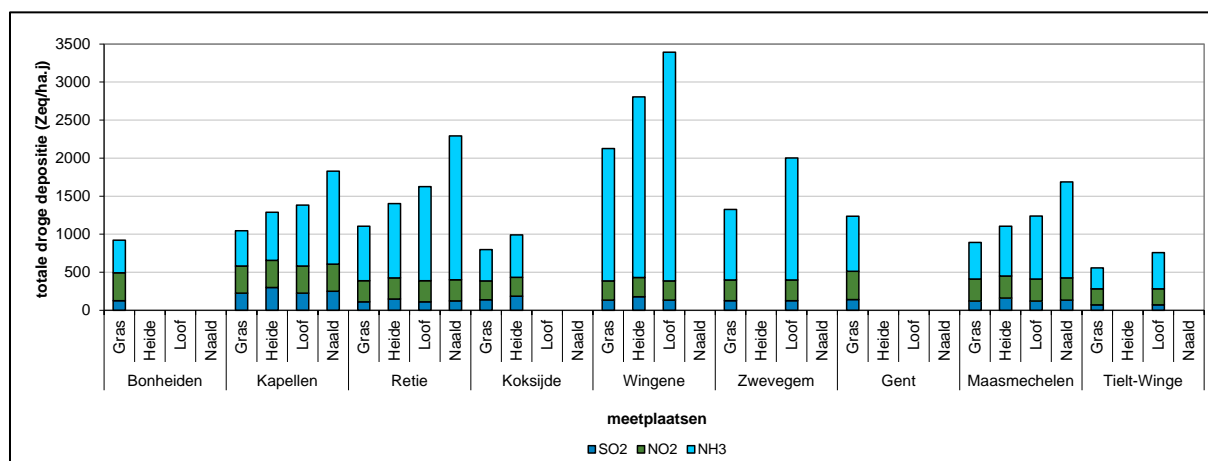
Figuur 41: Gemodelleerde droge depositie SO_x in 2012 in Vlaanderen, $1 \times 1 \text{ km}^2$ receptorenrooster

Tot slot nog iets over de **trend**. Op alle negen meetplaatsen van het meetnet verzuring daalt SO_2 significant in de periode 2001-2012 ($P < 0,001$ volgens de GAM-modellen, zie Tabel 8 in Bijlage 4: Trends in luchtconcentraties). Volgens de benaderende F-test is deze daling nergens lineair. Figuur 42 toont het geschatte niet-lineaire verloop voor de meetplaats Retie. Figuur 61 in Bijlage 4: Trends in luchtconcentraties toont het geschatte niet-lineaire verloop voor alle meetplaatsen. Ook op jaarbasis daalt SO_2 steeds significant ($P < 0,004$ volgens de Kendall-testen).



Figuur 42: 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 ($P < 0,001$)

5.3.2 Totale droge depositie



Figuur 43: Totale droge depositie

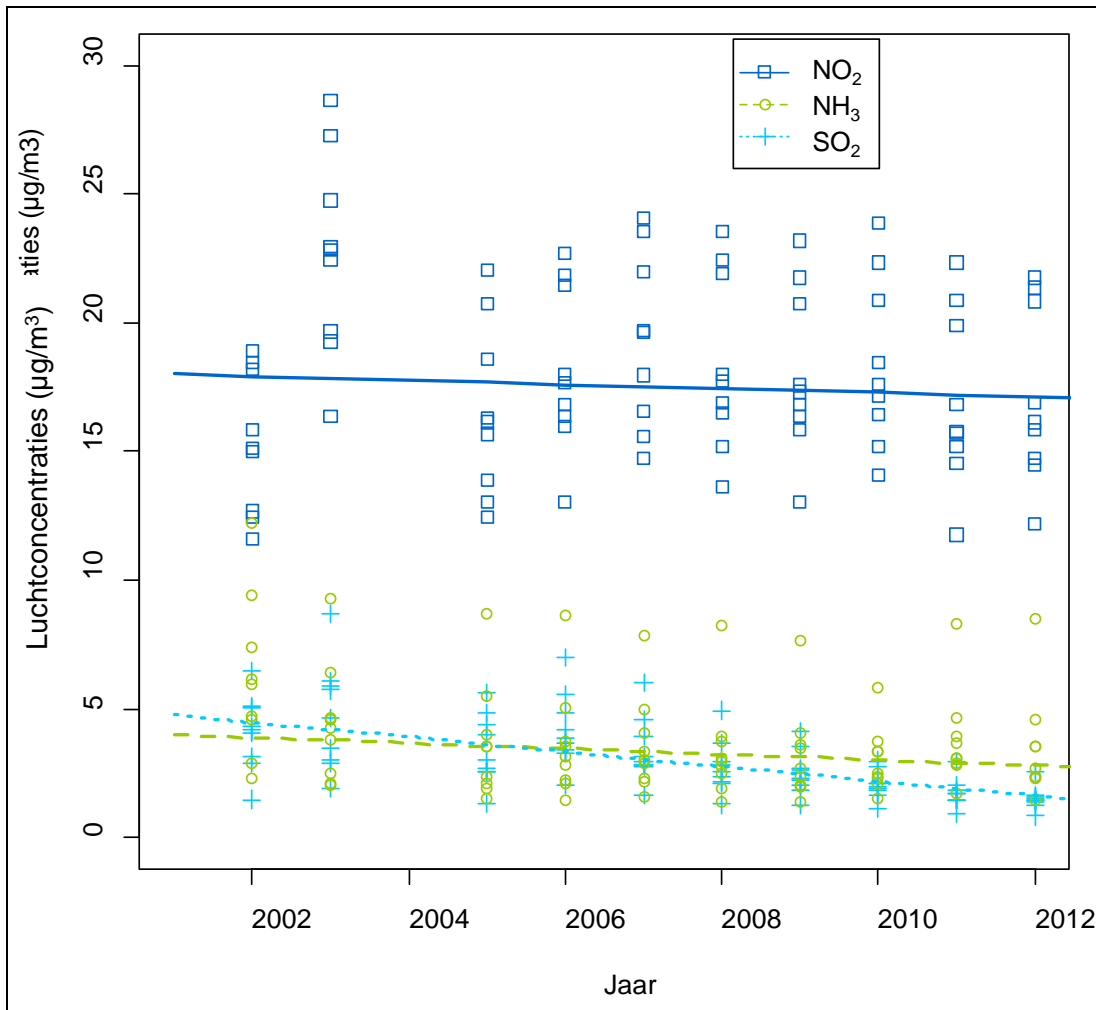
Figuur 43 toont de totale droge depositie op de verschillende meetplaatsen. Wat onmiddellijk opvalt is het grote aandeel van ammoniak. Ook de overmaat aan stikstofdepositie die verantwoordelijk is voor de verzuring en de vermistende komt zeer duidelijk naar voor.

De resultaten komen overeen met de gemodelleerde kaart van de droge depositie: in de gemodelleerde kaarten zien we voor zwaveloxiden en vooral stikstofoxiden 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) en in de Noorderkempen (Kapellen en Retie). De kuststreek en de gebieden met weinig intensieve veeteelt zoals Koksijde en Tielt-Winge krijgen veel minder droge depositie te verwerken. De vegetatietypes, zoals heide en bos, die het meest gevoelig zijn aan verzuring en vermistende, krijgen de meeste droge depositie te verwerken.

5.3.3 Regionale trend

Op de jaarlijkse data kan ook een **regionale Kendall-test** uitgevoerd worden. Deze test corrigeert voor de ruimtelijke afhankelijkheid tussen de meetplaatsen. Voor de negen meetplaatsen samen die sinds 2001 in gebruik zijn, daalt de NH_3 -concentratie van 2002-2012 jaarlijks met $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($P = 0,039$). Voor NO_2 is er voor de negen meetplaatsen verzuring samen geen trend ($P = 0,71$) en voor SO_2 bedraagt de mediane jaarlijkse afname $0,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($P = 0,001$). Figuur 44 toont de jaargemiddelde luchtconcentraties en de trendlijn volgens deze regionale Kendall-test.



Figuur 44: Jaargemiddelde luchtconcentraties van NH₃, NO₂ en SO₂ op de negen meetplaatsen die sinds 2001 in gebruik zijn. De lijnen zijn niet-parametrische regressielijnen (regionale Kendall-test; $P = 0,04$ voor NH₃, $P = 0,71$ voor NO₂ en $P = 0,001$ voor SO₂)

5.3.4 Conclusies

Bij het bekijken van de verschillende verzurende stoffen zien we dat de ammoniakconcentraties voornamelijk pieken in de maanden maart en april. Verder kunnen we besluiten dat de concentraties van ammoniak veel hoger liggen in gebieden met **intensieve landbouw en veeteelt**. Dit weerspiegelt zich ook in de deposities. Op één meetplaats, namelijk Wingene, wordt de WGO norm van 8 µg/m³ niet gehaald. Als we kijken naar de wetenschappelijke aanbeveling van 3 µg/m³, stellen we vast dat dit op geen enkele meetplaats wordt gehaald. Bijkomende inspanningen zullen dus noodzakelijk blijven om de emissies te doen dalen.

Stikstofoxiden stagneren met voorgaande jaren en we zien hier voornamelijk hogere concentraties en deposities aan **industriegebieden** en **drukke verkeerswegen**. Het kritieke niveau wordt niet overal gehaald.

Voor **zwaveldioxide** wordt het kritieke niveau voor vegetatie overal gehaald en blijven de concentraties dalen in de tijd.

In de periode 2001-2012 daalt de concentratie van NH₃ op zeven van de negen meetplaatsen en van SO₂ op alle meetplaatsen. Voor alle meetplaatsen samen is er een significante daling van 0,13 µg NH₃/m³ en van 0,19 µg SO₂/m³. De concentratie van NO₂ blijft stabiel.

Daar waar hogere concentratieniveaus worden gemeten, krijgen we ook hogere depositiewaarden. Er is dus een inspanning nodig om gevoelige plaatsen – met grote bevolkingsdichtheid of natuurgebied – te bufferen van de brongebieden waar de emissies plaatsvinden.

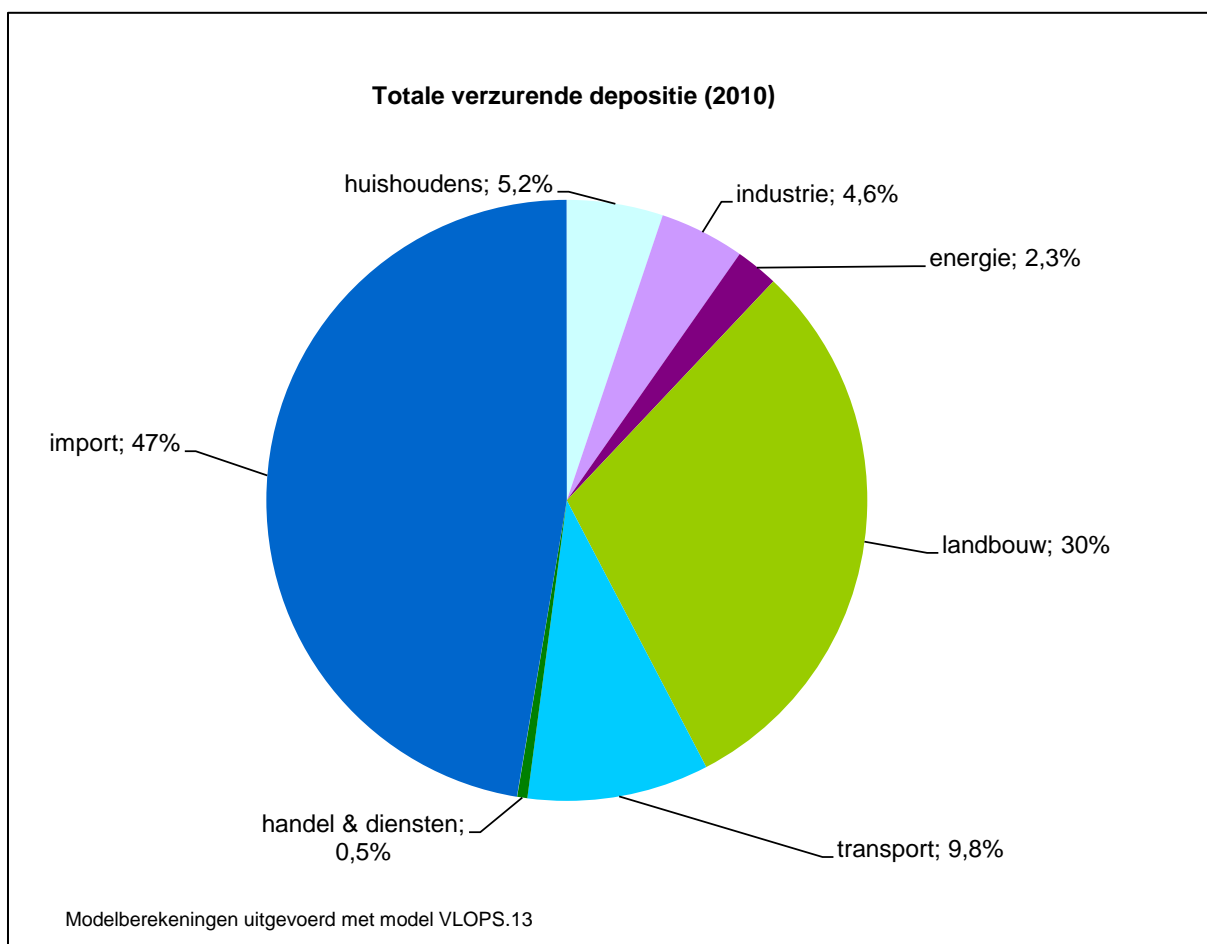
5.4 Totale depositie

In dit hoofdstuk bekijken we de totale depositie. We gaan dieper in op wat we meten en geven een interpretatie van de meetresultaten van 2012. We bespreken de potentieel verzurende depositie aan de hand van stikstof en zwavel en de vermestende depositie alleen aan de hand van stikstof.

5.4.1 Totaal verzurende depositie

De totale verzurende depositie is de som van de natte en de droge depositie. Op basis van de metingen binnen het depositiemeetnet verzuring kunnen we de totale verzurende depositie voor 9 meetplaatsen bepalen. Door de verspreiding van de meetplaatsen krijgen we dan een idee over de toestand in Vlaanderen.

Zoals reeds eerder vermeld, zorgt een te hoge verzurende depositie voor een afname van de bodemkwaliteit, schade aan vegetatie en aantasting van de biodiversiteit. Binnen Vlaanderen is de voornaamste bron van verzurende depositie de import (47%), gevolgd door de landbouwsector (30%) en in mindere mate door transport (9,8%) en huishoudens (5,2%), zie Figuur 45. Bij landbouw bestaat de bijdrage hoofdzakelijk uit NH_x -depositie, bij transport is dit NO_y -depositie en bij de industrie SO_x -depositie.

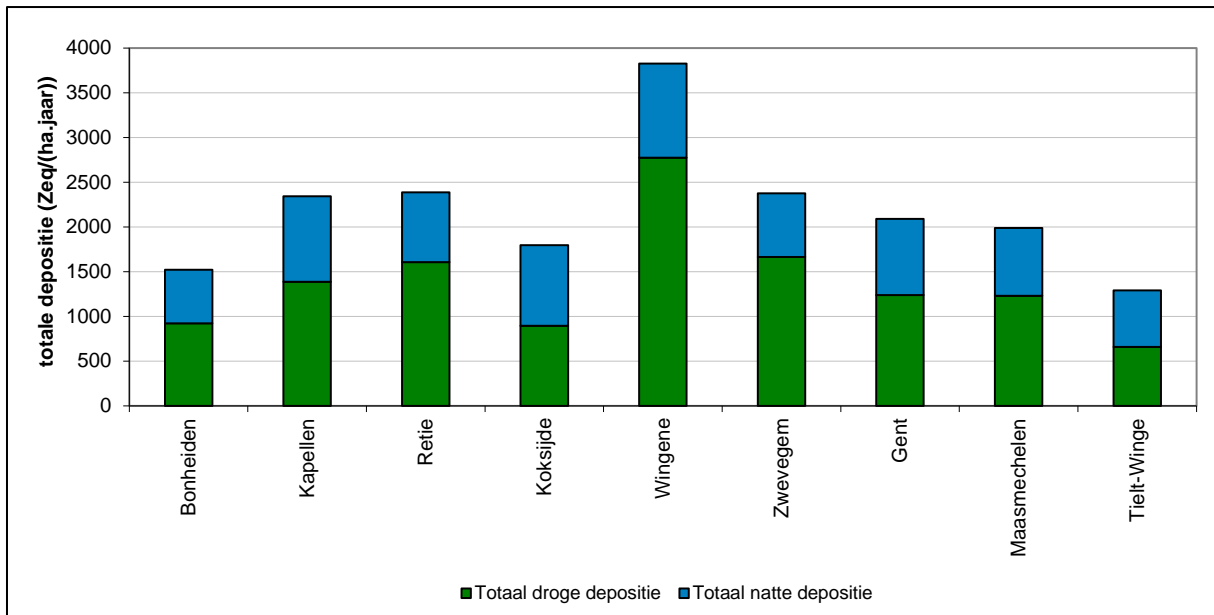


Figuur 45: Overzicht van de belangrijkste sectoren die bijdragen tot de totale verzurende depositie op basis van gegevens van 2010¹²

Figuur 46 toont het aandeel van droge en natte depositie in de totale depositie. Omdat op alle meetplaatsen gras voorkomt, zijn deze berekeningen gemaakt op basis van het vegetatietype gras. Met uitzondering van de meetplaats in Koksijde is het **aandeel totale droge depositie** op elke meetplaats groter dan het **aandeel** van de **totale natte depositie**. Een verklaring voor de afwijking te

¹² <http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/mira-t/milieuthemas/verzuring/verzurende-depositie/aandeel-doelgroepen-en-import-tot-de-verzurende-depositie/>

Koksijde is de afstand tot de kust/Noordzee, in combinatie met een grote neerslaghoeveelheid. Hierdoor regent het grootste deel van verontreiniging uit en zit het dus niet meer in de droge fractie.



