

Bodemverzuring is nog altijd een van de grootste problemen voor de natuurkwaliteit in Nederland, vooral op de droge zandgronden. In de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw werd het vooral veroorzaakt door zwavelzuur vanuit de industrie, tegenwoordig speelt ammonium uit de landbouw de grootste rol. Ingrijpende brongerichte maatregelen zijn cruciaal om de depositie van ammonium terug te dringen, want het zelfherstellend vermogen van de bodem, iets waar het beleid op hoopt, is niet aan de orde. Zonder een zo snel mogelijke reductie van verzurende stoffen zal het steeds moeilijker worden om de natuurkwaliteit te herstellen.

— Huig Bergsma (BodemBergsma), Joost Vogels (Stichting Bargerveen), Arnold van den Burg (Stichting Biosfeer) & Roland Bobbink (Onderzoekcentrum B-WARE)

> De laatste tijd zijn meerdere artikelen en rapporten verschenen die aantonen dat 'zure regen' nog steeds een sterke aantasting van de biodiversiteit in Nederlandse natuurgebieden tot gevolg heeft. Het probleem van calciumgebrek bij koolmezen, in de jaren negentig al beschreven, is allerm minst opgelost. De achteruitgang van het korhoen is deels toe te schrijven aan een verslechtering van de voedselsituatie van de kuikens, veroorzaakt voor verzuring. De biodiversiteit van zowel flora als fauna in de heide en heischrale graslanden neemt nog steeds af door verzuring. Het 'Waldsterben', waarvoor enkele decennia geleden zo gevreesd werd, blijkt nu voor onze eikenbossen op arme zandgronden inderdaad op te treden.

Vreemd genoeg is het verantwoordelijke ministerie van LNV veel minder ongerust dan enkele decennia geleden. Beleidsdoelstellingen zijn eerder afgezwakt dan aangescherpt. Het ministerie gaat er nog steeds vanuit dat er een verdere daling zal optreden van de depositie van verzurende stoffen, en er dus geen reden is tot sterke ingrepen. Sterker nog, een deel van de verwachte depositiedaling van verzurende stoffen wordt onder de noemer van economische ontwikkelingsruimte in de Programmatische Aanpak Stikstof weer opgevuld met aanvullende uitstoot! Intussen wordt door middel van PAS-herstelmaatregelen zoals opslag verwijderen, maaien of extra begrazen geprobeerd om het negatieve effect van die depositie op natuurkwaliteit weer teniet te doen. Op de droge zandgronden is dit waarschijnlijk tevergeefs. Het eerste probleem in de gedachtenlijn van het ministerie is dat de verzurende stikstofdepositie



Is de bodemverzuring in Nederland onomkeerbaar?

Door chronische verzurende depositie zal de natuur op droge zandgronden niet vanzelf herstellen

in veel Nederlandse natuurgebieden juist weer aan het stijgen is en niet aan het dalen. Het betreft dan vooral ammoniak en ammonium uit de landbouw, welke de grootste ecologische effecten heeft. Het tweede probleem is dat beleidsmakers en politici vooral kijken naar de op het eerste gezicht rooskleurige totaalplaatjes van de afnemende jaarlijkse zure depositie. Maar het is juist de steeds doorgaande opstapelende zuurlast (figuur 1) die voor het enorme verzuringsprobleem op de droge zandgronden zorgt. In dit artikel proberen we dit probleem in perspectief te plaatsen door dieper in te gaan op de onomkeerbare aantasting die verzurende depositie uiteindelijk uitoefent op de basis van elk ecosysteem: de minerale samenstelling van de bodem.

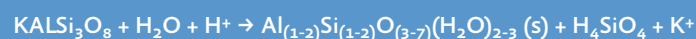
Verwerking

In de bodem wordt de nutriëntenvoorraad door verwerking van bodemmineralen aangevuld. De verwerking van mineralen is een onomkeerbaar

proces waardoor een bodem in een gematigd klimaat normaal gesproken in enkele tienduizenden jaren de voedingsstoffen verliest. Zuur is de drijvende kracht achter dit proces, ook onder natuurlijke omstandigheden. In de afgelopen miljoenen jaren was het zuur hoofdzakelijk van biologische (door planten en micro-organismen geproduceerd

