



Bemonstering van takken uit de boomkroon.

foto Esther Lucassen

# Bodemverzuring als aanjager van eikensterfte: gevolgen voor herstelmaatregelen

— Esther Lucassen, Ralf Aben, Alfons Smolders, Roland Bobbink, Jose van Diggelen (Onderzoekscentrum B-ware), Michael van Roosmalen (Stichting het Limburgs Landschap), Dries Boxman, Leon van den Berg en Jan Roelofs (Radboud Universiteit)

In het januari-nummer van het Vakblad stond een artikel over de eikensterfte in Nederland. In een enquête suggereerden terreinbeheerders kaalvraat en extreme weersomstandigheden als belangrijkste oorzaken van de sterfte. Stichting het Limburgs Landschap heeft ons gevraagd middels een veldonderzoek te achterhalen wat de oorzaak is voor het fenomeen eikensterfte. Het onderzoek laat zien dat de bodemkwaliteit een sturende rol speelt en het van groot belang is om de herstelstrategieën nog eens kritisch onder de loep te nemen.

> De zomereik (*Quercus robur*) is een zeer lang levende, Europese, hardhout leverende boomsoort die zich sinds de laatste ijstijd vanuit Zuid-Spanje, Zuid-Italië en het zuiden van de Balkan naar het noorden over Europa heeft verspreid. De Nederlandse en Belgische autochtone eiken komen oorspronkelijk uit Zuid-Spanje en Zuid-Italië. Daarnaast zijn er ook veel eiken afkomstig uit verschillende andere gebieden in Nederland en België aangeplant. De soort heeft ook in de jaren tachtig en begin en einde van de jaren negentig te kampen gehad met grootschalige sterfte. Het ziektebeeld was eenduidig: ontwikkeling van ingestorven takken en kroondelen, vorming van waterloten en massale aantasting door insecten. Sinds de jaren zestig van de vorige eeuw is er sprake van een sterk verhoogde depositie van verzurende atmosferisch stikstof en zwavel in Nederland. Met name de hoeveelheid droge depositie (niet opgelost in neerslag) wordt sterk beïnvloedt door de ruwheid van het depositieoppervlak van een bos. Ammonium wordt ingevangen door de boomkroon en spoelt af

naar de bodem. Nitrificatie in de bosbodem en opname van ammonium door wortels kan vervolgens leiden tot bodemverzuring. Uit onderzoek aan naaldbossen is bekend dat fijnspar (*Picea abies*) en grove den (*Pinus sylvestris*) door bodemverzuring verlaagde kaliumgehalten en verhoogde N:K ratio's ontwikkelen waardoor ze gevoeliger zijn voor stress door bijvoorbeeld vraat en pathogenen. Loofbossen zijn waarschijnlijk minder gevoelig voor bodemverzuring dan naaldbossen omdat loofbomen niet jaarrond bladeren hebben en dus de droge depositie relatief laag is. In dit onderzoek bekijken we of bodemverzuring in eikenbossen, net als naaldbossen, aan de basis kan staan van een verminderde vitaliteit en sterfte van de zomereik.

## Onderzoek

Begin september 2013 zijn in Nationaal Park de Maasduinen drie categorieën bomen onderzocht: tien vitale bomen met een normale boomkroon, tien niet-vitale bomen met dode takken en waterloten en tien dode bomen zonder bladeren. De dode en niet-vitale bomen zijn bemonsterd in een oud strubben eikenbos (1805-1850) op Landgoed de Hamert, waar zij door elkaar stonden op hetzelfde bodemtype. Vitale bomen zijn wel in de Maasduinen maar buiten Landgoed de Hamert bemonsterd. Alle bomen stonden op mineraalarme zandgronden. Als extra referentiemateriaal zijn begin augustus 2013 in Noorwegen twintig vitale bomen bemonsterd die op kalkarme granietbodems stonden met een dun laagje humus. Bij elke boom werd op een afstand van 2 meter van de stam het bodemprofiel beschreven en werd de bodemlaag op een diepte van 0-20 cm, 40-60 cm en 80-100 cm bemonsterd. Per boom werden door een aangeliende beroepsklimmer halverwege de hoogte van de boom en in de boomkroon drie takken verzameld (zie foto vorige pagina). Van de boomstam werd op anderhalve meter hoogte de omtrek bepaald en werd een boorkern en materiaal van de bast en het spinhout verzameld. Spinhout bevindt zich tussen het kernhout en de bast en verzorgt de opwaartse waterstroom en dient als opslagplaats voor voedingsstoffen. Tevens is gezocht naar de typische vraatsporen door de eikenprachtkever (*Agrilus biguttatus*) (foto rechts). De monsters werden geanalyseerd op een breed scala aan chemische parameters waaronder mineralen, afweerstoffen, chlorofyl en aminozuren.

