

# Geen leven zonder dood

Het is duidelijk dat overmatige stikstofdepositie, als een van de belangrijkste oorzaken van bodemverzuring, nadelige effecten heeft op de natuur. Als gevolg van decennialange verzuring is de beschikbaarheid van voedingsstoffen in onbalans geraakt, waardoor allerlei essentiële voedingsstoffen (de 'bouwstenen' van de natuur) schaars zijn geworden. Hoe kunnen we de balans op een natuurlijke manier herstellen? De kringloop van leven en dood is de sleutel. Elke Wenting zocht uit waarom dode dieren belangrijk zijn en hoe aaseters deze kringloop beïnvloeden. Op 7 juni promoveert ze op haar onderzoek.

**tekst** Elke Wenting (Wageningen University & Research)

> Stel je voor: je bent een hert en leeft op de Veluwe. Overal om je heen staat eetbare vegetatie, voornamelijk grassen. Voedsel genoeg, zou je zeggen. Maar toch ontbreekt er iets. Aan de beschikbare biomassa ('energie') ligt het niet. Toch heb je moeite om de eindjes aan elkaar te knopen en te overleven. Dat komt omdat veel essentiële voedingsstoffen (de bouwstenen van het leven) moeilijk te vinden zijn. Denk aan allerlei schaarse mineralen, waaronder zink, kobalt en selenium. Ze spelen een cruciale rol bij verschillende fysiologische processen en zijn dus nodig om te overleven. Door jarenlange verzuring zijn juist deze voedingsstoffen schaars geworden en daardoor moeilijk te vinden.

Dieren zoals wilde zwijnen en herten verzamelen gedurende hun hele leven essentiële, schaarse voedingsstoffen, en slaan deze op in hun lichaam om hun lichaamsfuncties werkend te houden. Als dieren doodgaan, komen al deze voedingsstoffen op één moment en op één plek beschikbaar in de vorm van kadavers. Op dat moment komen aaseters en andere opruimers in actie; zij bepalen wat er met de kadavers, inclusief de schaarse voedingsstoffen, gebeurt.

Vooraf gewervelde dieren, zoals vogels en zoogdieren, spelen een belangrijke rol bij de ontbinding en recycling van de voedingsstoffen. Ze kunnen in korte tijd veel van een kadaver opeten en de voedingsstoffen in hun eigen lichaam opslaan. Doordat ze grote afstanden afleggen verspreiden

ze de voedingsstoffen over hun hele leefgebied: ze scheiden kleine beetjes uit via mest en urine óf gaan zelf dood.

## Invloed van aaseters

Belangrijke vragen daarbij zijn: hoe beïnvloeden verschillende aaseters het ontbindingsproces van kadavers en daarmee ook hoe de voedingsstoffen worden verspreid? Draagt dit bij aan het herstel van de nutriëntenbalans? Maakt het uit welke aaseters van de kadavers eten? Om dat te onderzoeken, heb ik in Nederlandse natuurgebieden de samenstelling van de aasetergemeenschap onderzocht. Met cameravallen die vastlegden welke diersoorten de kadavers bezochten, is het ontbindingsproces van kadavers van (hoef)dieren van het begin tot het einde gevolgd. De verzamelde video's lieten zien hoe verschillende aaseters zich gedroegen als ze kadavers tegenkwamen. Ook konden we zien welke lichaamsdelen ze consumeerden.

Op basis van de beelden kon de aasetergemeenschap worden opgedeeld in verschillende functionele groepen dieren die een vergelijkbare rol vervullen in het ontbindingsproces en daarmee ook een vergelijkbaar effect hebben op dit proces (tabel 1). Zo bezochten vogels als raaf, kraai en buizerd de kadavers vooral als ze nog vers waren of als er nog veel vlees op zat. Dan aten ze bijvoorbeeld van de zachte delen zoals de ogen. Zoogdieren, waaronder vos en marterachtigen, waren het meest actief tijdens de latere ontbindingsstadia, en aten dan van het vlees en knabbelde aan de botten. Wilde zwijnen waren de uitzondering: zij aten van de kadavers in alle ontbindingsstadia en dan ook van alle weefsels. Ook waren wilde zwijnen de enige diersoort wiens aanwezigheid het ontbindingsproces écht kon versnellen. De andere aasetergroepen aten wel van de kadavers, maar hun aanwezigheid versnelde de ontbinding niet of in veel mindere mate. Maar het gedrag van aaseters is erg onvoor-





foto: Hens van den Bos

spelbaar. De aanwezigheid van wilde zwijnen in een gebied betekent niet dat ze alle kadavers die ze tegenkomen, zullen opeten.