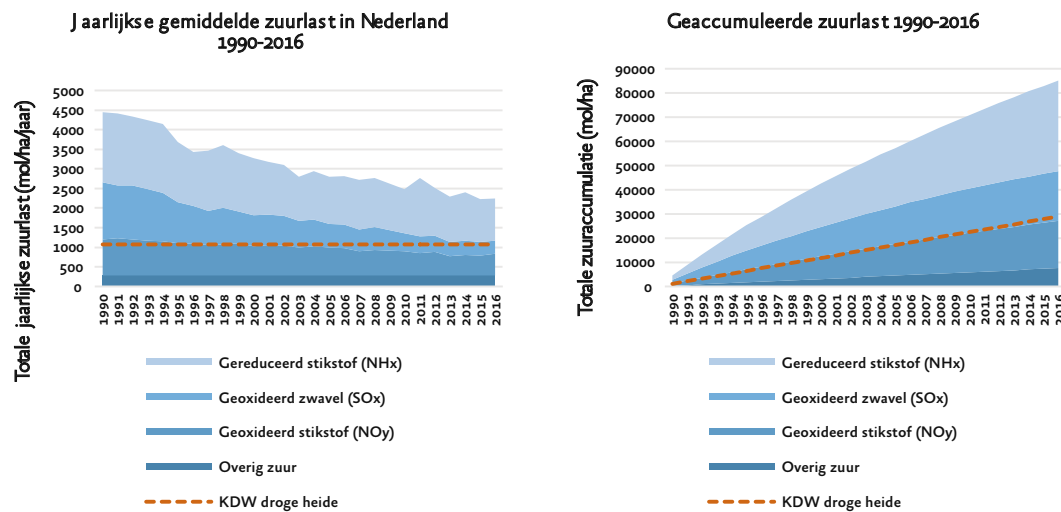
zuur) en geologische oorsprong (kooldioxide en zwaveldioxide van vulkaanuitbarstingen). Onder deze omstandigheden leverden de mineralen in een bodem door verwerking voldoende kationen om de zuurtoevoer te neutraliseren en de pH van een bodem stabiel te houden. Verzuring veroorzaakt door menselijke activitei-

De verwerking van een mineraal is een onomkeerbaar proces en leidt tot het vrijkomen van een nutriënt (K, Mg, Ca etc) en meestal tot de vorming van een secundair klei of kleiachtig mineraal, zoals allofaan, halloysiet of kaolien. Hier wordt als voorbeeld de globale verweringsreactie van kaliveldspaat tot een secundair kleimineraal, kiezelzuur en kaliumionen gegeven:



De vorming van deze klei of kleiachtige mineralen is afhankelijk van de pH. Bij een pH beneden 4,5 neemt de oplosbaarheid van deze secundaire mineralen sterk toe of stopt de nieuwvorming ervan met als gevolg een toename van in bodemvocht opgelost en uitwisselbaar Al^{3+} . Verdwijnen van essentiële basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) enerzijds en toename van (voor levende organismen giftig) aluminium zijn belangrijke mechanismen die het afnemen van biodiversiteit op de hogere zandgronden veroorzaken.

Figuur 1. Links de jaarlijkse gemiddelde zuurlast (mol/ha/jaar) in Nederland (bron: RIVM, 2017: www.clo.nl/nl018417). Rechts dezelfde gegevens, maar gepresenteerd als totale zuuraccumulatie (mol/ha). De implicaties van de jaarlijkse overschrijding van de kritische depositiewaarde (KDW) voor het habitatype droge heide komen veel sterker naar voren in het accumulatie plaatje. In het 'jaarlijkse plaatje' (links) wordt deze al gauw tot een richtlijn die in de toekomst ooit behaald dient te worden.



Tabel 1 Chemische analyses van toplagen van verschillende leeftijden (0 jaar blootgesteld betreft het moedermateriaal op 1 meter diepte) met berekende totale en gemiddelde gemeten vertering uitgedrukt in mmol zuur per kg bodem. De stuifzanden bevinden zich op het Deelensche Veld in Nationaal Park de Hoge Veluwe en op de Haarlerberg op de Sallandse Heuvelrug. De stuifzanden zijn volgens de geraadpleegde literatuur in de vroege middeleeuwen gevormd. De zandafgravingen (grijs gearceerd) bevinden zich op het Aalderinksveld in Nationaal Park de Hoge Veluwe en op de Regte Heide. De afgraving op het Aalderinksveld is ontstaan in de zomer van 1941 voor de aanleg van het 'Bommenlijntje'. De afgraving op de Regte Heide was een zandwinning voor lokaal gebruik die tot de jaren zeventig van de vorige eeuw in gebruik was.

