

Stikstofgevoeligheid en maatregelen op de Utrechtse heuvelrug vergeleken met de Veluwe

Advies over bruikbaarheid van onderzoek op de Veluwe voor de Utrechtse heuvelrug. Voor Utrechts Landschap door OBN Deskundigenteam Droog zandlandschap en Rivierenlandschap



Arnold van den Burg, Stichting Biosphere
Maaïke Weijters, Onderzoekcentrum B-WARE
Alexander Klink, Hydrobiologisch Adviesburo Klink

Deze adviesaanvraag is er een uit de serie kortlopende kennisprojecten. Met deze projecten wil het OBN beheerders en beleidsmakers direct en vraaggericht bijstaan in het beantwoorden van hun kennisvragen.

©2022 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapport Adviesvraag OBN-2022-RI, DZ-01
Driebergen, 2022

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van BIJ12 en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Wijze van citeren: Burg van de, A. en M. Weijters, 2022. Stikstofgevoeligheid en maatregelen op de Utrechtse heuvelrug vergeleken met de Veluwe. OBN-2022-RI, DZ-01, VBNE, Driebergen.

Deze uitgave is online gepubliceerd op www.natuurkennis.nl

Samenstelling A. van den Burg, Stichting Biosfere
 M. Weijters, Onderzoekcentrum B-WARE
 A. Klink, Hydrobiologisch Adviesburo Klink

Foto voorkant Heidestein. Fotograaf: Renk Ruiter

Productie Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)
Adres: Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen
Telefoon: 0343-745250
E-mail: info@vbne.nl

Inhoud

1. Adviesvraag	4
2. Vergelijking Utrechtse Heuvelrug met de Veluwe	5
2.1 Geologie	5
2.2 Biodiversiteit	6
2.3 Stikstofdepositie	8
2.4 Duidelijke verschillen	9
2.5 Conclusie vergelijkbaarheid	10
3. Overzicht probleemanalyses	11
3.1 Bossen	11
3.2 Heide en heischrale graslanden	13
3.3 Stuifzanden	15
4. Onderzoeken naar herstelmogelijkheden op de Veluwe	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Herstelmaatregelen bossen	17
4.3 Herstelmaatregelen heide, stuifzand(heide) en (hei)schrale graslanden	20
4.3.1 Plaggen en bekalken	20
4.3.2 Bufferherstel met steenmeel	21
4.3.3 Fosfaattoediening na plaggen	22
4.4 Conclusies onderzoeken herstelmaatregelen Veluwe	23
5. Welke gegevens zouden op de Utrechtse Heuvelrug verzameld moeten worden?	25
5.1 Indeling in habitattypen	25
5.2 Bodem- en bladchemie	25
5.3 Biodiversiteit	25
5.4 Meetnet	26
5.5 Waterkwaliteit (zie ook bijlage 1)	26
6. Literatuur	27
Bijlage: Invloed van stikstof op bodem- en waterkwaliteit op de Utrechtse Heuvelrug	29

1. Adviesvraag

Onderstaande kennisvraag is door Stichting het Utrechts landschap gesteld aan het OBN-deskundigenteam Droog Zandlandschap:

Utrechts Landschap – en de andere Utrechtse natuurbeheerders – zijn al enige tijd betrokken bij het stikstofdossier en Programma Natuur. In de provincie Utrecht richt zich dat met name op stikstofgevoelige habitats in Natura 2000-gebieden. De Utrechtse Heuvelrug is echter geen Natura 2000-gebied, hoewel daar zeker natuurterreinen voor in aanmerking zouden komen. Verwacht kan worden dat deze droge, hoge, humusarme zandgronden stikstofgevoelig zijn en dat de bodemkwaliteit negatief wordt beïnvloed (afname buffercapaciteit, verzuring, mobiel worden zware metalen etc.). Ook zijn er stikstofgevoelige vegetatietypen: vochtige heide N 06.04, droge heide N07.01, zandverstuiving N07.02, droog schraalland N11.01 en de bostypen dennen-eiken-en beukenbos N15.01 en droog bos met productie N16.03. De daadwerkelijke effecten van stikstof op (met als eerste) bodems zijn niet bekend: daar is tot nu toe geen onderzoek naar gedaan. Er is wel kennis over de Veluwe (Natura 2000), maar de situatie op de Utrechtse Heuvelrug (morfologie, bodemopbouw, wel/niet voorkomen van leemlagen, stikstofdepositie, etc.) is mogelijk net weer anders. Daardoor kunnen wij ook niet inschatten of en zo ja hoeveel effect de (mogelijke) overmaat aan stikstof heeft op de grondwaterkwaliteit van de Heuvelrug en daarmee op de kwalitatieve hydrologische relaties richting de lageregelegen kwelgebieden (zoals Natura 2000 Binnenveld, Uiterwaarden Nederrijn). Utrechts Landschap wil graag weten welke kennis die is opgedaan uit onderzoek op de Veluwe bruikbaar is voor de Utrechtse Heuvelrug (kennismontage) en wat er voor nodig is om deze kennis te 'vertalen' voor de Utrechtse situatie.

Om deze vraag te beantwoorden gaan we achtereenvolgens in op de volgende deelvragen:

- Hoe vergelijkbaar zijn de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe?
- Welke onderzoeken t.a.v. probleemanalyse zijn er uitgevoerd op de Veluwe en zijn waarschijnlijk ook van toepassing op de Utrechtse Heuvelrug?
- Welke onderzoeken t.a.v. herstelmaatregelen zijn er uitgevoerd op de Veluwe en zijn waarschijnlijk ook van toepassing op de Utrechtse Heuvelrug?
- Welke gegevens zouden op de Utrechtse Heuvelrug verzameld moeten worden om de toepasbaarheid met gegevens te onderbouwen?

Deze deelrapportage richt zich enkel op de droge systemen. De effecten van N-depositie op het aquatische systeem van de Utrechtse Heuvelrug staan beschreven in de separate deelrapportage van Hydrobiologisch Adviesburo Klink. De belangrijkste conclusie uit die deelrapportage is wel opgenomen als paragraaf 5.5.

2. Vergelijking Utrechtse Heuvelrug met de Veluwe

2.1 Geologie

De Veluwe en Utrechtse Heuvelrug zijn (net als de andere stuwwallandschappen in Nederland) opgestuwd in de voorlaatste ijstijd (Fig. 2.1). Het moedermateriaal vanuit deze tijdperiode is heel vergelijkbaar tussen beide stuwwallen en deels afkomstig uit hetzelfde brongebied, namelijk oude rivierafzettingen uit het gebied dat we nu de Gelderse Vallei noemen. Het zijn echter eindmorenes van hele lange gletsjers, dus ook materiaal van veraf is aangevoerd. Hiernaast is er in beide gebieden variatie op relatief kleine schaal doordat de oorspronkelijke rivierafzettingen ook niet homogeen waren: fijn- tot grofzandige delen wisselden elkaar af met daartussen ook grindbedden en leemrijkere afzettingen. De aard van deze variaties is vergelijkbaar tussen de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe.

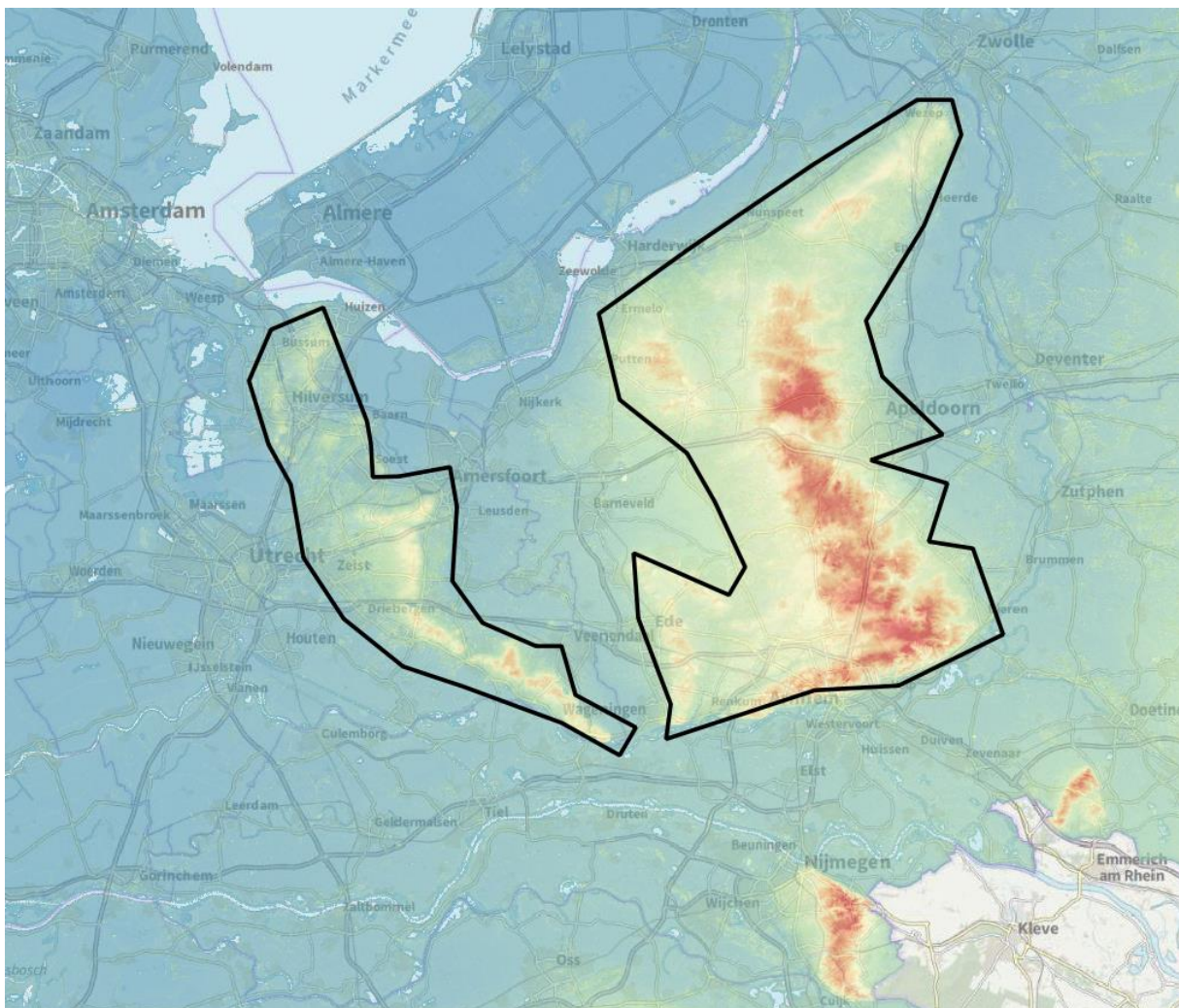


Fig. 2.1. Ligging, grootte en hoogte-indicatie van de stuwwallen Veluwe (rechts) en Utrechtse heuvelrug (links) (bron: AHNn).

Bij het afsmelten van de gletsjers is er erosie opgetreden, hetgeen heeft geleid tot huidige afzettingen van verspoeld stuwwalmateriaal (Figuur 2.2). Deze zijn vaak minder gebufferd dan het oorspronkelijke stuwwalmateriaal, omdat tijdens het proces van erosie de fijnste deeltjes (leem) veelal zijn meegevoerd richting de Noordzee. Her en der zijn er plekken op de stuwwallen waar het leem is bezonken en door leem gebufferde bodems zijn ontstaan, maar dit is tamelijk zeldzaam.

In de laatste ijstijd zijn er dekzanden afgezet op beide heuvelruggen. Ook hiermee is de Veluwe rijker bedeed dan de Utrechtse Heuvelrug. Voor Veluwse begrippen zijn de dekzanden basenrijk, maar als ze (meervoudig) verstuiven als gevolg van onder meer de heidecultuur, worden deze zanden basenarm. Dit speelt ook op de Utrechtse Heuvelrug; het Leersumse veld is bijvoorbeeld ontstaan als gevolg van het uitstuiven van zand tot op het niveau waarop grondwater het verstuiven beperkte. Wat hoogte, ontstaansgeschiedenis en bodemopbouw betreft zijn beide gebieden vergelijkbaar. Dat neemt niet weg dat er lokaal grote verschillen kunnen zijn.

