

Teloorgang van epifyten in de bossen op de Utrechtse Heuvelrug

Kok van Herk

Het gaat in ons land niet goed met veel epifytische korstmossen van droge zure bossen. Op de Utrechtse Heuvelrug zijn groot boerenkoolmos (*Platismatia glauca*), bruin boerenkoolmos (*Tuckermanopsis chlorophylla*), bostandpastakorst (*Ochrolechia microstictoides*), dennenmos (*Imshaugia aleurites*), trilzwamkorst (*Violella fucata*) en gewoon baardmos (*Usnea subfloridana*) de laatste jaren allemaal verdwenen of zo goed als verdwenen. Van groot boerenkoolmos bestonden tot voor kort omvangrijke populaties; de één na de ander is in rap tempo weggekwijnd. Dit blijkt onder meer uit de laatste herhalingsronde (2018) van het meetnet van de Provincie Utrecht. In dit artikel probeer ik te doorgronden wat hiervan de oorzaak is.

Epifytische mossen en korstmossen worden door de Provincie Utrecht al 40 jaar gemonitord. In 1979 nam Utrecht als eerste provincie het initiatief een epifytenmeetnet te starten. In 2018 was er inmiddels de vijfde herhalingsronde (van Herk 2019). Het meetnet werkt met vaste meetpunten. Meestal zijn dit geselecteerde groepjes bomen van dezelfde soort. Per boom worden alle soorten mossen en korstmossen getoet, en iedere soort krijgt per meetpunt een kwantiteit.

De veranderingen sinds de eerste ronde zijn enorm. Zo nam het aantal soorten korstmossen in het meetnet toe van 97 naar 170 (205 soorten zijn ooit op de meetbomen waargenomen). Het aantal soorten korstmossen per punt nam toe van 7,6 naar ruim 22,3. Tot zover dus niets aan de hand.

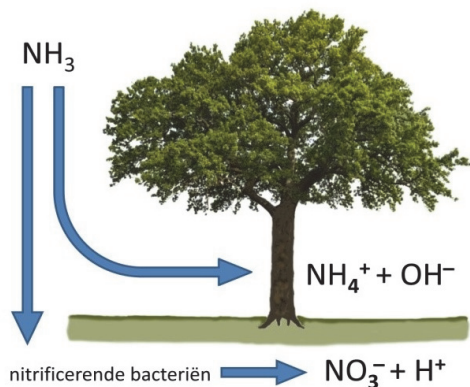
Voor de Provincie is het vooral belangrijk te weten welke milieuveranderingen sturend zijn bij de verandering in soortensamenstelling. Uit analyses blijkt dat de afgenomen zwaveldioxidebelasting, de eerst toegevoegd en later weer afgenomen ammo-

niakbelasting, en het warmer geworden klimaat elk onafhankelijk in de veranderde soortensamenstelling herkenbaar zijn. De publicatie over de effecten van 'global warming' in *The Lichenologist* (van Herk et al. 2002) was wereldwijd de eerste waarmee het effect van klimaatverandering met een robuuste dataset statistisch significant aangetoond kon worden. De dataset van Utrecht was hierbij cruciaal.

Met twee graadmeters, de NIW en de AIW, is het effect van ammoniak verschillende keren in kaart gebracht. In de NIW komt het voorkomen van nitrofyten (ammoniakminnaars) tot uitdrukking; bij de AIW zijn dit de acidofyten (zuurminnaars). Bij beide graadmeters wordt het voorkomen van ongeveer 20 indicatorsoorten bij elkaar opgeteld, ook het aantal bomen waarop zij in een meetpunt aanwezig zijn telt mee. Uit metingen blijkt dat er een statistisch sterk verband is tussen de luchtconcentratie ammoniak en de NIW (van Herk, 2001).

Voor de Provincie zijn de ruimtelijke patronen van de effecten van ammoniak belangrijk, vooral als beleidstoetsend instrument. Gemiddeld genomen nam de NIW tot ± 2000 toe, daarna is er een afname ingetreden. De afname bedraagt tot op heden zo'n 35% t.o.v. het maximum. Dit komt goed overeen met de door het RIVM berekende afname van de ammoniakbelasting (zie www.clo.nl).

De AIW daarentegen, neemt al decennia lang steeds verder af, en de afname is nog steeds niet tot stilstand gekomen. De meeste van de in de intro genoemde soorten wegen mee bij de AIW. De prangende vraag waarom deze zuurminnende soorten zo sterk achteruit blijven gegaan, ondanks de dalende ammoniakbelasting, staat daarom centraal. Welke rol speelt de klimaatverandering hierbij? Met het onderzoek in Utrecht in 2018 is veel nu duidelijker geworden.



