

Beginnend chemisch herstel van verzuurde Vlaamse bosbodems

Atmosferische deposities van zwavel en stikstof droegen bij aan een versnelde verzuring van bosbodems in Vlaanderen tijdens de 2e helft van de 20e eeuw. Vanaf de jaren 1980 werden stapsgewijs maatregelen getroffen om de emissies van verzurende stoffen te verminderen. Wij analyseerden langetermijndata (1994–2014) verzameld in de proefvlakken van het meetnet intensieve monitoring bosesystemen en vonden daarbij voor het eerst aanwijzingen dat recent de intensiteit van verzuring verminderd is in Vlaamse bossen.

Problematiek van bodemverzuring

Verscheidende studies toonden aan dat Vlaamse bosbodems tussen 1950 en 2000 in toenemend tempo zijn verzuurd (Ronse et al., 1985; De Schrijver et al., 2006). Die negatieve tendens kon verklaard worden door te hoge atmosferische deposities van zwavel en stikstof, ingevolge de uitstoot (emissie) van pollutanten in de lucht. In Vlaanderen en de omliggende gebieden zijn luchtvervuilende emissies vooral afkomstig van landbouw (NH_3), verkeer (NO_x) en industrie (SO_2) (VMM, 2015). Vanuit de atmosfeer komen zwavel en stikstof op de bosbodem en vegetatie terecht via verschillende vormen van neerslag (natte depositie) of gedreven door turbulentie via de lucht (droge depositie). De zwavel- en stikstofverbindingen grijpen in op de biogeochemische cycli, waarbij protonen (H^+) worden vrijgesteld en de zuurtegraad (pH) van de bodem daalt. Hierdoor wordt de strooiselafbraak geremd en gaan voedingselementen verloren via uitspoeling tot buiten het bereik van de wortels. Wanneer de $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ onder 5 daalt, neemt de oplosbaarheid van aluminium (Al) sterk toe en kunnen de Al-concentraties in de bodemoplossing toxische niveaus bereiken, wat de wortelgroei en opname van voedingsstoffen door bomen kan belemmeren. Zuurmijdende organismen, zoals diepgravende regenwormen en sommige bosplanten, verdwijnen bij toenemende verzuring (Thomaes, 2014; Verstraeten, 2013). Indien de depositie van stikstof hoger is dan wat het bosesysteem (bodem + vegetatie) kan verwerken, neemt ook de uitspoeling van nitraat sterk

ARNE VERSTRAETEN, PETER ROSKAMS, JOHAN NEIRYNCK,
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO)

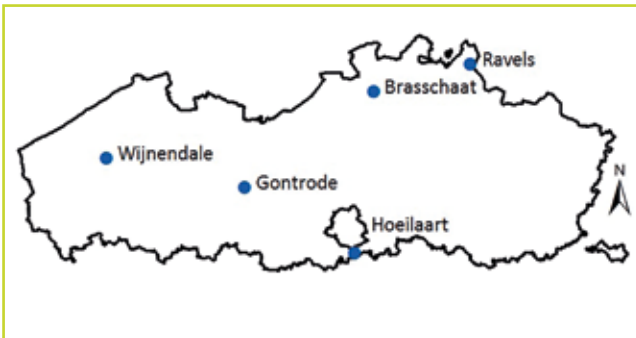


Een zicht op het Level II proefvlak in Wijnendale.

toe. Verzurende deposities hebben dus een zeer negatieve impact op het bosesysteem.

Het meetnet intensieve monitoring bosesystemen (Level II)

In het meetnet intensieve monitoring bosesystemen (ook bekend als het Level II meetnet) worden in Vlaamse bossen de verzurende deposities en hun effecten op het bosesysteem sinds begin de jaren 1990 opgevolgd, aanvankelijk door de Universiteit Gent en sinds 2002 door het toenmalige Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer (IBW), later Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO). Het Level II meetnet kadert binnen het International Co-Operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (ICP Forests, www.icp-forests.net). In Vlaanderen telt het Level II meetnet elf proefvlakken. In vijf daarvan gebeuren in het bos continue metingen van de atmosferische deposities (zie Fig. 1 en Tabel 1). Tegelijk worden de milieucondities en de gezondheidstoestand van het bosesysteem volgens een vaste meetfrequentie opgevolgd aan de hand van de fysicochemische karakteristieken van de bodem, bodemtemperatuur en -vochtgehalte, ionenconcentraties in



Figuur 1. locatie van de vijf Level II proefvlakken met depositiemetingen in Vlaanderen

de bodemoplossing, strooisel- en zaadproductie, groei, fenologie, percentage bladverlies en minerale voedings-toestand van de bomen.