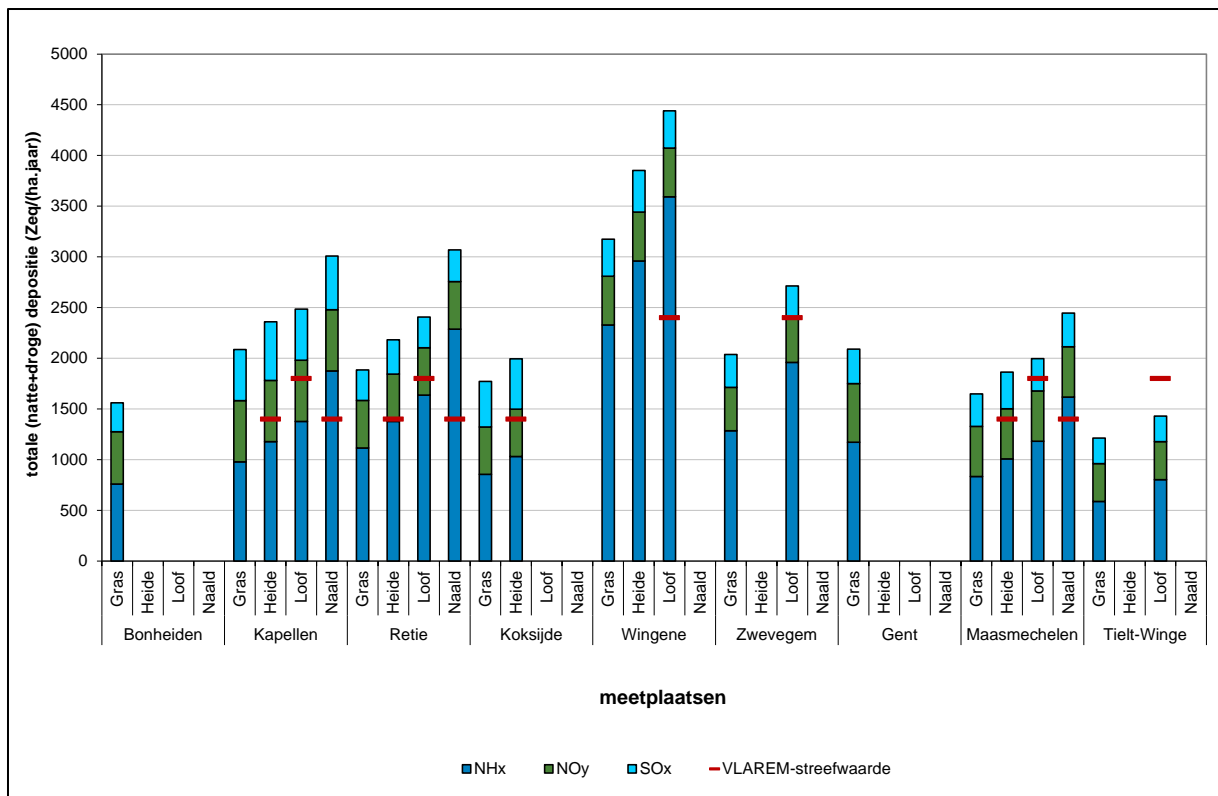
Figuur 46: Aandeel van de droge depositie en de natte depositie in de totale depositie voor het vegetatietype gras

Figuur 47 toont per meetplaats de **totale depositie** in 2012 voor alle vegetatietypes die aanwezig zijn in de onmiddellijke omgeving van de meetplaats. Duidelijk is dat de depositiewaarden sterk variëren over Vlaanderen. De hoogste depositiewaarden komen voor in Wingene (landbouw en intensieve veeteelt) en Kapellen (ten noordoosten van Antwerpen). Het grootste aandeel komt van de NH_x -component.

Voor Wingene en Zwevegem moeten we de verzurende depositie voor loofbossen toetsen aan 2.400 Zeq/(ha.jaar) volgens de **VLAREM-streefwaarden**. De andere meetplaatsen hebben een zandige ondergrond, zodat de verzurende depositie niet hoger mag liggen dan:

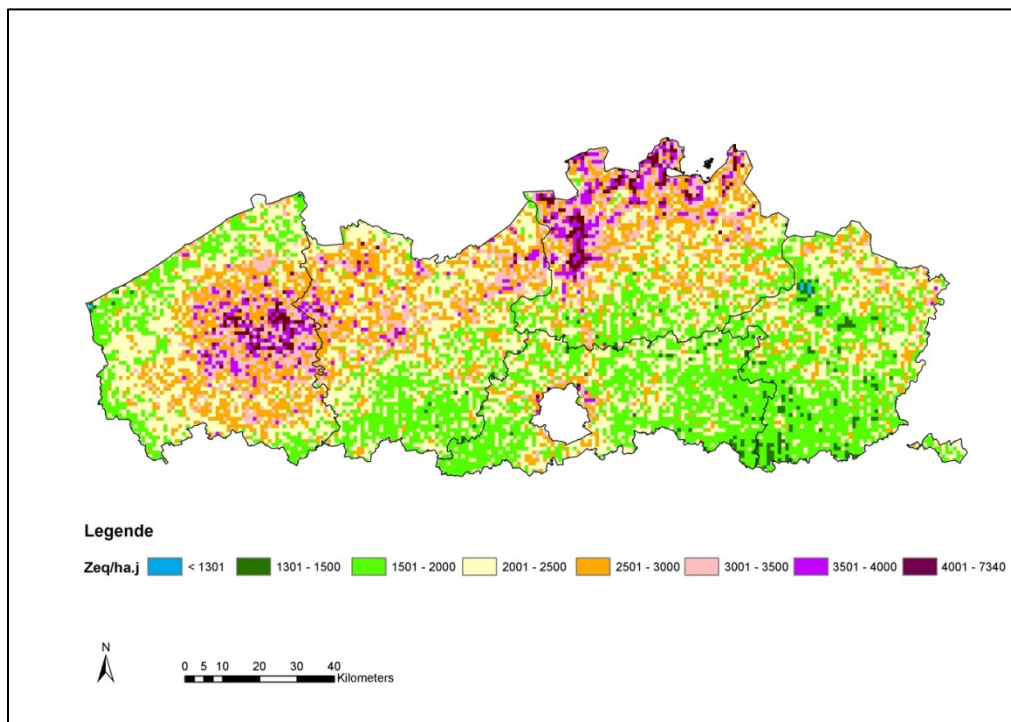
- 1.400 Zeq/(ha.jaar) voor heide en naaldbossen;
- 1.800 Zeq/(ha.jaar) voor loofbossen.

Tielt-Winge is de enige meetplaats waar de VLAREM-streefwaarde wordt gehaald. Op geen enkele andere meetplaats respecteren de gemeten waarden de VLAREM-streefwaarden.



Figuur 47: Overzicht van de totale verzurende depositie in 2012

De vaststellingen over de ruimtelijke spreiding worden tevens bevestigd door het VLOPS-model. Figuur 48 toont de **gemodelleerde geografische spreiding** van de totale verzurende depositie over Vlaanderen. De totale verzurende depositie berekend door het VLOPS-model is de som van de droge en natte deposities van SO_x , NO_y en NH_x . De natte NH_x -deposities die hierbij werden gebruikt, zijn gekalibreerd met de metingen. Het aandeel NH_x in de gemiddelde totale verzurende depositie in 2012 bedraagt 51%, dat van NO_y 29% en dat van SO_x 20%.



Figuur 48: Gemodelleerde totale verzurende depositie in 2012 in Vlaanderen, 1x1 km² receptorenrooster

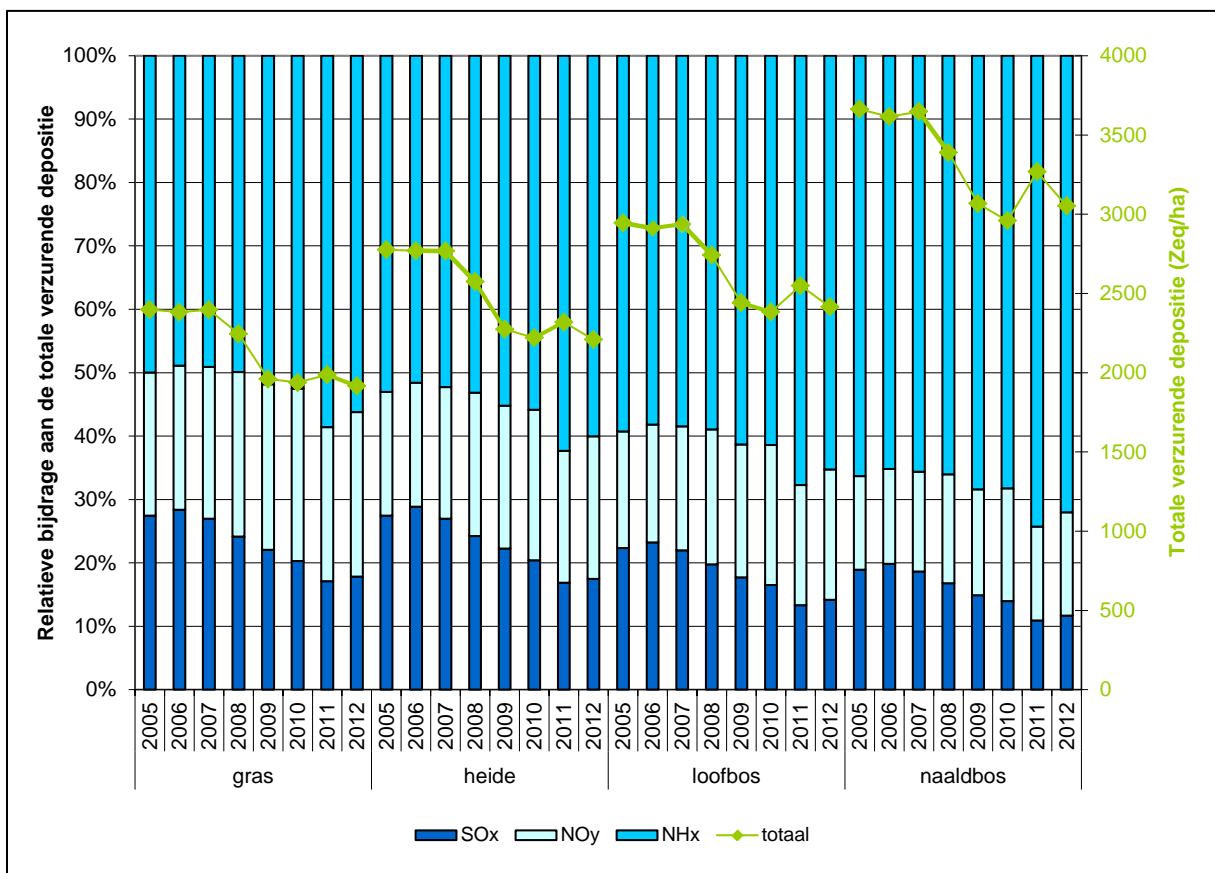
We kunnen de totale verzurende deposities ook bekijken in functie van de tijd. Zo zien we in Figuur 49 de meetnetgemiddelde totale verzurende depositie, uitgedrukt in $Z_{eq}/(ha.jaar)$, voor de vier vegetatietypes sinds 2005. De relatieve bijdrage per pollutant aan deze totale verzurende depositie wordt ook berekend en uitgedrukt in percentage (%) op de linkse as.

Wat betreft de totale verzurende depositie, kunnen we besluiten dat tussen 2005 en 2007 de totale depositie min of meer stabiel blijft (groene lijn in Figuur 49), om dan jaarlijks af te nemen tot in 2012, met uitzondering van een stijging in 2011. De daling is het meest uitgesproken in 2008 en 2009.

De relatieve bijdrage aan de verzurende depositie per pollutant en per vegetatietype verandert ook in de periode 2005-2012. Gemiddeld over de verschillende vegetatietypes is er:

- voor NH_x een stijging van 57% naar 63%;
- voor NO_y een stijging van 19% naar 21%;
- voor SO_x een daling van 24% naar 15%.

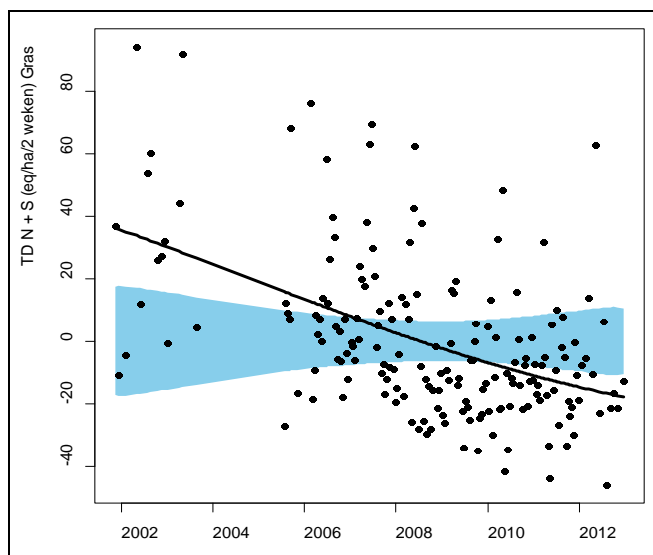
Hieruit kunnen we vaststellen dat de grootste bijdrage komt van NH_x . De bijdrage van SO_x is het laagst.



Figuur 49: Overzicht van de meetnetgemiddelde totale verzurende depositie in de periode 2005-2012 en de daartoe behorende relatieve bijdrage van de belangrijkste pollutanten

In de periode 2001-2012 is er een significante afname ($P < 0,005$) in de totale verzurende depositie van zwavel en stikstof voor alle meetplaatsen, behalve Maasmechelen (zie Tabel 9 in Bijlage 5: Trends in totale deposities).

Figuur 50 toont de geschatte niet-lineaire trend in de totale verzurende depositie op gras voor Retie. Figuur 62 in Bijlage 5: Trends in totale deposities toont deze trends voor alle meetplaatsen. Deze figuur illustreert hoe de depositie in Maasmechelen in de eerste helft van de jaren 2000 stijgt en dan weer afneemt. Voor de andere meetplaatsen daalt de depositie wel continue en significant, zodat de niet-lineaire trendlijnen de blauwe referentiebanden overschrijden.



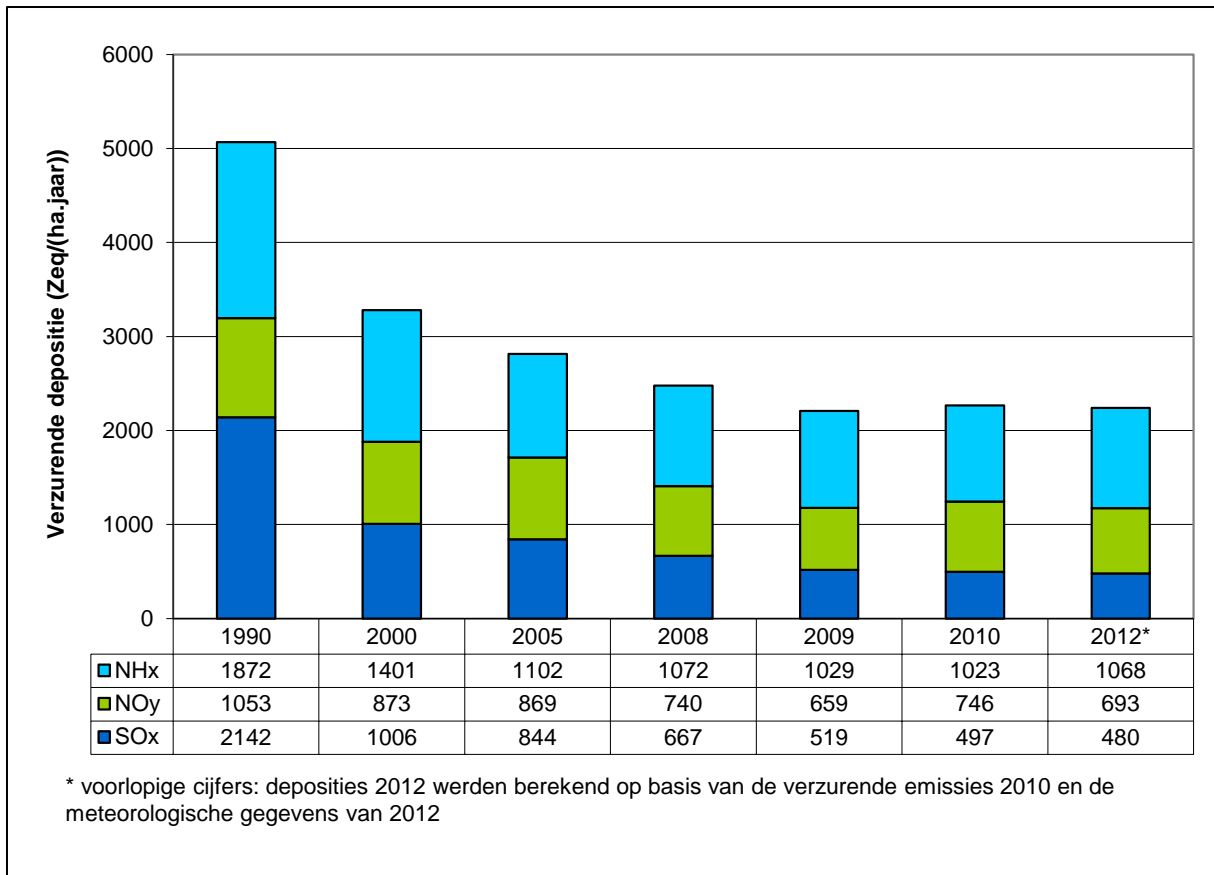
Figuur 50: Totale verzurende depositie van N en S in Retie. De punten zijn gebaseerd op de metingen, de lijn is de geschatte niet-lineaire trend volgens een GAM-model. De trend is significant ($P < 0,001$)

Als we de trend lineair schatten, daalt de totale depositie voor het vegetatietype “gras” jaarlijks met 40 ± 14 Zeq/ha in Tielt-Winge tot 130 ± 23 Zeq/ha in Wingene. Voor de drie andere vegetatietypes daalt de depositie sterker dan voor gras omwille van de hogere depositiesnelheden (zie Bijlage 5: Trends in totale deposities). De totale verzurende depositie voor bijvoorbeeld naaldbos daalt in een lineaire benadering met 59 ± 21 Zeq/ha in Tielt-Winge tot 273 ± 54 Zeq/ha in Wingene.

Voor de negen meetplaatsen samen en op basis van de jaarlijkse depositie (regionale Kendall-test), daalt de totale verzurende depositie op gras in de periode 2002-2012 jaarlijks met 91 Zeq/(ha.jaar) ($P = 0,001$).