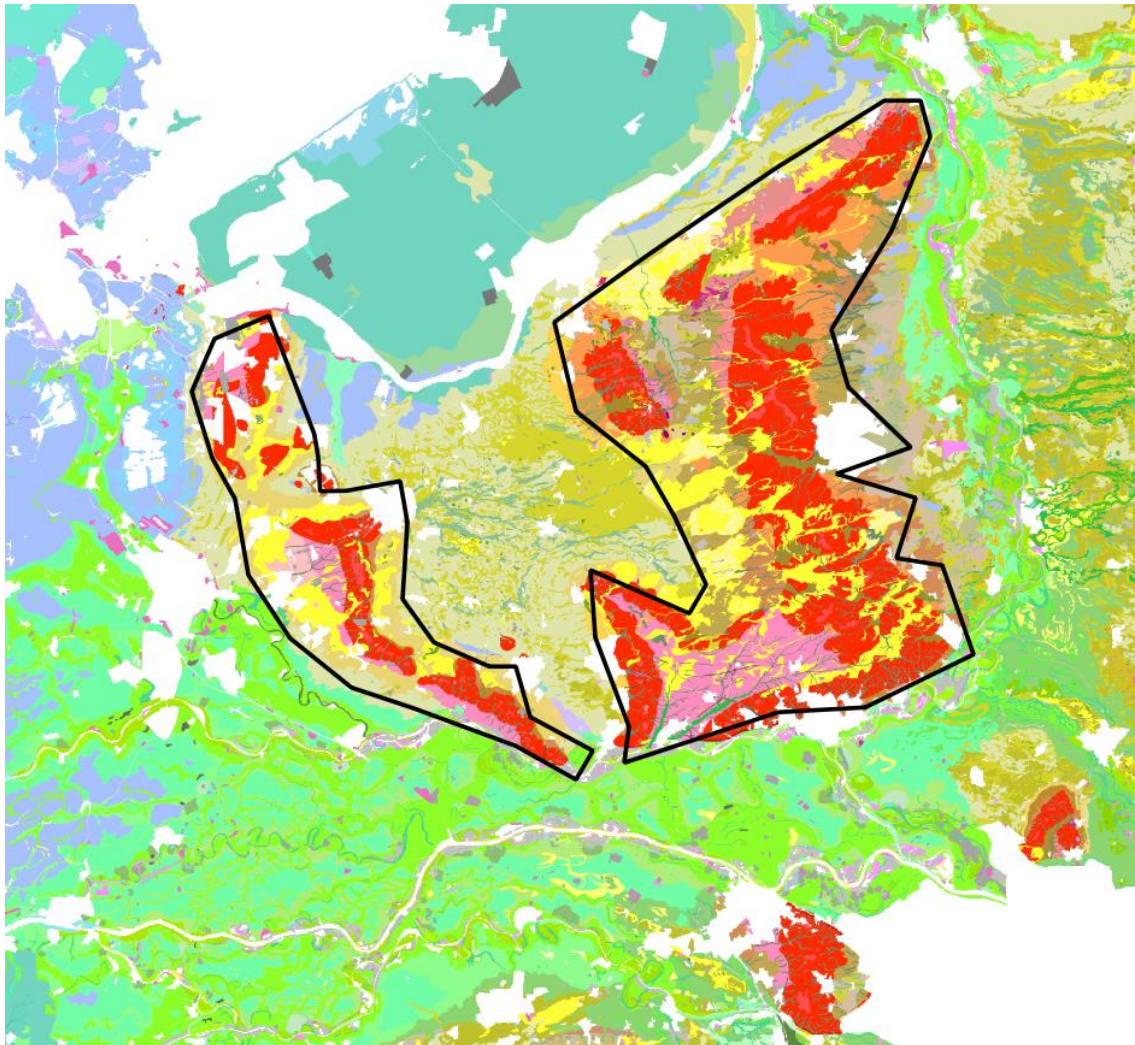


Fig. 2.2. Geomorfologische kaart van de stuwwallen Utrechtse Heuvelrug en Veluwe. Op de heuvelruggen zijn de stuwwallen (rood), stuwwalglooiingen (oranje, met name op Noord-Veluwe), dekzanden (geel), dekzandplateaus (olijf) en smeltwaterafzettingen (donkerroze) de dominante geomorfologische eenheden (bron: PDOK).

2.2 Biodiversiteit

Van de Utrechtse heuvelrug is bij ons geen habitattypenkaart bekend. Ook na navraag bij Utrechts landschap bleek deze niet beschikbaar te zijn. Wel is er een beheertypenkaart beschikbaar voor de provincie Utrecht.

In de droge zandgronden vinden we de volgende beheertypen, met de oppervlaktes in km²:

- N07.01 Droge heide (14,18 km²)
- N07.02 Zandverstuivingen (2,39 km²)
- N11.01 Droge schraallanden (4,06 km²)
- N15.02 Dennen, eiken- beukenbos (57,31 km²)
- N16.03 Droog productiebos (95,511 km²)
- N17.02 Cultuurhistorisch bos, Droog hakhout (0.407 km²)

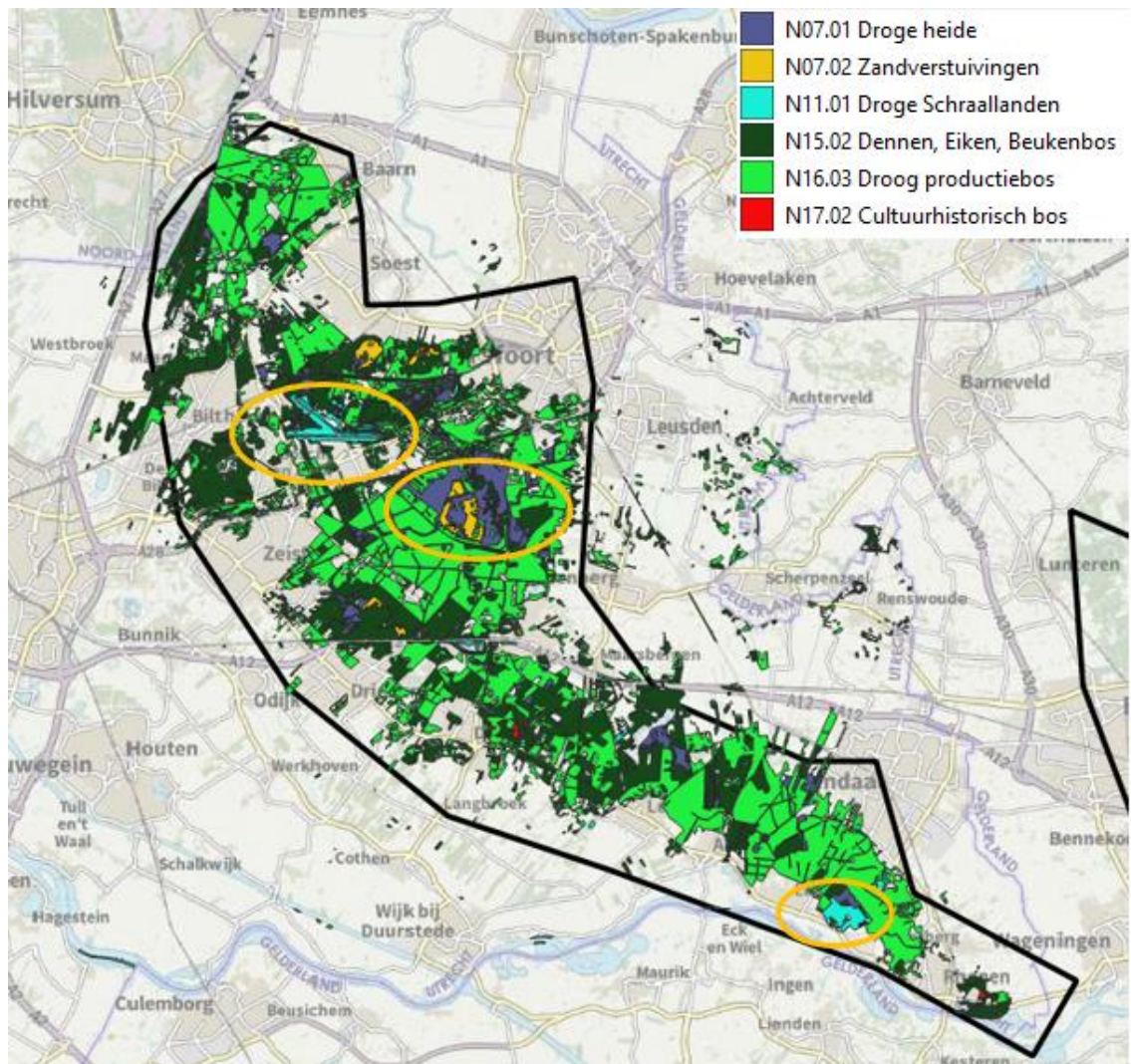


Fig. 2.3. Beheertypenkaart met geel omcirkeld van noord naar zuid Vliegbasis Soesterberg, Leusderheide en Plantage Willem III.

De vergelijkbaarheid van beide heuvelruggen in aanleg, wordt ook weerspiegeld door de biodiversiteit. Vegetatietypen en soorten van de Veluwe vinden we ook terug op de Utrechtse Heuvelrug. Voorbeelden hiervan zijn er te over (Fig. 2.4 a-c); voorbeelden van niet zeldzame soorten die zich in hun verspreiding beperken tot één van beide gebieden zijn zeer schaars (voorbeelden zijn lederboktor en tauvlinder; Fig. 2.4d). Op basis van de grote overeenkomsten in de aanwezige biodiversiteit zijn geen belangrijke verschillen tussen de heuvelruggen te verwachten. Soorten die sterk achteruit gegaan zijn, zoals verschillende soorten dagvlinders (o.a. bosparelmoevlinder), houden het op de Veluwe wat langer uit dan op de Utrechtse heuvelrug. Schaafeffecten van geschikt habitat en oorspronkelijke populaties alsook schaalafhankelijke variatie in habitatkwaliteit spelen hierbij waarschijnlijk een rol.

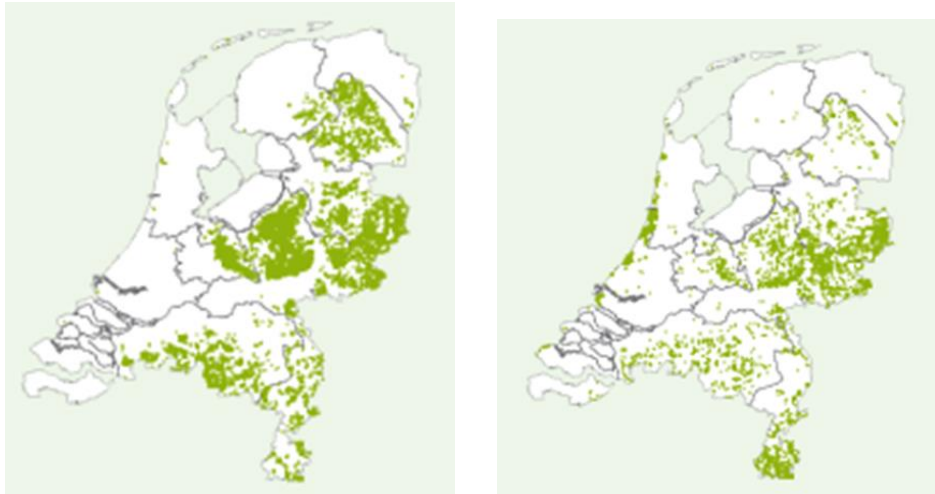


Fig. 2.4a (links). De blauwe bosbes, een zuurminnende soort, komt algemeen voor op de Veluwe en de Utrechtse heuvelrug (bron: floravannederland.nl).

Fig. 2.4b (rechts). Het bleeksporig bosviooltje is afhankelijk van meer gebufferde standplaatsen en komt in dezelfde orde grootte voor op de Utrechtse heuvelrug en de Veluwe (bron: floravannederland.nl).