Figuur 1. De omzetting van ammoniak (NH_3), bovengronds en ondergronds.

Alvorens hier verder op in te gaan, is het nuttig te begrijpen hoe ammoniak de zuurgraad van boomschors beïnvloedt. Ammoniak (NH_3) is een base; deze neutraliseert in boomschors aanwezige zuurionen (Figuur 1). Bovengronds – in de lucht, maar ook in boomschors – draagt ammoniak niet bij aan de verzuring. Verzuring door ammoniak treedt pas op als dit in de bodem wordt opgenomen en door bacteriën in nitraat (NO_3^-) wordt omgezet.

Om meer zicht te krijgen op de oorzaak van de sterke achteruitgang van de korstmossen van de Utrechtse Heuvelrug zijn 28 soortenrijke punten geselecteerd, overwegend punten in eikenstrubben en singels met kronkelige eiken. Dit zijn vanouds de plekken waar de bijzondere soorten gevonden werden. In Tabel 1 staat een overzicht van de aangetroffen korstmossen en mossen in deze punten tijdens de laatste drie rondes, in 1995, 2001 en 2018.

De NIW van deze punten steeg van 0,14 (in 1995) naar 0,74 (in 2001), en daalde daarna weer naar 0,58 (in 2018). De AIW daalde van 7,63 via 5,43 naar 3,14. Het aantal soorten korstmossen steeg van 17,5 naar 22,5 en is nu weer terug naar 20,5. Het aantal Rode Lijstsoorten zakte van 3,5 via 2,6 naar 0,7 per punt. Sinds 1995 zijn 22 soorten korstmossen sterk afgenomen. 32 soorten zijn sindsdien sterk toegenomen. Dat zijn er per saldo meer, maar praktisch al deze soorten komen buiten de Utrechtse Heuvelrug royaal voor, terwijl de verdwenen of afgenomen soorten juist in hoge mate type-

rend zijn voor de Heuvelrug. Feitelijk is de karakteristieke bosflora hiermee grotendeels verloren gegaan. We treffen nu vooral nog soorten aan die evengoed in de bebouwde kom van een grote stad kunnen groeien. Alleen een aantal soorten van rottend hout doet het nog goed (diverse *Cladonia*'s, groene veenkorst (*Trapeliopsis pseudogranulosa*), en verder enkele oudbossoorten: beukenvlekje (*Arthonia didyma*), boomvoetpoederkorst (*Lepraria umbricola*) en berijpte spiraalkorst (*Scoliciosporum pruinosum*). Plekken die voorheen ingenomen werden door groot boerenkoolmos, worden nu vaak bezet door gebogen schildmos (*Hypotrachyna revoluta*), of door dominanties van gesnaveld klauwtjesmos (*Hypnum cupressiforme*).

Bij de mossen (Tabel 1) zijn meer soorten afgenomen (19) dan toegenomen (11). Het gemiddelde aantal soorten per punt steeg van 7,6 (in 1995) naar 9,5 (in 2001), en zakte weer terug naar 7,9 (2018). Vooral levermossen namen af of zijn verdwenen: gedrongen kantmos (*Lophocolea heterophylla*), gewoon draadmos (*Cephaloziella divaricata*), twee soorten franjemos (*Ptilidium ciliare* en *pulcherrimum*), gewoon trapmos (*Lophozia ventricosa*) en neptunusmos (*Lepidozia reptans*), maar ook kleine, dikwijls weinig concurrentiekrachtige topkapselmossen gingen achteruit zoals gewoon peermos (*Pohlia nutans*), viertandmos (*Tetraphis pellucida*) en gewoon knopjesmos (*Aulacomnium androgynum*). Drie concurrentiekrachtige slaapmossen zijn enorm toegenomen, in de eerste plaats gesnaveld klauwtjesmos (*Hypnum cupressiforme*), vaak vergezeld door gewoon dikkopmos (*Brachythecium rutabulum*) en fijn laddermos (*Kindbergia praelonga*). De eerste overdekt nu niet alleen de boomvoet met zijn matvormige groeiwijze, maar ook alle dikke horizontale takken en stamdelen in vrijwel alle 28 meetpunten. Het is het mos met de grootste toename. In de cijfers komt dit nog niet eens goed tot zijn recht omdat hij praktisch overal de maximale kwantiteit heeft bereikt (een 6). Geen enkele andere soort is nu zo dominant. Deze veranderingen gelden uiteraard alleen epifytisch; op de bodem en op rottend hout treden duidelijk andere trends op.

