



Bosgroep Zuid Nederland



voor systeemgericht natuurherstel



Effecten van steenmeeltoediening op miljoenpoten in zure bossen

Eindrapport

Joost Vogels

Maike de Graaf

COLOFON

Titel: Effecten van steenmeeltoediening op miljoenpoten in zure bossen
Kenmerk: Eindrapport
Auteurs: J.J. Vogels & M.C.C. de Graaf
Foto voorkant: Joost Vogels

Stichting Bargerveen | Nijmegen | Oktober 2025

www.stichtingbargerveen.nl | www.linkedin.com/company/stichting-bargerveen



Inhoudsopgave

1	Introductie.....	3
1.1	Aanleiding.....	3
1.1.1	Verzuring van Noord-Brabantse bossen.....	3
1.1.2	Herstelmaatregelen in Noord-Brabantse bossen.....	3
1.2	Miljoenpoten als aandachtsgroep.....	4
1.2.1	Effect van bodemverzuring op miljoenpoten.....	4
1.2.2	Miljoenpoten en steenmeeltoediening.....	4
2	Aanpak.....	7
2.1	Veldstudie.....	7
2.2	Beschrijving van de PQ's.....	7
2.2.1	Maatregelen.....	8
2.3	Biochemische bodemanalysen.....	8
2.4	Bemonstering van miljoenpoten.....	8
2.5	Overlevingsexperiment.....	9
2.5.1	Gekozen soort.....	9
2.5.2	Verzamelen van miljoenpoten en voedselsubstraat.....	9
2.5.3	Vorbereiding van experimentele opstelling.....	10
2.5.4	Gecontroleerde opstelling.....	10
2.5.5	Registratie van gewicht en overleving van miljoenpoten.....	11
2.6	Gegevensanalyse en presentatie.....	11
3	Resultaten.....	12
3.1	Bodemchemie in de FH laag.....	12
3.1.1	Bosbodem onder Grove den en Amerikaanse vogelkers.....	12
3.1.2	Effecten van maatregelen.....	12
3.2	Veldrespons miljoenpoten in bos-experimenten.....	15
3.2.1	Overzicht van de vangsten.....	15
3.2.2	Verschillen in miljoenpoot vangsten tussen PQ's.....	16
3.3	Overlevingsexperiment.....	17
3.3.1	Visuele waarnemingen van effecten van steenmeel op miljoenpoten.....	17
3.3.2	Gewichtsverloop.....	18

3.3.3	Overleving	19
4	Discussie	22
4.1	De veldsituatie	22
4.1.1	Groei en overleving van de aanplant rijke strooiselsoorten.....	22
4.1.2	Bodemchemische condities in relatie tot miljoenpoten.....	22
4.1.3	Effecten van steenmeel op de overleving van de Grote platrug.....	23
4.1.4	Betekenis voor beheer.....	24
5	Referenties	27
6	Bijlagen.....	30
6.1	Overzicht van de PQ's die in dit project zijn onderzocht	30
6.2	Aanplantschema rijk strooiselsoorten	31
6.3	Enkele foto's genomen in de PQ's ten tijde van bemonstering	32
6.4	Model resultaten miljoenpoot soortenrijkdom en dichteden in veldstudie	33
6.5	Model resultaten gewichtsverloop miljoenpoten in experiment.....	34
6.6	Modelresultaten survival analyse.....	35
6.7	Grafieken miljoenpoot en pissebedden respons uit de Vries <i>et al</i> , 2019	35

1 Introductie

1.1 Aanleiding

1.1.1 Verzuring van Noord-Brabantse bossen

Veel droge Noord-Brabantse bossen zijn in de eerste helft van de 20^e eeuw aangelegd op heidebodems. Als gevolg van het bosbeheer en gebruik (eenzijdige boomsoortkeuze, strooiselroof en overexploitatie) en atmosferische depositie van zwavel en stikstof zijn de bosbodems verder verzuurd (Augusto et al., 2002, Nyssen & van den Berg, 2018). Veel van de Brabantse bossen hebben een bodem-pH_{H₂O} tussen 3 en 4. Onder deze omstandigheden ontstaat een onbalans in de nutriënten- en mineralenhuishouding in het bosecosysteem: er is een overschot aan stikstof en aluminium en een tekort aan basische kationen als Ca, K, Mg en sommige sporenelementen (Desie et al., 2020b). Als gevolg hiervan vermindert de vitaliteit van bomen, neemt de biodiversiteit in flora en fauna af en verloopt afbraak van organische stof trager (zie ook Diekmann & Falkengren-Grerup, 2002, Falkengren-Grerup & Schöttelndreier, 2004, van der Burg et al., 2014). Deze processen dragen bij aan de achteruitgang van de prioritaire soorten in het Brabants bos.

1.1.2 Herstelmaatregelen in Noord-Brabantse bossen

Ten behoeve van het herstel van de biodiversiteit neemt Bosgroep Zuid Nederland diverse maatregelen in droge bossen. Het uitstrooien van steenmeel is daar één van en richt zich op het herstel van de mineralenvoorziening in de bodem door uitgespoelde mineralen als calcium, magnesium, kalium en sporenelementen terug te brengen in de uitgeloopte en verweerde bodem. Inmiddels is aangetoond dat dit leidt tot een gedeeltelijk herstel van de balans van elementaire nutriënten in de vegetatie (Sitters et al., 2025), waardoor het toedienen van steenmeel is opgenomen op de maatregelenkaart. Er bestaat echter nog onzekerheid over de mate waarin het steenmeel zuur op de langere termijn neutraliseert, en over de invloed die het steenmeel uitoefent op het bodemleven is nog weinig bekend.

In 2019 werd in de verzuurde Grove dennenbossen van Noord-Brabant een experiment opgezet om verschillende methoden van bosrevitalisering te toetsen: het aanbrengen van steenmeel en de aanplant van zogeheten rijk strooiselsoorten, boomsoorten als Winterlinde, Haagbeuk, Gewone esdoorn, Fladderiep en Hazelaar (van den Berg & Sauren, 2021). Deze boomsoorten hebben makkelijker verteerbaar blad dan bijvoorbeeld Grove den en Zomereik, en kunnen fungeren als nutriëntenpomp (Desie et al., 2020a, Desie et al., 2020b). Het beoogde effect van beide methodes verloopt via de verbetering van de nutriëntenhuishouding in de toplaag van de bodem. Een betere nutriëntenvoorziening van zowel de strooisellaag (FH) en A-horizont, leidt naar verwachting tot betere opname van deze elementen door bomen en planten, een verbeterde boomvitaliteit, meer elementen in het afgevallen blad en vervolgens een hersteld bodemleven dat zorgt voor herstel van deze nutriëntencycli in de toplaag van de bodem.