## Verschil in bodemverzuring

In de Maasduinen kwam een duidelijk verband aan het licht: hoe meer nitraat in de bodem, hoe lager de pH van de bodem. Dit laat zien dat atmosferische stikstofdepositie een sterke

invloed heeft (gehad) op de pH van de bodem. Bij de nitrificatie van ammonium wordt zuur (protonen/ $H^+$ ) geproduceerd. En ook depositie van geoxideerd stikstof ( $NO_x$ ) leidt tot bodemverzuring in slecht gebufferde bodems. De mediane pH van de bodem rond vitale eiken was hoger (pH 4,0) dan die rond niet-vitale eiken (pH 3,6) en dode eiken (pH 3,7). Voor de referentiebomen uit Noorwegen was de pH 4,6. Het verschil in verzuring kwam ook tot uiting in de basenverzadiging van de bodem. Deze was duidelijk hoger voor bodems rondom de vitale bomen uit Noorwegen (75%) en de Maasduinen (43%) dan voor de niet-vitale (27%) en dode bomen (29%) uit de Maasduinen (figuur 1).

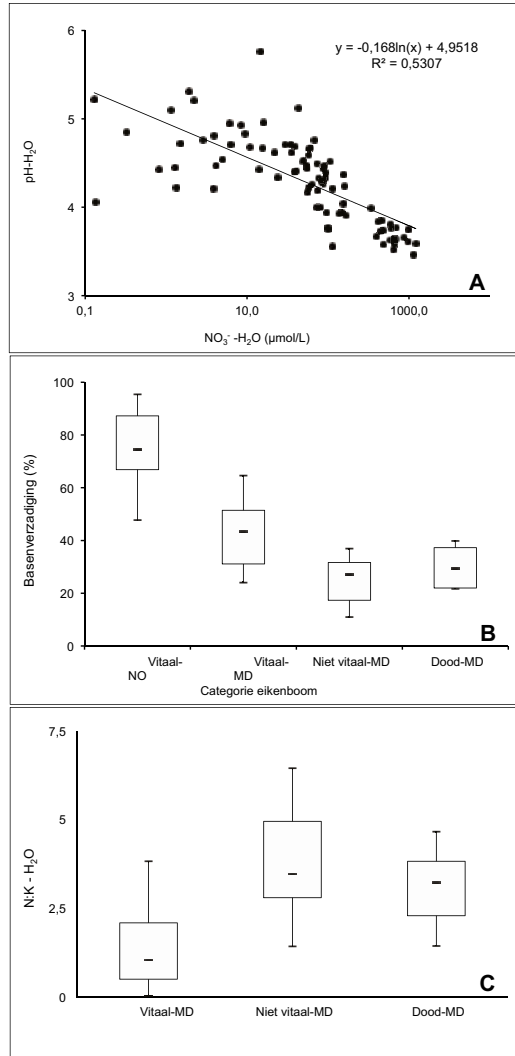
Door zuurproductie vindt er uitwisseling tussen zuur/ $H^+$  en kationen gebonden aan het bodemadsorptiecomplex (met name  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  en  $K^+$ ) plaats. Deze kationen spoelen uit naar het grondwater waardoor er uiteindelijk een gebrek aan deze mineralen voor planten kan optreden. De mate van bezetting van deze kationen aan bodemdeeltjes (de basenverzadiging) neemt sterk af, waarna de pH verder daalt en achtereenvolgens aluminium(hydr)oxiden kunnen oplossen. Opgelost aluminium heeft een potentieel toxisch effect op wortels met bijbehorende mycorrhiza-schimmels hetgeen een negatief effect kan hebben op de P-opname door de plant.