Om een nog betere kijk te hebben op de evolutie van de verzurende componenten berekende het VLOPS-model de gemiddelde Vlaamse verzurende depositie voor de jaren 1990, 2000, 2005, 2008, 2009, 2010 en 2012 (zie Figuur 51). Er is een duidelijk dalende trend tot 2009 waar te nemen. In 2010 zien we een lichte stijging van de totale deposities ten opzichte van 2009. Dit ligt in lijn met de hogere NO_2 -emissies in 2010. In 2012 zien we dan weer terug een lichte daling in de totale verzurende depositie, maar dit zijn voorlopige cijfers want de waarden van 2012 zijn berekend op de meteorologische gegevens van 2012 en de emissiegegevens van 2010. In tegenstelling tot de modelresultaten in bovenstaande kaarten werd voor de aanmaak van deze tijdreeks geen gekalibreerde natte NH_x -deposities gebruikt.

Wanneer we de trend in de totale verzurende depositie bekijken, zien we een klein verschil tussen de trend gebaseerd op metingen en de trend op basis van het VLOPS-model. Bij de metingen zien we gelijkblijvende tot licht stijgende deposities in 2012 ten opzichte van 2010, terwijl we bij de VLOPS-data een lichte daling zien. Mogelijk wordt het verschil tussen de twee trends kleiner wanneer de emissies van 2012 beschikbaar zijn.



Figuur 51: Gemiddelde Vlaamse verzurende deposities SO_x , NO_y en NH_x in de periode 1990-2012

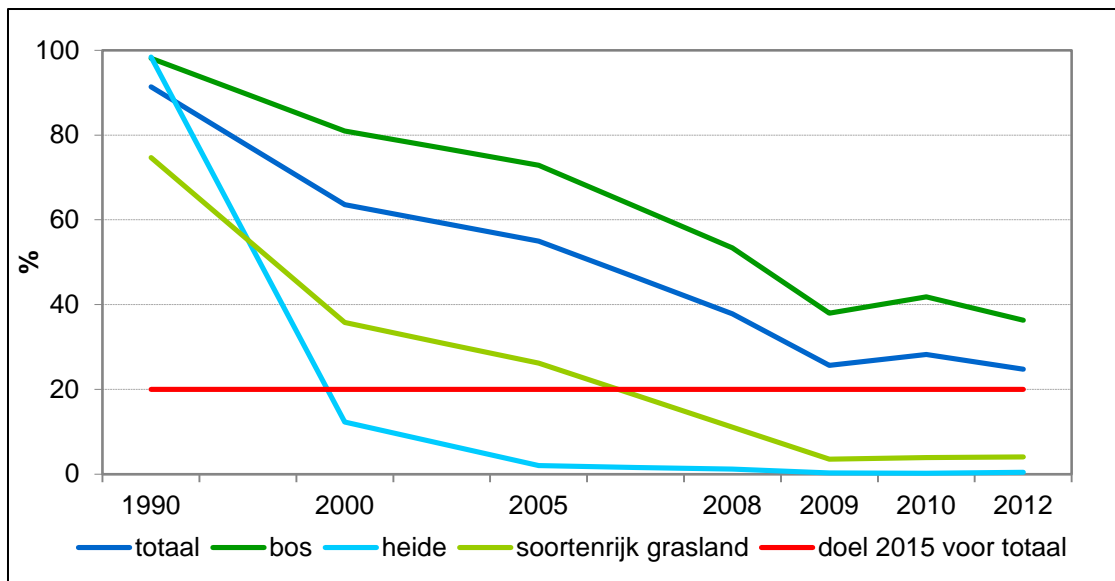
5.4.1.1 Oppervlakte natuur met overschrijding kritische last verzuring

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. Hiervoor werden depositieberekeningen uitgevoerd met het VLOPS-model voor verschillende jaren en landgebruikstypen.

Uit de figuur kunnen we vaststellen dat de totale oppervlakte natuur (bos, heide en soortenrijk grasland) in overschrijding daalt tot 2009. In 2008 was er nog 38% van de oppervlakte natuur in overschrijding en in 2009 26%. In 2010 neemt dat percentage licht toe tot 28%.

Deze resultaten tonen aan dat de druk op de ecosystemen daalt. Dit leidt evenwel niet direct tot een evenredig herstel van de bodem en biodiversiteit. Het herstel is een langzaam proces dat onder meer afhangt van de duur en de mate van de historische overschrijding.

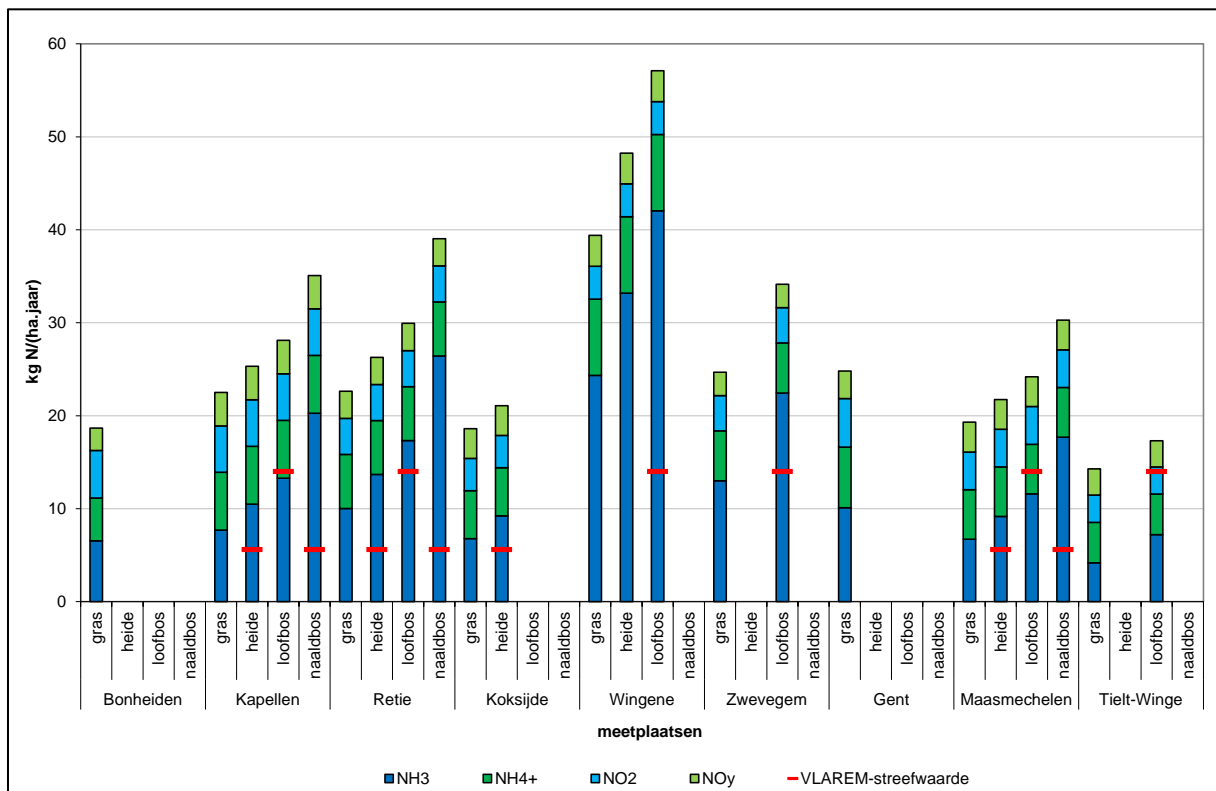
Er blijven dus nog inspanningen nodig voor de toekomst, zeker om de MINA 4-doelstellingen te behalen, namelijk het percentage oppervlakte natuur in Vlaanderen met overschrijding verzuring terugbrengen tot 20% tegen 2015.



Figuur 52: Overzicht van de oppervlakte natuur met overschrijding van de kritische last voor verzuring in de periode 1990-2012

5.4.2 Totaal vermistende depositie

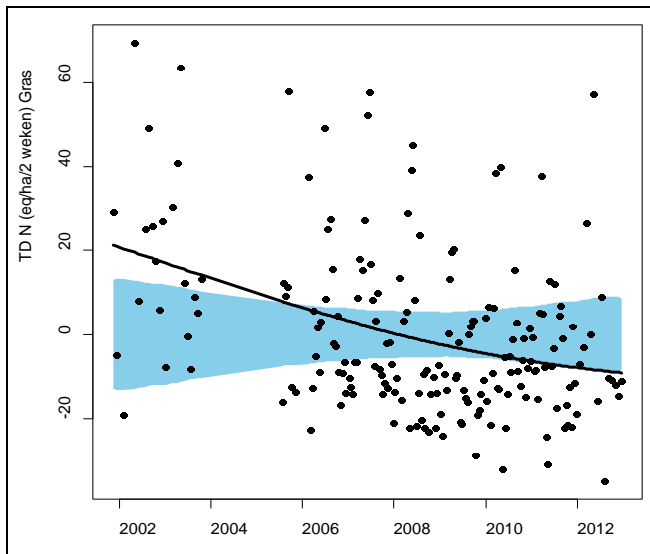
Voor de totale vermistende depositie wordt er, in tegenstelling tot de verzurende, alleen gekeken naar de stikstofcomponent. De resultaten voor vermistening worden berekend uit zowel de natte als de droge depositiewaarden.



Figuur 53: Overzicht van de totale vermistende depositie in 2012

Figuur 53 toont de totale vermistende depositie, uitgedrukt in kg N/(ha.jaar). Net zoals voor de verzurende depositie, tonen we enkel de aanwezige vegetatietypen rond de meetplaats. Het is duidelijk dat ook hier de NH_x-component het belangrijkste aandeel in de vermistening vormt. Als we kijken naar de rode lijnen, die de VLAREM-streefwaarden vertegenwoordigen, kunnen we vaststellen dat er voor vermistening geen enkele meetplaats voldoet.

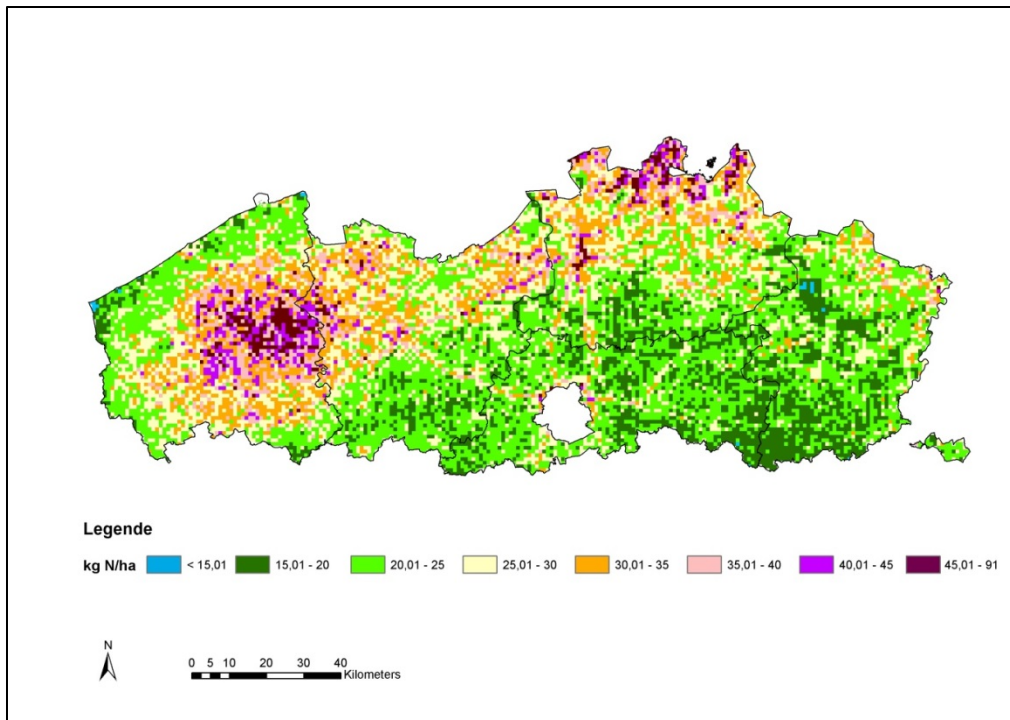
In 2001-2012 daalt de N-depositie significant ($P < 0,001$) voor zeven van de negen meetplaatsen (Tabel 10 in Bijlage 5: Trends in totale deposities). In Bonheiden neemt de N-depositie af en in Maasmechelen neemt ze toe, maar de veranderingen zijn te klein om statistisch betekenisvol te zijn. De daling in N-depositie kan niet steeds lineair benaderd worden volgens de F-testen. Figuur 54 toont de totale vermestende depositie van N in Retie.



Figuur 54: 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 ($P < 0,001$)

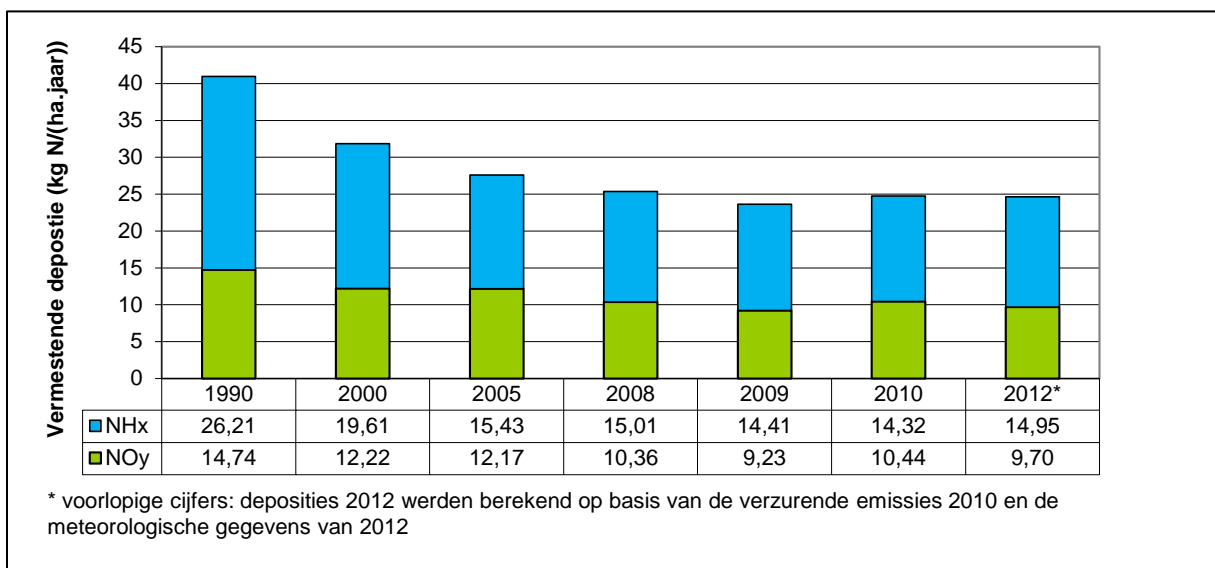
De trends in vermestende depositie voor de andere meetplaatsen worden getoond in Figuur 63 in Bijlage 5: Trends in totale deposities. De jaarlijkse afname voor bijvoorbeeld gras ligt tussen $0,50 \pm 0,23$ kg N/ha in Kapellen en $1,35 \pm 0,29$ kg N/ha in Wingene. Voor alle meetplaatsen samen daalt de N-depositie tussen 2002 en 2012 significant ($P < 0,015$ voor bijvoorbeeld gras).

De totale vermestende depositie, berekend door het VLOPS-model, is de som van de droge en natte deposities van NO_y en NH_x . 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. Het aandeel NH_x in de gemiddelde totale vermestende depositie bedraagt 63% en dat van NO_y 37%. Verdere emissiereducties op basis van internationale akkoorden zijn noodzakelijk. In Vlaanderen betekent dat zowel NO_x - als NH_3 -emissies verder naar beneden moeten.



Figuur 55: Gemodelleerde totale vermestende depositie in 2012 in Vlaanderen. 1x1 km² receptorenrooster

Naast 2012 berekende het VLOPS-model ook de gemiddelde Vlaamse vermestende depositie voor de jaren 1990, 2000, 2005, 2008, 2009 en 2010. Net zoals bij de verzurende depositie is er een duidelijk dalende trend tot 2009 waar te nemen. In 2010 zien we een lichte stijging van de totale vermestende deposities ten opzichte van 2009. Met name de NO_y-depositie stijgt, dit ligt in lijn met de hogere NO₂-emissies in 2010. In 2012 zien we dan weer terug een lichte daling in de totale depositie, maar dit zijn voorlopige cijfers want de waarden van 2012 zijn evenwel berekend op de meteorologische gegevens van 2012 en de emissiegegevens van 2010. In tegenstelling tot de modelresultaten in bovenstaande kaarten werd voor de aanmaak van deze tijdreeks geen gekalibreerde natte NH_x-deposities gebruikt.



Figuur 56: Gemiddelde Vlaamse vermestende deposities NO_y en NH_x in de periode 1990-2012

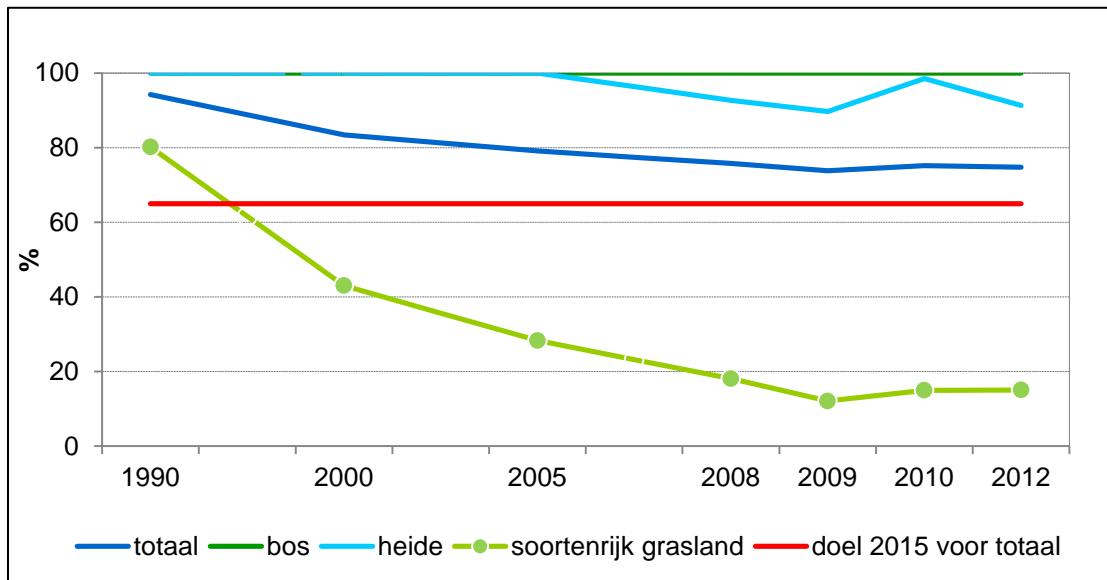
5.4.2.1 Oppervlakte natuur met overschrijding kritische last vermesting

Figuur 57 toont de oppervlakte natuur met overschrijding van de kritische last voor vermesting, uitgedrukt in percentage. Hiervoor werden depositieberekeningen uitgevoerd met het VLOPS-model voor verschillende jaren en landgebruikstypen. Tegen 2015 mag nog op 65% van de oppervlakte

natuur in Vlaanderen overschrijding voorkomen, volgens het MINA-plan 4 (2011-2015). In 2009 werd op 74% van de Vlaamse oppervlakte natuur (bos, heide en soortenrijk grasland) de kritische last voor vermessing overschreden. In 2010 en 2012 is dit 75%.