Nemobius sylvestris

Boskrekkel

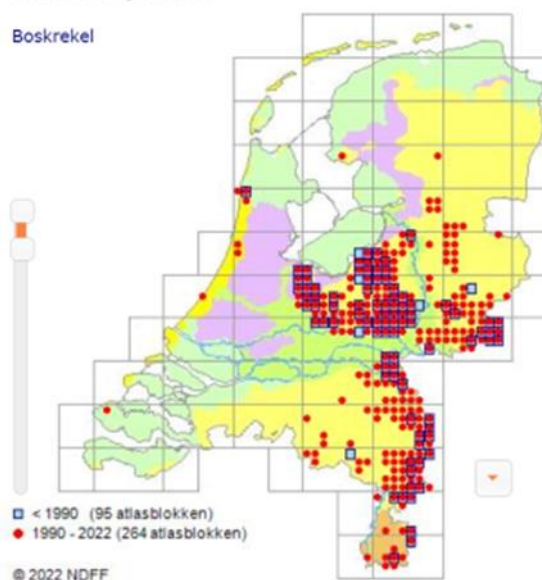


Fig. 2.4c (links). De boskrekkel komt algemeen voor op de Veluwe en de Utrechtse heuvelrug, maar bijvoorbeeld nauwelijks in de droge zandgebieden van Drenthe.

Fig. 2.4d (rechts). De tauvlinder komt tamelijk algemeen voor op de Veluwe, maar ontbreekt op de Utrechtse heuvelrug. De reden hiervoor is onbekend.



Fig. 2.4. Voorbeelden van soorten die op beide stuwwallen voorkomen (4a-c) en een (schaars) voorbeeld van een soort die alleen op de Veluwe talrijk is (4d).

2.3 Stikstofdepositie

Ook wat stikstofdepositie betreft valt niet te verwachten dat er grote verschillen zijn ontstaan in de staat van de natuur en het verloop van ecologische processen tussen de Utrechtse heuvelrug en de Veluwe (Fig. 2.5). Zowel de totale stikstofdepositie (Fig. 2.5a) als ammoniakbelasting (van de lucht; Fig. 2.5b) liggen in dezelfde orde van grootte. Omdat de Gelderse Vallei een belangrijke stikstofleverancier is aan beide gebieden, is het niet waarschijnlijk dat historische stikstofdeposities heel erg verschillend hebben uitgepakt. Het is

wel mogelijk dat zwaveldeposities op de Utrechtse heuvelrug vroeger wat hoger zijn geweest dan op de Veluwe, omdat zware industrie en wegverkeer hiervan belangrijke bronnen waren, welke in het randstedelijk gebied meer vertegenwoordigd zijn dan in de directe omgeving van de Veluwe. Het zou dus kunnen dat de zure depositie in het verleden groter was op de Utrechtse heuvelrug in vergelijking met de Veluwe, maar in de praktijk zal dit weinig verschil opleveren in het ecologisch functioneren, omdat beide gebieden al decennia zijn blootgesteld aan zeer hoge zuurdeposities.

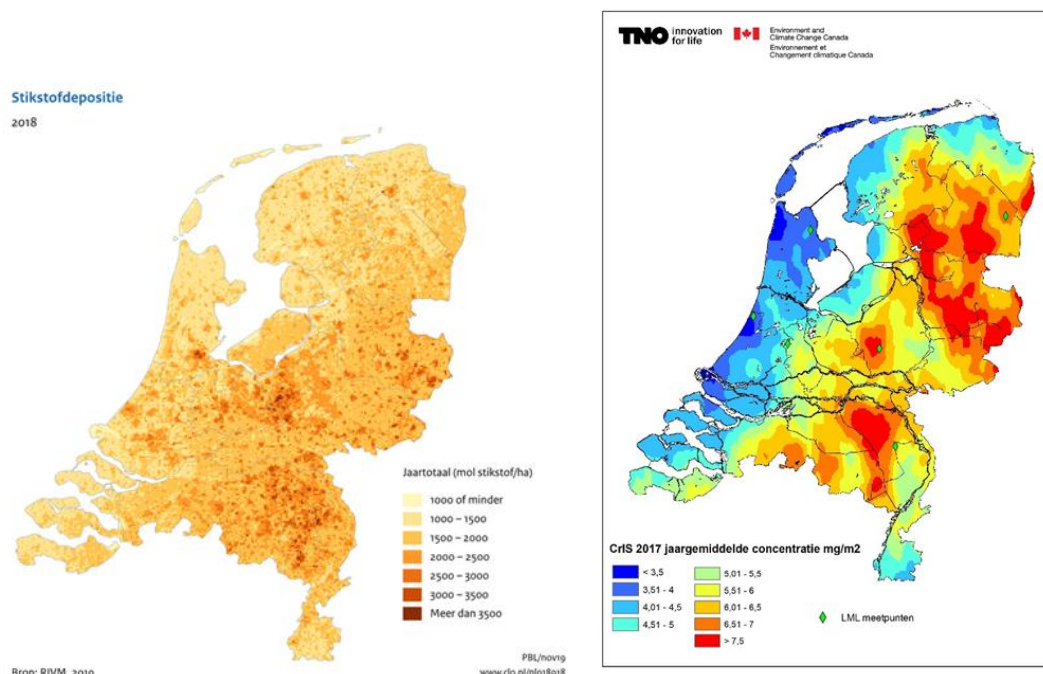


Fig. 2.5a (links). Stikstofdepositie in 2018 op basis van RIVM-metingen en doorrekeningen.
 Fig. 2.5b (rechts). Ammoniak in de atmosfeer op basis van satellietdata en doorrekening van TNO (bron: <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2020/4/satellietmetingen-maken-ammoniakverdeling-over-nederland-inzichtelijk/>).

Fig. 2.5. Wat betreft de stikstoflast zijn de Utrechtse heuvelrug en de Veluwe vergelijkbaar, met tussen beide heuvelruggen in de Gelderse Vallei, met hoge emissies.

2.4 Duidelijke verschillen

Het grootste verschil tussen de heuvelruggen is de breedte ervan: de Utrechtse heuvelrug is heel smal ten opzichte van de Veluwe. Dit maakt dat randeffecten op de Utrechtse heuvelrug veel dominanter zijn in vergelijking met de Veluwe. Voor de natuur op standplaatsniveau (waar we vooral naar zullen kijken in de beantwoording van de vraag) betreft het randeffect vooral de invloed van grondwater en hiermee basenaanrijking van bodems op de flanken van de Utrechtse Heuvelrug. Dit is ook gereflecteerd in de biodiversiteit: soorten van de randzones op de Veluwe zijn vaak verspreid over de gehele Utrechtse heuvelrug te vinden (Fig. 2.6). Een ander verschil is dat in het noordelijke deel van de Utrechtse heuvelrug erosie door smeltwater ertoe geleid heeft dat de stuwwal min of meer doorbroken is, waardoor laagtes zijn ontstaan tussen stuwwalrestanten (Fig. 2.1). Deze situatie bestaat niet op de Veluwe.

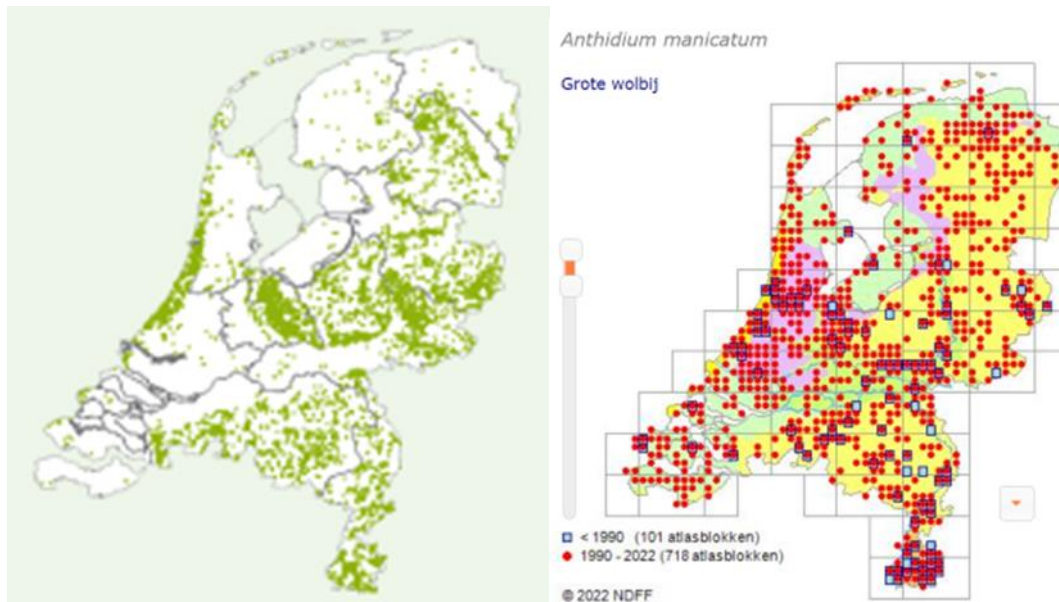


Fig. 2.6a (links). Het lelietje-der-dalen houdt van een vochtiger, meer gebufferde bodem dan te vinden is op grote delen van de centrale Veluwe. Op de Veluwe is het een soort van de stuwwalflanken en anderszins vochtige gebieden, terwijl de soort op de Utrechtse heuvelrug overal lijkt voor te komen. (bron: floravannederland.nl).

Fig. 2.6b (rechts). De grote wolbij mijdt ook de centrale delen van de Veluwe, maar komt op de hele Utrechtse heuvelrug voor.

Fig. 2.6. Doordat de Utrechtse heuvelrug veel smaller is dan de Veluwe komen soorten die op de Veluwe voornamelijk een associatie hebben met de flanken van de stuwwal op de Utrechtse heuvelrug in het gehele gebied voor.

2.5 Conclusie vergelijkbaarheid

Op basis van de ontstaansgeschiedenis, vegetatietypen, soortenrijkdom en historische stikstofdepositie zijn beide gebieden erg vergelijkbaar. Wel zijn er op de Heuvelrug relatief veel "flanken" vergeleken met de Veluwe, omdat de Utrechtse heuvelrug veel smaller is dan de Veluwe. Op deze flanken kunnen lokaal heel andere standplaatscondities voorkomen dan op de ruggen, met name door uittredend lokaal grondwater waardoor basen aangereikt kunnen worden. Tegelijkertijd kan ook juist dit uittredende grondwater lokaal verrijkt zijn met N.

Het onderzoek naar natuurkwaliteit en herstelmaatregelen op de Veluwe kan worden ingedeeld naar de Natura2000 habitattypen, welke vaak ook samenhangen met de geomorfologische historie van de betreffende locaties en de interactie met het historisch gebruik van de gronden. Heide op stuifzand is bijvoorbeeld een ander habitatype dan overige droge heide en de ecologische grondbeginselen van heide op dekzand zijn anders dan heide op de flank van de stuwwal. Tot nu toe hebben de flanken en stuwwallen van de Veluwe minder aandacht gekregen in onderzoek dan dek- en stuifzanden en gebieden met verspoeld stuwwalmateriaal. Dit komt doordat de dek- en stuifzanden en gebieden met verspoeld stuwwalmateriaal de meest nutriëntenarme bodems betreffen, waardoor de effecten van verzuring en vermesting juist hier het meest duidelijk zichtbaar werden. Het is daarom van belang om bij het vergelijken van studies uitgevoerd op de Veluwe, steeds aan te geven of deze (deels) zijn uitgevoerd op de flanken, of enkel op de ruggen van het gebied.

3. Overzicht probleemanalyses

In dit hoofdstuk staan onderzoeken naar de aard van de problematiek op de Veluwe beschreven. De betreffende onderzoeken zijn te raadplegen door op de tekst te klikken. Voor een algemeen overzicht van de effecten van N-depositie op verschillende habitattypen zijn Bobbink 2021 en Bobbink et al., 2022 te raadplegen. In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op studies gericht op herstel. In deze studies worden ook de heersende problemen in de onderzochte studiegebieden beschreven. Om overlap te voorkomen worden de knelpunten in hoofdstuk 4 niet nogmaals opgesomd.