Vraatsporen van de eikenprachtkever op een dode zomereik.

foto Esther Lucassen

**Figuur 1**

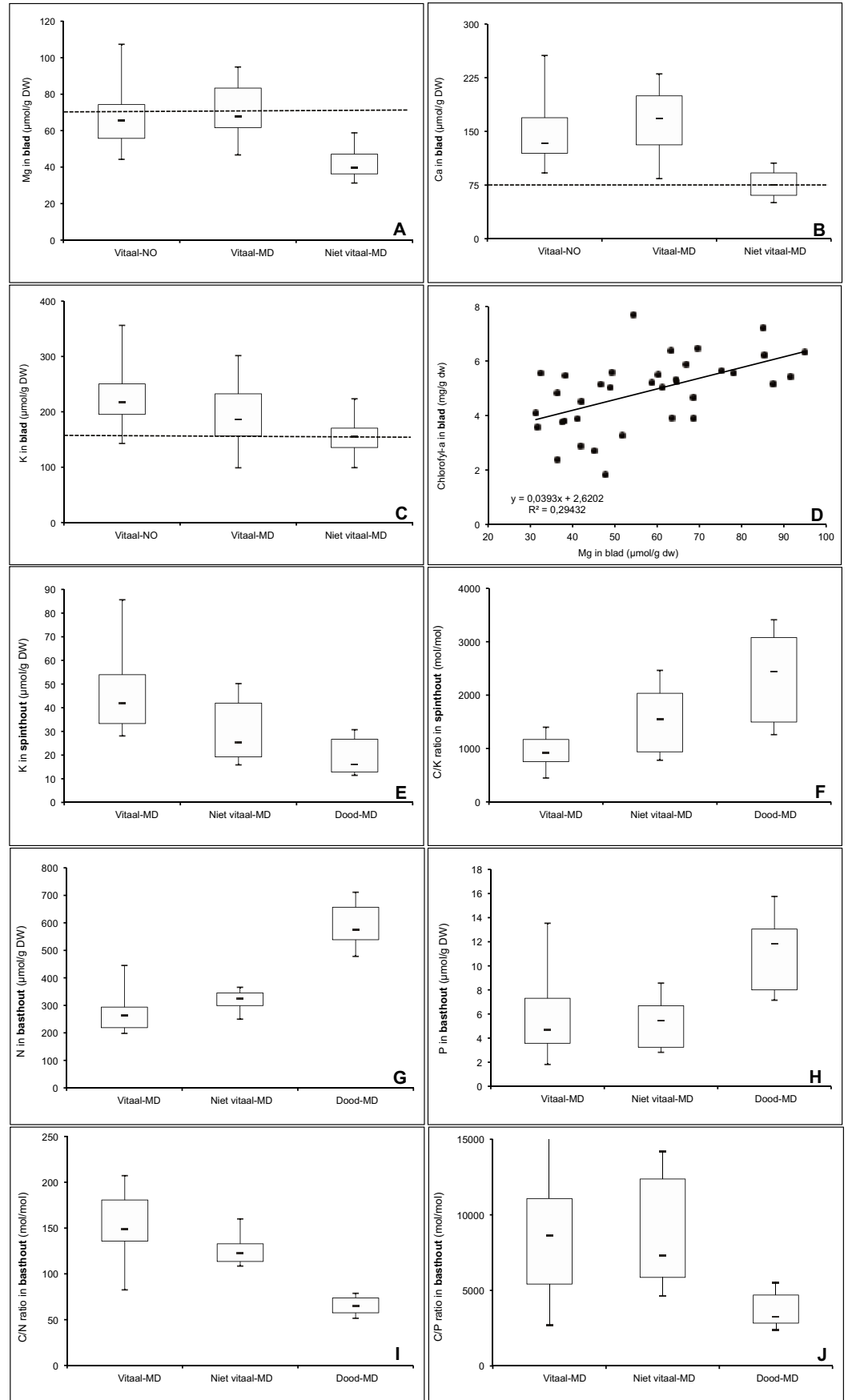


**Figuur 1**  
**A:** Correlatie tussen de concentratie nitraat en de pH-H<sub>2</sub>O in de Maasduinen;  
**B:** Boxplot van de basenverzadiging van de bodem toplaag; **C:** Boxplot van de N:K ratio van het bodem waterextract. MD= Maasduinen, NO= Noorwegen. De horizontale lijn in de boxplot geeft de mediane (meest voorkomende) waarde.