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

Ook hier blijven inspanningen voor verdere emissiereducties noodzakelijk voor de toekomst.



Figuur 57: Overzicht van de oppervlakte natuur met overschrijding van de kritische last voor vermessing in de periode 1990-2012

5.4.3 Conclusies totale depositie

Het aandeel totaal droge depositie is, met uitzondering van de meetplaats in Koksijde, hoger dan het aandeel totaal natte depositie.

In de periode 2001-2012 daalt de totale verzurende depositie op acht van de negen meetplaatsen, enkel in Maasmechelen is geen trend merkbaar. De totale vermestende depositie neemt af op alle meetplaatsen behalve Maasmechelen en Bonheiden.

Enkel voor loofbos in Tielt-Winge ligt de totale verzurende depositie in 2012 onder de VLAREM-streefwaarde. De totale vermestende depositie is in 2012 te hoog op alle meetplaatsen.

De hoogste depositiewaarden en de meeste overschrijdingen komen voor in de omgeving van (grote) steden of industrie zoals de Antwerpse agglomeratie en het noorden van de provincie Antwerpen, voornamelijk voor SO_x en NO_y , en in landbouwgebieden met intensieve veeteelt zoals het centrum van West-Vlaanderen, voornamelijk voor NH_x .

Verzuring is slechts één van de versturende factoren in de milieuproblematiek. Een geïntegreerde aanpak is nodig en maatregelen tegen verzuring en vermessing zijn daar een wezenlijk onderdeel van.

6 Besluit

De laatste jaren zien we een **verschuiving van verzuring naar vermesting**. Ook in het meetjaar 2012 is dit zo. Dit komt door de sterke daling in de laatste twee decennia van het aandeel van de SO₂-emissie. Het kritieke niveau voor SO₂ voor de bescherming van vegetatie wordt hierdoor overal gehaald.

Volgens de VLAREM-streefwaarden is de totale vermestende depositie te hoog op alle meetplaatsen. Verder zien we ook dat het **aandeel droge depositie groter** is dan het aandeel natte depositie. In de tijdtrends voor de periode 2001-2012 zien we dat de natte depositie van NH₄⁺ over het algemeen niet daalt. De natte depositie van NO₃⁻ en SO₄²⁻ daalt wel in deze periode. Er komt dus meer depositie in gasvorm uit de lucht op een oppervlak terecht dan via regen, sneeuw en hagel.

Waar we hoge concentratieniveaus meten, krijgen we hoge depositiewaarden. Er is dus **een inspanning nodig** om gevoelige plaatsen - met grote bevolkingsdichtheid of natuurgebied - te beschermen. Dit is ook een aspect dat de VMM verder zal bekijken in functie van de meetstrategie. Het zou goed zijn om meer toe te spitsen op de gevoelige, beschermde natuurgebieden, namelijk de **Natura 2000** gebieden door het bekijken van de kritische last.

Wanneer we de **stikstofcomponent** van dichtbij bekijken, kunnen we enerzijds stellen dat de bijdrage van **transport en industrie** een grote invloed heeft op de NO_x-emissie. Anderzijds is er de bijdrage van de **landbouw** voor de NH₃-emissies. Dit weerspiegelt zich ook in de resultaten. Het kritieke niveau voor de stikstofoxiden wordt niet overal gehaald. Dit is ook het geval voor de WGO-norm. Op één meetplaats, namelijk Wingene, wordt de NH₃-concentratie van 8 µg/m³ niet gehaald. Als we kijken naar de wetenschappelijke aanbeveling van 3 µg/m³ wordt ze nergens gehaald. Positief is wel dat de NH₃-concentratie in de periode 2002-2012 jaarlijks daalt met 0,11 µg/m³, terwijl voor NO₂ de concentratie stabiel blijft over de jaren heen en er dus geen trend kan vastgesteld worden. Toch zullen in beide sectoren bijkomende inspanningen noodzakelijk blijven.

U vindt bijkomende informatie op:

- De VMM website, www.vmm.be.
- Het MIRA achtergronddocument, www.milieurapport.be.
- De milieuverkenning 2030, www.milieuverkenning.be.

BIJLAGEN

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

parameter	SAROAD-code	eenheid	toesteltype bemonstering	meetprincipe analyse	volgens norm	meetonzekerheid	bepaling meet- onzekerheid	onder accreditatie	onderaanneming	uitbesteding
Ca ²⁺	69314	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		7,48%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja	nee	nee
Cl ⁻	69316	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		4,47%	idem	ja	nee	nee
EC 25	69601		Wet only sampler	geleidbaarheidsmeter		10,79%	$u_{tot} = \sqrt{(CV_{RW})^2 + (u_{bias})^2}$	ja	nee	nee
F ⁻	69315	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		9,38%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja	nee	nee
K ⁺	69312	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		20,92%	idem	ja	nee	nee
Mg ²⁺	69313	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		5,49%	idem	ja	nee	nee
NH ₄ ⁺	69318	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		27,40%	idem	ja	nee	nee
NO ₂ ⁻	69343	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		11,78%	idem	ja	nee	nee
NO ₃ ⁻	69321	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		9,53%	idem	ja	nee	nee
Na ⁺	69311	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		3,42%	idem	ja	nee	nee
SO ₄ ²⁻	69322	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		6,64%	idem	ja	nee	nee
Volume	69301	Zeq/ha	Pluviograaf weegprincipe	gravimetrie		0,01 mm	Fabrikant Ott	ja	nee	nee
PO ₄ ³⁻	69323	Zeq/ha	Wet only sampler	IC		15,21%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja	nee	nee
pH	69600		Wet only sampler	PH meter		13,23%	$u_{tot} = \sqrt{(CV_{RW})^2 + (u_{bias})^2}$	ja	nee	nee
NH ₃	42604	Zeq/ha	Passieve sampler	IC		27,40%	$CV_{tot} = \sqrt{(CV_R)^2 + \sum (CV_{sup,i})^2}$	ja	nee	nee
NO ₂	42602	Zeq/ha	Passieve sampler	IC		10%	Fabrikant IVL	ja	nee	ja
SO ₂	42401	Zeq/ha	Passieve sampler	IC		10%	Fabrikant IVL	ja	nee	ja

Bijlage 2: Het VLOPS-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 stoffen in kaart te brengen. Het VLOPS-model staat voor Vlaamse versie Operationeel Prioritaire Stoffenmodel en berekent jaargemiddelden en deposities op basis van enerzijds emissiegegevens en anderzijds 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 validatie en eventueel 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 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)¹³. De VITO werkte dit in opdracht van de VMM verder uit voor Vlaanderen en zorgde voor een gebruiksvriendelijke PC-versie met een functionele user interface waarin alle invoerparameters kunnen worden gekozen.

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 VMM¹⁴. De gegevens voor bronnen buiten Vlaanderen zijn afkomstig van de EMEP- en CORINAIR-emissie-inventaris en worden gespreid met de emissie-preprocessor E-MAP¹⁵. De emissies worden opgedeeld in 45 sectoren voor Vlaanderen en 10 sectoren buiten Vlaanderen¹⁶.

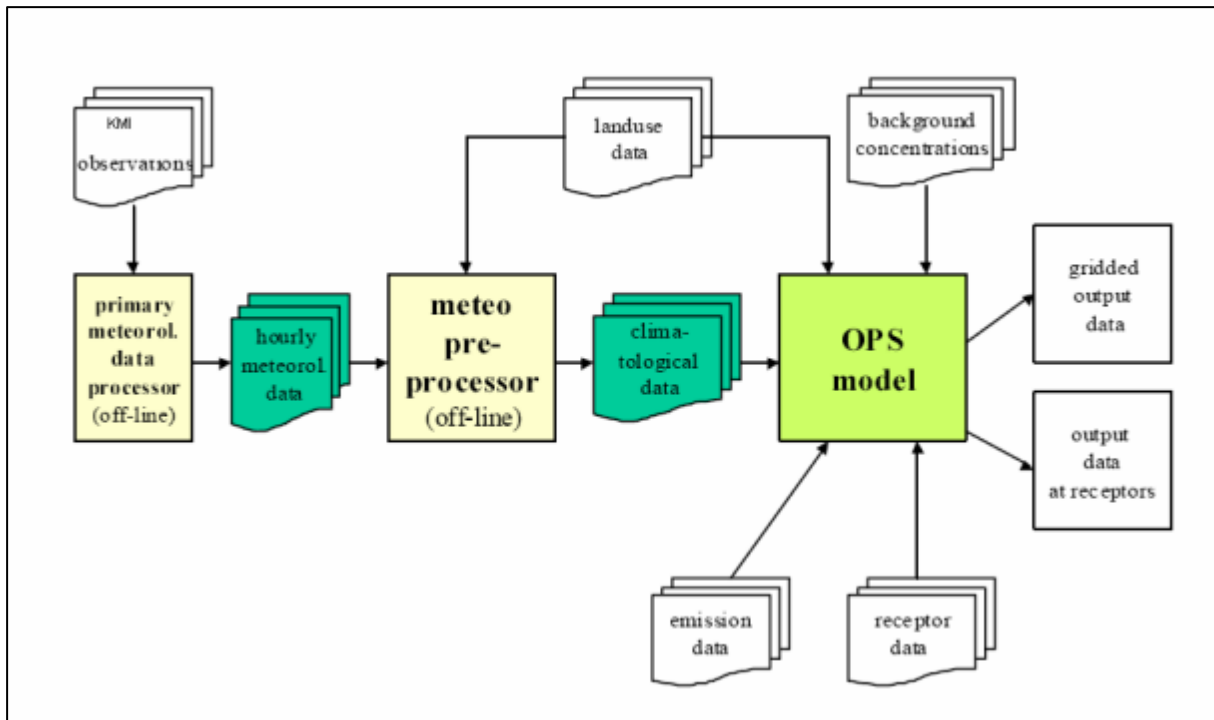
De gebruiker bepaalt voor welke receptoren de berekeningen gebeuren. Meestal is dit voor heel Vlaanderen, met een ruimtelijke resolutie van 1x1 km². Het VLOPS kan ook rekenen voor een door de gebruiker ingegeven lijst van puntlocaties. Zo is het mogelijk om de meetresultaten van het meetnet te vergelijken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

¹³ Van jaarsveld, J.A. et al., 2012. Description of OPS 4.3.15, RIVM. Bilthoven Nederland

¹⁴ VMM (2013), Lozingen in de lucht 1990-2012

¹⁵ Maes, J. et al. 2008. Nieuw concept voor de emissieprocessor van BelEUROS (E-map), VITO-rapport n° 2008/IMS/R/217

¹⁶ 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, warmteinhoud, 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 voetnoot¹⁷.

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

Upgrade naar VLOPS.13

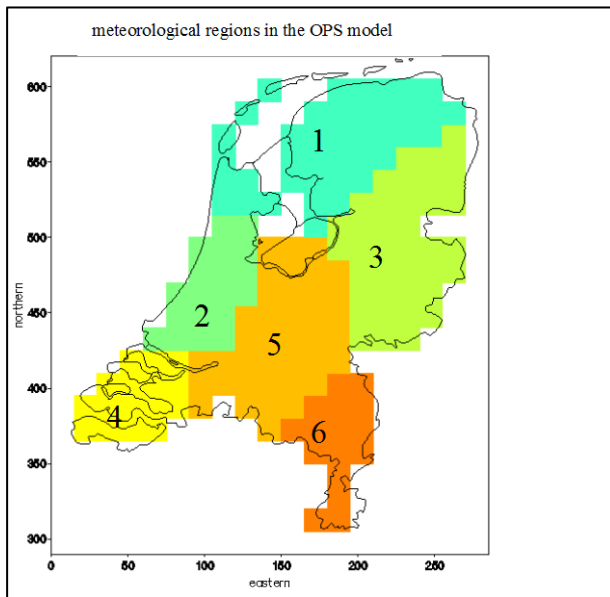
De voor dit rapport gebruikte modelversie bevat een aantal verbeteringen ten opzichte van VLOPS.12:

¹⁷ Van jaarsveld, J.A. et al.

- Daar waar vroeger voor de emissies van de puntbronnen van de sectoren energie en industrie het spreidingspatroon van 2001 werd gebruikt voor alle jaren, wordt nu een jaarafhankelijk spreidingspatroon gebruikt. Voor alle jaren tot en met 2008 wordt het patroon van 2008 gebruikt en voor 2009 en 2010 wordt het patroon van 2009 gebruikt.
- Voor NH₃ is een nieuwe consistente tijdreeks van achtergrondconcentratiekaarten gemaakt. Hiervoor is het RIO NH₃-model gebruikt.
- Voor NO₂ en SO₂ zijn achtergrondconcentratiekaarten toegevoegd voor 2010 en 2011.
- Invoering van nieuwe meteobestanden voor de Nederlandse regio 5 voor 2009 tot en met 2012, na correctie van een bug.

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.



Betrouwbaarheid van de modelresultaten

De modelonzekerheid is het resultaat van 3 mogelijke foutenbronnen, namelijk:

- de onzekerheid op de correctheid van emissiegegevens;
- de onzekerheid in de meteorologische invoergegevens;
- de onzekerheid van de modelparametrisaties.

Een modelvalidatie gaat na hoe groot de totale onzekerheid op een modelresultaat is. Dit gebeurt door een vergelijking uit te voeren met metingen, waarbij het model voor die meetplaats een berekening uitvoert. Bij dergelijke validatie dient dus ook nog met een vierde mogelijke foutenbron rekening te worden gehouden, met name de fout op de meting.

De validatie gebruikt volgende parameters:

- De vergelijking van de gemiddelde meet- en modelwaarden (systematische fout):
Normalized Mean Bias (NMB)

$$NMB = \frac{\overline{M}}{\overline{O}} - 1$$

- De gemiddelde afwijking tussen meet- en modelwaarden (onzekerheid of random fout):
Root Mean Square Error (RMSE) = absolute onzekerheid

$$RMSE = \sqrt{\overline{(O_i - M_i)^2}}$$

$$\frac{RMSE}{\overline{O}} = \text{relatieve onzekerheid, streefwaarde} < 30\%$$

- De ruimtelijke correlatie tussen meet- en modelwaarden

$$R^2 = (\text{Correlatie}(O_1..O_n; M_1..M_n))^2$$

met M_i = gemodelleerd jaargemiddelde op meetplaats i

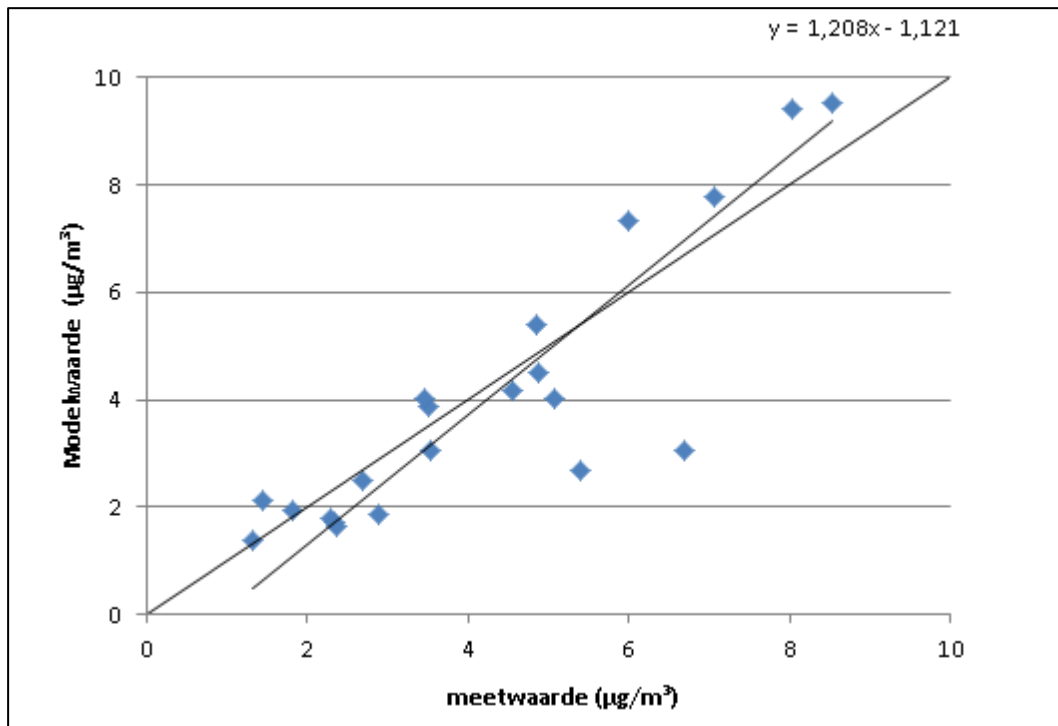
O_i = gemeten jaargemiddelde op meetplaats i

n = aantal meetplaatsen

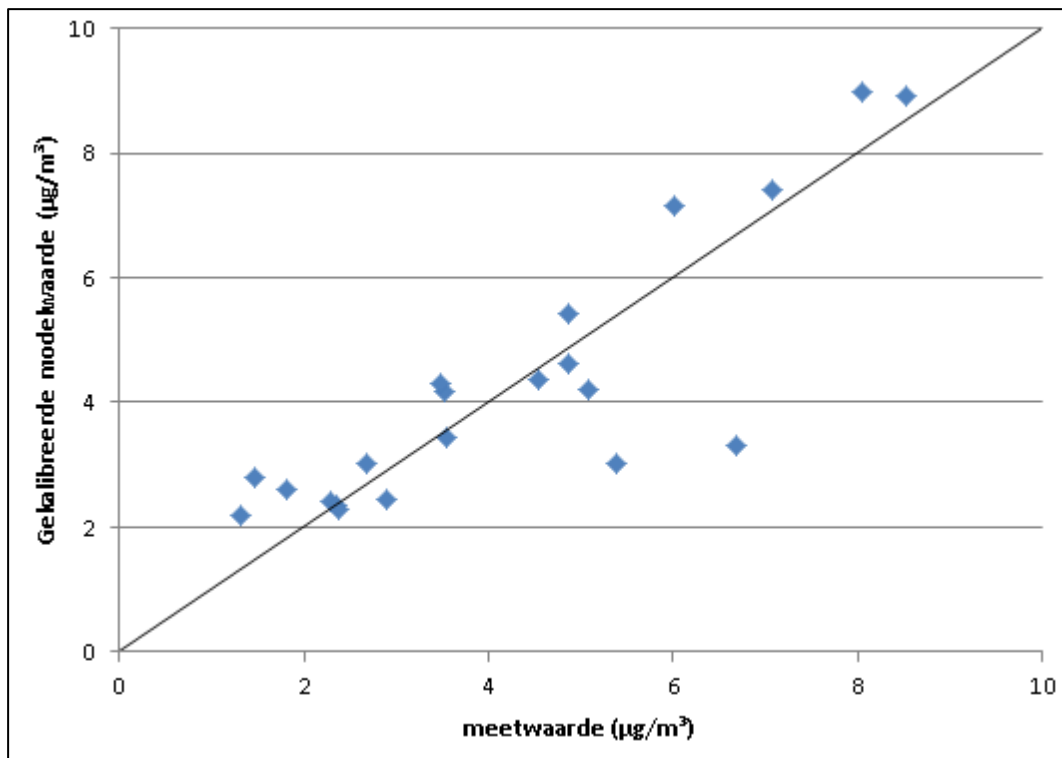
Validatie NH_3

Voor 2012 werd het jaargemiddelde gebruikt van de 17 meetplaatsen met passieve samplers van het VMM-meetnet verzuring en de 4 meetplaatsen van het INBO meetnet waarvoor minstens 75% maandelijkse waarden beschikbaar zijn.