Revitalisering van de bossen via steenmeel en aanplant van rijk strooisel is een kwestie van de lange adem. Daarom is in 2019 een praktijkexperiment opgezet in Brabantse bossen om het verloop van bosherstel en onderliggende processen te monitoren. Een deel van de PQ's die in dit experiment zijn aangelegd en beschreven is gebruikt voor het onderhavige onderzoek.

1.2 Miljoenpoten als aandachtsgroep

1.2.1 Effect van bodemverzuring op miljoenpoten

Miljoenpoten vervullen een belangrijke functie in de strooiselafbraak en nutriëntenkringloop van boscosecosystemen. Ze maken het ruwe strooisel fijner wat op de langere termijn afbraak door schimmels en bacteriën vergemakkelijkt, en versnellen de decompositie op de korte termijn door het bevorderen van bacteriële afbraak over schimmelaafbraak (Cárcamo et al., 2000). Daarom is het van belang om zeker te weten dat er geen sterk negatieve effecten van het steenmeel op deze groep optreedt. De abundantie en samenstelling van miljoenpoten gemeenschappen is in meerdere studies gekoppeld aan bodemparameters gerelateerd aan de bufferstatus van de bodem, zoals calciumgehalte en pH (Smith et al., 2006, Murphy et al., 2008, Stašiov et al., 2021). Daarnaast heeft de belangrijkste strooiselbron (d.w.z. dominante boomsoort; Stašiov et al., 2012) en daaraan gerelateerde stikstof-, secundaire metabolietengehalte invloed op de abundantie en samenstelling van de miljoenpotengemeenschap. Bodemchemische eigenschappen zijn echter ook vaak gecorreleerd met deze andere genoemde factoren en directe links met bodemzuurgraad en abundantie van miljoenpoten zijn dan ook moeilijk hard te maken. In de context van bodemverzuring werd in een langlopend experiment een afname van miljoenpoot abundanties en verminderde groei van miljoenpoten vastgesteld bij experimenteel geïnduceerde verzuring (Fowler, 2014), maar in studies naar experimentele bekalking van bossystemen bleken miljoenpoot abundanties niet te veranderen (Pabian et al., 2012, Fowler, 2014), wat suggereert dat een lage calciumbeschikbaarheid niet verantwoordelijk is voor de verlaagde abundanties bij lage pH. Binnen de context van de sterk zure bossen in Noord-Brabant, met een voor internationale begrippen uitzonderlijk hoge zuurgraad ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ beneden 4, pH_{NaCl} beneden 3, zie onder andere deze rapportage) is een verminderde abundantie van miljoenpoten als gevolg van directe zuurstress echter zeer aannemelijk.

1.2.2 Miljoenpoten en steenmeeltoediening

Steenmeel toediening heeft een positief effect op de pH van de bodem (de Vries et al., 2019, Weijters et al., 2023, Sitters et al., 2025, Verbaarschot et al., 2025a, Vogels et al., 2025) en kan mogelijk dus positieve effecten hebben op miljoenpoot abundanties in de bodem. Uit experimenteel onderzoek is echter een tegenovergestelde respons gevonden. In een eerder uitgevoerd pilotonderzoek naar de toepassing van steenmeel (de Vries et al., 2019) werd in het veld een afname in dichtheid van miljoenpoten vastgesteld bij toediening van steenmeel. Een hypothese voor de oorzaak achter de waargenomen afname van miljoenpoten is dat het steenmeel inwendige schade aan miljoenpoten kan toebrengen. Miljoenpoten voeden zich met detritus uit de L en F laag, en dat is ook de laag waarop het steenmeel wordt opgebracht. Miljoenpoten staan dus in direct contact met de steenmeel partikels die vaak ook klein genoeg zijn om tijdens het eten van detritus te worden meegegeten. Steenmeel bestaat uit recent tot fijn tot zeer fijn vermalen gesteentemineralen. Door de geringe leeftijd van het steenmeel zijn deze fragmenten nog nauwelijks verweerd en bezitten daardoor veel scherpe randen. Deze scherpe randen kunnen mogelijk leiden tot inwendige beschadigingen, en uiteindelijk verhoogde mortaliteit, wat een verklaring kan zijn voor de waargenomen afname.

De significant lagere dichtheid¹ van miljoenpoten bij toediening van de steenmeeltypen Eifelgold en Soilfeed in de bovengenoemde studie trad op in een relatief rijk bos met goed afbreekbaar strooisel, waar de dichtheid van miljoenpoten relatief hoog was. In hetzelfde onderzoek werd een parallel uitgevoerde studie in een verzuurd eikenbos op de Veluwe uitgevoerd waar deze afname niet werd vastgesteld, maar de dichtheden waren in alle behandelingen ook beduidend lager dan in het rijkere bostype. Het probleem van afnemende miljoenpoot populaties is mogelijk dus vooral een probleem wanneer er nog een populatie van enige omvang aanwezig is in de bosbodem. In een veel uitgebreider opgezet lopend onderzoek naar toediening van steenmeel in oude eikenbossen (Sitters et al., 2025) werd in het veld evenmin een negatief effect van steenmeeltoediening op miljoenpoten gevonden, en voor het toedienen van het steenmeeltype Soilfeed werd juist een bescheiden, maar significante toename gevonden.

Om vast te stellen of steenmeel een effect heeft op de overleving van miljoenpoten is recent een kortdurend experiment (6 weken) met de Knotskronkel (*Cylindroiulus punctatus*) uitgevoerd (Vogels & Geurts in Sitters et al., 2025). Uit dat experiment werd geen significant verhoogde sterfte gevonden bij toediening van verschillende doseringen steenmeel. Toch werd in dit experiment geen enkele sterfte vastgesteld bij de controle behandeling, terwijl in bijna alle steenmeelbehandelingen wel sterfte optrad. Op basis van die studie werd geconcludeerd dat de duur van dat experiment mogelijk te kort was om robuuste conclusies te kunnen trekken.