Tabel 1. Opgetreden veranderingen tussen 1995 en 2018 in 28 meetpunten met Zomereik op de Utrechtse Heuvelrug (vooral strubbenbossen en singels met vergelijkbare eiken). De soorten (eerst korstmossen, daarna mossen) zijn gerangschikt van sterke afname naar sterke toename. De grens tussen weinig en sterk toe- of afgenomen is gelegd bij een verandering van de kwantiteitssom van ± 5 .

wetenschappelijke naam	aantal meetpunten			kwantiteitssom				Nederlandse naam
	1995	2001	2018	1995	2001	2018	'95-'18	
verdwenen:								
Platismatia glauca	17	14	0	67	46	0	-67	Groot boerenkoolmos
Hypogymnia tubulosa	9	10	0	24	20	0	-24	Witkopschorsmos
Trapeliopsis flexuosa	5	1	0	12	1	0	-12	Blauwe veenkorst
Ochrolechia microstictoides	4	2	0	10	4	0	-10	Bostandpastakorst
Tuckermanopsis chlorophylla	4	0	0	5	0	0	-5	Bruin boerenkoolmos
Usnea spec.	3	2	0	5	2	0	-5	Baardmos
Cladonia portentosa	2	1	0	4	2	0	-4	Open rendiermos
sterk afgenomen:								
Lecanora conizaeoides	28	24	6	147	84	10	-137	Groene schotelkorst
Hypogymnia physodes	25	21	6	109	74	13	-96	Gewoon schorsmos
Placynthiella icmalea	18	12	4	54	32	6	-48	Bruine veenkorst
Hypocenomyce scalaris	22	22	10	61	61	21	-40	Gewoon schubjesmos
Parmelia saxatilis	14	14	3	47	43	8	-39	Blauwgrijs steenschildmos
Cladonia coniocraea	23	14	18	93	48	56	-37	Smal bekermos
Evernia prunastri	13	10	3	33	22	5	-28	Eikenmos
Trapeliopsis granulosa	13	10	6	30	26	9	-21	Lichte veenkorst
Pseudevernia furfuracea	11	4	1	21	10	1	-20	Purper geweimos
Parmeliopsis ambigua	9	6	4	23	18	7	-16	Avocadomos
Chaenotheca ferruginea	19	22	18	58	60	44	-14	Roestbruin schorssteeltje
Jamesiella anastomosans	11	17	7	25	49	13	-12	Aspergekorst
Cladonia glauca	8	7	2	15	14	4	-11	Bruin heidestaartje
Violella fucata	4	3	1	10	4	1	-9	Trilzwamkorst
Lecanora aitema	3	2	1	9	8	2	-7	Dennenschotelkorst
weinig af- of toegenomen:								
Lecanora pulcaris	3	2	2	8	6	4	-4	Eikenschotelkorst
Lepraria incana	28	28	28	168	168	164	-4	Gewone poederkorst
Cladonia floerkeana	1	0	0	3	0	0	-3	Rode heidelucifer
Cladonia polydactyla	2	2	1	9	8	6	-3	Sterheidestaartje
Cladonia ramulosa	2	2	1	6	5	3	-3	Rafelig bekermos
Pertusaria amara	3	2	1	5	3	2	-3	Ananaskorst
Micarea peliocarpa	2	2	1	5	6	3	-2	Boomoogje
Pertusaria coccodes	1	1	0	2	2	0	-2	Bleek speldenkussentje
Melanohalea elegantula	1	0	0	1	0	0	-1	Sierlijk schildmos
Chaenotheca chrysocephala	1	2	1	2	3	2	0	Geel schorssteeltje
Chaenotheca trichialis	1	2	1	2	3	2	0	Grijs schorssteeltje
Fellhanera subtilis	0	2	0	0	3	0	0	Schaduwdruppelkorst
Parmelina pastillifera	0	1	0	0	1	0	0	Knopjesschildmos
Pertusaria pertusa	0	1	0	0	1	0	0	Gewoon speldenkussentje
Lecania naegelii	0	0	1	0	0	1	1	Rookglimschoteltje
Melanohalea laciniatula	0	0	1	0	0	1	1	Lobjesschildmos
Parmotrema reticulatum	0	0	1	0	0	1	1	Netschildmos
Phlyctis argena	0	0	1	0	0	1	1	Lichtvlekje
Physcia dubia	0	0	1	0	0	1	1	Bleek vingermos
Physconia grisea	0	0	1	0	0	1	1	Grauw rijpmos
Catillaria nigroclavata	0	0	1	0	0	2	2	Boomrookkorst