### Elementaire samenstelling van dieren

Maar wat betekent dit nou voor de kringloop van schaarse voedingsstoffen? Om dat te onderzoeken, moeten we eerst weten welke voedingsstoffen in kadavers liggen opgeslagen. Dit noemen we de elementaire samenstelling van dieren. Decennialang werd verondersteld dat die samenstelling relatief constant is. Dat komt doordat dieren, in tegenstelling tot planten, op zoek kunnen gaan naar de voedingsstoffen die ze nodig hebben. Ook zouden bepaalde chemische elementen worden opgeslagen in specifieke weefsels en organen (de doelorganen). Deze aannames blijken echter niet te kloppen.

De elementaire samenstelling van dieren is juist enorm variabel. Dat geldt zowel voor verschillende diersoorten als voor verschillende individuen

van eenzelfde diersoort. En dat heeft consequenties. Vaak worden specifieke doelorganen, zoals lever en nieren, van (hoef)dieren gebruikt voor zogeheten biomonitoring. Deze organen worden gebruikt om de beschikbaarheid van schaarse voedingsstoffen óf de mate van verontreiniging in natuurgebieden te meten. Maar omdat de elementaire samenstelling zo enorm variabel is, blijkt dit geen betrouwbare methode te zijn. Sterker nog, de kans is aanzienlijk dat het leidt tot verkeerde conclusies (kader Cadmium in organen). Temeer omdat interpretatie van de gemeten waarden nagenoeg onmogelijk is omdat referentiewaarden ontbreken (kader Ontbrekende referentiewaarden).

### Snelheid ontbindingproces

Terug naar de ontbinding van kadavers en de rol van gewervelde aaseters. In een situatie zonder gewervelde aaseters wordt het ontbindingsproces gedomineerd door microben, schimmels en in-

## Cadmium in organen

Specifieke organen van (hoef)dieren), zoals lever en nieren, worden vaak gebruikt als bio-indicator voor de mate van schaarste of verontreiniging in een (natuur)gebied. De methode blijkt echter erg vatbaar voor verkeerde interpretatie en dus verkeerde conclusies.

Een voorbeeld: cadmiumverontreiniging. Cadmium heeft geen nut in het lichaam en kan zelfs erg schadelijk zijn. Het element komt vrij bij allerlei industriële processen en wordt gezien als een belangrijke graadmeter van algehele verontreiniging. Om de aanwezigheid van cadmium in een gebied te meten, worden vaak lever en nieren van edelherten of wilde zwijnen bemonsterd. Maar om schadelijke stoffen af te voeren naar deze organen, hebben dieren andere sporelementen nodig, waaronder selenium. Als ze niet voldoende selenium in hun lichaam hebben, komen de schadelijke stoffen verspreid door het hele lichaam terecht. Het meten van alleen lever en nieren geeft dan een vertekend en incompleet beeld.

## Ontbrekende referentiewaarden

Een ander probleem van biomonitoring is het ontbreken van referentiewaarden. Ter illustratie een fictief voorbeeld. We meten de aluminiumconcentratie in de nieren van twee edelherten. Aluminium is normaal gesproken nauwelijks in opneembare vorm beschikbaar, maar kan onder verzuurde omstandigheden (bijvoorbeeld door overmatige stikstofdepositie) juist wél gemakkelijk in het lichaam worden opgenomen. Bij het ene edelhert vinden we een concentratie van 15 microgram per kilogram en bij de andere hert 10. Betekent dat dat het eerste edelhert meer kans heeft op aluminiumvergiftiging dan het tweede? Of is er bij allebei de edelherten sprake van aluminiumvergiftiging? Of juist bij geen van beide? Om deze vragen te beantwoorden hebben we referentiewaarden nodig, die de marges aangeven waarbinnen de gemeten concentratie nog veilig is. Voor dieren zijn dergelijke waarden onbekend. We kunnen dus niet beoordelen of de twee edelherten mogelijk aluminiumvergiftiging hebben. Laat staan dat we kunnen beoordelen of het leefgebied van deze edelherten te veel aluminium bevat. Er is veel meer onderzoek nodig naar de elementaire samenstelling van dieren om tot dergelijke referentiewaarden te komen, temeer omdat deze per diersoort en mogelijk zelfs per gebied kunnen verschillen.