Samengevat is het vooralsnog niet goed duidelijk of, en in welke mate steenmeeltoediening schadelijk kan zijn voor de in de bodem aanwezige populaties van miljoenpoten, en of onder bepaalde omstandigheden de positieve effecten kunnen opwegen tegen de negatieve effecten.

In dit onderzoek hebben we ons daarom op twee onderzoeksvragen gericht:

- 1) Is er in het veld een significant effect van steenmeeltoediening op de abundantie en/of soortenrijkdom van miljoenpoten aantoonbaar in Noord-Brabantse dennenbossen op arme zandgrond?
 - a. Wat is de huidige abundantie en soortsamstelling van miljoenpoten?
 - b. Hoe verhoudt dit zich tot een bostype met beter afbreekbaar strooisel?
 - c. Hoe verhoudt zich dit tot een tegelijkertijd uitgevoerde studie in (verzuurde) oude eikenbossen op de Veluwe en ten opzichte van internationale studies?
- 2) Treedt er een verhoogde mortaliteit op bij miljoenpoten als ze in een omgeving met steenmeel gebracht worden?

¹ In de geciteerde studie is dichtheid bepaald door een vast oppervlak+volume van de LH-laag te verzamelen en het aantal miljoenpoten dat bemonsterd werd te tellen. Dit levert informatie op over dichtheden per volume-eenheden. In dit rapport is een andere methode gebruikt: potvalbemonstering. Potvallen vangen actief op de bodem verplaatsende ongewervelden. De vangkans is afhankelijk van de dichtheid (aantal individuen per oppervlakte eenheid), én de activiteit (afstand afgelegd per tijdseenheid), en noemen we daarom activiteitsdichtheid. Een directe vergelijking van de resultaten tussen beide methoden is daardoor niet mogelijk, behalve dan hogere absolute dichtheden doorgaans wel correleren met hogere gemeten activiteitsdichtheden.

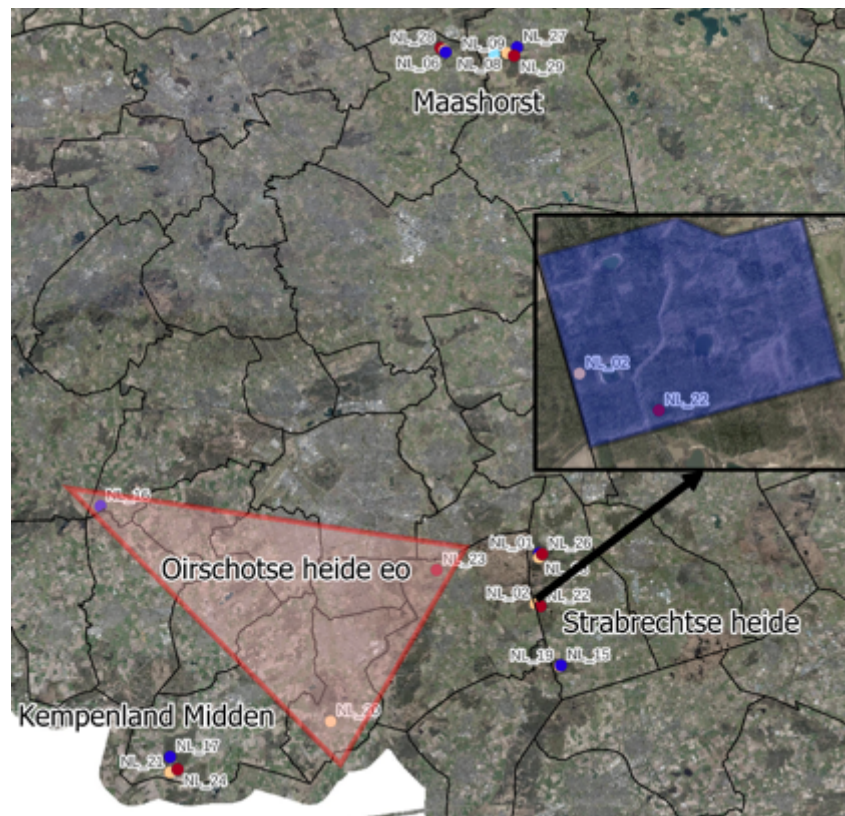
Om deze vragen adequaat te kunnen beantwoorden worden in dit rapport de volgende aspecten behandeld:

1. Een basis overzicht van de biochemische staat van de Grove dennenbossen waarin we door middel van veldbemonstering de dichtheden van miljoenpoten in kaart brachten;
2. De resultaten van een veldstudie door middel van potvalbemonsteringen op de activiteitsdichtheid van miljoenpoten in de verschillende ingezette bosherstelmaatregelen, waaronder toedienen van steenmeel én het aanplanten van rijk strooiselsoorten.
3. De resultaten van een overlevingsexperiment met miljoenpoten op met steenmeel verrijkt strooisel met een lange looptijd.

2 Aanpak

2.1 Veldstudie

In 2019 zijn op droge zandgronden in Noord-Brabant 25 pq's aangelegd in Grove dennenbossen onder scherm en is de nulsituatie vastgelegd. In 2023 werden 18 PQ's herbemonsterd (de Graaf & Raats, 2024): 6 controle PQ's, 6 PQ's met een intensieve aanplant van rijk strooiselsoorten en 6 PQ's waar in de winter van 2019/2020 steenmeel werd aangebracht (10 ton/ha Soilfeed; van den Berg & Sauren, 2021). Aanvullend is op de Maashorst een locatie bemonsterd waar Amerikaanse vogelkers is gevestigd in het kronendak, die daarmee als referentie dient voor de aanplant van rijk strooiselsoorten op zandgrond. (In Afb. 2.1 zijn alle locaties weergegeven die deel uitmaakten van dit onderzoek. De PQ's meten 40*40 m, met een centraal gedeelte van 20*20 m, dat is gemarkeerd met palen. Binnen dit deel van de PQ's werd in 2023 mengmonsters van de bodem verzameld en geanalyseerd en werd de bodemfauna gemonitord m.b.v. potvallen.