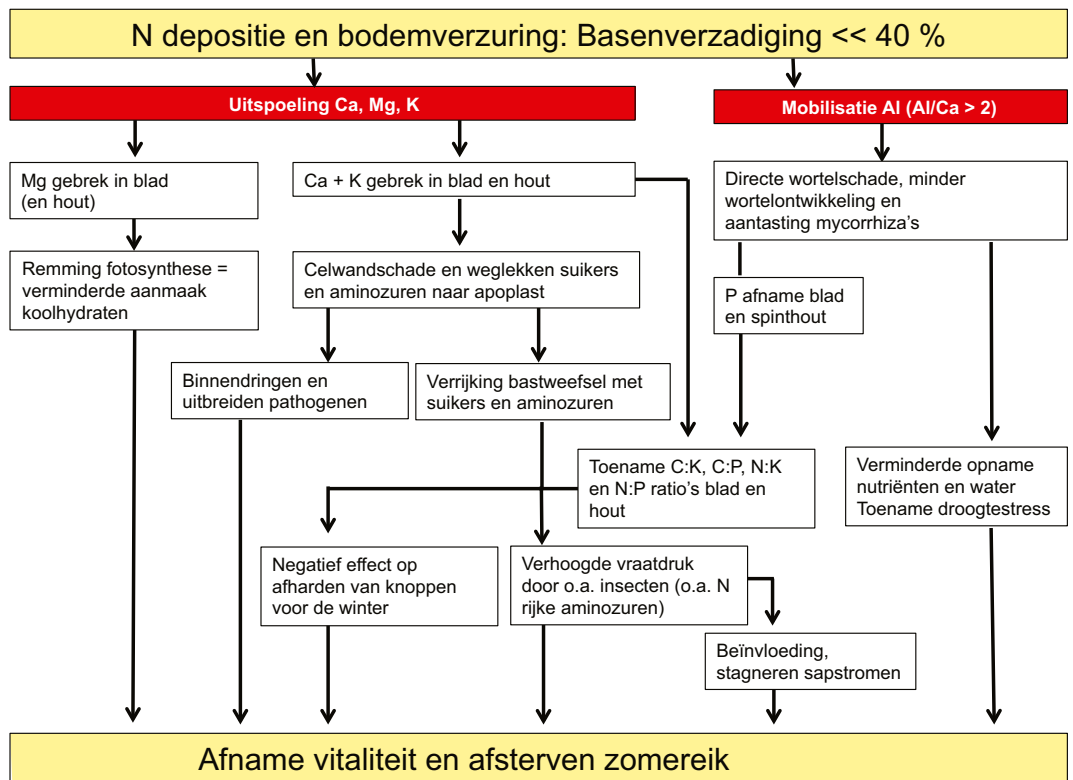
**Figuur 2**

Boxplots van de concentratie Mg, Ca en K in bladeren (**A,B,C**); de correlatie tussen de concentratie Mg en chlorofyl-a in de bladeren (**D**); de concentratie K en C:K ratio in het spinthout (**E,F**); de concentratie N en P en C:N en C:P ratio in de bast (**G,H,I,J**). De zwarte stippellijn zijn voor de zomereik "lage waarden" volgens de handleiding IKC Natuurbeheer uit 1995. NO= Noorwegen, MD= Maasduinen. De horizontale lijn in de boxplot geeft de mediane (meest voorkomende) waarde.

**Figuur 2**



**Figuur 3** Schematisch overzicht over hoe in de Maasduinen bodemverzuring aan de basis kan staan van eikensterfte.



Uit eerder onderzoek in de Maasduinen en de Boshuizerbergen was al gebleken dat de basenverzadiging een goede maat is voor de vitaliteit en het al dan niet verjongen van jeneverbessen. Ook toen al kwam naar voren dat bij een basenverzadiging van 25-30% er fysiologisch iets misgaat. In de Maasduinen bleek de N:K ratio in het waterextract de beste afgeleide bodemindicator voor de verminderde vitaliteit van de zomereiken in relatie tot bodemverzuring en uitspoelen van kationen (figuur 1C). N staat voor de concentratie nitraat die sterk correleert met de pH (figuur 1A). Kalium spoelt als éénwaardig kation veel gemakkelijker uit dan de tweewaardige kationen calcium en magnesium. Hierdoor verschuift de N:K ratio relatief snel bij verzuring van de bodem. Dit waargenomen verband trad ook op in de diepere bodemlagen (40-60 en 80-100 cm).