Onderstaande figuur toont de orthogonale regressie tussen de meetwaarden en de modelwaarden op dezelfde locaties. Onderstaande tabel toont dat het VLOPS de NH_3 -concentraties gemiddeld met 5,7% onderschat. De orthogonale regressie wordt gebruikt om de NH_3 -kaart voor Vlaanderen te kalibreren zodat het eindresultaat geen systematische fout meer vertoont. Een onafhankelijke validatie van gekalibreerde modelwaarden is mogelijk door elke modelwaarde te kalibreren met een orthogonale regressie van alle dataparen uitgezonderd deze van de modelwaarde in kwestie. Onderstaande figuur toont de meetwaarden versus de gekalibreerde modelwaarden. Na kalibratie wordt een aanvaardbare relatieve onzekerheid van 25,96% bekomen, met een goede ruimtelijke correlatie van 74,36% (onderstaande tabel). Onderstaande tabel toont een overzicht van de gebruikte meetplaatsen, hun coördinaten, de meetwaarden, modelwaarden en gekalibreerde modelwaarden.



Orthogonale regressie tussen meet- en modelwaarden voor NH_3 in 2012 (voor kalibratie)



Meetwaarden versus gekalibreerde modelwaarden voor NH₃ in 2012

Validatieresultaten voor NH₃ in 2012

	voor kalibratie	na kalibratie
NMB	-5,7%	0,7%
RMSE	1,21 µg/m ³	1,1 µg/m ³
$\frac{RMSE}{\bar{O}}$	28,67%	25,96%
R²	76,9%	74,36%

Bij de validatie van NH₃ in 2012 gebruikte meetplaatsen en waarden

Meetplaats	X	Y	meetwaarde (µg/m ³)	modelwaarde (µg/m ³)	gekalibreerde modelwaarde (µg/m ³)
Bonheiden	160364	190774	2,29	1,78	2,41
Maasmechelen	237024	183722	2,35	1,70	2,33
Tielt-Winge	186469	181496	1,46	2,13	2,81
Tienen	191242	163735	5,39	2,68	3,03
Aalst	127497	179140	2,89	1,87	2,44
leper	49179	168819	7,08	7,78	7,42
Koksijde	30270	202583	2,37	1,64	2,28
Zwevegem	79838	164143	4,55	4,16	4,36
Hechtel-Eksel	219589	200174	1,82	1,95	2,61
Kapellen	158181	226446	2,69	2,51	3,03
Malle	177649	218166	6,69	3,05	3,31
Retie	197815	213657	3,51	3,88	4,17
Blankenberge	63482	220489	5,08	4,01	4,20
Gent	101995	195333	3,54	3,06	3,45
Torhout	58205	197064	8,04	9,41	8,98
Waasmunster	131436	198950	4,87	4,50	4,64
Wingene	77532	197025	8,52	9,51	8,92
Gontrode	110172	185185	3,47	4,03	4,30
Ravels	198368	231461	4,86	5,38	5,41
Hoeilaart	153068	159480	1,32	1,39	2,18
Wijnendale	56612	196069	6,01	7,34	7,15
Gemiddelde			4,23	3,99	4,26

Validatie natte depositie

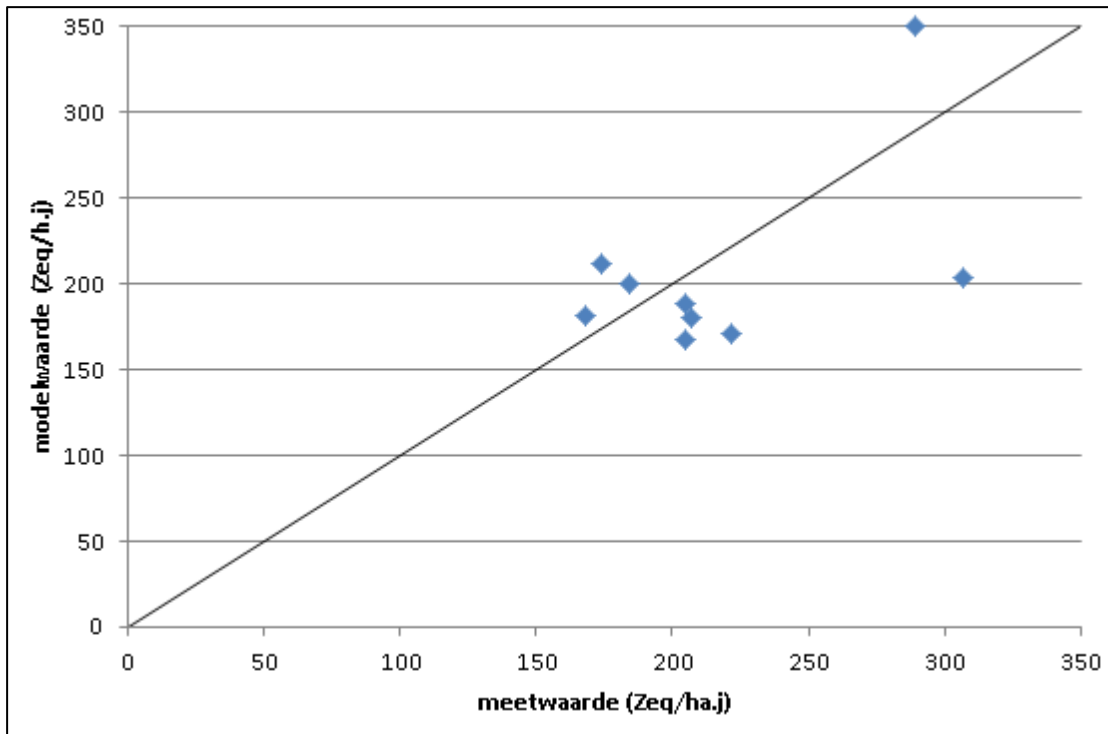
Voor de validatie van de natte depositie in 2012 werden de jaargemiddelde gemeten natte deposities van SO_x, NO_y en NH_x gebruikt van de 9 meetplaatsen waarvoor minstens 75% veertiendaagse waarden beschikbaar zijn.

Zowel voor SO_x als NO_y (zie onderstaande figuren en tabel) is er:

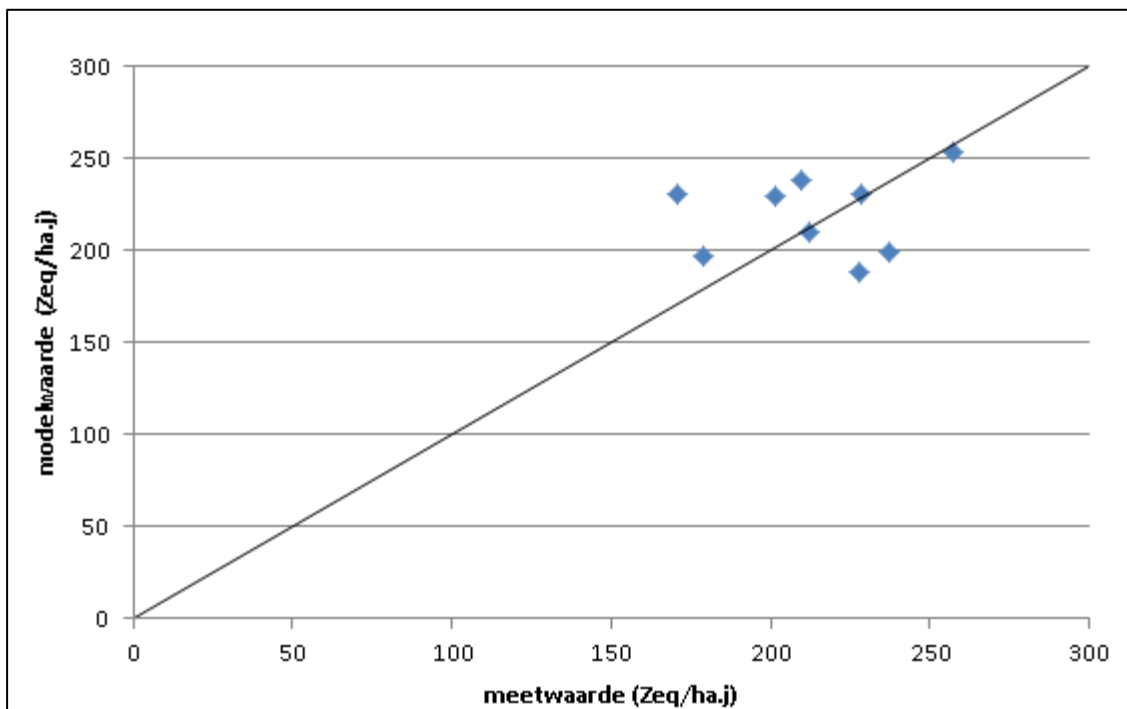
- geen grote systematische afwijking tussen meet- en modelwaarden, zodat een kalibratie niet nodig is;
- een aanvaardbare relatieve onzekerheid, namelijk 22,23% voor SO_x en 14,4% voor NO_y;
- een lage ruimtelijke correlatie, namelijk 30,94% voor SO_x en 2,85% voor NO_y.

Voor NH_x onderschatten de modelwaarden de metingen gemiddeld met 32,37% en is er dus wel een kalibratie nodig. Een onafhankelijke validatie van gekalibreerde modelwaarden is mogelijk door elke modelwaarde te kalibreren met een orthogonale regressie van alle dataparen uitgezonderd deze van de modelwaarde in kwestie. Na kalibratie is er een aanvaardbare relatieve onzekerheid van 11,11%. In tegenstelling tot SO_x en NO_y is er bij NH_x een goede ruimtelijke correlatie, namelijk 85,28% voor kalibratie en 79,45% na kalibratie.

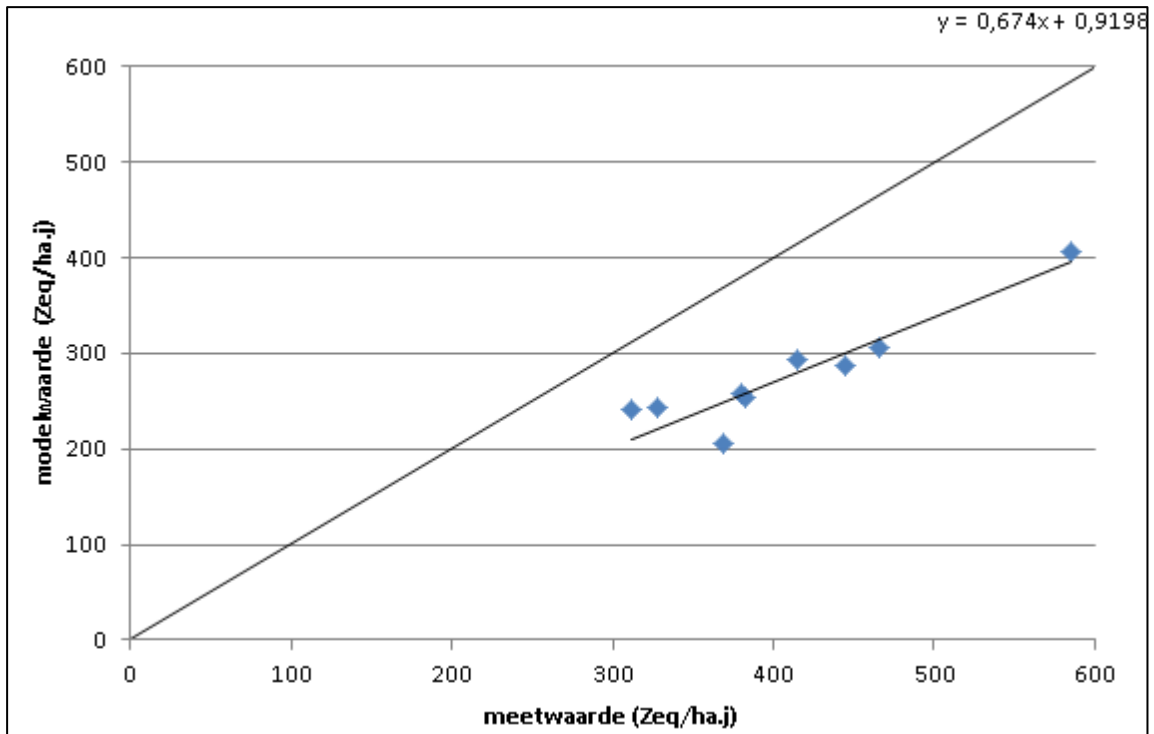
Onderstaande tabellen tonen een overzicht van de gebruikte meetplaatsen, hun coördinaten, de meetwaarden, modelwaarden en gekalibreerde modelwaarden.



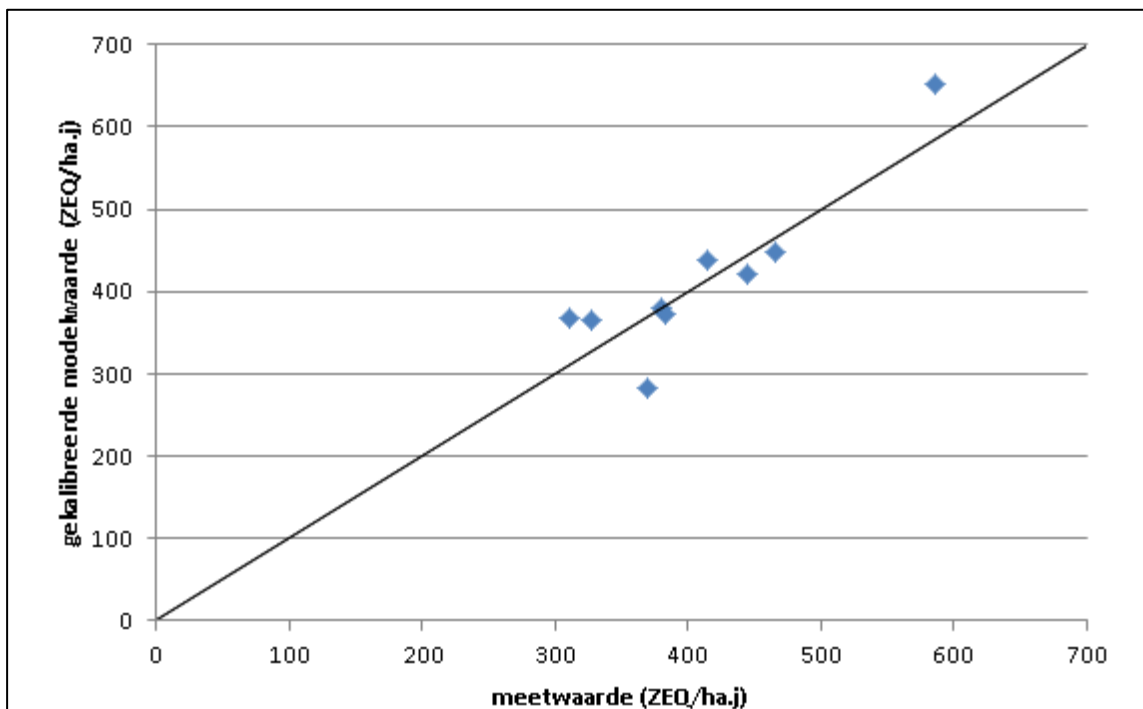
Meetwaarden versus modelwaarden voor de natte depositie van SO_x in 2012



Meetwaarden versus modelwaarden voor de natte depositie van NO_y in 2012



Orthogonale regressie tussen meet- en modelwaarden voor de natte depositie van NH_x in 2012



Meetwaarden versus gekalibreerde modelwaarden voor de natte depositie van NH_x in 2012

Validatieresultaten voor de natte depositie in 2012

	SO _x	NO _y	NH _x voor kalibratie	NH _x na kalibratie
NMB (%)	-5,42%	2,65%	-32,37%	2,7%
RMSE (Zeq/(ha.jaar))	48,41	30,77	137	45,45
$\frac{RMSE}{\bar{O}}$	22,23%	14,4%	33,48%	11,11%
R²	30,94%	2,85%	85,28%	79,45%

Bij de validatie van de natte depositie SO_x in 2012 gebruikte meetplaatsen en waarden

Meetplaats	X	Y	meetwaarde (Zeq/(ha.jaar))	modelwaarde (Zeq/(ha.jaar))
Bonheiden	160364	190774	173,96	212
Maasmechelen	237024	183722	206,92	180
Tielt-Winge	186469	181496	168,18	182
Koksijde	30270	202583	306,83	204
Zwevegem	79838	164143	204,47	167
Kapellen	158181	226446	289,39	350
Retie	197815	213657	184,09	200
Gent	101995	195333	205,04	188
Wingene	77532	197025	221,37	171

Bij de validatie van de natte depositie NO_y in 2012 gebruikte meetplaatsen en waarden

Meetplaats	X	Y	meetwaarde (Zeq/(ha.jaar))	modelwaarde (Zeq/(ha.jaar))
Bonheiden	160364	190774	171,02	231
Maasmechelen	237024	183722	228,64	230
Tielt-Winge	186469	181496	201,54	229
Koksijde	30270	202583	227,74	188
Zwevegem	79838	164143	178,98	197
Kapellen	158181	226446	257,14	253
Retie	197815	213657	209,85	238
Gent	101995	195333	211,94	210
Wingene	77532	197025	237,11	199

Bij de validatie van de natte depositie NH_x in 2012 gebruikte meetplaatsen en waarden

Meetplaats	X	Y	meetwaarde (Zeq/(ha.jaar))	modelwaarde (Zeq/(ha.jaar))	gekalibreerde modelwaarde (Zeq/(ha.jaar))
Bonheiden	160364	190774	328,32	243	365,93
Maasmechelen	237024	183722	380,72	257	379,71
Tielt-Winge	186469	181496	311,35	241	367,06
Koksijde	30270	202583	369,14	205	282,66
Zwevegem	79838	164143	383,08	253	372,56
Kapellen	158181	226446	444,53	287	421,75
Retie	197815	213657	414,65	294	437,43
Gent	101995	195333	465,67	305	448,42
Wingene	77532	197025	585,89	406	652,95

Samenvatting

Voor de concentratie van NH₃ in 2012 is een kalibratie nodig om een systematisch verschil tussen meet- en modelresultaten te corrigeren, maar na kalibratie wordt een aanvaardbare relatieve onzekerheid en ruimtelijke correlatie bekomen.