Afb. 2.1 Overzicht van de boslocaties/PQ's waarin bemonsteringen op miljoenpoten zijn uitgevoerd. Codes refereren naar de gebiedscodes (zie overzichtstabel in de bijlage). Clusters van bospercelen zijn weergegeven (driehoek clustert drie percelen die ver uiteen zijn gelegen). Kleuren corresponderen met de behandelingen; donkerblauw= controle, rood = steenmeel, lichtblauw = referentieplot met rijke strooiselsoorten, vaaloranje = jonge aanplant van rijke strooiselsoorten.

2.2 Beschrijving van de PQ's

Alle PQ's, met uitzondering van de referentie voor rijkstrooisel, kunnen worden beschreven als lichte grove dennenopstanden (*Pinus sylvestris*) van 40-125 jaar oud. De bossen verkeren in de pionierfase en een tweede boomlaag wordt niet aangetroffen. In de struiklaag verschijnen

Stichting Bargerveen 2025 [Effecten van steenmeeltoediening op miljoenpoten in bossen](#)

regelmatig soorten als Ruwe berk (*Betula pendula*), Zomereik (*Quercus robur*), Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*), Amerikaans krentenboompje (*Amelanchier x lamarckii*) en Vuilboom (*Rhamnus frangula*). De kruidlaag wordt gekenmerkt door Bochtige smele (*Avenella flexuosa*), Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*), Braam (*Rubus spp.*) en Smalle en Brede stekelvaren (*Dryopteris cartusiana resp. D. dilatata*).

2.2.1 Maatregelen

De aanplant van de rijkstrooiselsoorten is uitgevoerd in najaar 2019. Winterlinde (*Tilia cordata*), Fladderiep (*Ulmus laevis*), Gewone esdoorn (*Acer pseudoplatanus*), Haagbeuk (*Carpinus betulus*) en Hazelaar (*Corylus avellana*) werden aangeplant in een dambordpatroon (10*10 m; één boomsoort per blok, met 1 hazelaar in ieder blok (zie bijlage 6.2) met een plantafstand van 1.5 m. Het plantgoed had een afmeting van ca. 50 cm bij aanplant. De jonge aanplant werd beschermd met een raster van ca. 180 cm hoog; rondom de controle PQ's (geen ingrepen), werd eveneens een raster geplaatst.

Op een deel van de PQ's werd in 2019 10 ton/ha Soilfeed toegediend, in fijnkorrelige vorm (korrelgrootte ca. 1,5 mm). Soilfeed is een restproduct van gemijnd nephelien-syeniet houdend gesteente dat rijk is aan kaliveldspaat, plagioklaas en veldspaatvervangers, maar nauwelijks P bevat (zie pag 77 en 79 in Weijters et al., 2018; hier wordt Soilfeed nog Lurgi/Portanef genoemd.). De gebruikte hoeveelheid komt overeen met een dosering die in de praktijk vaak in de Brabantse bossen wordt toegediend.

2.3 Biochemische bodemanalysen

In maart 2023 werden bodemmonsters verzameld van de organische laag (strooisellaag en fermentatie laag, samengevat als FH-laag) en de minerale bodem (A-horizont, vanaf de Ah-horizont). De C-horizont werd alleen bemonsterd in PQ's waar in 2019 geen monsters zijn genomen. De bodemmonsters werden luchtdicht verpakt en gekoeld bewaard waarna ze naar het laboratorium van onderzoekcentrum B-WARE werden gebracht voor analyse.

Van de bodemmonsters werd bepaald (zie voor een uitgebreide beschrijving van methodieken Verbaarschot et al., 2025b):

- Organisch stofgehalte ("Loss of ignition").
- Massavolume (maat voor de bulk-density).
- Destructie voor totalen aan elementen P, Al, Fe, S, Si, Na, K, Ca, Mg, Mn, Zn
- Extractie met zout (0,2M NaCl) waarbij de pH werd bepaald, de concentratie plantbeschikbaar Ca, K, Mg en Al en de concentratie ammonium en nitraat.
- C/N analyse.

Vanwege het belang van de strooisellaag voor de miljoenpoten, wordt in dit rapport de aandacht op deze laag gericht, en dan met name op de resultaten van pH en destructieanalysen.

2.4 Bemonstering van miljoenpoten

Gedurende het voorjaar en de zomer van 2023 zijn in het kader van het SUPERB/POP in totaal 19 PQ's bemonsterd door middel van potvallen, waarvan alle loopkevers en spinnen zijn

uitgesorteerd en gedetermineerd om een basisbemonstering te verkrijgen voor latere ontwikkelingen. In ieder bosplot werden 3 potvallen ingegraven en gevuld met een laagje 4% formaldehyde oplossing als conserveringsmiddel. Om bijvangst van gewervelden (muizen, reptielen en amfibieën) te beperken en om overmatige verdamping tegen te gaan werden alle potvallen met een dakje afgeschermd. De bemonstering vond plaats in zeven bemonsteringsronden tussen 19 april en 4 oktober 2023 (met leegintervallen van 3 weken, uitgezonderd de laatste bemonsteringsronde). Van deze potvalmonsters zijn alle spinnen, miljoenpoten en loopkevers uitgesorteerd later tot soort gebracht en geteld, en in dit rapport zijn de miljoenpoten vangsten geanalyseerd.

Interpretatie van aantallen individuen die in potvalbemonsteringen worden aangetroffen is niet eenduidig. Aantallen individuen die in potvallen worden aangetroffen zijn niet zonder meer te vertalen als dichtheden, aangezien de vangkans van deze individuen met deze methode ook afhankelijk is van de mobiliteit en activiteit van het desbetreffende individu. Actievere individuen worden daardoor in hogere aantallen bemonsterd dan minder mobiele soorten. Andere parameters die de activiteit (en dus vangkans) van grondactieve ongewervelden beïnvloeden zijn het weer (in natte jaren vang je minder) en de hoeveelheid vegetatie in de ondergroei (een dichtere vegetatie leidt tot meer 'vegetatieweerstand' en dus lagere aantallen vangsten). Daarom wordt voor potvalonderzoek gerefereerd naar 'activiteitsdichtheid' als verschillen in aantallen in de potvallen aangetroffen individuen worden besproken. Specifiek voor dit onderzoek geldt overigens dat verschillen in weersinvloeden uitgesloten konden worden (alles is in dezelfde periode bemonsterd) en verschillen in vegetatieweerstand waren in deze bossen ook relatief beperkt (pers. obs.). De in dit rapport gerapporteerde activiteitsdichtheden zijn de totalen van bemonsterde miljoenpoten in een afzonderlijke potvalserie (3 vallen) over de gehele bemonsteringsperiode.