Depositieingen

Bij de depositieingen wordt de hoeveelheid water (l/m^2) die door het kronendak valt (doorval) geregistreerd. Bij beuk, die een gladde schors heeft, wordt aanvullend de hoeveelheid water die van de stammen naar beneden vloeit (stamafvloe) geregistreerd. Doorval en stamafvloe vormen samen de bestandsneerslag. Twee keer per maand worden waterstalen verzameld voor chemische analyse. In de waterstalen zijn zwavel en stikstof aanwezig in opgeloste vorm, zijnde de ionen sulfaat (SO_4^{2-}), ammonium (NH_4^+), nitraat (NO_3^-) en soms ook beperkte hoeveelheden nitriet (NO_2^-). Daarnaast bevat de bestandsneerslag onder andere protonen, basische kationen (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}), zeezout (Na^+ en Cl^-), opgeloste anorganische koolstof (HCO_3^-), organische koolstof (DOC) en organische stikstof (DON). Bij de chemische analyse in het labo wordt van al deze stoffen de concentratie in oplossing bepaald. De deposities kunnen daarna berekend worden als het product van de gemeten watervolumes en concentraties. De verzurende depositie die op de bosbodem terecht-

komt is de som van de zwavel- en stikstofverbindingen en protonen. Een deel van de verzurende depositie wordt echter geneutraliseerd door het bufferend vermogen van de basische kationen aanwezig in de bestandsneerslag en basische kationen uitgewisseld in het kronendak.

Depositietrends

De langetermijndata verzameld in de Level II proefvlakken laten ons toe om 21 jaar (1994–2014) terug te kijken in de tijd (Fig. 2). Tijdens die periode daalde de jaarlijkse bestandsdepositie van verzurende componenten in de Level II proefvlakken met 59–70% (gemiddeld 63%). Dit is vooral te danken aan de vrij spectaculaire daling van de deposities van sulfaat met 57–80% (gemiddeld 70%), door de introductie van zwavelarme brandstoffen en emissiebeperkende maatregelen in de industrie. De emissie van zwavel kende in Vlaanderen echter vermoedelijk al begin de jaren 1980 haar hoogtepunt, maar er zijn geen data beschikbaar over de toenmalige deposities van sulfaat. De afname van de verzurende deposities is ook in zekere mate te verklaren door de daling van de deposities van ammonium met 57–69% (gemiddeld 64%), al werden de eerste maatregelen om stikstofemissies te beperken pas veel later getroffen dan die voor zwavel. Vooral de landbouw leverde een bijdrage aan de daling van de ammoniumdeposities, onder andere door het beperken van stalemissies en de introductie van mestinjectietechnieken. De daling van de ammoniumemissies was evenwel minder sterk dan de daling van de ammoniumdeposities, die ook gedeeltelijk toe te schrijven is aan een verminderde codepositie met sulfaat. Ongunstig is de trend van de depositie van nitraat, die na een aanvankelijke daling in 1994–1996 zo goed als stabiel is gebleven. De groeiende files en het toenemende aantal kilometers dat op onze wegen wordt afgelegd, vaak door voertuigen met een dieselmotor, spelen daarin wellicht een rol. Nitraatdepositie vindt immers zijn oorsprong in NO_x -emissies, die voor ca. de helft afkomstig zijn van wegtransport (MIRA indicatorrapport 2012, 2013).

Tabel 1. Karakteristieken van de vijf Level II proefvlakken met depositieingen in Vlaanderen, met de gemiddelde jaarlijkse neerslag (open veld) en bestandsneerslag (doorval + stamafvloe) voor de periode 1994–2014. De waarden voor doorval en stamafvloe zijn het gemiddeld aandeel (in %) in verhouding tot de neerslaghoeveelheid gemeten buiten het bos.