secten, organismen die in korte tijd veel minder kunnen eten en over het algemeen kortere afstanden afleggen dan vogels en zoogdieren. Als deze organismen de hoofdrol spelen, gebeurt de ontbinding heel plaatselijk en duurt veel langer, dan wanneer gewervelde dieren stukken kadaver meenemen of in één keer opeten. De voedingsstoffen uit het kadaver komen dan ook heel lokaal in de bodem terecht.

Plantenwortels kunnen deze voedingsstoffen opnemen en daarmee investeren in bovengrondse biomassa. Maar er is ook een kans dat dat niet lukt, bijvoorbeeld wanneer door zuurstofgebrek (onder het kadaver) de planten afsterven. In dat geval bestaat het risico dat de voedingsstoffen uitspoelen naar diepere lagen van de bodem. Daar gaan ze een cyclus in die wel duizenden jaren kan duren. De voedingsstoffen zijn dan voor lange tijd verloren. Maar als gewervelde aaseters de hoofdrol spelen in de ontbinding, nemen zij het overgrote deel van de voedingsstoffen op in hun lichaam. Dan worden de voedingsstoffen direct opgenomen in bovengrondse biomassa en zijn de concentraties die alsnog in de bodem terechtkomen, veel lager. De kans op uitspoeling is veel kleiner.

### Veluws experiment

De vraag is: is dit vermeende effect van gewervelde aaseters op de kringloop van voedingsstoffen meetbaar? Dit heb ik onderzocht in een experiment op de Veluwe. Verschillende groepen gewervelde aaseters werden systematisch uitgesloten van kadavers. Zo waren er kadavers waar alle aaseters toegang toe hadden, waar zwijnen er niet bij konden, waar andere zoogdieren er ook niet bij konden en waar ook geen vogels erbij konden (figuur 1). Gemiddeld iedere vier weken (gedurende veertig weken) werd tijdens de ontbinding gemeten hoeveel van de voedingsstoffen die in de kadavers lagen opgeslagen, direct onder de kadavers in de bodem terechtkwam (figuur 2). Het bleek dat wanneer gewervelde aaseters geen toegang hadden tot een kadaver, er inderdaad veel meer voedingsstoffen in de bodem lekten, dan wanneer vogels en zoogdieren ook toegang hadden. Voornamelijk schaarse voedingsstoffen zoals zink en koper namen beduidend toe in de bodem. Ongeveer halverwege de ontbinding ontstonden er duidelijke pieken (figuur 3). Ditzelfde patroon (een sterke toename in zink en koper) was ook meetbaar in de plantenwortels van de planten die aan de rand van de kadavers groeiden. Zink en koper zijn naar alle waarschijnlijkheid de meest schaarse voedingsstoffen in de natuur. Dat betekent dat er inderdaad minder schaarse voedingsstoffen de bodem inlekken als gewervelde aaseters het grootste deel van een kadaver opeten. Met andere woorden, gewervelde aaseters spelen een cruciale rol in de kringloop van schaarse voedingsstoffen.

### Bijdrage aan de biodiversiteit

Een veelgebruikt argument voor het laten liggen van kadavers in de natuur, is dat het goed is voor de biodiversiteit. Het is echter niet zo dat