2.5 Overlevingsexperiment

2.5.1 Gekozen soort

Als modelsoort werd de Grote platrug (*Polydesmus angustus*) genomen, aangezien bekend is dat deze soort ook nog in sterk zure bossen kan worden aangetroffen, en het dus aannemelijk is dat deze soort in aanraking komt met steenmeel in zure bossen.

2.5.2 Verzamelen van miljoenpoten en voedselsubstraat

Miljoenpoten werden verzameld door middel van handmatige zoekacties in twee bosgebieden (Amerongse Berg: 52.018857, 5.509830 en Heumensoord: 51.805187, 5.869895). De verzamelde individuen werden vervolgens bewaard in een plastic container gevuld met vochtig strooisel uit het bos als substraat. Alle verzamelde individuen werden voorafgaand aan de inzet van het experiment gecontroleerd en geverifieerd tot *Polydesmus angustus* te behoren met behulp van de determinatiesleutel van Berg et al. (2015).

Als voedselsubstraat voor gebruik in de experimentele opstelling werd strooisel uit een zuur eikenbos verzameld dat deel uitmaakt van het onderzoek naar steenmeeltoediening in zuurminnende eikenbossen (Sitters et al., 2025) nabij een van de onderzoekslocaties (Woeste Hoeve: 52.092790, 5.948046).

2.5.3 Voorbereiding van experimentele opstelling

Het verzamelde voedingssubstraat werd voorafgaand aan de inzet geleidelijk gedroogd met behulp van warmtelampen in een Berlese opstelling alle in de monsters aanwezige fauna te verwijderen. Schimmels en schimmelsporen bleven tijdens dit proces intact, en schimmeligroei werd ook waargenomen nadat het strooisel opnieuw werd bevochtigd (visuele beoordeling).

Vervolgens werden de strooiselmonsters gemengd met verschillende doseringen van de veelgebruikte steenmeel typen Soilfeed en Eifelgold, corresponderend met 5, 10, 20 en 50 ton/ha veldapplicaties. Per type+dosering werden 15 replica's ingezet. Als controle werden 15 replica's ingezet met enkel strooisel als substraat. Strooisel (en steenmeel vervolgens, opnieuw bevochtigd tot 10% onder de veldcapaciteit en in gelijke doseringen overgebracht naar plastic potten (afmetingen: 8 × 8 × 9 cm). In elke pot werd één individu van *Polydesmus angustus* geplaatst. In totaal werden dus 135 individuen aan de start van het experiment blootgesteld aan verschillende doseringen of controle. De verzamelde *P. angustus*-individuen waren zowel volwassen als juveniele exemplaren. Om een ongelijke verdeling van juvenielen en volwassenen over de behandelingen te voorkomen werden deze groepen vooraf gescheiden en in zo veel mogelijk gelijke relatieve aantallen toegewezen aan de behandelingen. Bovendien werd van elk individu genoteerd of een individu een juveniel of een adult exemplaar betrof.

2.5.4 Gecontroleerde opstelling

Alle potten met strooisel, steenmeel en miljoenpoten werden geplaatst in koelopstellingen met een temperatuur van 15 °C, relatieve luchtvochtigheid werd gereguleerd door de potten los af te sluiten met deksels, waarbij gasuitwisseling mogelijk bleef maar uitdroging van de monsters beperkt bleef (Afb. 2.2).



Afb. 2.2 Opzet van het miljoenpoten experiment. Ieder individu werd in een plastic pot met verzameld verterend strooisel met wisselende hoeveelheden en type steenmeel gebracht (foto rechts). Potten werden met deksels afgesloten maar niet volledig dichtgedraaid om gasuitwisseling tussen controlemomenten met de buitenlucht mogelijk te maken. Alle potten werden in een koelinstallatie bewaard bij een constante temperatuur van 15 graden Celsius en continu hoge RH (foto links).

2.5.5 Registratie van gewicht en overleving van miljoenpoten

Tweemaal per week werd het gewicht van elk individu bepaald met behulp van een Sartorius TE214S analytische balans. Tijdens deze metingen werd ook steeds vastgesteld of het individu nog leefde of overleden was. Voorafgaand aan elke weging werd verzekerd dat er geen strooiselresten aan de miljoenpoten bleven kleven om te voorkomen dat strooisel de metingen beïnvloedde. Het steenmeel Eifelgold bleek regelmatig (met name in hogere doseringen) op het exoskelet van de miljoenpoten vast te blijven kleven, en dit kon niet verwijderd worden zonder het risico te lopen om deze individuen te beschadigen. Voor deze groep is het dus mogelijk dat het gewichtsverloop door de tijd voor een deel bepaald werd door de hoeveelheid "aangekoekt" Eifelgold. Gewicht en overlevingsstatus werden per individu geregistreerd. In geval van sterfte werd de betreffende container uit het experiment genomen en het dode individu apart opgeslagen in alcohol. Levende individuen werden teruggeplaatst in hun containers voor vervolgmetingen.

2.6 Gegevensanalyse en presentatie

Bodemchemie, miljoenpoot activiteitsdichtheid en soortenrijkdom is getoetst door middel van (generalized) linear models, met gaussian error distributie voor bodemchemische parameters, negative binomial voor miljoenpoot activiteitsdichtheid en poisson voor soortenrijkdom. Gegevensanalyse is uitgevoerd in statistisch programma R versie 4.3.2 (R Core Team, 2024).

Gegevensanalyse van miljoenpoot overleving is getoetst door middel van een op levensstadium gestratificeerd cox proportional hazard model uit het package 'survival' (Therneau, 2024), met sensoring. Alle grafieken zijn geproduceerd met behulp van ggplot in multi-package tidyverse (Wickham et al., 2019), survival curve projecties van de survival analyse zijn geplott met behulp van package 'survminer' (Kassambara et al., 2025).