Proefvlak	Boomsort	Plantjaar	Neerslag l/m^2	Bestandsneerslag l/m^2	Doorval %	Stamafvloe %
NAALDBOS						
Ravels	Corsicaanse den	1930	920	635	69,0	
Brasschaat	Grove den	1929	982	771	78,5	
LOOFBOS						
Wijnendale	Beuk	1935	930	712	62,3	14,3
Gontrode	Zomereik + Beuk	1918	867	645	71,3	3,1
Hoeilaart	Beuk	1909	959	742	71,6	5,7

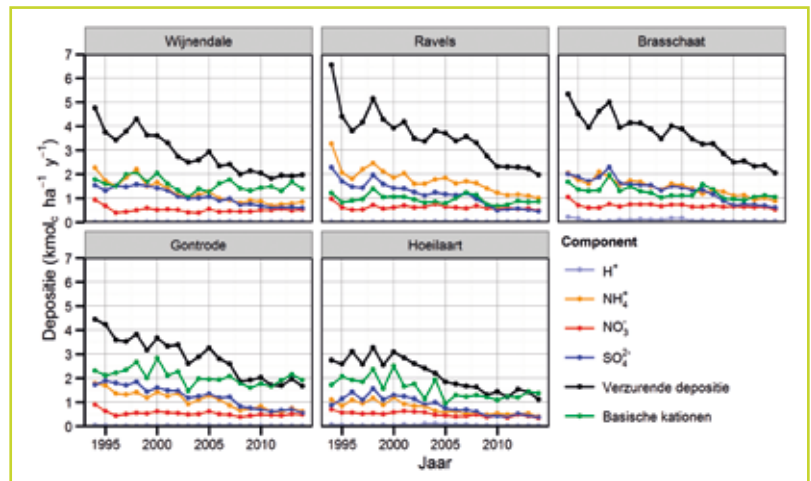
Het resultaat is dat de stikstofdeposities actueel nog steeds veel hoger zijn dan de kritische lasten¹ die veranderingen in vegetatiesamenstelling (of habitatkwaliteit) moeten tegengaan.

Parallel met de depositie van zwavel en stikstof is ook de depositie van basische kationen gedaald, met 18-37% (gemiddeld 24%). Het bufferend vermogen van basische kationen in de bestandsneerslag vertoont dus ook een dalende trend waardoor de afname in potentiële depositie minder uitgesproken is dan wanneer enkel de verzurende stoffen apart zouden beschouwd worden. Desondanks werd de verzurende depositie in Gontrode en Hoeilaart tijdens de laatste jaren grotendeels geneutraliseerd, wat nog niet het geval is in de andere drie proefvlakken (Fig. 2). De bestandsdepositie houdt wel geen rekening met een niet gekende hoeveelheid ammonium die door het kronendak wordt opgenomen via droge depositie, en is dus in feite een onderschatting van de totale verzurende depositie op het bos.

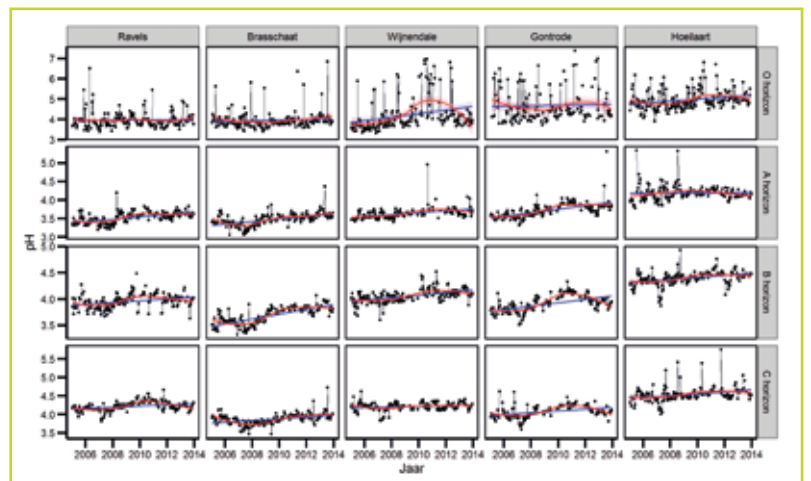
Elementconcentraties in de bodemplossing