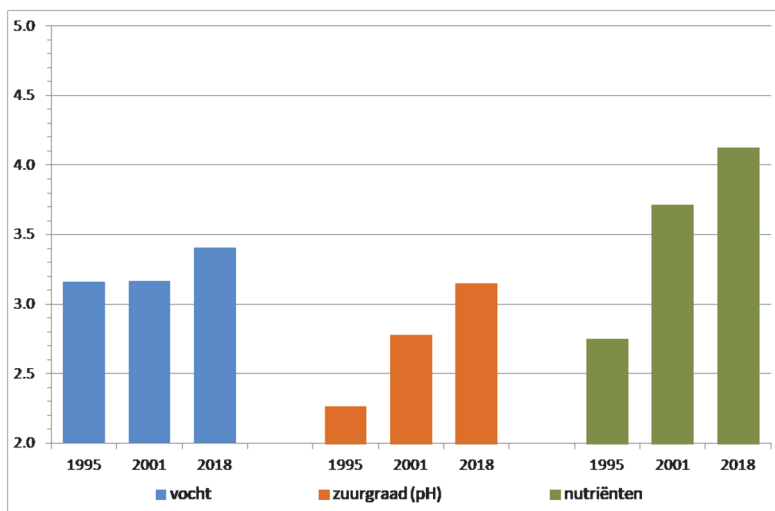
wetenschappelijke naam	aantal meetpunten			kwantiteitssom				Nederlandse naam
	1995	2001	2018	1995	2001	2018	'95-'18	
Cladonia chlorophaea	20	27	23	88	117	90	2	Fijn bekermos
Flavoparmelia soredians	1	2	3	1	2	3	2	Groen boomschildmos
Melanelixia glabrata	0	0	1	0	0	2	2	Glanzend schildmos
Phaeophyscia orbicularis	0	1	2	0	1	2	2	Rond schaduwmos
Placynthiella dasaea	0	0	1	0	0	2	2	Okerbruine veenkorst
Scoliosporum pruinosum	0	0	1	0	0	2	2	Berijpte spiraalkorst
Cladonia digitata	0	0	2	0	0	5	5	Vertakt bekermos
Micarea prasina	0	0	2	0	0	5	5	Houtoogje
Lecanora expallens	19	23	23	62	86	68	6	Bleekgroene schotelkorst
sterk toegenomen:								
Ramalina farinacea	3	3	5	3	6	10	7	Melig takmos
Buellia griseovirens	1	3	4	3	5	10	7	Grijsgroene stofkorst
Trapeliopsis pseudogranulosa	1	3	5	2	7	12	10	Groene veenkorst
Amandinea punctata	1	4	3	1	10	13	12	Vliegenstrontjesmos
Flavoparmelia caperata	4	8	8	4	12	16	12	Bosschildmos
Cladonia macilenta	4	16	11	9	52	27	18	Dove heidelucifer
Cladonia fimbriata	3	2	9	7	5	29	22	Kopjes-bekermos
Hypotrachyna revoluta s.l.	12	21	18	38	59	64	26	(Grof)gebogen schildmos
Coenogonium pineti	22	25	28	92	120	120	28	Valse knoopjeskorst
Punctelia subrudecta	3	7	14	4	12	33	29	Gestippeld schildmos
Physcia tenella	11	23	16	20	73	55	35	Heksenvingermos
Arthonia spadicea	1	2	22	2	5	76	74	Inktspatkorst
Micarea micrococca	9	26	27	21	115	115	94	Bosoogje
nieuw:								
Melanohalea exasperatula	0	1	3	0	1	7	7	Lepelschildmos
Cladonia incrassata	0	1	3	0	3	8	8	Turflucifer
Lecidella elaeochroma	0	0	3	0	0	5	5	Gewoon purperschaaltje
Arthonia radiata	0	0	4	0	0	6	6	Amoebekorst
Arthonia didyma	0	0	4	0	0	8	8	Beukenvlekje
Hyperphyscia adglutinata	0	1	4	0	1	8	8	Dun schaduwmos
Lepraria umbricola	0	1	4	0	3	13	13	Boomvoetpoederkorst
Parmotrema perlatum	0	4	7	0	4	13	13	Groot schildmos
Cladonia caespiticia	0	2	4	0	5	14	14	Greppelblaadje
Punctelia borrieri	0	0	6	0	0	15	15	Witstippelschildmos
Punctelia jeckeri	0	7	9	0	10	18	18	Rijpschildmos
Normandina pulchella	0	0	11	0	0	25	25	Hamsteroortje
Lecanora barkmaniana	0	0	11	0	0	28	28	Ammoniakschotelkorst
Fellhanera viridisorediata	0	13	11	0	31	27	27	Gewone druppelkorst
Xanthoria parietina	0	5	11	0	9	30	30	Groot dooiermos
Candelaria concolor	0	0	12	0	0	24	24	Vals dooiermos
Candelariella reflexa	0	18	15	0	43	38	38	Poedergeelkorst
Micarea viridileprosa	0	0	23	0	0	86	86	Groenoogje
Lepraria finkii	0	4	25	0	7	100	100	Gelobde poederkorst
piek in 2001:								
Bacidina adastrasulphurella	25	27	5	77	90	13	-64	Fijne knoopjeskorst
Parmelia sulcata	19	23	15	63	79	42	-21	Gewoon schildmos
Polycauliona candelaria	1	11	1	1	22	2	1	Kroezig dooiermos
Polycauliona polycarpa	2	10	3	3	24	5	2	Klein dooiermos
Bacidina neosquamulosa	0	13	2	0	29	5	5	Nieuwe knoopjeskorst
Physcia adscendens	2	11	5	2	20	9	7	Kapjesvingermos
Melanelixia subaurifera	9	19	13	25	49	35	10	Verstop-schildmos