3.1 Bossen

Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hoge zandgronden 2014, OBN Rapport, Onderzoek naar de koppeling van het verlies van biodiversiteit met stikstofdepositie en de daarmee gepaard gaande verzuring (van den Burg et al. 2014).

Bevindingen:

In dit onderzoek ligt de nadruk op bossen van nutriëntenarme standplaatsen, dus duidelijk meer in relatie tot habitatype Oude eikenbossen (H9190) dan Eiken-beukenbossen met hulst (H9120). Stikstofdepositie leidt tot een overmaat aan stikstof in bossen en (ten opzichte van stikstof) een tekort aan andere voedingsstoffen. Dit effect wordt groter als door verzuring basische kationen uitspoelen en ammonium en aluminiumgehalten toenemen in de bodem. Eikenbomen maken dan minder eiwit en de overleving van rupsen (en rupsenaantallen) op de bomen is laag. Het stikstofgehalte in de bomen is wel erg hoog: de bomen maken veel stikstofhoudende verbindingen, die niet de eiwit-vorm hebben. De lage overleving van rupsen hangt waarschijnlijk hiermee samen. In de voedselketen doen zich tekorten van aminozuren (de bouwstenen van eiwitten) voor, wat vooral duidelijk is hoog in de voedselketen, bij sperwers. De verminderde productie in de bomen zou hiervan de oorzaak kunnen zijn. In de sterkst aangetaste bossen neemt de broeddichtheid van sperwers af. Conclusie is dat zowel de verzuring als de vermesting van stikstofdepositie een probleem vormen en dat deze problemen kunnen doorwerken tot hoog in de voedselketen.

Aanbevelingen:

Terugdringen stikstofdepositie en bodemherstel gericht op maatregelen tegen verzuring en de stikstofophoping.

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

Het is aannemelijk dat deze problematiek ook speelt op de Utrechtse heuvelrug, en daarmee is ook de duale herstelopgave voor de bodem relevant, met name op de dekzanden en stuifzanden van de Utrechtse heuvelrug.

Calciumtekort bij zangvogels op de Zuidwest-Veluwe 2017-2021, serie van 3 artikelen in het Vakblad Bos Natuur en Landschap, onderzoek naar de effecten van bodemverzuring op zangvogels (mezen) (Van den Burg 2017, 2019, 2021).

Bevindingen:

Bodemverzuring als gevolg van stikstofdepositie heeft recent geleid tot een sterke toename in calcium-gerelateerde gebreksverschijnselen bij mezen (slechte eischaalkwaliteit, slechte calcificatie van botten bij nestkuikens en sterfte). Dit is niet alleen het geval op de meest nutriëntenarme bodems, maar ook op de stuwwal. Mogelijk speelt droogte ook een rol in de

stuwwalbebossingen. Niet alle kalkvormen kunnen als supplementaire voeding gebruikt worden, omdat, afhankelijk van de kristalstructuur, de ene kalksoort wel door vogels wordt opgenomen en de andere niet. Sommige soorten (bijvoorbeeld de zomergasten) eten helemaal geen schelpkalk.

Aanbevelingen:

Met behulp van schelpgruis (of andere kalk met aragonietkristallen) kan de calciumvoorziening van sommige vogelsoorten hersteld worden. Dit kan door de kalk op voederplanken of als hoopjes op de grond aan te bieden. Schelpgruis kan ook ingezet worden om de bodemkwaliteit te verbeteren. Dit is noodzakelijk om ook de calciumvoorziening van andere soorten te herstellen (huisjesslakken, miljoenpoten, pissebedden, zangvogels zoals de bonte vliegenvanger, die miljoenpoten en pissebedden eet).

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

Omdat de problematiek zich op de Zuidwest-Veluwe ook voordoet op de stuwwallen lijkt het onwaarschijnlijk dat het in het geheel niet zou optreden op de Utrechtse heuvelrug. Het kan door oppervlakkige waarneming aan de aandacht ontsnappen, omdat botten ook zo slecht gecalcificeerd kunnen zijn, dat ze flexibel blijven en niet breken. Herstel van de bodemkwaliteit zal waarschijnlijk ook voor de Utrechtse heuvelrug van belang zijn.

Verkenning maatregelen voor herstel van Oude Eikenbossen op arme zandgronden en hierbij te beantwoorden onderzoeksvragen en opzet onderzoek 2018-2020. Rapportages Onderzoekcentrum B-WARE in opdracht van provincie Gelderland (Bobbink, Weijters, Siepel, Vogels).

Bevindingen:

In deze serie onderzoeken is, naast literatuuronderzoek, ook gemeten in bodem- en blad van tien Oude eikenboslocaties (H9190) verspreid over de Veluwe. Deze locaties lagen deels op de stuwwallen van de Veluwe en deels op dekzandruggen. Uit deze studie kwam naar voren dat de onderzochte bossen allen te kampen hadden met een sterk verzuurde bodem, en dat de eikenbomen in de bemonsterde locaties tekorten hadden aan P, Ca en K.

Aanbevelingen:

Terugdringen stikstofdepositie en bodemherstel gericht op maatregelen tegen verzuring en aanvullen van elementen waaraan de eikenbomen tekort hebben.

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

Het is aannemelijk dat deze problematiek ook speelt op de Utrechtse heuvelrug.

Biodiversiteit en duurzaamheid van oude bosreservaten 2021. M. Nijssen, J. Bouwman, M. Weijters, R. Bobbink, J. Noordijk, B. de Wit, H. Sierdsma, E.O. Colijn & Th. Heijerman, 2020. Biodiversiteit en duurzaamheid van oude bosreservaten. Rapport Stichting Bargerveen, B-WARE, EIS-Nederland, Kroondomein het Loo en Sovon Vogelonderzoek Nederland.

Bevindingen:

In deze studie werden enkele bosreservaat-percelen in Kroondomein het Loo vergeleken met percelen in regulier beheer. Een bosreservaat betreft hier een stuk niet-beheerd bos. De bossen bij Wiessel, Dassenberg, Gortel en Paalweg betreffen Beuken-Eikenbossen (Fago-Quercetum) op zandige, licht leemhoudende bodem, die gedomineerd worden door Beuk (*Fagus sylvatica*) en waarin verspreid Wintereik (*Quercus petraea*) of Zomereik (*Quercus robur*)

groeit. Op locatie Motketel is sprake van een armere zandige bodem met een gemengd bos waarin naast Beuk en Zomereik o.a. ook Berk (*Betula* sp.), Zwarte els (*Alnus glutinosa*) en Grove den (*Pinus sylvestris*) groeit. Het grootste verschil tussen de beheerde locaties en de bosreservaten is te zien in de aanwezigheid van dood hout. In alle bosreservaten betreft dit in totaal (staand en liggend dood hout samen) tussen de 142 m³ en 295 m³ per hectare. In beheerde bospercelen is staand en liggend dood hout nagenoeg afwezig. Uit deze studie komt duidelijk naar voren dat bossen baat hebben bij een hoger aandeel dood hout. In de reservaatbossen werden meer soorten mieren aangetroffen (geen in beheerd tot 9 in het reservaatbos). De bodem van de onderzochte locaties was slecht gebufferd, zowel in de reservaten als in de regulier beheerde percelen. De beschikbare Ca concentraties waren laag, de beschikbare Al concentraties hoog en de Al/Ca-ratio lag tussen de 5 en 10 in de minerale bodemlaag tot 40 cm diep. In de bemonsterde Beuken werden overschotten aan N gemeten en tekorten aan P, Ca en K. In de bemonsterde eiken was het P tekort minder nijpend maar werden ook tekorten aan Ca en K gemeten. Op het gebied van de broedvogels werden oude bossen vergeleken met jonge bossen. Dit betreft andere locaties dan de beheerde en onbeheerde boslocaties in het Loo. De broedvogels profiteren van de hollen in oude bossen, maar laten ook een negatieve trend zien. Een logische hypothese is dat de effecten van verzuring en vermessing in jonge bossen deels worden 'verdoezeld' doordat deze bossen nog aan het ontwikkelen zijn, met een toename van variatie in samenstelling, structuur en dood hout als gevolg. Op oude bosgroeiplaatsen (dus plekken met een onverstoorde bosbodemonwikkeling, los van het gevoerde beheer) kan deze variatie in samenstelling en structuur veel minder toenemen en komen de effecten van verzuring en vermessing wellicht harder aan.

Aanbevelingen:

Meer dood hout in bossen, terugdringen stikstofdepositie en bodemherstel gericht op maatregelen tegen verzuring en aanvullen van tekorten in bomen.

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

Het is aannemelijk dat deze problematiek ook speelt op de Utrechtse heuvelrug en dat de aanbevelingen ook voor de Utrechtse heuvelrug toepasbaar zijn.

3.2 Heide en heischrale graslanden

Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen 2011, OBN Rapport, Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen (2006-2010); (Vogels et al. 2011).

Bevindingen:

Intensief heidebeheer, waarbij veel nutriënten worden afgevoerd, heeft tot gevolg dat bij hoge stikstofdepositie de onbalans tussen stikstof en andere voedingsstoffen, met name fosfor, steeds ongunstiger wordt. Onder deze omstandigheden is fosfor limiterend voor de arthropoden-fauna. Als er veel stikstof in de bodem zit (geen intensief heidebeheer) neemt de stikstofconcentratie in de plant toe, maar het eiwitgehalte niet. Hierdoor raakt de heide oneetbaar, zoals experimenteel is vastgesteld voor de kleine nachtpauwoog (vergelijkbaar met de situatie voor kleine wintervlinders in eikenbossen; Van den Burg et al. 2014). Bodemverzuring geeft een verdere verslechtering van de situatie.

Aanbevelingen:

Terugdringen stikstofdepositie. Stoppen / niet uitvoeren van intensief heidebeheer welke de bodem aantast (niet plaggen). Herstel van bodem en fauna door fosforgift op voormalig geplagde bodems. Herstel van (voormalige) heideakkers, omdat de braaklegging nadien van

groot belang is voor de fauna van iets nutriëntenrijkere, meer gebufferde bodems. Herstel van een intact heidelandschap, met rijkere en armere delen.

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

Het is zeer aannemelijk dat deze problematiek ook op de Utrechtse heuvelrug speelt. Het advies om geen intensief heidebeheer toe te passen, waarbij veel voedingsstoffen worden afgevoerd met bodemmateriaal, geldt zeker ook voor de Utrechtse heuvelrug. De adviezen voor herstel van heideakkers en een intact heidelandschap zijn eveneens van toepassing, vooral als het kan aansluiten op het historisch gebruik van de heide op de Utrechtse heuvelrug.

Kansen voor oude droge heide in het heidelandschap 2020, rapport met de resultaten van literatuur- en veldonderzoek naar oude droge heide (Bijlsma et al. 2020).

Bevindingen:

Als gevolg van niets-doen beheer en het laten ouderen van de bodem, neemt de beschikbaarheid van kationen toe, wat ook weerslag heeft op de vegetatie. Enige nadeel lijkt de ophoping van aluminium te zijn, want ook de Al/Ca ratio is lager dan op geplagde bodems. De stikstofconcentraties in de heide zijn even hoog in geplagde en ongeplagde delen. Na droge zomers is een hoge nitraatuitspoeling vastgesteld. Dat is goed voor de stikstofbalans in het bovenste deel van de bodem, maar ongunstig in relatie tot verzuring (kationen spoelen mee uit met het nitraat).

Aanbevelingen:

Breng oude heidebodems in kaart en wees hier zuinig op (voer geen beheer uit met effecten op de bodem). Extensieve begrazing helpt om de vegetatiestructuur te verbeteren.

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

Het is zeer aannemelijk dat dezelfde processen optreden op de Utrechtse heuvelrug. Advies om geen bodem-beheer op oude, ongestoorde heidebodems uit te voeren is ook op de Utrechtse heuvelrug van toepassing.

Onzekerheid:

Niet onderzocht is of de kwaliteitsverbetering die ontstaat door bodems te laten ouderen toereikend is voor de karakteristieke faunasoorten van heideterreinen. Deze onzekerheid heeft zowel betrekking op de Veluwe (en andere studiegebieden in dit onderzoek) als de Utrechtse heuvelrug. Omdat er geen verschil is in de gevonden stikstofconcentraties tussen geplagde en ongeplagde bodems, kan stikstof, al of niet in verhouding tot andere stoffen en/of aminozuren, nog altijd een probleem vormen de fauna (Vogels et al. 2011).