**Verskil in boomchemie**

De lagere basenverzadiging in de bodem van niet-vitale en dode eiken had ook effect op onder andere de mineralensamenstelling en nutriënten ratio's van de bladeren, het spinthout en de bast. Bladeren van niet-vitale bomen hadden geen hogere concentratie N maar wel lagere concentraties Ca, Mg, K en P dan vitale bomen. Alle bemonsterde niet-vitale bomen toonden Mg-gebrek in de bladeren en de meeste bomen vertoonden daarnaast ook Ca- en K-gebrek (figuur 2A-C). De C:K, N:K, N:Ca en N:Mg ratio's in bladeren van niet-vitale bomen waren dan ook duidelijk hoger dan die van vitale bomen. In Vught is in dezelfde periode eenzelfde effect gemeten in het blad van niet-vitale eiken met het verschil dat de bladeren wel verrijkt waren met stikstof terwijl deze geen fosforgebrek vertoonden. Het spinthout van de zomereiken uit de Maasduinen vertoonde een aan de bladeren gelijkwaardig verband tussen Ca-, Mg-, K- en P- concentratie en de vitaliteit van de boom. Ook in het spinthout was sprake van verhoogde C en N ratio's met deze elementen in minder vitale en dode eiken (figuur 2E-F). Wat betreft de kwaliteit van de bast waren de resultaten frappant. In de bast werden in tegenstelling tot het blad en het spinthout wel verhoogde N-en P-concentraties gemeten waardoor de C:N en C:P ratio's juist lager waren met afnemende vitaliteit (figuur 2G-J). De bladeren van niet-vitale bomen vertoonden lagere chlorofylconcentraties en verhoogde fenolenconcentraties.

**Het beeld van een afstervende eik.**

foto Anne Oosterbaan



## Het mechanismen van eikensterfte in de Maasduinen

De resultaten tonen aan dat bodemverzuring een belangrijke sturende rol speelt in de vitaliteit van eiken in de Maasduinen. Door uitwisseling van protonen (zuur) met basische kationen is de basenverzadiging van de bodem rondom minder vitale eiken aanzienlijk afgenomen tot circa 30%. Doordat Ca, Mg en K uitspoelen naar diepere bodemlagen is de beschikbaarheid van deze mineralen dusdanig afgenomen dat in bladeren en spinhout een gebrek opgetreedt. Daarnaast treedt er, waarschijnlijk ten gevolge van het oplossen van Al-(hydr)oxiden, P gebrek op. Deze gebreken staan waarschijnlijk aan de basis van de tot op heden geopperde verschijnselen en oorzaken gerelateerd aan eikensterfte in Nederland. Een schematische overzicht van hoe bodemverzuring aan de basis kan staan van eikensterfte in de Maasduinen staat in figuur 3. Ca, Mg en K spelen een belangrijke rol in basale fysiologische processen in planten en een gebrek aan deze elementen zal daarom een direct effect hebben op de vitaliteit. Zo is Mg een belangrijk bestanddeel van chlorofyl. Chlorofyl speelt een cruciale rol in de fotosynthese (bladgroen) waarbij planten met behulp van zonne-energie kooldioxide omzetten in een voor hen beschikbare energie en koolstof namelijk koolhydraten. Magnesiumgebrek remt de aanmaak van koolhydraten waardoor de fysiologische basisfuncties van de boom in het gedrang komen. Er was een positieve relatie tussen de concentratie Mg en het chlorofyl-a gehalte van de bladeren (figuur 2D). Bladeren van niet-vitale eiken waren zichtbaar lichter groen en hadden lagere chlorofylgehalten dan vitale eiken. Onderzoekers uit Italië concludeerden eerder al dat het chlorofylgehalte van eikenbladeren de beste indicator is voor het vaststellen van de vitaliteit van eikenbossen en ze stelden verder dat de vitaliteit van bossen via satellietfoto's grootschalig in kaart te brengen is. Het is uit de wetenschappelijke literatuur bekend dat Ca een belangrijke functie heeft in de structuur van celmembranen en een signaalfunctie heeft in plantafweer. Daarnaast zet Ca het cambium (actief meristeemweefsel) aan tot houtproductie. Calciumgebrek leidt tot schade aan de celwand, wat weer leidt tot een verhoogde kans op binnendringen van pathogenen. Daarnaast leidt het tot weglekken van suikers en aminozuren naar de opoplast (de ruimte