wetenschappelijke naam	aantal meetpunten			kwantiteitsom				Nederlandse naam
	1995	2001	2018	1995	2001	2018	'95-'18	
verdwenen:								
Pohlia nutans	5	2	0	11	5	0	-11	Gewoon peermos
Campylopus pyriformis	3	1	0	9	2	0	-9	Breekblaadje
Cephaloziella divaricata	4	1	0	6	1	0	-6	Gewoon draadmos
Ptilidium pulcherrimum	2	0	0	6	0	0	-6	Boomfranjesmos
Leucobryum glaucum	4	2	0	6	5	0	-6	Kussentjesmos
Pseudotaxiphyllum elegans	2	3	0	4	6	0	-4	Gewoon pronkmos
Pleurozium schreberi	2	0	0	3	0	0	-3	Bronsmos
Ptilidium ciliare	1	0	0	3	0	0	-3	Heidefranjesmos
Lophozia ventricosa	1	0	0	2	0	0	-2	Gewoon trapmos
sterk afgenomen:								
Lophocolea heterophylla	24	28	12	112	123	32	-80	Gedrongen kantmos
Dicranoweisia cirrata	25	27	21	112	120	57	-55	Gewoon sikkelsterretje
Orthodontium lineare	24	23	20	91	80	49	-42	Geelsteeltje
Dicranum scoparium	23	23	18	83	80	49	-34	Gewoon gaffeltandmos
Campylopus flexuosus	18	22	14	57	62	29	-28	Boskronkelsteeltje
Lepidozia reptans	6	5	3	18	16	6	-12	Neptunusmos
Aulacomnium androgynum	7	8	3	16	22	5	-11	Gewoon knopjesmos
Plagiothecium laetum	6	9	4	17	27	9	-8	Krom platmos
Tetraphis pellucida	3	6	2	9	14	2	-7	Viertandmos
Dicranum tauricum	2	4	2	10	16	6	-4	Bros gaffeltandmos
weinig af- of toegenomen:								
Pseudoscleropodium purum	0	2	0	0	3	0	0	Groot laddermos
Bryum capillare	0	1	0	0	3	0	0	Gedraaid knikmos
Frullania dilatata	0	0	1	0	0	2	2	Helmroestmos
Polytrichum formosum	1	0	3	3	0	6	3	Fraai haarmos
sterk toegenomen:								
Metzgeria furcata	0	0	3	0	0	3	3	Bleek boomvorkje
Mnium hornum	8	9	9	20	25	27	7	Gewoon sterrenmos
Isoetecium myosuroides	0	0	2	0	0	8	8	Knikkend palmpjesmos
Hypnum jutlandicum	0	2	3	0	4	9	9	Heideklauwtjesmos
Campylopus introflexus	0	0	4	0	0	10	10	Grijs kronkelsteeltje
Kindbergia praelonga	1	7	10	3	16	26	23	Fijn laddermos
Brachythecium rutabulum	4	7	14	10	16	36	26	Gewoon dikkopmos
Dicranum montanum	10	16	17	29	58	58	29	Bossig gaffeltandmos
Ulota bruchii/crispa	0	17	13	0	35	36	36	Knots-/Trompetkroesmos
Orthotrichum affine	2	12	15	2	18	38	36	Gewone haarmuts
Hypnum cupressiforme	26	28	28	128	147	165	37	Gesnaveld klauwtjesmos