Verzurende deposities geven aanleiding tot veranderingen in de chemische samenstelling van de bodemplossing, die zich sterker en sneller manifesteren dan in de vaste fase van de bodem. Elementconcentraties in de bodemplossing zijn daarom een prima indicator voor de respons van het bosesysteem op wijzigingen in verzurende deposities. Ze kunnen bovendien relatief eenvoudig met een hoge frequentie gemeten worden.

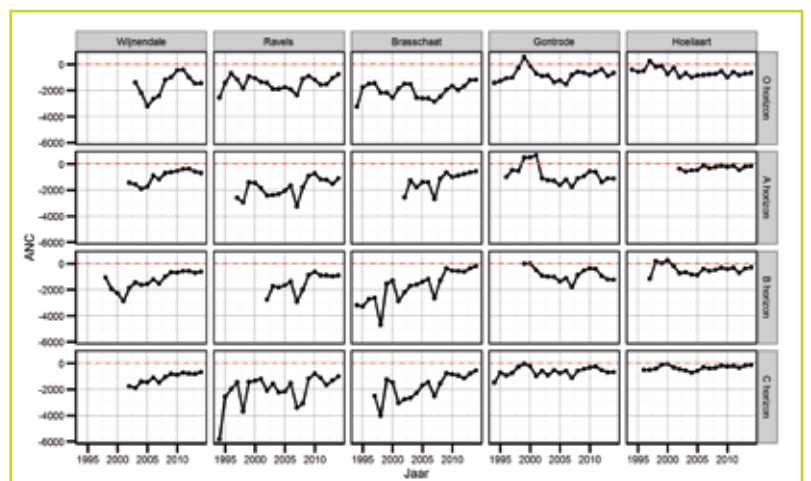
Wij stelden vast dat de nitraatconcentraties in de bodemplossing sinds 1994 in vier proefvlakken aanzienlijk zijn gedaald, zelfs sterker dan men zou verwachten op basis van de daling in verzurende deposities (Verstraeten et al., 2012; Cools et al., 2016). Vooral in Hoeilaart, waar de verzurende deposities het laagst zijn, spoelt momenteel vrijwel geen nitraat meer uit. In Gontrode daarentegen doen zich wel nog regelmatig periodes met aanzienlijke nitraatuitspoeling voor, wat mogelijk te maken heeft met de meer intense stikstofvrijstelling in de humusrijke bodem van deze site. De sulfaatconcentraties zijn in verhouding minder sterk gedaald dan die van nitraat, mogelijk door vrijstelling (desorptie) van historisch geaccu-



Figuur 2. Jaarlijkse bestandsdepositie van verzurende componenten en basische kationen in de Vlaamse Level II proefvlakken.



Figuur 3. pH van de bodemplossing in de humuslaag (O horizon) en op drie dieptes in de minerale bodem (2005–2014) in de Vlaamse Level II proefvlakken. Blauw: lineaire regressielijn, rood: LOESS curve (lokaal gewogen polynomiale regressie).



Figuur 4. Acid neutralizing capacity (ANC) in de humuslaag (O horizon) en op drie dieptes in de minerale bodem in de Vlaamse Level II proefvlakken (mol/ha). De ANC werd berekend als $ANC = Ca^{2+} + K^+ + Mg^{2+} + Na^+ - Cl^- - SO_4^{2-} - NO_3^-$, met in de humuslaag een bijkomende correctie voor de bijdrage van organische zuren (-RCOO).

1 Definitie van een kritische last: een kwantitatieve schatting van de blootstelling aan depositie (hier van stikstof) beneden dewelke er volgens de huidige kennis geen significante negatieve effecten zijn voor een welbepaalde ecosystemecomponent (Nilsson en Grennfelt, 1988).

muleerd sulfaat vanop het bodemcomplex, of omdat de daling van de stikstofdeposities van recentere aard is (begin jaren 1990) dan die van sulfaat (jaren 1980). Ook de concentraties van Al en basische kationen vertonen een dalende trend, omdat ze als tegenkation van nitraat en sulfaat fungeren in de bodemoplossing.