waar passieve, niet selectieve diffusie van stoffen plaats vindt) waardoor ze makkelijker beschikbaar komen voor pathogenen. Verder leidt calciumgebrek tot een lagere houtproductie en geremde groei. Ook zou het negatief werken op het afharden van knoppen voor de winter. Tenslotte speelt K een soortgelijke rol als Ca en een gebrek aan K leidt tot dezelfde symptomen. Het is dus goed mogelijk dat de gemeten verhoogde N en P concentraties in het bastweefsel een indirect effect zijn van het opgetreden Ca en K gebrek met als gevolg dat suikers en aminozuren zijn weggelekt naar het bastweefsel. In niet-vitale eiken trad een mineralenonbalans op zoals gemeten aan de verhoogde C:K, N:K, C:P en N:P ratio's in blad en spinhout. Plantenstoffen met deze hoge ratio's breken gemakkelijker af en dat stimuleert vraat. Ook de mogelijke verrijking van het bastweefsel met suikers en aminozuren werkt dit in de hand. Dit kan mogelijk verklaren waarom alleen in niet-vitale en vooral dode bomen vraatsporen van de eikenprachtkever zichtbaar waren (foto 2). Planten proberen zich als laatste redmiddel tegen insectenvraat te verweren door extra afweerstoffen (o.a. fenolen) te produceren. Dit was ook het geval bij de niet-vitale eiken uit de Maasduinen. Deze bomen hadden zelfs ondanks het verlaagde koolhydraatmetabolisme nog een verhoogde fenolconcentratie in de bladeren. De eikenprachtkever kan door het graven van gangen de sapstroom van de boom negatief beïnvloeden. Bij een verstoord metabolisme zijn planten gevoeliger voor secundaire stressoren als insectenplagen, schimmelinfecties, vorst, droogte en waterstress. Op Landgoed de Hamert trad vooral veel eikensterfte op na twee strenge winters. Het is bekend uit de boomteelt dat een hoge N:K ratio nadelig kan werken op het afharden van de knoppen voor de winter. Tenslotte is bekend dat bodemverzuring (met name een verhoogde Al:Ca ratio in het bodemvocht) kan leiden tot directe schade aan de wortels en een verlaagde bezetting van mycorrhiza schimmels. Deze schimmels beschermen de plant doorgaans tegen verdroging en vergemakkelijken de P opname. Dit kan naast wortelschade de oorzaak zijn voor de lage P concentraties in het blad en spinhout van niet-vitale bomen. Dit is plausibel omdat er ook geen verschil in de concentratie plantenbeschikbaar fosfaat was in de bodem rondom

vitale en niet-vitale eiken. Directe wortelschade en aantasting van mycorrhiza schimmels kan de verhoogde gevoeligheid voor droogtestress en langdurig te natte bodemcondities verklaren zoals gesuggereerd in het eerder verschenen artikel over eikensterfte.

## Beheermaatregelen

De fysiologische en morfologische interacties die bodemverzuring teweeg brengen bij de zomereik zijn nog niet precies opgehelderd. Maar ons onderzoek toont aan dat bodemverzuring ten gevolge van atmosferische depositie aan de basis staat van de verminderde vitaliteit van eikenbossen op mineraalarme zandgronden. De atmosferische S-depositie is sterk gereduceerd en ook de N-depositie is met circa 40% afgenomen waardoor de huidige zuurlast veel lager is dan in de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw. Herstel van de bodemchemie door natuurlijke verwerking is echter een uiterst traag proces dat honderden jaren kan duren. Maatregelen ter verbetering van de vitaliteit zouden dan ook gericht moeten worden op het verhogen van de basenverzadiging van de bodem. In het geval van de Maasduinen gaat het hierbij om toedienen van zowel Ca, Mg en K. Dit kan bijvoorbeeld door het toedienen van dolokal in combinatie met patentkali of door het toedienen van een kalium-rijk steenmeel. Een geopperd voordeel van steenmeel is dat dit minder snel leidt tot een pH verhoging waardoor minder verzuuring zou optreden door mineralisatie van de strooisellaag. Een voordeel van patentkali is echter dat het sneller werkt op de vitaliteit van de boom zoals eerder gevonden bij Amerikaanse eiken. In het herstelstrategie document voor het natuursysteem H9190 (Oude eikenbossen) staat vermeld dat de optimale pH van deze bossen 4,5 of lager moet zijn. Er wordt aangenomen dat deze bossen niet gevoelig zijn voor bodemverzuring, met als gevolg dat geen maatregelen tegen verzuring zijn opgenomen. Maatregelen zijn gericht op het afvoeren van nutriënten, het aanbrengen van variatie en het verbeteren van de lichtcondities. Het huidige onderzoek toont aan dat het van groot belang is deze herstelstrategieën nog eens kritisch onder de loep te nemen.<

*Esther Lucassen,  
E.Lucassen@science.ru.nl*