3 Resultaten

3.1 Bodemchemie in de FH laag

3.1.1 Bosbodem onder Grove den en Amerikaanse vogelkers

De bosbodem in alle PQ's is zuur; in de FH-laag onder Grove den bedraagt de pH_{NaCl} gemiddeld 2,9, met een variatie van 2,5-3,6 (Fig. 3.1). De pH in de FH-laag van de bodems is ongeveer een halve eenheid lager dan in de A-horizont (3.4) en ruim anderhalve eenheid lager dan in de C-horizont (4,1). In het referentie PQ met Amerikaanse vogelkers ligt de pH_{NaCl} iets hoger. In zure bodems kan een tekort aan elementen als calcium, magnesium, kalium en onder condities waarin veel uitspoeling heeft plaatsgevonden, mangaan optreden. Het doel van de maatregelen is dan ook de concentratie aan deze elementen in de bodem te vergroten. Detritivore bodemfauna verkrijgt deze elementen uit consumptie van het organisch materiaal. Daarom wordt in deze studie met name gekeken naar de resultaten van de destructie-analysen, die een beeld geven van de totale hoeveelheid elementen die in de bodem aanwezig zijn.

In deze zandbodems is een groot deel van de elementaire nutriënten (N, P, K, Mg, Ca, etc., hierna: elementen) op enigerwijze gebonden aan het organisch materiaal. Het percentage organische stof in de bodemmonsters in de FH-laag is hoog, meer dan 80% (Fig. 3.2). Alleen in de PQ's met recente aanplant van rijk strooiselsoorten worden in sommige plots een wat lager percentage organisch materiaal gemeten. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de recente aanplant, waarbij tijdens het planten minerale bodem is gemengd met de organische laag.

De bodem van de dennenbossen (controles) bevat lagere gehalten stikstof, fosfor, calcium, magnesium en mangaan dan het referentie PQ voor rijk strooisel met Amerikaanse vogelkers (Fig. 3.3). Het verschil is echter niet significant. Concentraties geven echter niet de totale hoeveelheid elementen in de bodem weer; daarvoor moet ook de dikte van de organische bodemlaag in ogenschouw worden genomen. Onder volwassen Amerikaanse vogelkers bomen werd een ca. 5 cm dikke laag organisch materiaal aangetroffen. In de dennenbossen is de strooisellaag ruim tweemaal zo dik, gemiddeld 11,8 cm dik (gemeten in controle en rijke strooiselsoorten aanplant plots). Voor detritivoren is deze totale hoeveelheid echter niet relevant: miljoenpoten moeten in de Grove den opstanden beduidend meer organisch materiaal consumeren om dezelfde hoeveelheid elementen binnen te krijgen als het Amerikaanse vogelkers bestand. De C/N-ratio van het bodemmateriaal is significant lager in het Amerikaanse vogelkers PQ dan in de dennenbossen (controle én met steenmeel behandelde plots). Dit verschil in C/N ratio is alleen significant tussen Amerikaanse vogelkers en de met steenmeel behandelde plots.

3.1.2 Effecten van maatregelen

De jonge aanplant van rijk strooisel heeft nog geen effect op de chemische samenstelling van de FH-laag in de bodem, hetgeen binnen de verwachting valt. In de PQ's waar steenmeel is toegediend, is een bescheiden verhoging van de pH waarneembaar en worden verhoogde totaal gehalten magnesium, kalium en calcium gemeten, gemiddeld ca. anderhalve maal de concentratie in de controle. Er is echter een grote variatie tussen de PQ's (Fig. 3.1), en deze is beduidend groter dan de controle plots. Dit is waarschijnlijk mede het gevolg van variatie in de