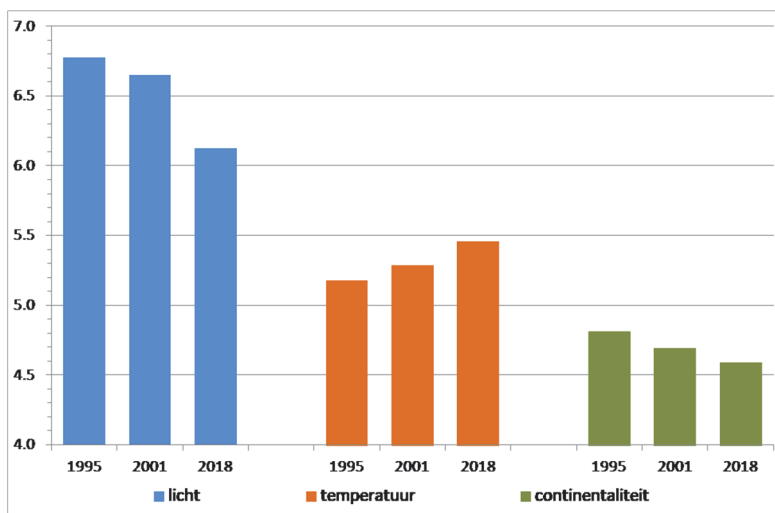
In Figuren 2 en 3 is de verandering van zes 'Ellenberggetallen' uitgezet naar Sparrius et al. (2015). Bij deze bewerking doen alleen de korstmossen mee. Bij 'zuurgraad' is het belangrijk te weten dat hoge waarden duiden op een hoge pH; een stijging duidt dus op ontzuring, niet op verzuring. Alle indicatoren zijn in mindere of meerdere mate toe- of afgenomen. Vooral 'nutriënten', een indicator voor ammoniak, stijgt flink, en de pH gaat navenant omhoog. De hoeveelheid

licht neemt af, en de vochtigheidsgraad neemt toe. Temperatuur neemt volgens verwachting toe, en continentaliteit neemt af.

Op basis van deze uitkomst is het nog niet eenduidig aan te geven wat precies de oorzaak van de veranderingen is, omdat diverse indicatoren onderling gecorreleerd zijn. Daarom is ook een multiële regressie toegepast. De veranderingen zijn voor de twee



Figuur 2. Het gemiddeld vochtgetal, zuurgetal en nutriëntengetal van 28 punten met eiken op de Heuvelrug, 1995 - 2018.



Figuur 3. Het gemiddeld lichtgetal, temperatuurgetal en continentaliteitsgetal van 28 punten met eiken op de Heuvelrug, 1995 - 2018.

periodes, 1995–2001 en 2001–2018 apart onderzocht (Tabel 2).

Over de periode 1995–2001 is de toegenomen beschikbaarheid van nutriënten (ammoniak) de belangrijkste oorzakelijke factor ($F = 20,55$). Daarnaast vormt de verminderde hoeveelheid licht een factor van belang ($F = 7,22$). De veranderingen bij de overige vier indicatoren zijn niet significant ($F < 0,75$). Over 2001–2018 vormen zowel de hoger geworden pH ($F = 8,03$) alsook het vochtigere microklimaat ($F = 8,34$) de verklaring. Ook nu zijn de F-waarden van de vier andere indicatoren ruim beneden de significantiegrens van $F = 4,0$ (zie toelich-

ting). Omdat 'nutriënten' en 'zuurgraad' onderling sterk gecorreleerd zijn ($r = 0,73$, $R^2 = 0,53$), moet de uitkomst van deze twee factoren dikwijls met voorzichtigheid beoordeeld worden. De regressie is in beide gevallen (1995–2001 en 2001–2018) echter eenduidig (er is nauwelijks restvariantie voor factoren die niet in het model gekomen zijn).

Uit de regressie blijkt dat klimaatverandering in dit type bossen tot dusver geen significante rol speelt. Voor beide periodes zijn de F-waarden zeer laag ($< 0,54$), alhoewel in Figuur 3 zowel bij 'temperatuur' als 'continentaliteit' wel een trend zichtbaar is. In het open landelijke gebied is het een an-

Tabel 2. Multiële regressie met de veranderingen in de aanwezige korstmossen van 28 punten met eiken op de heuvelrug (de kwantiteitssom) als afhankelijke variabele, en zes reeksen met ecologische indicatiewaarden (Sparrius et al., 2015) als onafhankelijke variabelen. Gegeven zijn de regressiecoëfficiënt, de F-waarde en de significanties (t-waarde en p). Van de niet-significante variabelen (F-waarde < 4,0) is de correlatiecoëfficiënt met het model gegeven. Aantal soorten bij de regressie: 91, aantal vrijheidsgraden: 88.