De natte deposities van SO_x en NO_y in 2012 geven zonder kalibratie aanvaardbare relatieve onzekerheden maar vertonen een lage ruimtelijke correlatie. Voor de natte depositie van NH_x in 2012 is er wel een kalibratie nodig, waarna een lage relatieve onzekerheid wordt bekomen en een goede ruimtelijke correlatie.

Bijlage 3: Trends in natte depositie

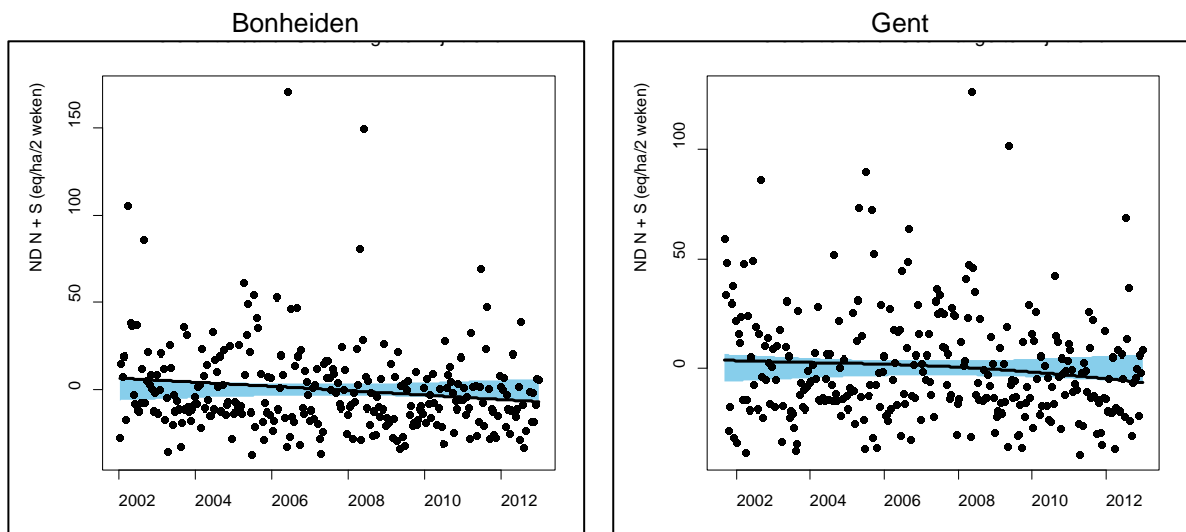
Tabel 7: Trend in de natte depositie van NH_4^+ , NO_3^- en SO_4^{2-} ($\text{Zeq}/(\text{ha}\cdot\text{jaar})$) van 2001 tot 2012

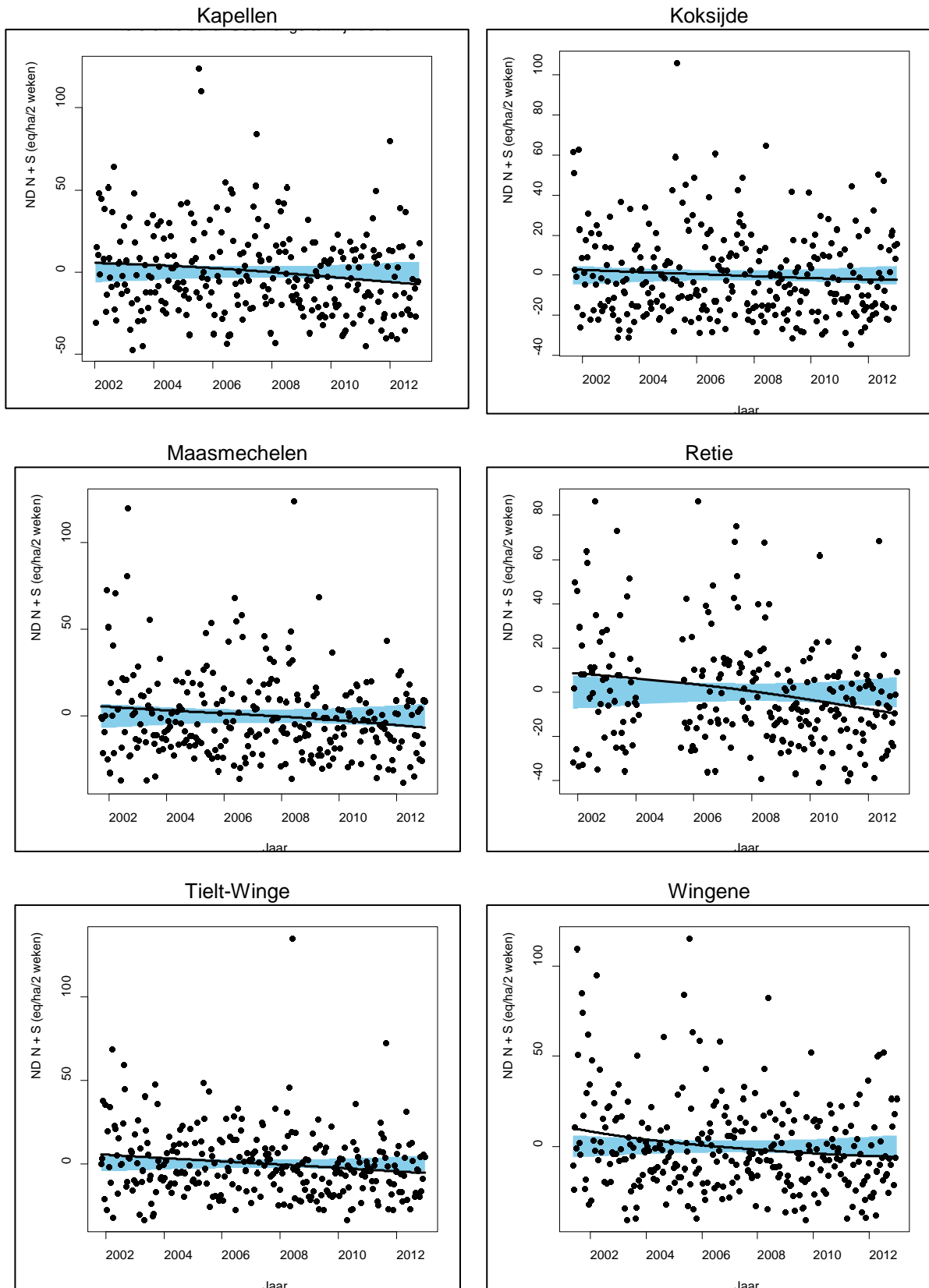
Meetplaats	NH_4^+	NO_3^-	SO_4^{2-}	Totaal
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	-19.6 ± 3.6 ***	-32.5 ± 11.9 **
Gent	Geen trend	Geen trend	-18.8 ± 3.8 ***	Geen trend
Kapellen	Geen trend	Geen trend	-23.1 ± 4.8 ***	-31.9 ± 12.4 *
Koksijde	Geen trend	Geen trend	-13.5 ± 4.4 **	Geen trend
Maasmechelen	Geen trend	-8.0 ± 3.8 *	-17.3 ± 3.5 ***	-27.6 ± 12.3 *
Retie	-11.9 ± 6.6 (*)	-8.5 ± 3.2 **	-23.0 ± 3.6 ***	-43.3 ± 12.6 **
Tielt-Winge	Geen trend	-5.8 ± 2.8 *	-15.9 ± 2.3 ***	-26 ± 8.7 **
Wingene	Geen trend	-6.0 ± 2.9 *	-20.8 ± 3.6 ***	-34.6 ± 11.2 **
Zwevegem	Geen trend	-6.6 ± 3.0 *	-18.7 ± 3.1 ***	-31.8 ± 10.4 **

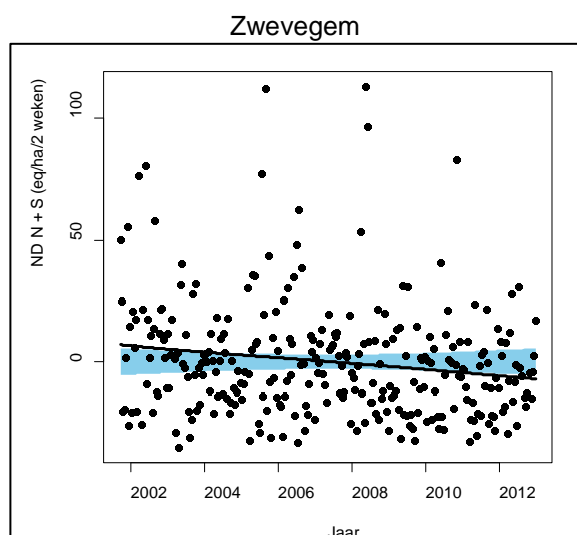
Gemiddeldes \pm standaardafwijking van de trends zijn bepaald via GAM-modellen met een lineair veronderstelde trendfactor, die opgesteld zijn op basis van de twee- of vierwekelijkse metingen. Significantieniveaus: (*) $P < 0,1$; * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ en *** $P < 0,001$.

De onderstaande figuren tonen niet-lineaire trends in de natte verzurende depositie (Figuur 58). Deze figuren tonen per meetplaats:

- Punten gebaseerd op twee- of vierwekelijkse metingen, namelijk residuele verschillen tussen de metingen en modelwaarden;
- Een geschatte trend: de additieve lange-termijn trend volgens een GAM-model met een niet-lineair veronderstelde trendfactor;
- Een referentieband (blauw): de zone waarin de trendlijn verwacht wordt als er geen trend is.







Figuur 58: Niet-lineaire trend in natte verzurende depositie van 2001 tot 2012

Bijlage 4: Trends in luchtconcentraties

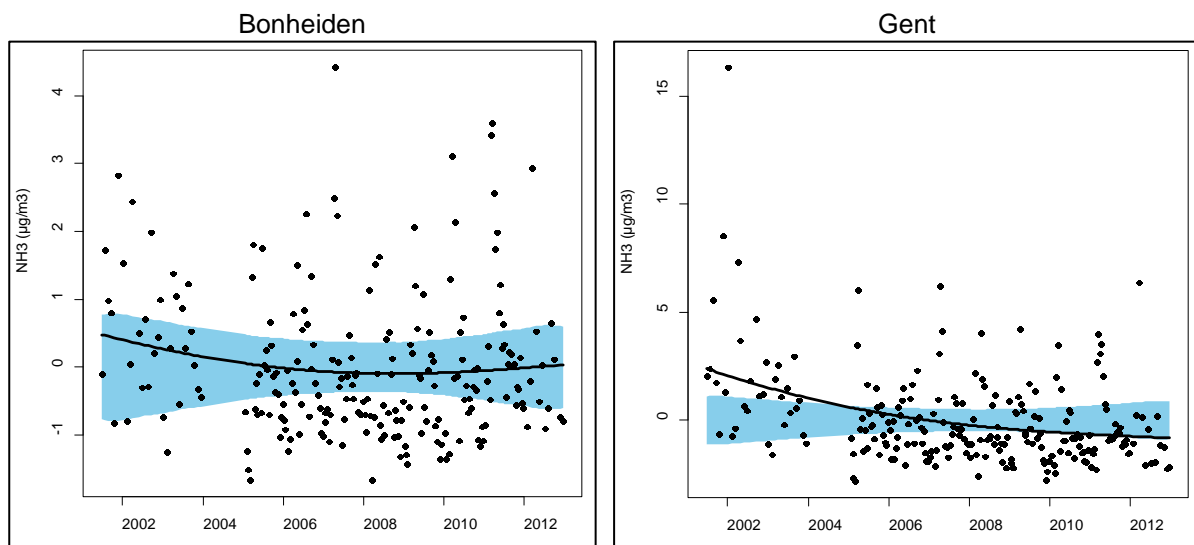
Tabel 8: Trend in de luchtconcentratie van NH₃, NO₂ en SO₂ (µg/(m³.jaar)) van 2001 tot 2012

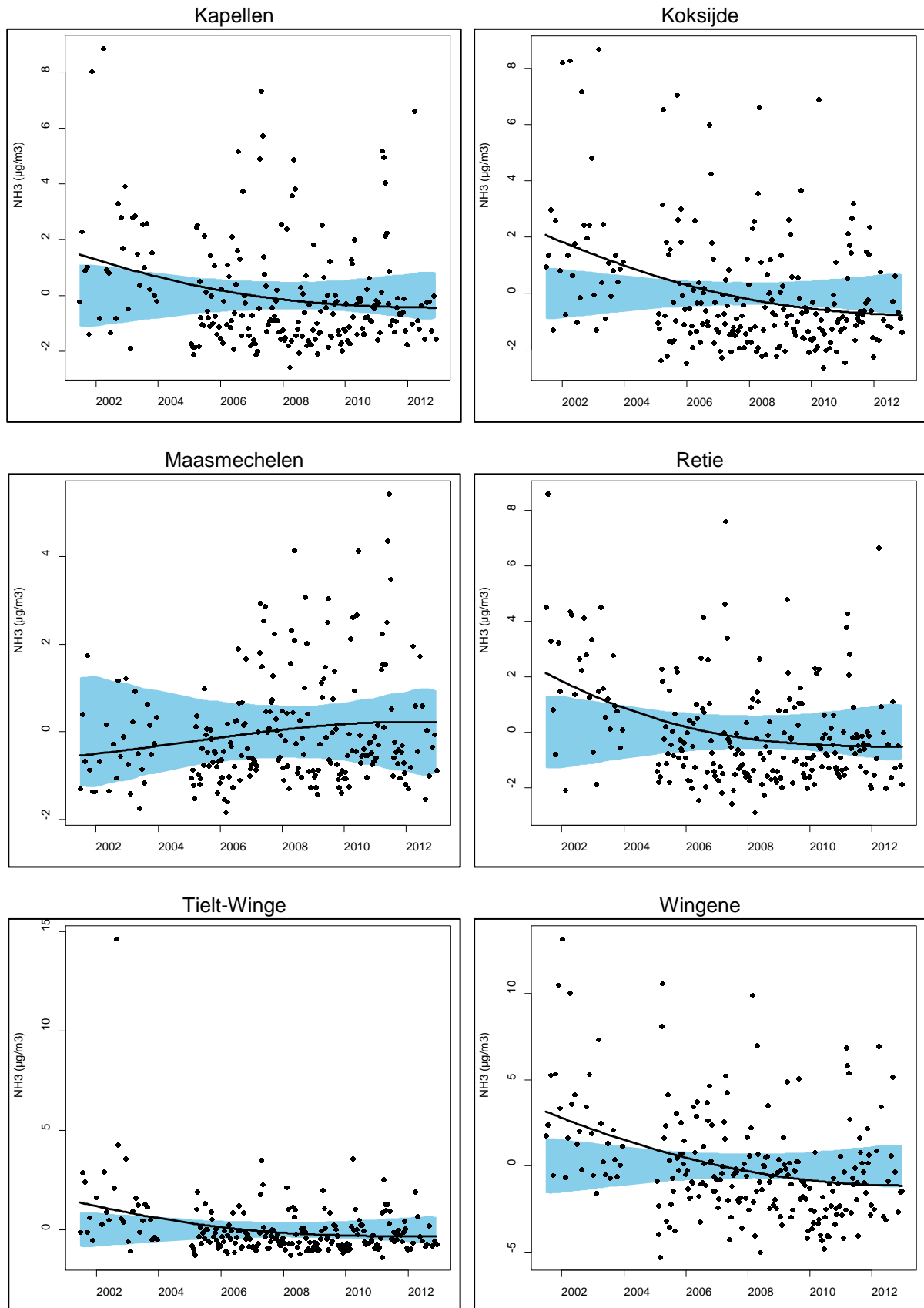
Meetplaats	NH ₃	NO ₂	SO ₂
Bonheiden	Geen trend	Geen trend	(-0,43 ± 0,05) ***
Gent	(-0,26 ± 0,06) ***	Geen trend	(-0,37 ± 0,06) ***
Kapellen	(-0,16 ± 0,06) *	Geen trend	(-0,49 ± 0,06) ***
Koksijde	(-0,24 ± 0,05) ***	Geen trend	(-0,33 ± 0,04) ***
Maasmechelen	Geen trend	Geen trend	(-0,17 ± 0,03) ***
Retie	(-0,20 ± 0,07) **	Geen trend	(-0,23 ± 0,03) ***
Tielt-Winge	(-0,14 ± 0,05) **	Geen trend	(-0,08 ± 0,02) ***
Wingene	(-0,36 ± 0,09) ***	Geen trend	(-0,16 ± 0,03) ***
Zwevegem	(-0,44 ± 0,10) ***	Geen trend	(-0,28 ± 0,03) ***