Naar een Actieplan Heischrale graslanden. Hoe behouden en herstellen we heischrale graslanden in Nederland? 2017 (Zee, F.F. van der, R. Bobbink, R. Loeb, M.F. Wallis de Vries, J.G.B. Oostermeijer, S.H. Luijten en M. de Graaf. 2017. Naar een Actieplan Heischrale graslanden; Hoe behouden en herstellen we heischrale graslanden in Nederland? Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2812. 136 blz.; 34 fig.; 10 tab.; 63 ref.)

Bevindingen:

Heischraal grasland (H6230) is een van oorsprong soortenrijk ecosysteem in het zandlandschap. Het komt voor op plekken die enige buffering hebben door bijvoorbeeld de aanwezigheid van (kei)leem of door aanvoer van bufferende stoffen langs bijv.

schapendriften of via grondwater. De staat van instandhouding van heischrale graslanden in Nederland is dramatisch slecht, met name de droge varianten. Veel heischrale graslanden, ook die er qua soortensamenstelling nog relatief goed uitzien, zijn sterk verzuurd. Veel van de karakteristieke soorten komen nog slechts in weinig kleine en geïsoleerde en daardoor verminderd levensvatbare populaties voor. Op basis van dit onderzoek is geschat dat het totale oppervlak redelijk tot goed ontwikkeld heischraal grasland in Nederland op dit moment (2016) maximaal 30-40 ha bedraagt. Lang niet alle habitats H6230 in Natura 2000 gebieden kunnen vegetatiekundig nog tot heischraal grasland gerekend worden. In de droge heischrale graslanden bepalen de pH en buffering sterk de kwaliteit van de graslanden. Onder verzuurde en geëutrofiëerde omstandigheden komen alleen nog soortenarme rompgemeenschappen voor. Veel van de heischrale graslanden zijn de laatste 20 jaar verder in kwaliteit achteruitgegaan. Maar op locaties die 25 jaar geleden geplagd en bekalkt zijn, was deze achteruitgang beperkt. Zelfs tot voor kort algemene soorten van heischraal grasland, zoals Tandjesgras, Borstelgras en Hondsviooltje, zijn in Nederland sterk afgenomen. Ook de voor heischrale graslanden kenmerkende populatie insecten gaat sterk achteruit. Uit de trendanalyse in relatie tot oppervlakte komt duidelijk naar voren dat faunapopulaties in kleinere leefgebieden een groter risico lopen om te verdwijnen.

Aanbevelingen:

De volgende aanpak kan in onze ogen binnen 5-10 jaar leiden tot een aanzienlijke kwaliteitsverbetering in het heischrale milieu: 1. Aanvullende kwantificering van a) de knelpunten in de abiotiek van alle terreinen met heischraal grasland, b) levensvatbaarheid van de nog aanwezige populaties van de bedreigde, habitatspecifieke soorten, en c) inventarisatie van het verlies van genetische kwaliteit in resterende populaties van 4-5 kenmerkende vlindersoorten; 2. Opzetten en uitvoeren van veldexperimenten en -pilots om de buffercapaciteit van de bodem op te laden en geschikt te maken voor planten- en diersoorten van heischrale graslanden; 3. Ex situ vermeerderen van de genetische diversiteit van bedreigde planten- en – indien nodig – diersoorten uit het heischrale milieu via een kweekprogramma t.b.v. 'genetic rescue'-acties; 4. Uittesten of de experimentele steenmeeltoediening voldoende werkzaam is om de voedselkwaliteit van de vegetatie zodanig te verbeteren dat dit ook tot populatieversterking van de kenmerkende insectensoorten leidt; 5. Herintroducties van populaties in terreinen waar ze waren uitgestorven, uiteraard alleen nadat de abiotiek op orde is gebracht; 6. Per terrein vaststellen van het benodigde pakket van herstelmaatregelen en advisering over de optimale uitvoering van regulier beheer.

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

Hoewel er op de Utrechtse heuvelrug geen habitatypekaart voor heischrale graslanden aanwezig is, gelden deze knelpunten en aanbevelingen ook voor het N11.01 Droge schraallanden (4,06 km²) in de Utrechtse heuvelrug waaronder Vliegbasis Soesterberg.

3.3 Stuifzanden

Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van stuifzanden 2011, OBN stuifzandonderzoek 2006-2010 (Nijssen et al. 2011)

Bevindingen:

Stuifzanden vormen refugia voor soorten die vroeger ook in andere habitattypen in het droge zandlandschap voorkwamen. Stuifzanden worden echter bedreigd door een afname van de dynamiek, wat onder andere wordt veroorzaakt door bosontwikkeling en stikstofdepositie. Vaak is ook de interne variatie binnen stuifzandterreinen afgenomen, wat problemen met zich meebrengt voor de fauna. Een ander probleem is de snelle groei van het grijs

kronkelsteeltje. Duurzaam herstel is alleen mogelijk door het natuurlijk reliëf als uitgangspunt te nemen, vooral als er ruimte is voor stuifzandherstel aan de zuidwestzijde.

Aanbevelingen:

Stuifplekken creëren en behouden die tenminste 200 meter van een bosrand liggen en tenminste 150 meter lang zijn in de hoofd-windrichting, hierbij gebruik makend van voorraden verstuijbaar zand (als deze er zijn). Zorgen voor voldoende kansen voor windwerking en bestrijding van te sterke ontwikkeling van vegetatie en grijs kronkelsteeltje. Patroonbeheer van kleine stuifzandkernen.

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

De probleemanalyse is ook van toepassing op de Utrechtse heuvelrug, voor de aanbevelingen wordt verwezen naar onderstaand onderzoeksrapport (Sparrius & Riksen 2019).

Evaluatie van elf jaar stuifzandbeheer op de Veluwe 2019, rapport, in opdracht van de provincie Gelderland hebben de WUR en de Bryologische en Lychenologisch werkgroep het stuifzandbeheer op de Veluwe geëvalueerd (Sparrius & Riksen 2019).

Bevindingen:

Bij de huidige stikstofdepositieniveaus blijft het nodig om extra intensief te plaggen, opslag te verwijderen en bos te kappen om het oppervlak open stuifzandgebied in stand te houden. De huidige kwaliteit van veel stuifzandgebieden op de Veluwe is matig tot laag en gedurende de onderzoeksperiode nog slechter geworden. Dit hangt samen met een gebrek aan afwisseling tussen verschillende successiestadia binnen de gebieden. Vaak is er of vrijwel alleen kaal zand aanwezig, of is juist nagenoeg het gehele stuifzandgebied dichtgegroeid. De achteruitgang van kwaliteit van stuifzanden kan niet door beheermaatregelen worden gestopt. Alleen door sterke afname van stikstofdepositie kan dit doel bereikt worden.

Aanbevelingen:

De instandhouding van stuifzanden valt of staat uiteindelijk met het verlagen van de stikstofdepositie. Tot die tijd wordt in dit rapport vooral ingezet op patroonbeheer (plaggen van dichtgegroeide delen, stoppen met het openhouden van actieve stuifplekken), waarbij ook op de continuïteit van windwerking wordt ingezet (terugzetten bosranden). Geen grootschalige maatregelen, maar inzet op behoud van wat er nog over is.

Toepasbaarheid Utrechtse heuvelrug:

Volledig toepasbaar op de Utrechtse heuvelrug.

4. Onderzoeken naar herstel mogelijkheden op de Veluwe

4.1 Inleiding

Uit de bovenstaande samenvatting van probleemanalyses werden de volgende knelpunten benoemd die spelen op de droge zandgronden in de Veluwe. Daarnaast worden in de hierna beschreven onderzoeken naar herstelmaatregelen nog meer knelpunten benoemd.

Bossen:

- Lage bodembuffering (lage pH en basenverzadiging, vrijkomen aluminium, uitspoelen van Ca, K en Mg)
- Kalkgebrek in gehele systeem (bodem, bomen, slakken, vogels.....)
- Kalium gebrek in bomen (Eik en Beuk)
- Ophoping Van N in bodem en boom
- Tekorten aan P in Eik en Beuk
- Scheve N/P-verhouding in plantmateriaal en daardoor slechte voedselkwaliteit fauna
- Ophoping N in blad in niet eiwit vorm
- Weinig dood hout
- Geremde afbraak van strooisel

Heide en (hei)schrale graslanden:

- (Te) intensief beheer heeft gezorgd voor het afvoeren van P, Ca, K en Mg uit het heidesysteem waardoor dit nog verder werd verarmd tegen een weer langzaam toenemende N beschikbaarheid.
- Door scheve N/P-verhoudingen en ongunstige buffering vaak verlies aan soorten (zowel planten als dieren)
- Hoge ammoniumconcentraties in heide- en (hei)schrale grasland bodems
- Bij droogte kunnen grote hoeveelheden stikstof vrijkomen uit oude heidebodems
- Lage basenverzadiging, lage pH en ongunstige verhouding tussen beschikbaar aluminium en calcium in de bodem van zowel heide als (hei)schrale graslanden;
- Verlies van kenmerkende plant- en diersoorten uit het (hei)schrale milieu

Stuifzanden:

- Directe NH_x-toxiciteit korstmossen
- Verminderde dynamiek

De laatste jaren zijn in het kader van OBN verschillende herstelmaatregelen getest om bovenstaande knelpunten (deels) op te heffen.

4.2 Herstelmaatregelen bossen

Langetermijneffecten van bosbekalking en -bemesting: De Harderwijkerproef (Bobbink et al., 2018).

Opzet onderzoek:

In het droog zandlandschap van Nederland is sprake van groot verlies van biodiversiteit. Eén van de hoofdoorzaken hiervan is de verzurende én vermestende werking van atmosferische depositie. Bosbekalking en mineralengiften (steenmeel) worden overwogen als maatregelen voor natuurherstel. Om inzicht te krijgen in de langetermijneffecten hiervan zijn op initiatief van het OBN-DT Droog Zandlandschap in 2017-2018 opnieuw metingen verricht aan de Harderwijkerveldproef. Deze proef, opgestart in 1985 en '86, is de enige goed opgezette bosbemestingsproef en -bekalkingsproef die nu nog beschikbaar is. Onderzocht is (1) of er

effecten zijn op de vegetatie- en paddenstoelensamenstelling, (2) of er effecten zijn opgetreden in het humusprofiel, (3) of er veranderingen waarneembaar zijn in bodem-pH en bodemchemie, (4) of er een respons is opgetreden in de bodemfauna en (5) of er aanwijzingen zijn dat de behandelingen nog effect hebben op de huidige plantkwaliteit. Het betrof een beperkt onderzoek in het kader van OBN-vervolgmonitoring, met een focus op de kalktrappenproef (met resp. 0, 3, 6, 9, 18 ton CaCO₃/ha) en op P-, P_{Ca}- en P_K-giften (factorieel deel).

Uitkomsten:

De effecten van de kalktrappenproef zijn na ruim 30 jaar nog steeds duidelijk zichtbaar in de vegetatiesamenstelling, bodemopbouw en -chemie en heeft ook implicaties voor de bodemfauna. Na bekalking is de afbraak efficiënter en de plantengroei meer uitbundig. Bij een kalkgift groter dan 3 ton/ha verandert het bos naar een onnatuurlijk, kalkrijk type. Lichte bekalking tot 3 ton/ha vermindert de negatieve effecten van de bodemverzuring, zonder dat de aard van het systeem sterk wordt aangetast. Onduidelijk zijn de effecten op de P-beschikbaarheid in het systeem. Het ontbreekt aan cruciale gegevens over P in de vegetatie en het verse strooisel. Er zijn vooralsnog na 30 jaar geen effecten waarneembaar in het factoriële deel van het experiment.

Toepasbaarheid Utrechtse Heuvelrug:

Als er sprake is van Ca-tekorten in het systeem en een ongunstige Al/Ca-ratio in de bodem, kan een kalkgift worden overwogen. Hierbij dient men voorzichtig te zijn voor overdosering. Tekorten aan P en K die werden gemeten in bomen worden hiermee waarschijnlijk niet of nauwelijks opgeheven.

Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstelmogelijkheden door steenmeeltoediening (De Vries et al., 2019).

Opzet onderzoek:

In een eikenbos in het nationale Park de Hoge Veluwe en in een eikenbos in het mastbos te Breda werden twee soorten steenmeel opgebracht in een dosering van 10 ton/ha. De proef werd ingezet in het najaar van 2015 en bestaat uit drie herhalingen in ieder bos, met de behandelingen Soilfeed, Eifelgold en een onbehandelde controle. Veranderingen in bodemchemie, bladchemie van de eiken, bodemfauna en micorrhyzaschimmels werden gevolgd. Doel van de steenmeeltoedieningen is het opheffen van K en Ca tekorten in de bomen, het verbeteren van de vitaliteit van de aanwezige eiken maar zonder verruiging van de ondergroei of negatieve effecten op het bodemleven zoals waargenomen in de Hardewijkerbosproef bij een te hoge kalk-dosering.

Uitkomsten:

Ondanks de relatief korte looptijd van drie groeiseizoenen werden grote positieve effecten op de bodemchemie gemeten, en dan voornamelijk in de bovenste 20 cm van de bodem (strooisel en minerale bodem). In de met steenmeel behandelde proefvlakken werd het adsorptiecomplex opgeladen met basen (hogere basenverzadiging), en nam de beschikbaarheid van kationen toe. Dit alles met een zeer kleine pH-toename. Ook in het blad werd een toename in basengehalten gemeten, met name na 3 jaar. Zo was er een significante toename in het kaliumgehalte in eikenblad op beide locaties en voor beide steenmelen. Calcium was significant hoger na een behandeling met Soilfeed op het nationale park de Hoge Veluwe en magnesium na een behandeling met Eifelgold in het Mastbos. Daarnaast nam het N-gehalte in het blad in de met steenmeel behandelde proefvlakken af! Verder werd er in de Hoge Veluwe, met een ernstig P-tekort, een toename van het P-gehalte na toediening van Eifelgold vastgesteld. In de met Soilfeed behandelde proefvlakken nam echter het Mg-en P-gehalte in het blad af, met name in het Mastbos. In deze opstand is echter geen sprake van een Mg of P tekort.

De toediening met steemeel heeft geen significant effect gehad op de (i) aantallen springstaarten en pissebedden, (ii) biomassa van schimmels en bacteriën en op de schimmel/bacterieverhouding, (iii) hoeveelheid ectomycorrhiza schimmels, (iv) het percentage met ectomycorrhiza bezette wortelpunten, en (v) potentiële N mineralisatie. De toediening van steemeel heeft echter wel geleid tot een significante (i) toename van regenwormen (beide locaties) en afname van miljoenpoten (Mastbos), (ii) toename in de hoeveelheid fijne wortels, echter zonder toename van ectomycorrhiza (iii) afname in het percentage NH_4 van de gemineraliseerde N ($\%\text{NH}_4$) en (iv) toename in de potentieel mineraliseerbare N. De toename van mineraliseerbare N wijst op meer gemakkelijk afbreekbare organische stof en betere omstandigheden voor het bodemleven, met name bacteriën en regenwormen. Deze toename kan samenhangen met de toename van de fijne wortels. De toename in de hoeveelheid fijne wortels is gunstig omdat dit de opname bevordert en dus de uitspoeling vermindert, terwijl de potentiële N mineralisatie niet is verhoogd. Of de nitrificatie is verhoogd is nog niet eenduidig vastgesteld. Als dit zo is betekent dit dat er meer risico is op nitraatuitspoeling en daarmee meer uitspoeling van basen en aluminium (verzuring). De mycorrhiza-bezetting was extreem laag op beide locaties. Dat is geen gezonde situatie voor een bosbodem.

Toepasbaarheid Utrechtse Heuvelrug:

Deze proef laat zien dat met steenmeeltoediening positieve veranderingen in bodem, blad en bodemleven worden waargenomen. In potentie zou met steenmeel (een deel) van de gemeten K- en Ca-tekorten in eiken kunnen worden teruggebracht. Ook werden er mogelijk negatieve effecten gesignaleerd, namelijk afname van de Miljoenpoten en lagere Mg – en P-gehalten in eikenblad in het Mastbos. Er werden geen duidelijke toenames in de bodem pH gemeten, wat in sterk verzuurde bossen wel wenselijk is. Drie jaar is echter nog veel te kort om van duidelijk herstel te mogen spreken. Deze proef wordt de komende jaren verder gevolgd. Op de Utrechtse heuvelrug kan steenmeel als proef-maatregel worden uitgetest indien er sprake is van duidelijke Ca, K en/of Mg gebreken in bomen, en er sprake is van bodemverzuring.

Verbetering strooiselafbraak 2022. Verbetering strooiselafbraak in twee experimenten door toediening van P, Steenmeel en enten met bodemfauna. (Bloem et al., 2022).

Opzet onderzoek:

In navolging van bovenstaande proef, werden in de met Soilfeed behandelde proefvlakken kleine vlakjes behandeld met P en werd er strooisel vanuit een redelijk functionerend bos opgebracht. Doel van dit onderzoek was het wegnemen van drempels die de strooiselafbraak zouden kunnen belemmeren. Drempels zijn een te lage bodembuffering, P-tekorten voor de bodemfauna en/of dispersie limitatie van bodemleven. In de onbehandelde controle-proefvlakken werden dezelfde behandelingen ingezet en gevolgd. Daarnaast werd het bodemleven gemeten in eikenbossen met een verschillende bodembuffering, maar wel allen gelegen op zandgronden (correlatieve studie).

Uitkomsten:

Veranderingen in de P-beschikbaarheid hadden geen effect op de aantallen microarthropoden en de hoeveelheden van de verschillende voedselgilden. Voor het beheer betekent dit dat er op dit moment geen aanwijzingen zijn dat het toedienen van fosfor effectief is voor het stimuleren van de strooiselafbraak. Daarnaast geven deze resultaten een indicatie dat het toedienen van bufferstoffen in eikenbos, waarbij de P-beschikbaarheid in de bodem lijkt af te nemen, binnen deze onderzoekstermijn niet direct schadelijk is voor de microarthropoden gemeenschap. Kanttekening hierbij is dat het mogelijk is dat de P-limitatie niet werd opgeheven met deze P-gift door een lage oplosbaarheid, of dat de microarthropoden gemeenschap in alle onderzochte terreinen slecht ontwikkeld was

Uit deze studie kwamen geen aanwijzingen dat het toevoegen van strooisel uit een meer natuurlijk oud eikenbos (enten) effect had op de totale aantallen microarthropoden en de aantallen van de voedselgilden zoals de fungivoren. Voor beheer betekent dit dat het op dit moment niet kansrijk wordt geacht om de strooiselafbraak te stimuleren door het enten met bodemfauna op een intacte bodem met een bestaande strooisellaag.

Steenmeel verhoogde de pH en de basenverzadiging, het meeste in de strooisellaag waarbij de aantallen fungivoren 50% hoger waren. Dit is een aanzienlijk effect en lijkt veelbelovend voor een verhoogde activiteit van schimmels en mogelijk ook bacteriën. Dit kan leiden tot snellere strooiselafbraak en uiteindelijk een hogere beschikbaarheid van nutriënten voor de planten. Uit de experimenten in Mastbos en Veluwe bleek dat de hoeveelheid fungivore grazers in het strooisel duidelijk toenam vanaf een pH van 4,3. Toch werden er geen hogere totale aantallen microarthropoden gevonden, omdat de toename van de fungivoren gepaard ging met een afname van het aantal omnivoren.

Toepasbaarheid Utrechtse Heuvelrug:

Voor beheer betekenen deze resultaten dat het verhogen van de bodem pH in situaties waarbij de pH-water lager is dan 4,3, waarschijnlijk positieve effecten heeft op het bodemleven. Dit pleit voor meer onderzoek naar combinatie-toepassingen waarbij wordt getracht de bodem pH nog wat verder te verhogen dan nu met deze steenmeeltoepassingen wordt gedaan. Er is grote behoefte aan meer inzicht in drempelwaarden, zowel aan de onderkant (remming van het bodemleven) als aan de bovenkant (overdosering waarbij negatieve effecten optreden), en aan langere-termijn onderzoeken naar steenmeel en/of bekalking in de bossen. Het op (kleine schaal) toepassen van bufferherstelmaatregelen waarbij de effecten op bodemchemie en bodemleven goed worden gevolgd, lijkt daarbij een waardevol middel om meer inzicht te verkrijgen.

4.3 Herstelmaatregelen heide, stuifzand(heide) en (hei)schrale graslanden

4.3.1 Plaggen en bekalken

Lange-termijn effecten van herstelbeheer in heide en heischrale graslanden 2004, Rapport, 2000-2005. (De Graaf et al., 2004).

Opzet en doel onderzoek:

Heischrale graslanden, heide en rivierduingraslanden zijn kwetsbare ecosystemen. Veel van deze ecosystemen zijn als gevolg van verzuring, vermesting en/of verdroging in kwaliteit achteruitgegaan. Om dit tij te keren zijn in een aantal terreinen in de periode 1989 – 1991 herstelmaatregelen uitgevoerd. Dit is gebeurd in het kader van de regeling Effectgerichte Maatregelen in natuurterreinen, die sinds 1995 is opgenomen in het Overlevingsplan Bos en Natuur. De ontwikkeling van vegetatie en bodem van deze zogeheten referentieprojecten is tot 1996 nauwlettend gevolgd. De vegetatieontwikkeling in deze ecosystemen verloopt echter traag. Daarom is in 2001 het onderzoek in bijna alle terreinen herhaald.

In totaal zijn twaalf referentieprojecten in 2001 opnieuw bezocht. De projecten zijn onderverdeeld in · Droge heischrale graslanden. · Droge en natte, zure, soortenarme heide. De herstelmaatregelen (Effect Gerichte Maatregelen, EGM) die zijn genomen grijpen uitdrukkelijk aan op de oorzaak van achteruitgang. Dit heeft geleid tot de volgende maatregelen: · Ter bestrijding van vermesting: plaggen. · Ter bestrijding van verzuring: bekalken (tussen de 1000 en 2000 kg/ha).

Uitkomsten:

Effectgerichte maatregelen werken, dus gebruik ze. Dit rapport wijst uit dat het positieve effect van de herstelmaatregelen over een lange periode voortduurt. Negatieve bijwerkingen zijn nauwelijks geconstateerd. Neem de herstelmaatregelen zodra het terrein tekenen van achteruitgang vertoont. Dit geldt met name in terreinen die nog een soortenrijke flora kennen. De aanwezigheid van vitaal zaad in de zaadvoorraad of in de directe omgeving van het terrein zijn cruciaal voor de vestiging van veel plantensoorten (zie hoofdstuk 3 en 4).

Toepasbaarheid Utrechtse Heuvelrug:

De hier aanbevolen herstelmaatregelen zijn zeker ook van toepassing op de Utrechtse Heuvelrug.

4.3.2 Bufferherstel met steenmeel

Herstel van heide door middel van slow release mineralengift – resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek. (Weijters et al., 2018)

Opzet en doel onderzoek:

In de winter van 2014/2015 zijn drie experimenten met elk vijf herhalingen ("replica's") ingezet met als doel de effectiviteit van verschillende gemalen gesteente uit te testen als maatregel voor bufferherstel van heide. De proefvlakken lagen in het Nationale park de Hoge Veluwe en op de Strabrechtse heide. Steenmeel (Biolit, Soilfeed, beiden 10 ton/ha) en dolomietenkalk (4 ton/ha) werden eenmalig opgebracht op bestaande, niet geplagde droge heidevegetaties. Ontwikkelingen in bodem, vegetatie en fauna werden gevolgd. De laatste metingen werden in 2017 uitgevoerd.