A. 1995 - 2001		verklaarde variantie: 19,8%		
in model:	regressiecoëfficiënt:	F-waarde:	t-waarde:	p:
constante	+5,98		+0,94	0,35
nutriënten	+3,71	20,55	+4,53	<0,0001
licht	-2,46	7,22	-2,68	0,0086
niet in model:	correlatiecoëfficiënt:	F-waarde:		
vocht	0,044	0,16		
zuurgraad (pH)	0,092	0,74		
temperatuur	0,052	0,23		
continentaliteit	0,046	0,18		

B. 2001 - 2018		verklaarde variantie: 12,0%		
in model:	regressiecoëfficiënt:	F-waarde:	t-waarde:	p:
constante	-41,54		-3,53	0,0007
vocht	+8,13	8,34	+2,89	0,0049
zuurgraad (pH)	+4,06	8,03	+2,83	0,0057
niet in model:	correlatiecoëfficiënt:	F-waarde:		
licht	0,114	1,14		
nutriënten	0,086	0,65		
temperatuur	0,078	0,53		
continentaliteit	0,060	0,31		

Toelichting: Multiële regressie vergelijkt de zes ingebrachte milieufactoren met elkaar, en selecteert de factoren die het sterkst op een rechtstreeks verband wijzen ('in model'). Het is mogelijk dat een factor wel correleert, maar geen wezenlijk nieuwe informatie toevoegt omdat een al geselecteerde factor een betere 'fit' oplevert. Deze komt dan niet in het model. Dit gebeurt als de F-waarde kleiner is dan 4. De constante geeft aan of het wiskundige verband door de oorsprong loopt. Er is 'backward selection' toegepast.

der verhaal: de gemiddelde indicatie voor 'temperatuur' neemt daar zeer sterk toe, terwijl 'continentaliteit' juist zeer sterk afneemt. Uit regressieberekeningen die betrekking hebben op de gehele provincie Utrecht blijkt dat 'continentaliteit' de doorslaggevende factor van de twee is ($F=11,35$, $t = -3,37$, $p = 0,0002$). Dit betekent dat niet simpelweg de hoger geworden gemiddelde temperatuur bepalend is. De sterke negatieve relatie met 'continentaliteit' duidt erop dat het zachter geworden winterklimaat veel belangrijker is. Veel korstmossen heb-

ben een optimale fotosynthese bij lage temperaturen, dikwijls tussen de 5 en 10 °C. mits voldoende vocht aanwezig is. Door de zachter geworden winters met voldoende neerslag in de vorm van regen, en slechts incidentele vorstperiodes, is de winter de optimale periode geworden om fotosynthese te laten plaatsvinden. Een continentaal klimaat vraagt, vooral door strengere winters, een andere strategie van een korstmos.

Het volgende scenario is voor de bossen van de Heuvelrug waarschijnlijk. De kiem van



Twee boerenkoolmossen die in 2018 niet meer in de meetpunten werden aangetroffen. Links *Platismatia glauca* (groot boerenkoolmos), rechts *Tuckermanopsis chlorophylla* (bruin boerenkoolmos). Foto's: Kok van Herk.

het probleem is gelegd in de 80'er en 90'er jaren, toen door de toegenomen ammoniakdepositie het milieu irreversibel veranderd is. De strubbeneiken zijn toen zodanig verrijkt met stikstof, dat gesnaveld klauwtjesmos, die op ietwat rijkere plekken pleegt te groeien, kans kreeg om zich sterk uit te breiden. Dit was vooral zo op dikke horizontale takken en op boomvoeten. Door een proces van steeds dichter en donkerder bos ('licht') werd er ook voldoende vocht vastgehouden om deze mosgroei mogelijk te maken. De typische korstmossenbiotoop op de dikke takken, gebaat bij veel licht en weinig concurrentie, verloor door de groei van klauwtjesmos steeds meer terrein. Ook is er na 2001, wellicht door de sterke mosgroei, een wat meer permanent vochtig karakter ontstaan.

Er zijn geen aanwijzingen dat na 2001 de ammoniakdepositie nog is toegenomen. Wel heeft de ontzuring zich verder voortgezet. Dit blijkt duidelijk uit de berekeningen. Dit vormt, samen met de mosgroei, de directe oorzaak van de voortgaande achteruitgang van de vele zuurminnaars sinds 2001. De manier waarop de ontzuring zich voltrekt (in de bossen, maar ook in het agrarische gebied) wekt sterk de indruk dat niet de reële, maar de cumulatieve ammoniakbelasting bepalend is. Dit zou betekenen dat ontzuring gewoon doorgaat, ook als de ammoniakbelasting daalt. Alleen de 'dosis' NH_3 bepaalt hoeveel tijd daarmee gemoeid is (als er geen tegenkrachten werkzaam zijn). Dit is in feite het omgekeerde van wat er gebeurde toen de zwaveldioxideconcentraties hoog waren: alle boomschors neigde toen naar een pH van ongeveer 4. Eiken hebben deze pH al van nature, bij veel andere boomsoorten is de natuurlijke pH hoger. Metingen lijken er op te wijzen dat de ontzuring uiteindelijk stopt bij een pH van ongeveer 6,4 (van Herk, 2001). In gebieden met een hoge ammoniakuitstoot was dat moment eind jaren '80 al bereikt. In uitgestrekte bossen is dit proces nog gaande, en het duidelijkst zichtbaar op takken en twijgen. Het is niet aannemelijk dat een lager geworden zwaveldioxidebelasting op zichzelf een oorzaak is van de ontzuring bij eiken. Wel zou de ontzuring zich vermoedelijk niet op deze schaal hebben voltrokken als de zwaveldioxidebelasting hoog gebleven zou zijn.