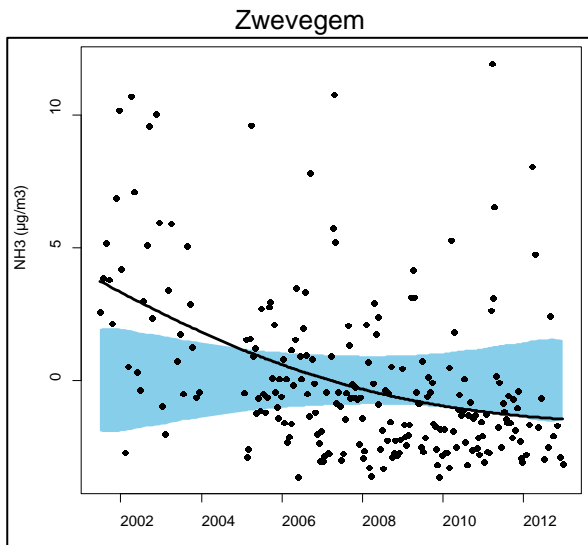
Gemiddeldes ± standaardafwijking van de trends zijn bepaald via GAM-modellen met een lineair veronderstelde trendfactor, die opgesteld zijn op basis van de twee- of vierwekelijkse metingen. Significantieniveaus: * P < 0,05, ** P < 0,01 en *** P < 0,001. Haakjes wijzen op een niet-lineaire trend volgens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

De onderstaande figuren tonen niet-lineaire trends in de luchtconcentratie van NH₃ (Figuur 59), NO₂ (Figuur 60) en SO₂ (Figuur 61). Deze figuren tonen per meetplaats:

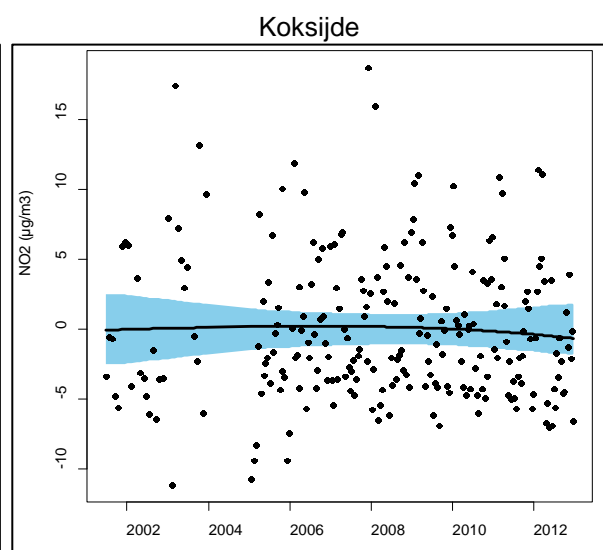
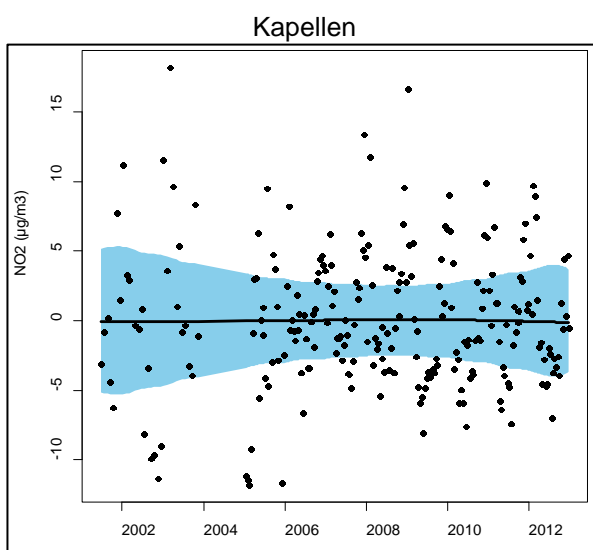
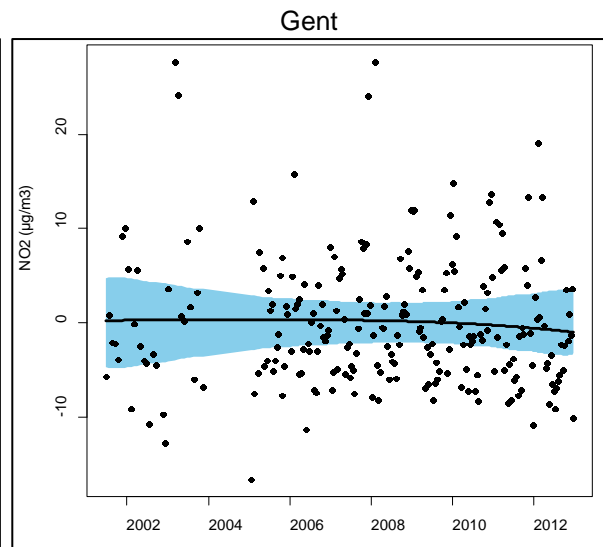
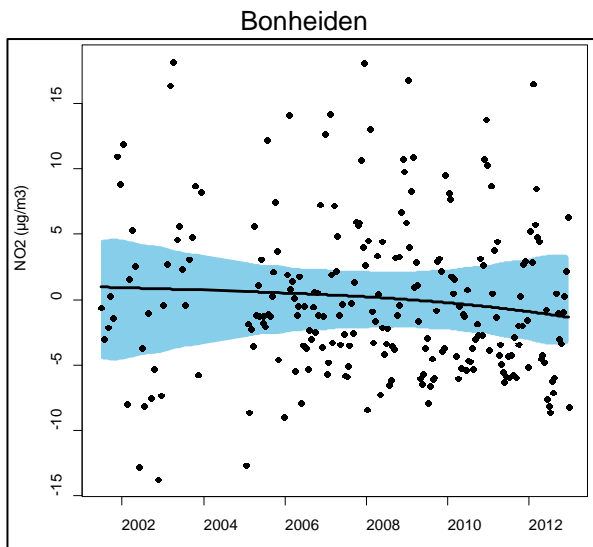
- punten gebaseerd op twee- of vierwekelijkse metingen, namelijk residuele verschillen tussen de metingen en modelwaarden zonder lange-termijn trend;
- een geschatte trend: de additieve lange-termijn trend volgens een GAM-model met een niet-lineair veronderstelde trendfactor;
- een referentieband (blauw): de zone waarin de trendlijn verwacht wordt als er geen trend is.

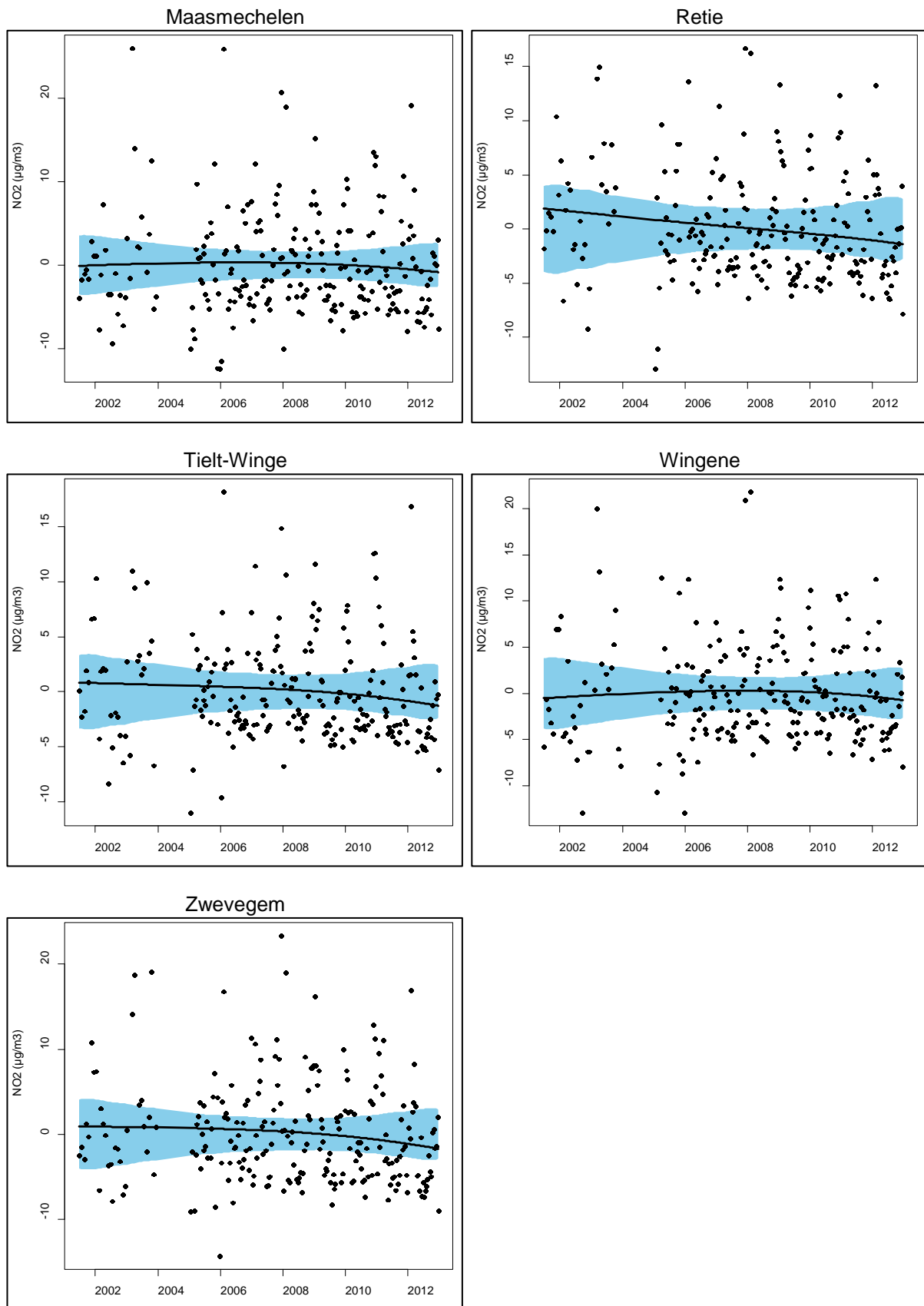




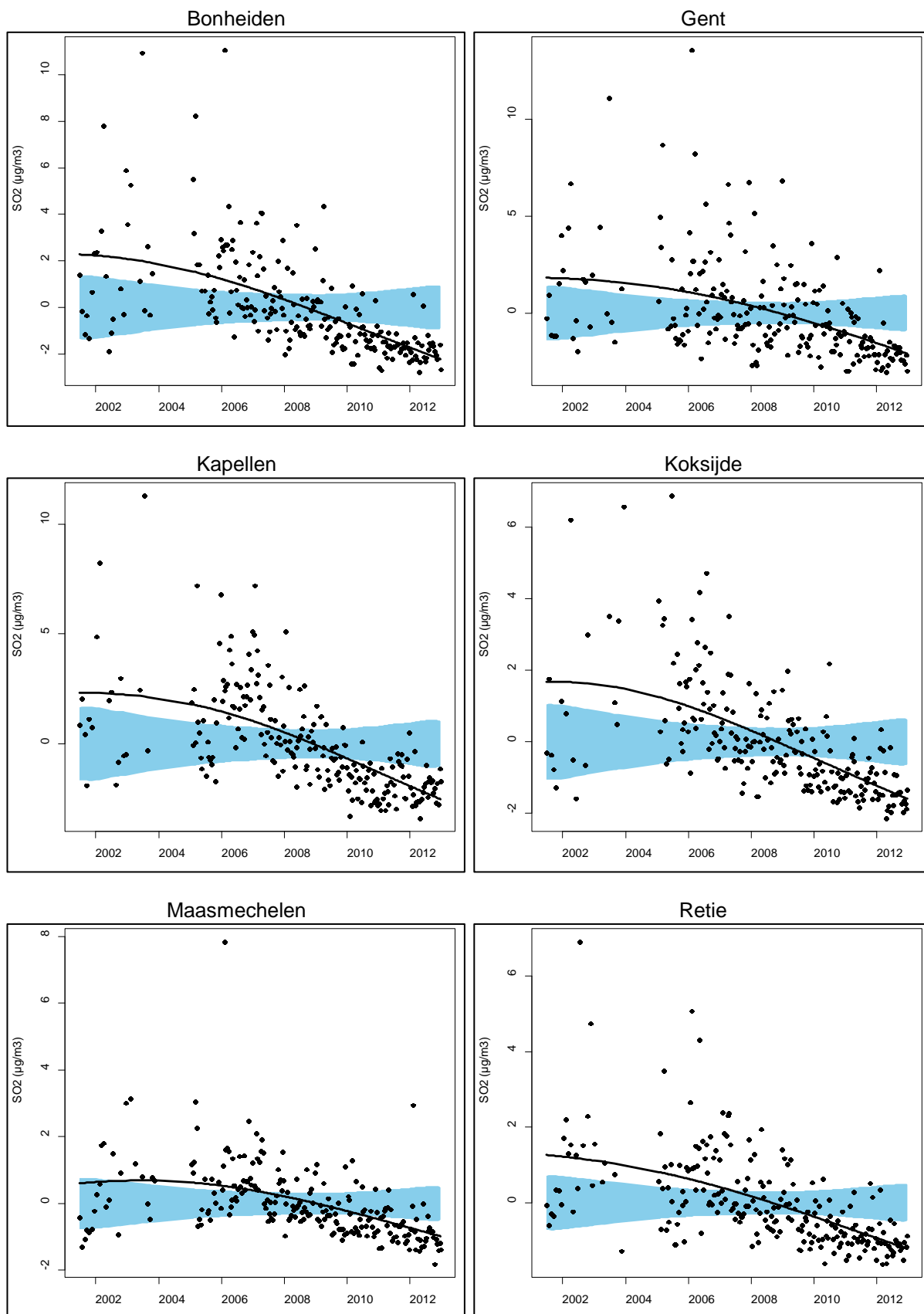


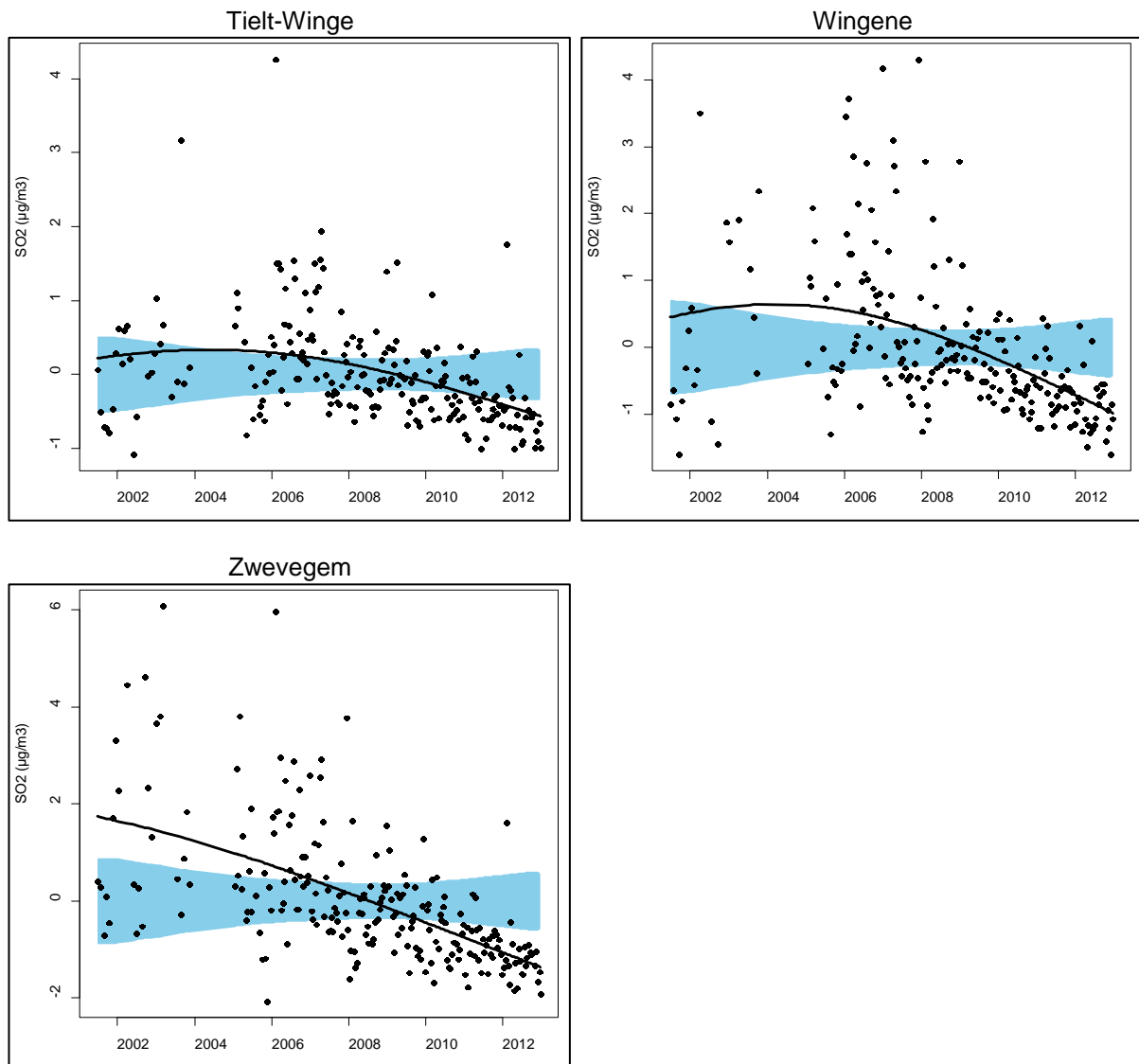
Figuur 59: Niet-lineaire trend in de luchtconcentratie van NH₃ van 2001 tot 2012