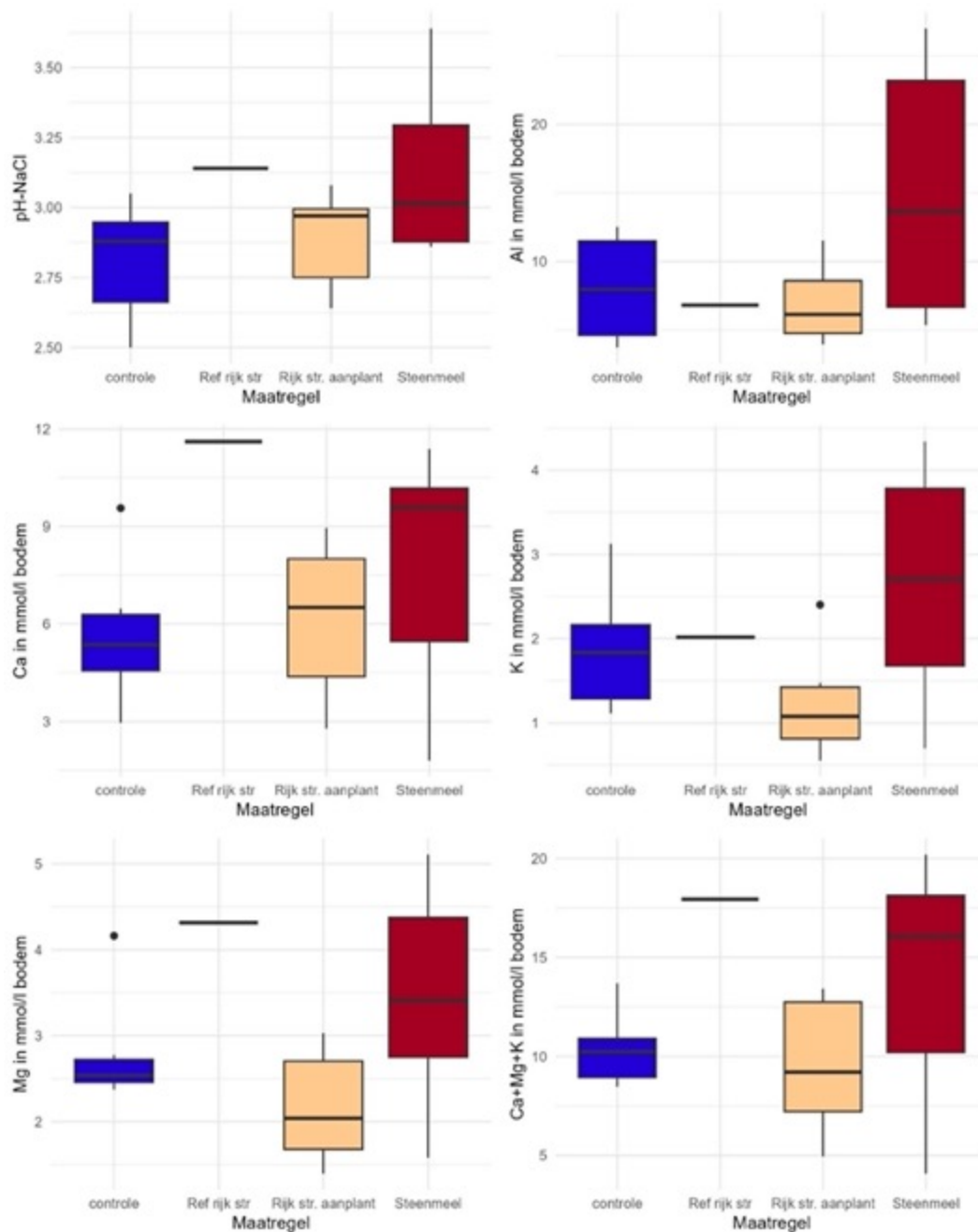


Fig. 3.1 Box- en whisker plots van pH_{NaCl} en totale concentraties Al, Ca, Mg en K in de organische bodemlaag (FH). Controle: geen behandeling (n=6). Ref. Rijke str.: referentielocatie met ondergroei van rijke strooiselsoorten (hier: Amerikaanse vogelkers *Prunus serotina*, n=1). Rijke str. aanplant: bosplots met recente jong onderaanplant van rijke strooiselsoorten (n=6). Steenmeel: bosplots met recente toediening van het steenmeel Soilfeed (dosering 10 ton/ha; n=6).

hoeveelheid steenmeel die in de bodemmonsters is meegekomen: relatief veel Soilfeed in het monster leidt tot hogere waarden van de elementen die uit de mineralen kaliveldspaat (K), biotiet (K, Mg), plagioklaas (Ca) en amfibool (Ca, Mg, Fe) waaruit Soilfeed bestaat vrijkomen bij volledige ontsluiting (pag. 78 in Weijters et al., 2018). In een aantal van de met steenmeel behandelde PQ's wordt een verhoogde aluminiumconcentratie gemeten, en samen met hogere Si waarden (Fig. 3.3) wijst dit op een oorsprong uit de mineralen die zijn toegevoegd (Soilfeed bestaat voor een groot deel uit mineralen met een $\text{Al}_x\text{Si}_y\text{O}_z$ component in de kristalstructuur).

Deze verhoging van AI is niet significant en ook in de steenmeel behandelde PQ's blijft de aluminiumconcentratie in de FH-laag van de bodem fors lager dan in de onderliggende minerale bodems (data niet getoond).

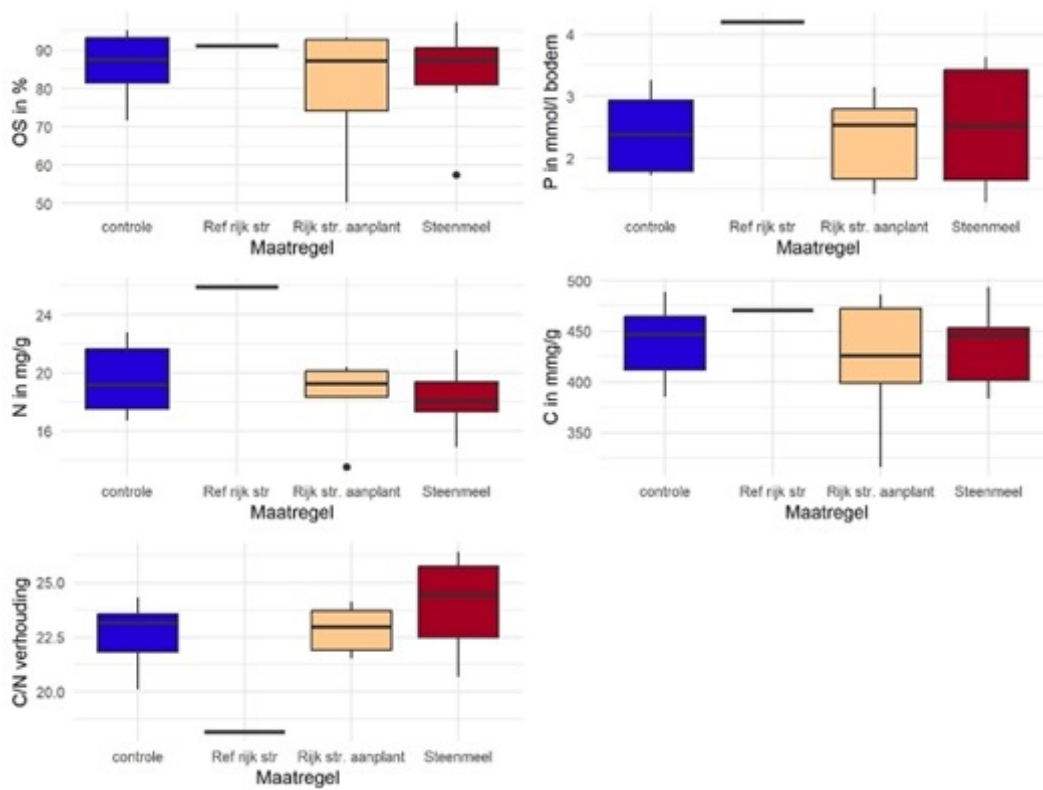


Fig. 3.2 Box- en whiskerplots van organisch stof (OS%), totaal koolstof (C), totaal fosfor (P), totaal stikstof (N) en C/N-ratio in de organische bodem (FH-laag). Voor een uitleg van de maatregelen zie Fig. 3.1.

Drie jaar na toediening van steenmeel zijn er geen effecten op de concentraties N en P in het organisch materiaal in de FH-horizont (Fig. 3.2) hetgeen logisch is aangezien het gehalte van P in het Soilfeed laag is (pag. 11 in Verbaarschot et al., 2020), en elk geval beduidend lager dan het gehalte in het organisch stof zelf.