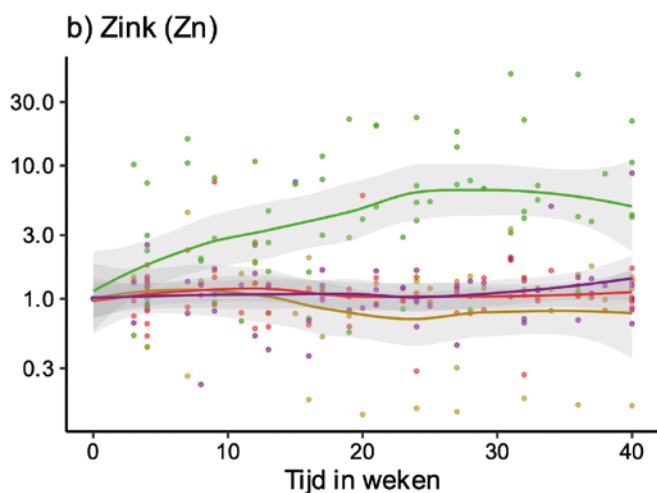
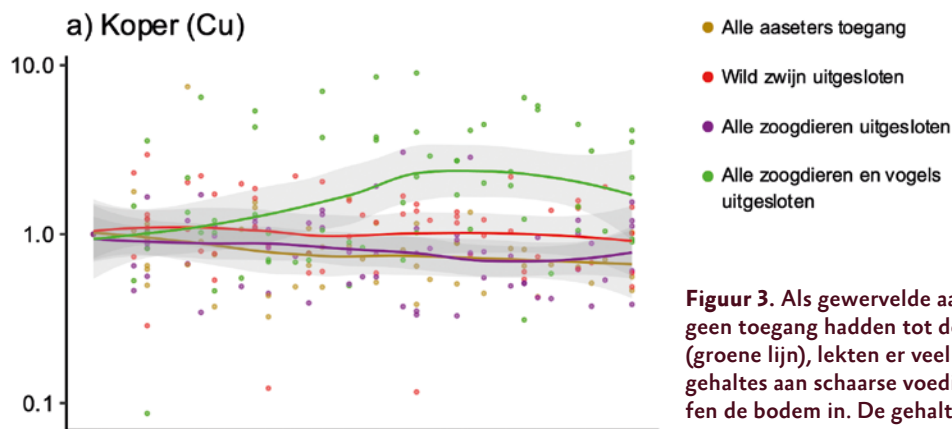
**Figuur 1.** Het experiment op de Veluwe waarbij groepen gewervelde aaseters systematisch de toegang tot het kadaver werd ontnomen. In totaal waren er vier experimentele behandelingen: a. kadavers waartoe alle aaseters bij konden komen; b. kadavers binnen een zwijnenkerend raster waartoe zwijnen geen maar alle andere aaseters wel toegang hadden; c. kadavers binnen een schrikdraadraster waartoe enkel groot zoogdier toegang had; en d. kadavers in een kist van vogelgaas waartoe ook geen vogels maar alleen insecten toegang hadden. Alle kadavers zijn veertig weken gevolgd.



**Figuur 2.** Een kadaver in een tilconstructie. Op deze manier konden onder de kadavers grondmonsters worden genomen en de kadavers daarna op exact dezelfde plek worden teruggelegd.

**Tabel 1.** De verschillende groepen gewervelde aaseters en hun rol tijdens de ontbinding van kadavers in de Nederlandse natuur.

Aasetergroep	Diersoorten	Kenmerken
Wild zwijn	Wild zwijn	Zeer sterke dieren die kadavers in het geheel kunnen opeten. Wilde zwijnen zijn sociale dieren en actief in alle stadia van de ontbinding, waarbij ze alle lichaamsdelen kunnen opeten. Ze kunnen het ontbindingsproces aanzienlijk versnellen.
Andere zoogdieren	O.a. boommarter, steenmarter, das, bunzing en vos	Andere zoogdieren eten graag van kadavers en kunnen in alle ontbindingsstadia actief zijn, hoewel ze een voorkeur hebben voor de latere ontbindingsstadia waarbij ze kunnen eten van het vlees, de huid en de botten.
Vogels	Raaf, zwarte kraai en buizerd	Vogels zijn voornamelijk actief in de eerdere ontbindingsstadia waarbij ze eten van de zachte lichaamsdelen. Ook eten ze graag van de organen en het vlees in de latere stadia, maar niet als er alleen nog huid en botten over zijn.
Kadavergasten	O.a. bosmuis en zangvogels zoals koolmees	De kadavergasten eten wel van kadavers, maar gebruiken het dode dier hoofdzakelijk op andere manieren. Zo verzamelen ze haren voor in hun nesten, of eten ze van de insecten die op de kadavers leven.