Figuur 60: Niet-lineaire trend in de luchtconcentratie van NO₂ van 2001 tot 2012





Figuur 61: Niet-lineaire trend in de luchtconcentratie van SO₂ van 2001 tot 2012

Bijlage 5: Trends in totale deposities

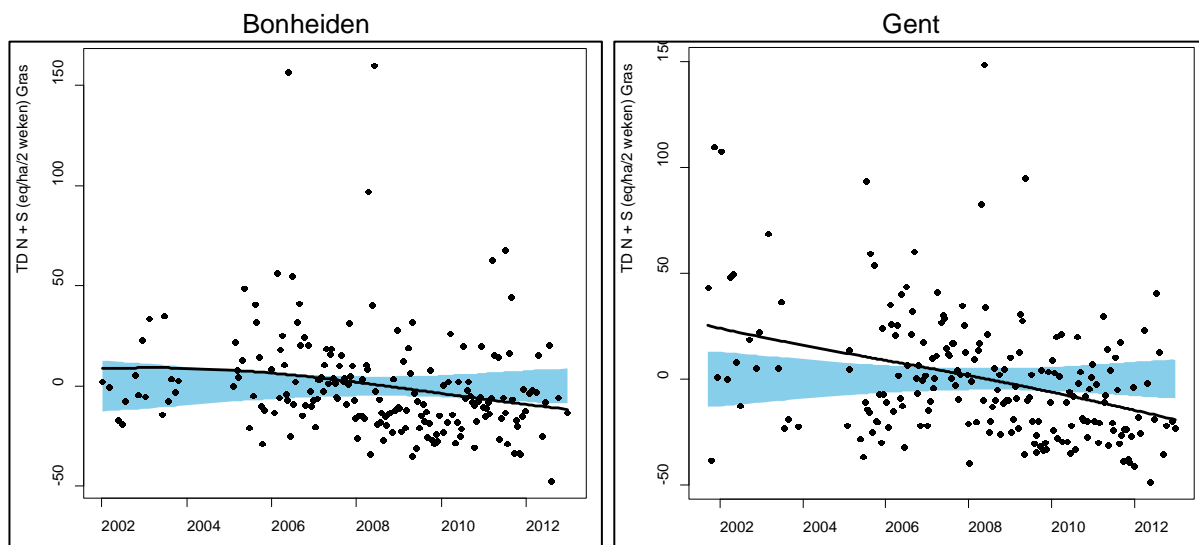
Tabel 9: Trend in totale verzurende depositie ($Z_{eq}/(ha.jaar)$) per vegetatietype van 2001 tot 2012

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

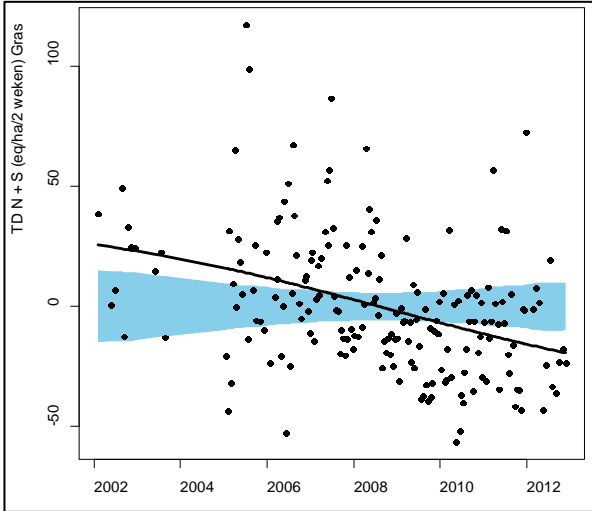
Gemiddeldes ± standaardafwijking van de trends zijn bepaald via GAM-modellen met een lineair veronderstelde trendfactor, die opgesteld zijn op basis van de twee- of vierwekelijkse metingen. Significantieniveaus: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$ en *** $P < 0,001$. Haakjes wijzen op een niet-lineaire trend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

De onderstaande figuren tonen niet-lineaire trends in de totale verzurende depositie (Figuur 62) en de totale vermestende depositie (Figuur 63), telkens voor gras. Deze figuren tonen per meetplaats:

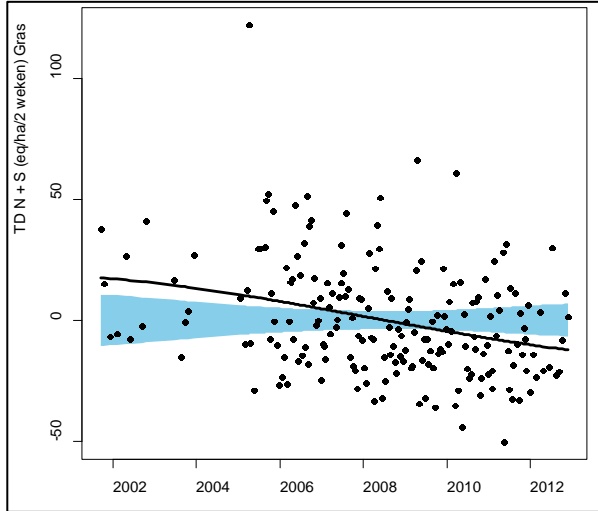
- Punten gebaseerd op twee- of vierwekelijkse metingen, namelijk residuele verschillen tussen de metingen en modelwaarden zonder lange-termijn trend;
- Een geschatte trend: de additieve lange-termijn trend volgens een GAM-model met een niet-lineair veronderstelde trendfactor;
- Een referentieband (blauw): de zone waarin de trendlijn verwacht wordt als er geen trend is.



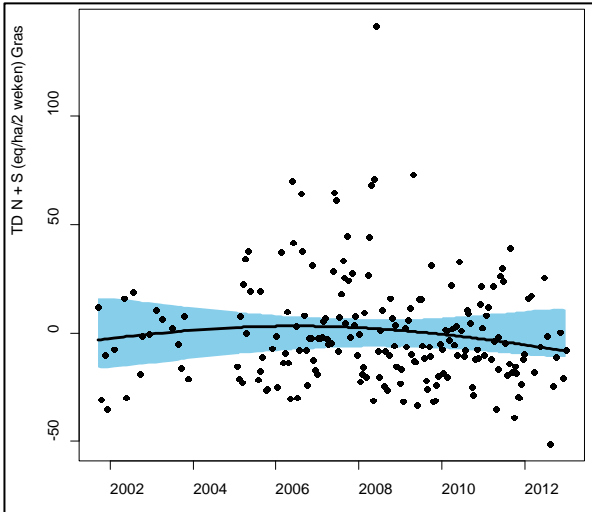
Kapellen



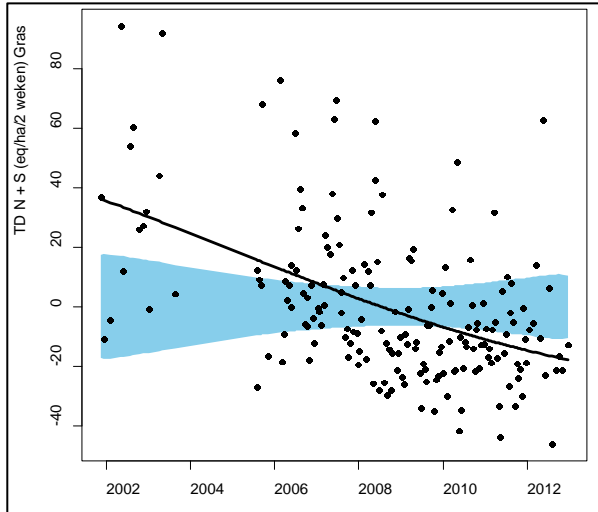
Koksijde



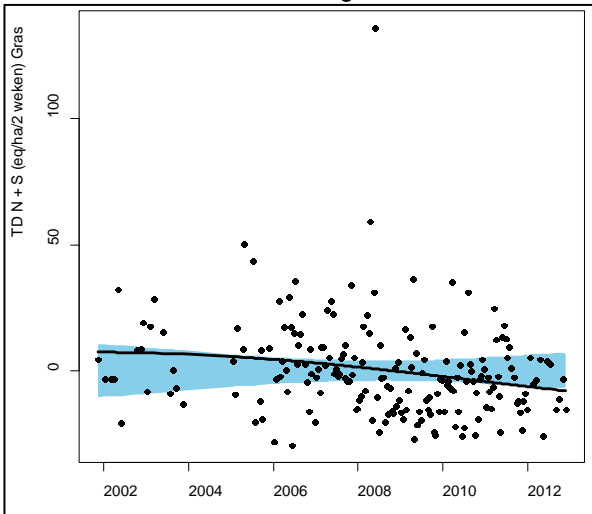
Maasmechelen



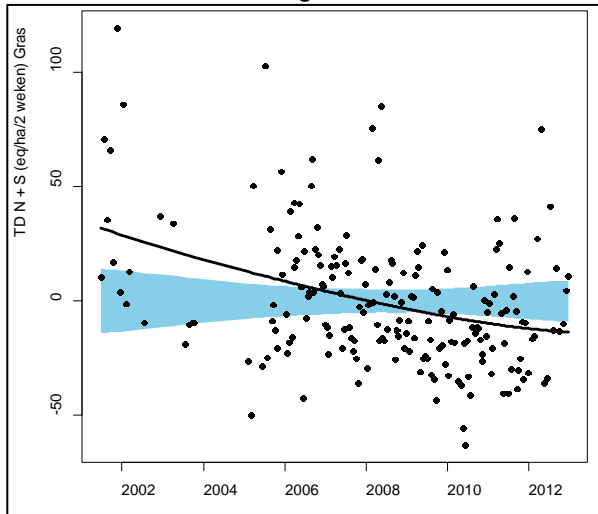
Retie

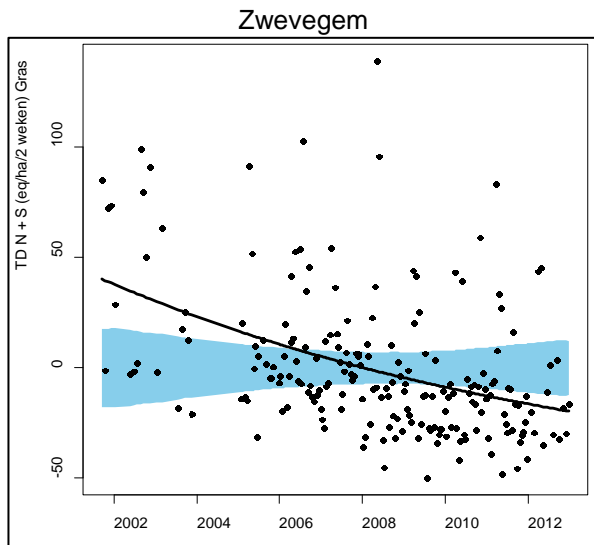


Tielt-Winge



Wingene



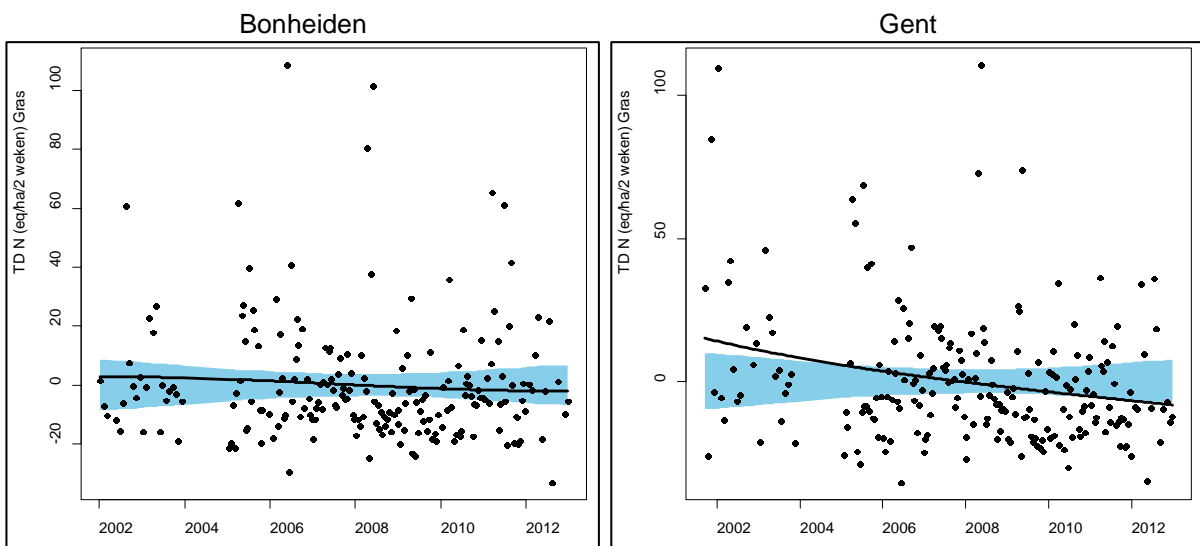


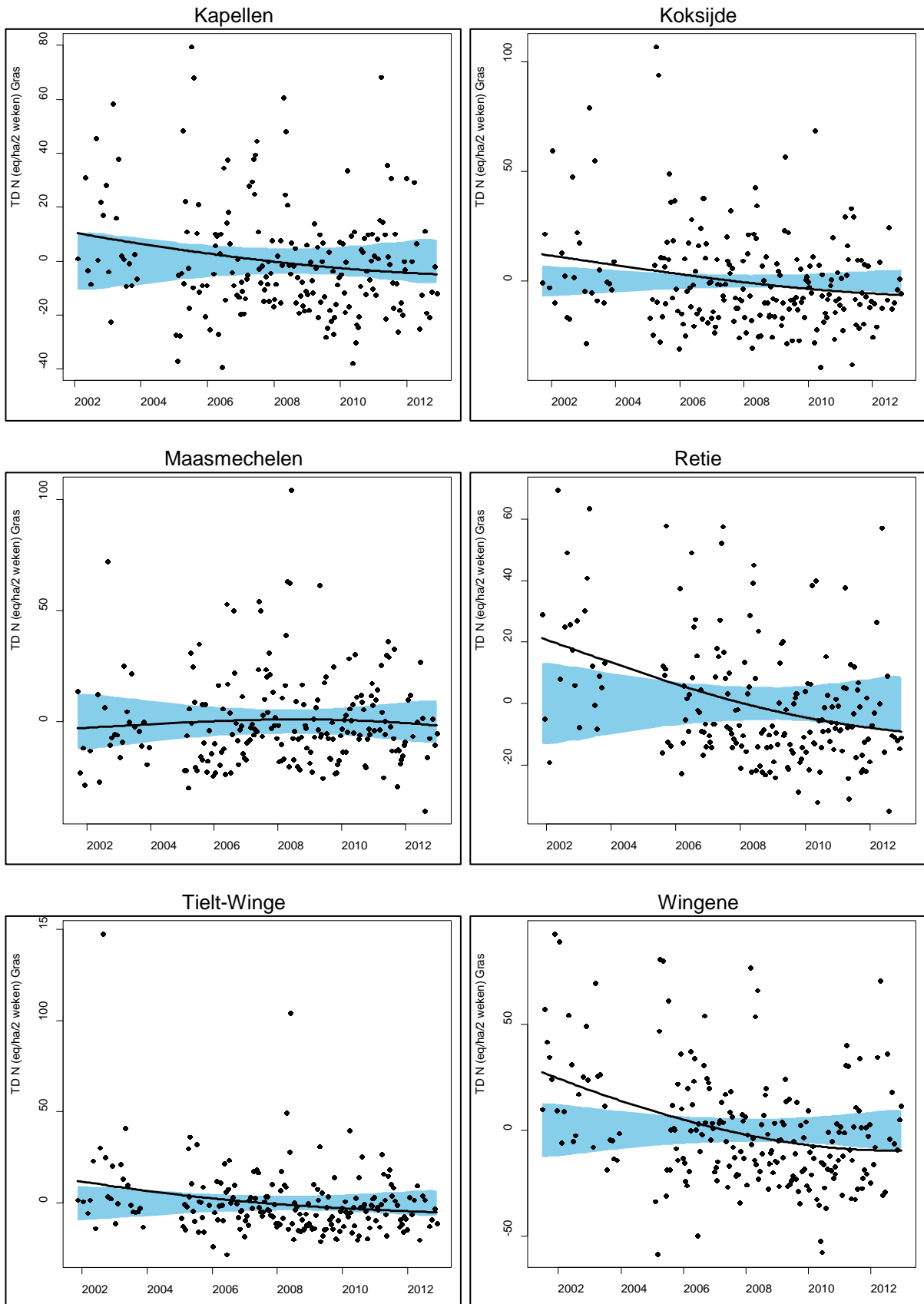
Figuur 62: Niet-lineaire trend in totale verzurende depositie voor gras van 2001 tot 2012

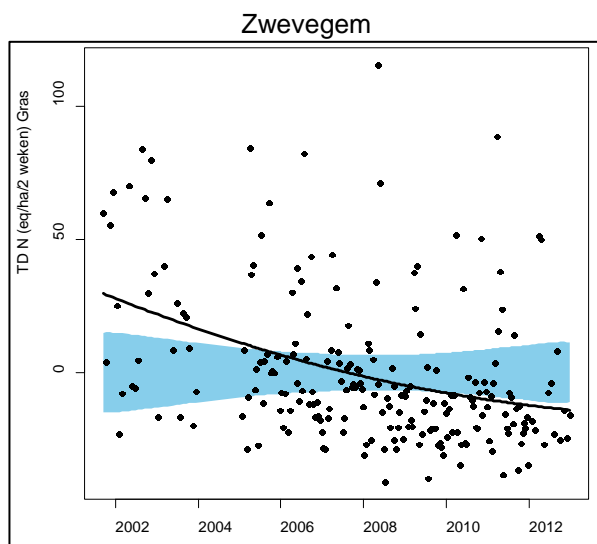
Tabel 10: Trend in totale vermestende depositie (kg N/(ha.jaar)) per vegetatietype van 2001 tot 2012

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

Gemiddeldes ± 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. Significatieniveaus: * P < 0,05, ** P < 0,01 en *** P < 0,001. Haakjes wijzen op een niet-lineaire trend volgens een benaderende F-test.







Figuur 63: Niet-lineaire trend in totale vermestende depositie voor gras van 2001 tot 2012