Locatie	Leeftijd	Al %	Ca %	K %	Na %	Mg %	Vertering (meq/Kg)	Verterings-snelheid (meq/Kg/jaar)
Aalderinksveld	0	1.43	0.08	0.92	0.18	0.06	-	-
Aalderinksveld	74	1.16	0.07	0.78	0.15	0.04	364.60	4.93
Aalderinksveld	10500 ± 1000	0.86	0.03	0.53	0.07	0.02	830.54	0.08 ± 0.01
Haarlerberg	0	0.87	0.02	0.29	0.09	0.02	-	-
Haarlerberg	1250 ± 250	0.45	0.01	0.17	0.05	0.01	523.57	0.42 ± 0.10
Regte Heide	0	1.03	0.04	0.46	0.18	0.04	-	-
Regte Heide	45 ± 10	0.96	0.05	0.41	0.16	0.03	105.59	2.35 ± 0.7
Regte Heide	10500 ± 1000	0.49	0.02	0.25	0.11	0.01	718.36	0.07 ± 0.01
Deelensche Veld	0	1.91	0.13	1.24	0.63	0.05	-	-
Deelensche Veld	1250 ± 250	1.75	0.12	1.11	0.60	0.04	228.27	0.18 ± 0.05

Tabel 2. Vergelijking tussen de theoretische verteringssnelheden en de waargenomen verteringssnelheden. Sverdrup is een veel geciteerde range gebaseerd op in het laboratorium bepaalde verteringssnelheden. Theoretische verteringssnelheid is de jaarlijkse verteringssnelheden per mineraal (Basen eq/ha/jaar), zoals gehanteerd in de meeste modellen voor bepaling van de KDW. Waargenomen verteringssnelheden (Basen eq/ha/jaar) zijn gemeten in de afgraving op het Nationale Park de Hoge Veluwe (Aalderinksveld).

	Sverdrup (1990)	Theoretische verteringssnelheid	Waargenomen verteringssnelheid
K-veldspaat, Muscoviet	Zeer langzaam	2.5	375
Albiet	Langzaam	5	230
Epidoot	Intermediate	7.5	70
Biotiet	Intermediate	7.5	15
Chloriet	Intermediate	4	210
Granaat	Snel	75	250
Totaal		102	1150

ten echter werkt door de zeer hoge zuur-input tekorten aan basische kationen en nutriënten voor planten en bodemleven in de hand, omdat deze onder zure omstandigheden versneld mobiel raken en ook sneller uitspoelen. Zuur is dus van nature verantwoordelijk voor het vrijkomen van 'nieuwe' nutriënten uit de mineralen voorraad in de bodem. Maar wanneer de zuurlast te hoog wordt is zuur juist de veroorzaker van nutriënten-tekorten en van een sterke afname van de bodem pH.

Behalve de hoeveelheid zuur, bepaalt ook de mineralogische samenstelling van een bodem het tempo waarin een bodem zuur kan neutraliseren. Een bodem met veel reagerende mineralen, zoals een kalkbodem, kan een hogere zuurlast verdragen dan een bodem gevormd op een graniet met hoofdzakelijk langzaam verwerende mineralen, zoals albiet en kaliveldspaat. De Nederlandse zandbodems hebben vooral langzaam verwerende mineralen. Albiet en kaliveldspaat zijn hier de belangrijkste mineralen die voor zuur-neutralisatie zorgen. Daarom zijn deze bodems zeer gevoelig voor verzuring en dit verklaart ook waarom de hogere zandgronden ook zonder sterk toegenomen zuurlast al veel voedselarme, vaak zwak zure tot zure ecosystemen herbergen zoals droge heide, zuurminnend eikenbos en zwak zure vennen. Dat deze systemen al zuur van karakter waren betekent echter allerminst dat zij niet verder kunnen doorverzuren.