**Figuur 3.** Als gewervelde aaseters geen toegang hadden tot de kadavers (groene lijn), lekten er veel hogere gehalten aan schaarse voedingsstoffen de bodem in. De gehalten in deze grafieken zijn weergegeven op een logaritmische schaal en gestandaardiseerd; een waarde van 10 betekent dat het gemeten gehalte tien keer hoger is dan het gehalte op tijdstip 0. Koper (a) en zink (b) zijn naar alle waarschijnlijkheid de meest schaarse voedingsstoffen in de Nederlandse natuur. Juist voor deze voedingsstoffen lijkt het effect van kadavers het grootst. Dat de gehalten van deze voedingsstoffen nagenoeg constant blijven wanneer gewervelde aaseters toegang hebben tot de kadavers, duidt erop dat gewervelde aaseters voorkomen dat de voedingsstoffen in de bodem lekken tijdens de ontbinding, en daarmee een meetbaar effect hebben op de verspreiding van voedingsstoffen die in kadavers liggen opgeslagen.

alle kadavers daaraan ook daadwerkelijk een positieve bijdrage leveren.

De enorme diversiteit aan insecten die van kadavers kunnen profiteren, zorgen voor het grootste positieve effect op biodiversiteit: maar liefst zo'n 150 soorten vliegen en 750 soorten kevers. De meeste van deze soorten, waaronder de pelskever en de bliksemlichtmot, worden geassocieerd met de latere ontbindingsstadia.

Wanneer de ontbinding wordt gedomineerd door slechts één of enkele gewervelde aaseters, bijvoorbeeld wild zwijn, kan dat leiden tot een zeer snelle ontbinding van slechts enkele dagen. Hierdoor is de tijdsduur van de verschillende ontbindingsstadia relatief kort. Er is dan letterlijk minder tijd voor gespecialiseerde soorten om een kadaver te ontdekken en te gebruiken. Tegelijkertijd is er ook minder tijd voor voedingsstoffen om de bodem in te lekken. Een snelle ontbinding is daarom positief voor de kringloop van voedingsstoffen, maar negatief voor het effect op biodiversiteit. Het omgekeerde geldt voor een langzame ontbinding waarbij veel tijd is voor specialisten om het kadaver te ontdekken: positief voor de biodiversiteit, maar negatief voor de kringloop van voedingsstoffen, omdat meer lokaal in de bodem lekt.

Het goede nieuws is dat zowel snelle als langzame ontbinding van nature voorkomen. Dat komt doordat het ontbindingsproces, mede door het onvoorspelbare gedrag van aaseters, erg variabel en onvoorspelbaar is. Onafhankelijk van de lokale aasetergemeenschap (bijvoorbeeld of er wel of geen wilde zwijnen zijn) varieerde de ontbindingstijd van de kadavers van mijn onderzoek van 3,5 tot 140 dagen. Daaruit concludeer ik dat kadavers van nature een positief effect hebben op zowel de kringloop van voedingsstoffen als de biodiversiteit, maar dan wel op ecosysteemschaal. Eén kadaver heeft een positief effect op de kringloop van voedingsstoffen als de ontbinding snel verloopt, óf de biodiversiteit als de ontbinding langzaam verloopt, maar veel kadavers hebben een positief effect op beide.

### Kadavers geven een boost

Kortom, kadavers zijn een bron van schaarse voedingsstoffen en gewervelde aaseters spelen een zeer belangrijke rol in de recycling van deze voedingsstoffen. Daarom is het van cruciaal belang dat we de natuurlijke kringloop van leven en dood in natuurgebieden herstellen. Dit is cruciaal om de robuustheid van onze ecosystemen te bevorderen. Met andere woorden, het laten liggen van kadavers in de natuur is van groot belang voor het ecosysteem. Door dit op grote schaal te doen, is het mogelijk om zowel de kringloop van schaarse voedingsstoffen als de biodiversiteit een boost te geven. Dus: (hoef)dieren zijn niet alleen belangrijk voor een variabel, heterogeen landschap tijdens hun leven, maar ook na hun dood.

[elke.wenting@wur.nl](mailto:elke.wenting@wur.nl)

Elke Wenting verdedigt haar proefschrift op 7 juni om 16:00 uur. De verdediging wordt gestreamd via [wur.yuja.com](http://wur.yuja.com) en kan ook worden teruggekeken.