De pH van de bodemoplossing vertoonde aanvankelijk nog een licht neerwaartse trend, in lijn met de verzuring van de Vlaamse bosbodems tijdens de 2e helft van de 20e eeuw. Omstreeks 2005 werd echter een zeker dieptepunt bereikt en de laatste 10 jaar is de pH van de bodemoplossing in de minerale bodem met ongeveer 0,5 eenheden toegenomen in alle proefvlakken (zie Fig. 3).

We stelden ook vast dat de concentraties en fluxen van opgeloste organische koolstof (DOC) en stikstof (DON) in de bodemoplossing recent een stijgende trend vertoonden (Verstraeten et al., 2014; 2016). Die toename kan verklaard worden door de stijgende pH en dalende ionensterkte (gewogen som van de concentraties van alle ionen die aanwezig zijn, waarbij gewogen wordt met het kwadraat van de ionlading) en Al-concentraties in de bodemoplossing, die samen zorgen voor een betere oplosbaarheid van het organisch materiaal in de bodem.

Hoewel verschillende indicatoren wijzen op een beginnend herstel van verzuring is de pH van de bodemoplossing in de minerale bodem nog steeds zeer laag (3,5–4,5). Dit doet ons vermoeden dat het herstel voorlopig hoofdzakelijk abiotisch (chemisch) van aard is, vermits deze bodemcondities in principe ongunstig zijn voor micro-organismen. Bovendien vertoont de verhouding tussen basische kationen en Al in de bodemoplossing (BC/Al) een dalende trend, wellicht doordat de uitspoeling van basische kationen onvoldoende gecompenseerd wordt door een dalende aanvoer van basische kationen via depositie, strooiselomzetting en minerale verwerking (Cools et al., 2016). Om van een duurzaam herstel van verzuring te kunnen spreken zou de acid neutralizing capacity (ANC) van de bodemoplossing positieve waarden moeten aan-

nemen. Met uitzondering van enkele positieve uitschieters is dit tot nu toe in geen enkel proefvlak het geval (Fig. 4). De ANC vertoont wel bijna overal een stijgende trend, wat bevestigt dat de buffercapaciteit van de bodem minder snel afneemt dan twee decennia geleden. Die toename wordt echter afgeremd door een gelijktijdige stijging van de organische zuurheid in de humuslaag als gevolg van de verbeterde oplosbaarheid van organisch materiaal.

Ook andere criteria tonen aan dat er nog een lange weg valt af te leggen. Zo zijn de concentraties van stikstof in de bladeren en naalden nog steeds te hoog, terwijl de fosforconcentraties net aan de lage kant zijn, wat wijst op een verstoorde minerale voedingstoestand van de bomen.

Conclusie

Op basis van langetermijndata verzameld in de Vlaamse Level II proefvlakken kunnen we concluderen dat in Vlaamse bossen de daling van de buffercapaciteit minder snel verloopt dan twee decennia geleden, dankzij een sterke daling van de verzurende deposities. Dit herstel is echter vermoedelijk vooral chemisch (abiotisch) van aard en de ontzuring wordt vertraagd door een gelijktijdige daling van de depositie van basische kationen, toename van de organische zuurheid en desorptie van sulfaat. Vooral de stikstofdeposities liggen nog steeds ver boven de kritische lasten die beogen om bepaalde soorten hogere planten, mossen en korstmossen in gevoelige boshabitats te beschermen.

Referenties

www.bosplus.be > Kenniscentrum > Publicaties > Bosrevue

AltiplanoBooks.be

Unieke gidsen en naslagwerken
voor natuurliefhebbers

maakt je natuurbeleving nog intenser!



> ruimste assortiment gidsen & naslagwerken
> ook moeilijk vindbare items!

Bestel met korting:
www.altiplanobooks.be

10% korting
voor
BOS+ leden