Uitkomsten:

De twee opgebrachte steenmelen hebben voor positieve effecten in de bodem, vegetatiechemie of voor de fauna gezorgd, al is de reactiesnelheid van de steenmelen niet even groot. Dit alles binnen een tijdsbestek van drie jaar, waardoor het toedienen van steenmeel als herstelmaatregel kansrijk is. De positieve, maar ook mogelijk negatieve, kanten van Dolokaltoediening zonder plaggen komen ook naar voren: snel herstel van de bodembuffering, sterke afname van vrij Al en toename van basenverzadiging zijn duidelijk positieve effecten. Soms leidt het echter tot een verlaging van de P-beschikbaarheid of neemt Ca en Mg beschikbaarheid te sterk toe. Waarschijnlijk als gevolg van deze "schokeffecten" werden in die gevallen negatieve effecten op de fauna gevonden. De mogelijk negatieve effecten van vier ton Dolokal per ha zijn in dit onderzoek alleen in de natte heide-onderzoek locatie vastgesteld, waar sprake is van een lage CEC en relatief weinig organische stof.

Inmiddels wordt de monitoring van deze proeven voortgezet, en uit gegevens uit 2020 blijkt dat ook de soortenrijkdom in de proefvlakken waar steenmeel is opgebracht, duidelijk toeneemt.

Toepasbaarheid Utrechtse Heuvelrug

Deze gegevens zijn volledig toepasbaar op droge heideterreinen in de Utrechtse heuvelrug. Steenmeeltoepassing kan, na een goed vooronderzoek, op experimentele schaal worden toegepast. Inmiddels wordt de monitoring van deze proeven voortgezet.

Steenmeeltoepassing ten behoeve van herstel biodiversiteit in Het nationale park de Hoge Veluwe. Eindrapport monitoring 2015-2019. (Vogels et al., 2020)

Opzet en doel onderzoek:

In navolging op het OBN-heideherstelproject is in het Nationale park de Hoge Veluwe (NPHV) een vervolgprouf opgezet met gepaarde hectareblokken waarvan steeds een blok met 10 ton soilfeed/ha is behandeld in 2016. Proefvlakken liggen in Droge heide (H4030), Droog

heischraal grasland (H6230), Stuifzandheide (H2310) en Stuifzand (H2330). Veranderingen in de bodemchemie, bodemmesofauna, vegetatieontwikkeling, sprinkhanen, dagvlinders, reptielen en broedvogels werden gevolgd.

Uitkomsten:

De resultaten van dit steenmeelonderzoek zijn grotendeels in lijn met de parallel verlopende onderzoeken in vergelijkbare habitats (Weijters et al., 2018) en in zure eikenbossen (de Vries et al., 2019). Soilfeed heeft op de korte termijn een aantoonbaar positief effect op de concentraties basische kationen in de bodem, en ten dele ook op de gehalten in planten. De onderzoeken gericht op het vaststellen van mogelijke negatieve effecten (versnelde mineralisatie, verzuuring, sterke veranderingen in N en P beschikbaarheid, bodemmesofauna) geven geen van allen aanleiding tot terughoudendheid in het gebruik, al zijn negatieve effecten op bodem-functioneren niet helemaal uit te sluiten. Van versnelde verzuuring kan het meest stellig worden geconcludeerd dat hier op de korte termijn geen sprake van is. Wel lijkt het steenmeel soms te leiden tot een versterkte P-vastlegging in de bodem. De effecten die gevonden worden op biota concentreren zich opvallend genoeg in de van nature meest voedselarme en droge habitats, maar alléén in interactie met de opgetreden droogteperiode. In Stuifzand (H2330) en Stuifzandheide (H2310) heeft het toedienen van steenmeel er toe geleid dat het massaal afsterven van de vegetatie hier gedeeltelijk werd voorkomen. Daar waar in de controle onderzoeksplots een ineenstorting van de vegetatie en bijgevolg karakteristieke fauna had plaatsgevonden, was dit effect beduidend minder sterk tot niet meetbaar in de met steenmeel behandelde plots. Het effect van steenmeel op het ecosysteem functioneren van deze habitats kan worden gezien als gunstig, als aangenomen wordt dat ook in deze systemen er sprake is van ophoping van ammonium, toegenomen uitspoeling van kationen en bijgevolg verdwijnen van karakteristieke soorten ten voordele van de invasieve exoot Grijs kronkelsteeltje.

Toepasbaarheid:

Toepasbaar op de Utrechtse heuvelrug, na vooronderzoek en op experimentele schaal.

4.3.3 Fosfaattoediening na plaggen

OBN Fosfaattoediening Heide. Drie onderzoeksfases, beginnend in 2012, vervolg in 2015 en 2019. Vogels et al., 2016, 2017 en 2019.

Opzet en doel onderzoek:

In de periode 2012-2015 is in het Nationale Park de Hoge Veluwe een door OBN Droog Zandlandschap gefinancierd onderzoek (OBN 207-DZ) uitgevoerd dat gericht was op het begrijpen van de invloed van P-tekorten en bodemverzuring op het systeem functioneren van geplagde droge heidevegetaties. Doel was om experimenteel na te gaan of er door plagbeheer en/of verzuring fosfor-tekorten optreden die bijdragen aan een lage plantkwaliteit en bijgevolg lage voedingswaarde voor fauna (Vogels et al., 2016, Vogels et al., 2017a). In het kader van dit onderzoek is in het Nationale Park de Hoge Veluwe een experiment ingericht in toen recent geplagde droge heidevegetatie. In die plagoppervlakken zijn 5 plots ingericht met steeds vier behandelingen (P-additie, verzuringsbestrijding door middel van 2 ton/ha dolokal-additie, combinatie van beide of geen additie als controle). De onderzoeksperiode bestreek de eerste 3 jaar na inzetten van de behandelingen. Belangrijkste bevindingen van dit onderzoek waren dat (1) P-additie leidt tot een verbeterde ei-productie van de modelsoort *Gryllus campestris* (bevestiging van de P-hypothese), (2) dat dolokal additie een sterk negatief effect had op de ei-productie van dezelfde soort en op de activiteit van loopkevers (onverwacht negatief effect), en (3) dat de kieming en initiële vestiging van karakteristieke plantensoorten door zowel P als dolokal additie significant verbeterde (Vogels et al., 2016, Vogels et al., 2017a, Vogels et al., in press). Spin-off onderzoek in deze proeflocaties toonde ook aan dat de activiteit van bodemmesofauna gelimiteerd was door P-

beschikbaarheid, met een aanvullende limiterende rol van bekalking hierop (Siepel et al., 2018).

Uitkomsten:

Plagbeheer in vergraste droge heide zonder vervolgbeheer (bufferherstel, aanvullen van P tekorten) heeft slechts een beperkte succesratio, met een handvol terug kerende karakteristieke soorten. De zeer lage basenverzadiging zoals in dit monitoringsjaar gemeten in de niet bekalkte proefvlakken geeft aan dat bodemverzuring een belangrijk knelpunt is dat niet met plagbeheer wordt opgelost. De trends met betrekking tot P beschikbaarheid in de niet met P behandelde bodems geven ook aan dat door plaggen er een versterking van P limitatie wordt gerealiseerd, wat niet bevorderlijk is voor de voedselkwaliteit van de vegetatie. De resultaten uit deze en eerdere onderzoeksrapporten dienen vooral gezien te worden als een onderzoek naar de oorzaken van dit beperkte herstel, en niet als een onderzoek naar een nieuwe experimentele maatregel. Wij bevelen dus niet aan om grootschalig plagbeheer voort te zetten met P additie en bekalken als verplicht vervolgbeheer, maar om beheervormen te kiezen die de organische laag (grotendeels) intact laat gecombineerd met maatregelen gericht op bufferherstel. Te denken valt aan (druk)begrazing, herhaaldelijk maaien of chopperen. Gezien de nadelen die kleven aan het gebruik van snelwerkend dolokal (zie deze en eerdere genoemde rapportages) wordt aanbevolen om bij grootschalige inzet van verzuringsbestrijding te kiezen voor een minder snelwerkend verzuringsbestrijdend product.

Toepasbaarheid:

Het plaggen van droge heidevegetaties in het verleden zorgt nu voor extra problemen bij het herstel van de leefgemeenschap van de droge heide. De beheergeschiedenis van de heidevelden op de Utrechtse heuvelrug moet uitwijzen in welke mate dit onderzoek daar van toepassing is.

4.4 Conclusies onderzoeken herstelmaatregelen Veluwe

De effecten van verhoogde N-depositie werken op veel niveaus in het droog zandlandschap door. Het verwijderen van N uit N-verrijkte terreinen gaat niet zonder daarbij de tekorten aan Ca, K, Mg, Spore-elementen en P te vergroten. Kleinschalig plaggen, vaak gecombineerd met bekalken, blijkt langdurig effectief om de vegetatie in heide en heischrale graslanden te herstellen, maar kan tegelijkertijd ook problemen voor de fauna veroorzaken door het afvoeren van de andere voedingsstoffen.

Bekalken zonder plaggen blijkt effectief te zijn om de beschikbaarheid van Ca te vergroten en de beschikbaarheid van aluminium te verlagen. Met bekalken worden echter andere elementen zoals K en sporenelementen niet aangevoerd, en kan de beschikbaarheid van P afnemen, bijvoorbeeld als er weinig organische stof voorhanden is. Daarnaast kan bekalking, bij een te hoge dosering, leiden tot sterke verzuuring. Bekalking lost, kortom, slechts een deel van het verzuringsprobleem op en de precieze aard van het buffer-probleem moet in kaart worden gebracht om te kunnen besluiten of en in welke mate bekalking toepasbaar of wenselijk is. Bekalking dient dus met zorg en terughoudendheid ingezet te worden. Tegelijkertijd blijkt ook zeer duidelijk dat tijdig ingrijpen (bijvoorbeeld als er nog restpopulaties aanwezig zijn), belangrijk is. Spontane terugkeer van soorten na abiotisch herstel is in het sterk versnipperde landschap van Nederland geen zekerheid. Daarom is de laatste 8 jaar geïnvesteerd in het ontwikkelen van een bufferherstelmaatregel die grootschalig gebruikt kan worden in droge heide, heischrale graslanden, bossen en stuifzand(heides) met een lager risico op negatieve bijeffecten dan kalk. Steenmeel (gemalen silicaatmineralen) blijkt hiervoor een hoopvol product. 6 tot 8 jaar na toediening

blijkt dat er met silicaatsteenmeel nauwelijks tot geen negatieve effecten in bossen, heide, heischrale graslanden en stuifzand(heide) werden gevonden. Wel werd de bodembuffering verbeterd (soms erg weinig, soms aanzienlijk), kwamen er kruiden terug in de droge heide, nam de voedselkwaliteit van de vegetatie toe en werden tekorten aan K, Mg en Ca in blad van eiken minder. In stuifzand(heide) leek de vegetatie beter bestand tegen droogte, en was dominantie van Grijs kronkelsteeltje aanzienlijk minder dan in niet behandelde proefvlakken. Of steenmeel op termijn tot voldoende bufferherstel en herstel van voedselkwaliteit en calciumbeschikbaarheid voor fauna zal leiden is nog een grote vraag. In heischrale graslanden lijkt steenmeel vooralsnog op korte termijn tot weinig herstel te leiden, terwijl de urgentie om nog aanwezige restpopulaties te behouden zeer hoog is. Ook in bossen blijkt het bufferherstel nog klein, maar zijn er wel hoopvolle tekenen dat het bodemleven zich langzaam herstelt. Het combineren van kalkproducten met silicaatsteenmeel lijkt dan ook de logische vervolgstap, voor herstel van sterk verzuurde systemen waarbij naast gebreken aan Ca ook tekorten aan kalium en sporenelementen worden verwacht. Het combineren van schelpenkalk met silicaatsteenmeel wordt sinds kort uitgetest in o.a. de Ginkel. Een grote kennisvraag die op de Veluwe blijft bestaan, is of bufferherstel ook zal zorgen voor het verlagen van de N-beschikbaarheid in het droog zandlandschap. Alle hierboven genoemde maatregelen zijn in principe ook toepasbaar op de Utrechtse Heuvelrug. Maar zowel in de Veluwe als de Utrechtse heuvelrug blijft herstel maatwerk. Herstelmaatregelen beginnen met het vaststellen van knelpunten in het terrein, begrip van het functioneren van het terrein en formuleren van de beoogde doelstellingen. Vervolgens kan gekozen worden of- en zo ja welke -herstelmaatregel(en) worden uitgevoerd, kan een risico-afweging worden gemaakt en kan worden besloten op welke schaal maatregelen worden genomen.