De op de Utrechtse Heuvelrug waargenomen processen en veranderingen treden ook in andere bosgebieden in Nederland op. Op de Veluwe en in Drenthe voltrekken zich gelijksoortige processen, alleen de precieze omvang is daar nog onvoldoende gedocumenteerd.

Geconcludeerd moet worden dat de ammoniakbeperkende maatregelen voor de bijzondere ammoniakgevoelige epifyten op de Heuvelrug te laat komen om nog effect te sorteren. Het milieu lijkt irreversibel veranderd, en er is voorlopig weinig kans op terugkeer. Het is eerder waarschijnlijk dat diverse zuurminnende soorten op korte termijn in ons land (of zelfs daarbuiten) uit zullen sterven, zelfs als de ammoniakbelasting verder zal dalen. Wellicht is er nog iets te redden door plaatselijk mostapijten te



Ook *Ochrolechia microstictoides* (bostandpastakorst) was in 2018 verdwenen.
Foto: Kok van Herk.

verwijderen. Met experimenten kan dan onderzocht worden of, en welke korstmossen zich dan herstellen of terugkeren. Voor sommige oude bossoorten zijn er nog wel perspectieven.

Dankwoord

Graag dank ik de Provincie Utrecht voor het mogelijk maken van deze langjarige monitoring.

Literatuur

- Herk, C.M. van, 2001. Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. *Lichenologist* 33: 419-441.
- Herk, C.M. van, 2019. Monitoring van korstmossen in de provincie Utrecht, 1979 - 2018. LON in opdracht van Provincie Utrecht.
- Herk, C.M. van, A. Aptroot & H.F. van Dobben., 2002. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist* 34(2): 141-154.
- Sparrius, L.B., A. Aptroot & C.M. van Herk, 2015. Ecologische indicatiewaarden voor korstmossen en een vergelijking met mossen en vaatplanten. *Buxbaumiella* 104: 18-24.

Auteursgegevens

C.M. van Herk, Wielewaal 42, 3766 VC Soest, lonsoest@wx.nl

Abstract

Loss of epiphytic forest lichens in the Utrechtse Heuvelrug area, the Netherlands

Many typical epiphytic forest lichen species such as *Platismatia glauca*, *Tuckermanopsis chlorophylla* and *Ochrolechia microstictoides* have shown a severe decline over the last decades in the Netherlands. Earlier, it was shown that these species are sensitive to ammonia air pollution from cattle breeding. However, despite much lower ammonia emission rates in the Netherlands since the 1990s, this decline continues up to now. To investigate the cause of the decline of these acidophytes, changes of all lichens and mosses since 1995 on oaks in a large forested area (Utrechtse Heuvelrug) were monitored and analysed statistically.

Multiple regression shows that increased nutrient availability due to ammonia air pollution is a major cause of changes up to 2001. From 2001 onwards, no indication was found that levels of ammonia increased further, but several irreversible and secondary effects of ammonia appear to have taken place. Most important is the rise of the bark pH which continues to occur up to now. This is especially apparent at twigs and young branches. The way in which this behaves, strongly suggests that cumulative rather than actual levels of ammonia are important for how bark pH develops. In fact, the opposite of what occurred in the 1970s when all bark acidified due to sulphur dioxide, given a certain dose and time. As a consequence, it is likely that several acidophytic lichen species will get extinct in our country (or even beyond our borders), even if ammonia levels will drop further. Another effect of the ammonia pollution is strong growth of *Hypnum cupressiforme*. This weedy moss species now covers all thick branches and trunk bases of the forest oaks, wiping out several sensitive lichen species. Other changes found with multiple regression are decreased light due to increased tree growth (until 2001), and higher humidity (after 2001). No indication was found that climate change (temperature or continentality) plays an important role in this type of forest. However, major effects of climate change were found, but only outside forests.