Langjarige minerale verteringssnelheid

De in het beleid gehanteerde kritische depositiewaarde zou gelijk moeten zijn aan de hoeveelheid zuur die een systeem maximaal kan verdragen zonder blijvende aantasting van de vegetatie. De tot nu toe voorgestelde kritische depositiewaarde van habitattypen op zandgronden varieert tussen 700 en 2000 mol/ha/jaar. Maar er zijn verschillende benaderingswijzen voor het vaststellen van deze drempelwaarden. Vanuit het perspectief van het zuur bufferend vermogen door vertering van mineralen in de bodem, zou de kritische depositie tussen 100-400 mol/ha/jaar liggen, veel lager dus dan de in het beleid gehanteerde kritische depositiewaarde. Wij gebruiken hier als voorbeeld de in het beleid gehanteerde kritische depositiewaarde van droge heide, iets boven 1000 mol/ha/jr (zie ook figuur 1).

In de afgelopen jaren zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de minerale toestand van de Nederlandse zandbodems in natuurgebieden. Met behulp van nieuwe analysetechnieken is in 78 bodemkernen gekeken naar de langjarige minerale verteringssnelheid. Voor de meeste kernen betrof dit een gemiddelde lange termijnvertering, dat wil zeggen de gemiddelde vertering per jaar die de bodem heeft ondergaan in 5.000-11.500 jaar. Er is geen onderscheid te maken tussen periodes met een lagere of hogere vertering. Op vier plekken zijn kernen gestoken waar de ouderdom wel bij benadering of zelfs exact kon worden vastgesteld. Het betrof twee stuifzanden die in de middeleeuwen gevormd zijn en twee zandafgravingen uit de 20^e eeuw. Op deze locaties werden gemiddelde jaarlijkse verteringssnelheden

Figuur 2
Schematische weergave van de afname van de verweerbare mineralen in de bodem als gevolg van de antropogene zuurlast.

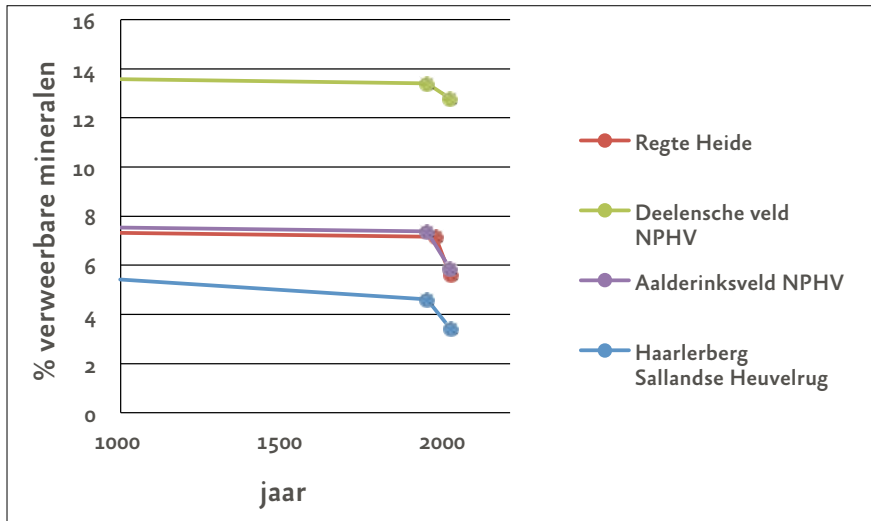


foto Hilde Beresma

Met behulp van een zogenaamde ramguts is de bodemsamenstelling bepaald.

gemeten die tot meer dan 100 keer hoger lagen dan de historische lange termijn verwerking. Dat wil zeggen dat hier de verwerking door de huidige verzuring honderd keer sneller gaat als onder natuurlijke omstandigheden.

Aluminiumtoxiciteit

De mineralen van de jongere bodems hebben de afgelopen decennia 800-1400 mol/ha/jaar aan basische kationen (Ca, Mg, K, Na) geleverd door (versnelde) verwerking. Daarnaast heeft echter het vrijkomen van de zure kationen Al en Fe uit diezelfde mineralen ongeveer 2000-3200 mol/ha/jaar aan zuur geneutraliseerd. De totale gerealiseerde zuurneutralisatie door verwerking ligt dus meetbaar hoger dan de KDW. Dit resultaat is niet opmerkelijk gezien de chronische jaarlijkse overschrijding van de KDW zoals weergegeven in figuur 1. De forse bijdrage van Al en Fe aan het neutraliseren van het zuur is echter zeker niet als positieve bijkomstigheid te beschouwen. Normaal dragen Al en Fe maar mondjesmaat bij aan de