5. Welke gegevens zouden op de Utrechtse Heuvelrug verzameld moeten worden?

5.1 Indeling in habitattypen

Voor het inschatten van de toepasbaarheid van onderzoek op de Veluwe voor de Utrechtse heuvelrug is het raadzaam de Utrechtse heuvelrug in te delen naar de Natura2000 habitattypen en leefgebieden. In de eerste plaats is dit omdat het onderzoek op de Veluwe (en elders in Natura2000 gebieden) (bijna) altijd gekoppeld is aan de habitattypen of leefgebieden. Vaak is ook min of meer bekend in welke mate de betreffende gebieden daadwerkelijk (nog) kwalificerend zijn op basis van vegetatiekenmerken. De inventarisatie hiervan op de Utrechtse heuvelrug levert direct al belangrijke kennis op om de kwaliteit van de bossen, heiden en stuifzanden te kunnen inschatten. Bijkomend voordeel is dat direct duidelijker wordt in welke mate de Utrechtse heuvelrug bijdraagt aan de landelijke instandhoudingsdoelstellingen voor de habitattypen. Voor onderzoekers wordt het gemakkelijker om de Utrechtse heuvelrug in onderzoek te betrekken, omdat niet eerst binnen grove typenaanduidingen gezocht moet worden naar stukken die kwalificeren als bepaalde habitattypen.

5.2 Bodem- en bladchemie

De bodemkwaliteit is van doorslaggevend belang om in te kunnen schatten waar welke problemen spelen op de Utrechtse heuvelrug. Tegelijkertijd kan op basis van bodemchemische bepalingen gedifferentieerd worden naar mate en type van aantasting, bijvoorbeeld of er ondanks verzuring (lage pH) nog wel redelijke hoeveelheden basische kationen in het systeem aanwezig zijn.

De bladchemie geeft weer hoe planten (vaak gemeten aan zomereik of beuk) het op hun standplaats doen. Gebreken in planten hoeven niet direct verbonden te zijn met een te lage beschikbaarheid van plantenvoedingsstoffen in het wortelbereik, maar kunnen bijvoorbeeld ook ontstaan door een verminderde opname (bijvoorbeeld in interactie met aluminium of verminderde activiteit van mycorrhizaschimmels).

Bodem- en bladchemiegegevens zijn ook van groot belang om richting te kunnen geven aan de keuze van herstelmaatregelen, als daar aanleiding voor is.

5.3 Biodiversiteit

In relatie tot de verzurings- en vermistingsproblematiek zijn zowel planten- als diersoorten als indicatoren te gebruiken. In gebieden waar verzuring en vermesting tegelijkertijd een grote impact hebben, dalen de floristische waarden sterk. Als de verzuring minder is (door aanrijking via grondwater of een grote buffercapaciteit van het moedermateriaal) kan vermesting tot verruiging leiden, bijvoorbeeld door brandnetels of bramen, met verdringing van andere plantensoorten als gevolg.

De calciumvoorziening van de fauna is een potentieel knelpunt in alle van nature zure ecosystemen. Populaties huisjesslakken zijn hierin essentieel voor een deel van de fauna, terwijl andere soorten ook gebruik kunnen maken van miljoenpoten en/of pissebedden. Bij steeds verdergaande verzuring nemen populaties van deze organismen (sterk) af; bij de keuze voor herstelmaatregelen kan rekening gehouden worden met de aanwezigheid van deze groepen of met de rol die ze vervullen (door bijvoorbeeld schelpgruis uit te strooien krijgt een aantal vogelsoorten een alternatieve calciumbron).

De kwaliteit van voedselplanten voor fauna kan worden ingeschat aan de hand van rupsentellingen of vraatscores. Er is hierbij echter sprake van een optimum: geringe stikstofdepositie kan vraatverhogend werken, maar als de effecten van verzuring en

vermesting te groot worden neemt de vraat door vlinderrupsen sterk af. Het meten van de rupsen (-vraat) kan helpen bij inschatten van de kwaliteit van heide- en bosgebieden voor de fauna. Hierin kan grote jaarlijkse variatie optreden, dus een jaarlijkse monitoring is raadzaam.

In relatie tot de monitoring van herstelmaatregelen is onderzoek aan bodemfauna zeer waardevol gebleken. Het meenemen van overige bodembiota heeft ook een hoge potentie, maar dit zit op dit moment nog meer in de onderzoeksfase.

5.4 Meetnet

In heel Nederland is er een gebrek aan structurele meetgegevens in natuur. Om zowel de huidige situatie in kaart te brengen als de ontwikkelingen te kunnen monitoren, is het aan te bevelen om bovenstaande aanbevelingen onder te brengen in een meetnet voor de Utrechtse heuvelrug. Een meetnet wordt ingericht met permanente meetlocaties in verschillende vegetatie/beheertypen. Dit meetnet kan dan op vaste tijden (jaarlijks, vijfjaarlijks....) gevolgd worden waarna verbeteringen (als gevolg van de beoogde N-daling) of huidige en eventuele toekomstige knelpunten kunnen worden vastgesteld. Extra voordeel van een dergelijk meetnet is dat men al in een eerder stadium kan overwegen in te grijpen, nog voordat er kenmerkende soorten zijn verdwenen!

5.5 Waterkwaliteit (zie bijlage 1)

De Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe krijgen beiden tenminste een dubbele dosis stikstof toegediend dan ze kunnen verteren. Ook de zure en zwak gebufferde habitattypen van beiden gebieden komen overeen en zullen bij de huidige depositie niet leiden tot herstel, maar eerder tot verdere achteruitgang. De gegevens van de oppervlaktewaterkwaliteit en de bijbehorende biota zijn hoogstwaarschijnlijk toereikend om een ruimtelijk beeld te krijgen van de plaatselijke differentiatie binnen de habitattypen op de UH. De gegevens van het grondwater zijn voor deze studie vermoedelijk minder relevant.

6. Literatuur

Bijlsma, R.J., S.P.J. van Delft, R. Loeb en R. Bobbink 2020. Kansen voor oude droge heide in het heidelandschap. Rapport nummer 2020/OBN240-DZ, VBNE, Driebergen.

Bloem, J., van den Berg, L., Verbaarschot, E., Dimmers, W., Polling, M., de Groot, A., Laros, I., de Jong, A., Nyssen, B., Bobbink, R., & Weijters, M. (2022). Verbetering strooiselafbraak. (o+bn; No. OBN-2017-103-DZ). VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren.

Bobbink, R., G. van Dijk, E. Remke & H. Tomassen (2022). Herstelbaarheid van door stikstofdepositie aangetaste Natura 2000-habitattypen: een overzicht. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer RP-21.117.21.95.

Bobbink, R. (2021). Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer RP-20.135.21.35.

Bobbink, R., A. van den Burg, E. Brouwer, B. van de Riet & H. Siepel (2018). Langetermijneffecten van bosbekalking en – bemesting: de Harderwijkerproef. Monitoring OBN-17-DZ. VBNE, Driebergen.

Bobbink, R., Siepel, H., Vogels, J., en Weijters, M. (2019). Herstel van Oude eikenbossen: kennishiaten, onderzoek en verkenning van maatregelen. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen. Rapportnummer: RP-18.082.19.25

Graaf, M.C.C. de, P.J.M. Verbeek, S.A. Robat, R. Bobbink, J.G.M. Roelofs, A.A.M. de Goeij & M.C. Scherpenisse, 2004. Lange termijn effecten van herstelbeheer in heide en heischrale graslanden. Ede EC/LNV OBN Rapport

Nijssen, M., M.J.P.M. Riksen, L. Sparrius, L. Kuiters, A. Kooiman, R.J. Bijlsma, P. Jungerius, A. van den Burg, H. van Dobben, R. Ketner-Oostra, C. van Swaay, C. van Turnhout, R. de Waal 2011. Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van stuifzanden; OBN stuifzandonderzoek 2006-2010. Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Rapport nr. 2011/OBN144-DZ, Den Haag, 2011

Nijssen, M. J. Bouwman, M. Weijters, R. Bobbink, J. Noordijk, B. de Wit, H. Sierdsma, E.O. Colijn & Th. Heijerman, 2020. Biodiversiteit en duurzaamheid van oude bosreservaten. Rapport Stichting Bargerveen, B-WARE, EIS-Nederland, Kroondomein het Loo en Sovon Vogelonderzoek Nederland.

Siepel, H., Vogels, J., Bobbink, R., Bijlsma, R. J., Jongejans, E., de Waal, R., & Weijters, M. (2018). Continuous and cumulative acidification and N deposition induce P limitation of the micro-arthropod soil fauna of mineral-poor dry heathlands. *Soil Biology and Biochemistry*, 119, 128-134. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.025>

Sparrius L.B. en M.J.P.M. Riksen, 2019. Evaluatie van elf jaar stuifzandbeheer op de Veluwe 2007-2018. BLWG-rapport 23. Uitgave BLWG & Wageningen UR.

Van den Burg, A. 2017. Rammelende eieren en brekebenen bij de koolmees: verzuring terug bij af? *Vakblad Natuur Bos Landschap* 136:3-8.

Van den Burg, A. 2019. Schelpkalk als oplossing voor gebroken pootjes bij bosvogels; Praktijkproef geeft duidelijke resultaten. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 157:26-30.

Van den Burg, A. 2021. Het verdwijnen en verschijnen van calciumgebrek bij zangvogels. Vakblad Natuur, Bos, Landschap 180:28-31.

Van den Burg, A. B., A. Dees, T. Huigens, R. J. Bijlsma, and R. W. de Waal. 2014. Voedselkwaliteit en biodiversiteit in bossen van de hoge zandgronden. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.

De Vries, W., M.J. Weijters, J.J. de Jong, S.P.J. van Delft, J. Bloem, A. van den Burg, G.A. van Duinen, E. Verbaarschot & R. Bobbink (2019). Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstelmogelijkheden door steenmeeltoediening. Rapport OBN229-DZ. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen.

Vogels, J.J., E. Verbaarschot, R. Loeb, M. Weijters, R. Bobbink, M.C. Scherpenisse, P.J.M. Verbeek & V. de Jong. (2020). Steenmeeltoepassing ten behoeve van herstel biodiversiteit in Het Nationale Park De Hoge Veluwe. Stichting Bargerveen, B-WARE, BodemBergsma, Natuurbalans-Limes Divergens. Nijmegen, Oktober 2020.

Vogels, J., A. Van den Burg, E. Remke, and H. Siepel. 2011. Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen - Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen (2006-2010). DKI-EL&I, Den Haag.

Vogels, J. J., W. C. E. P. Verberk, L. P. M. Lamers & H. Siepel 2017. Can changes in soil biochemistry and plant stoichiometry explain loss of animal diversity of heathlands? Biological conservation 212, Part B:432-447.

Vogels, J. J., M. Weijters, R. J. Bijlsma, R. W. de Waal, R. Bobbink & H. Siepel 2016. Fosfaattoevoeging Heide. VBNE, Driebergen, 127 pag.

Vogels, J.J., R-J. Bijlsma R. Bobbink E. Verbaarschot (2017). Monitoring OBN onderzoek "fosfaattoevoeging heide". VBNE, Driebergen, 31 pag.

Vogels, J.J. & Weijters, M.J. 2019. Monitoring fosfaattoevoeging heide. Effecten zeven jaar na inzet experiment. VBNE, Driebergen.

Weijters, M., R. Bobbink, E. Verbaarschot, B. van de Riet, J. Vogels, H. Bergsma & H. Siepel (2018). Herstel van heide door middel van slow release mineralengift – resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek. OBN222- DZ. VBNE, Driebergen.

Zee, F.F. van der, R. Bobbink, R. Loeb, M.F. Wallis de Vries, J.G.B. Oostermeijer, S.H. Luijten en M. de Graaf. 2017. Naar een Actieplan Heischrale graslanden; Hoe behouden en herstellen we heischrale graslanden in Nederland? Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2812. 136 blz.; 34 fig.; 10 tab.; 63 ref.

Bijlage

Invloed van stikstof op bodem- en waterkwaliteit op de Utrechtse Heuvelrug, Hydrologisch adviesbureau Klink

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.