neutralisatie. Bij hogere pH vormen Al en Fe met silica nieuwe neutrale kleiachtige deeltjes. Door de constante hoge zuurlast en de daaruit voortvloeiende lage bodem pH wordt de vorming van nieuwe kleideeltjes geremd en lossen bestaande kleideeltjes op. Hierdoor komt en blijft Al^{3+} (en Fe) in oplossing. En dit is precies wat in de vele onderzoeken van de laatste jaren, waarbij gemeten wordt aan vrij beschikbaar Al^{3+} steeds geconstateerd wordt: een sterke toename van beschikbaar aluminium en een sterke achteruitgang van veel soorten planten en schimmels, als gevolg van sterk toegenomen aluminiumtoxiciteit in de bodem.

In recente onderzoeken valt op dat de veldspaten albiet en muscoviet verhoudingsgewijs een veel grotere bijdrage aan de zuurneutralisatie leveren dan tot nu toe werd aangenomen en in modellen wordt toegepast (tabel 2). Metingen in de praktijk suggereren dat de sterke zuurlast, maar ook het bodemleven zelf, gezamenlijk van invloed zijn op de uiteindelijke reële verwerkingssnelheid

van bodemmineralen. In andere onderzoeken is aangetoond dat de microbiële activiteit in de bodem als respons op een tekort veel actiever inzet op het afbreken van die mineralen die dit limiterende element bevatten. Voor K-veldspaat is dit het element kalium, die inderdaad de sterkste mate van uitspoeling vertoont. Dit suggereert een toenemend gebrek aan K in de bodem voor schimmels en planten als gevolg van verzuring.

Bij het bepalen van het effect van verzuring op ecosystemen wordt meestal geen rekening gehouden met het feit dat naast de afname van uitwisselbare nutriënten door uitspoeling, ook de absolute voorraad aan nutriënten in verweerbare mineralen in de bodem significant afneemt. Op drie van de vier locaties met jonge bodems is de afgelopen eeuw bijna een kwart van de verweerbare mineralen in de toplaag verdwenen (figuur 2). Op het Deelensche veld is dit nog het laagst omdat dit een nat heidegebied is waar sneller transport van zuur en basen via bodemvocht en grondwater zowel een dempende als uitsmerende rol speelt in de minerale verwerking (veldpodzol) vergeleken met pure inzigtgebieden, maar ook hier is een duidelijke toename waarneembaar in de verwerkingssnelheid.

Conclusie

De overheid gaat er vanuit dat bij het behalen van de kritische depositiewaarde de bodembuffering in het droge zandlandschap zich weer op natuurlijke wijze kan herstellen. Helaas geven de bodemminerologische metingen van de afgelopen jaren allerminst aanleiding om daar veel van te verwachten. Metingen laten zien dat het uitgesloten is dat een verlaging van de stikstofdepositie tot op het niveau van de kritische depositiewaarden zich direct zal vertalen in herstel van bodembuffering en -vruchtbaarheid. Met een snelle reductie tot de kritische depositiewaarde zal de verdere aantasting weliswaar trager verlopen, maar een definitieve rem op verdere aantasting, of een spontaan herstel, is pas in zicht bij een nog verdere reductie van de zuurlast. Helaas wordt ook steeds duidelijker dat met de al ontstane en voortgaande aantasting van het minerologische kapitaal een volledig natuurlijk herstel (let wel: bij pre-industriële depositieniveaus!) van bodem en biodiversiteit steeds trager zal verlopen en in sommige gevallen niet meer zal optreden. Kortom: de rek is er eigenlijk al helemaal uit. De overheid speelt een belangrijke rol om de uitstoot van verzurende stoffen aan banden te leggen. De opeenvolgende ministers en staatssecretarissen hebben zich tot nu toe verscholen achter de boodschap dat het huidige beleid tot een daling van de zuurlast leidt en dat deze trend zich waarschijnlijk zal doorzetten. Hierdoor zou de natuur op termijn zichzelf wel kunnen herstellen. Ook nu is in het regeerakkoord opgenomen om verduurzaming in de veehouderij (de belangrijkste bron van stikstofuitstoot op de zandgronden) niet gepaard te laten gaan met 'volumebepalende maatregelen'. Een onhoudbare positie gezien de huidige staat van bodemaantasting.<

info@bodembergsma.nl