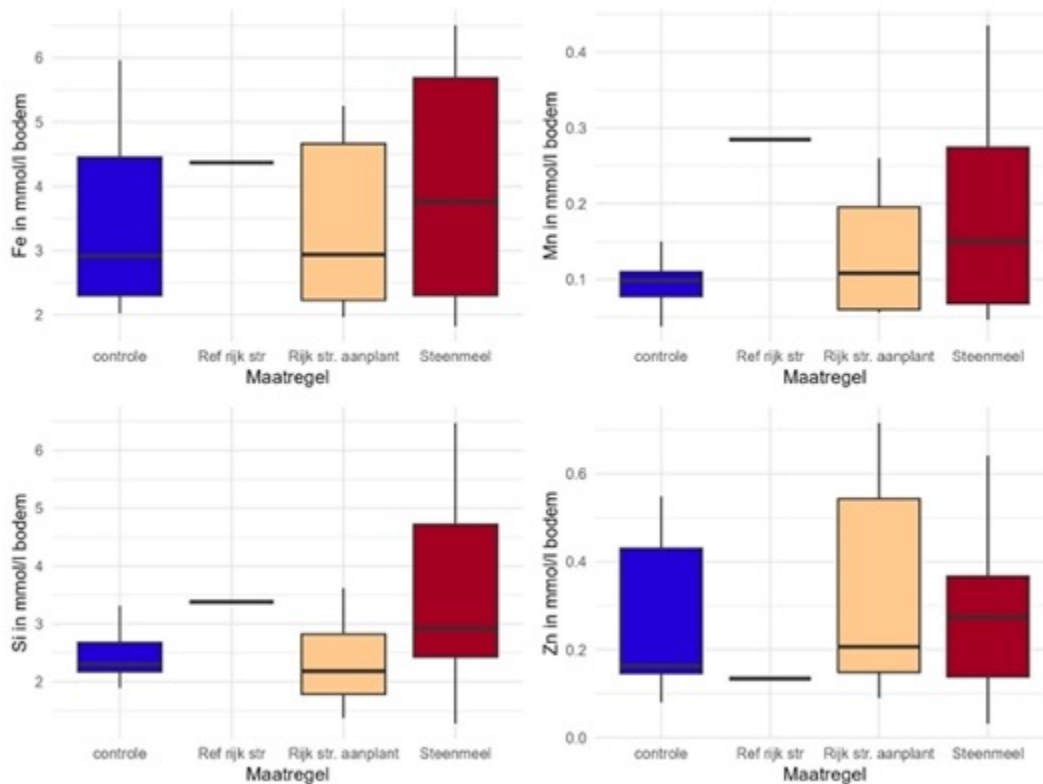


Fig. 3.3 Box- en Whiskerplots van totale concentraties Fe, Mn, Si en Zn in de organische bodemlaag (FH). Voor een uitleg van de maatregelen zie Fig. 3.1.

3.2 Veldrespons miljoenpoten in bos-experimenten

3.2.1 Overzicht van de vangsten

In de onderzochte bospercelen werden over de gehele bemonsteringsperiode in totaal slechts 94 individuen bemonsterd. Verreweg de meeste individuen betroffen de Grote platrug (*Polydesmus angustus*), gevolgd door de Grote knotspoot (*Julus scandinavicus*) en Knotskronkel (*Cylindroiulus punctatus*). Alle drie de soorten zijn algemeen tot zeer algemeen voorkomend. De grote knotspoot heeft een brede verspreiding in talloze biotopen, de andere twee kennen hun zwaartepunt in loof- en naaldbossen op zandgrond (Berg et al., 2015). Alle andere soorten werden slechts sporadisch (1-3 maal) aangetroffen.

Tab. 3.1 Overzicht per soort van totaal aantal en per behandeltype gemiddeld aantal bemonsterde individuen (± 1 SE) in de bospercelen in Noord-Brabant. Controle: geen behandeling (n=6). Ref. Rijke strooiselstr.: referentielocatie met ondergroei van rijke strooiselsoorten (hier: Amerikaanse vogelkers *Prunus serotina*, n=1). Rijke strooiselstr.: bosplots met recente jong onderaanplant van rijke strooiselsoorten (n=6). Steenmeel: bosplots met recente toediening van het steenmeel Soilfeed (dosering 10 ton/ha; n=6).

Soort	Totaal bemonsterd	Controle (n=6)	Ref. Rijke strooiselstr. (n=1)	Rijke strooiselstr. (n=6)	Steenmeel (n=6)
Brede kronkel (<i>Cylindroiulus caeruleocinctus</i>)	1	0 (-)	0 (-)	0.17 (0.17)	0 (-)
Bruinstipje (<i>Proteroiulus fuscus</i>)	1	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0.17 (0.17)
Grote knotspoot (<i>Julus scandinavicus</i>)	10	0.83 (0.48)	0 (-)	0.5 (0.34)	0.33 (0.33)
Grote platrug (<i>Polydesmus angustus</i>)	71	4.17 (3.23)	0 (-)	0.17 (0.17)	7.5 (5.89)
Knotskronkel (<i>Cylindroiulus punctatus</i>)	7	0.17 (0.17)	2 (-)	0 (-)	0.67 (0.49)
Smalle platrug (<i>Polydesmus inconstans</i>)	3	0.17 (0.17)	0 (-)	0 (-)	0.33 (0.33)
Zwartstip (<i>Choneiulus palmatus</i>)	1	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0.17 (0.17)

3.2.2 Verschillen in miljoenpot vangsten tussen PQ's

De soortenrijkdom van miljoenpoten was in alle onderzochte PQ's laag, variërend tussen nul en vier aangetroffen soorten en een mediane soortenrijkdom variërend tussen een halve en anderhalve soort per behandelingstype, over de gehele bemonsteringsperiode (Fig. 3.4A). Er werd geen verschil in soortenrijkdom gevonden tussen de behandelingen (poisson GLM; rijke strooisel aanplant: $z = -1.14$, $p = 0.26$, Soilfeed: $z = 0.00$, $p = 1$; referentie rijke strooiselsoorten niet meegenomen i.v.m. $n = 1$). Dit is ook voor zure (verzuurde) bossen erg laag, in een parallel uitgevoerde studie in oude eikenbossen op de Veluwe werd een (eveneens lage) gemiddelde soortenrijkdom van 1.8 vastgesteld in potvalonderzoek (Sitters et al., 2025). In minder zure bossen ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 4.2-6) in Slowakije vonden onderzoekers een veel hogere soortenrijkdom (6-15 soorten, mediaan: 11, gemiddeld 10) bij nagenoeg exact dezelfde gehanteerde bemonsteringsmethode (Stašiov et al., 2012).

De activiteitsdichtheid was eveneens erg laag (Fig. 3.4B), variërend van nul aangetroffen individuen in de gehele bemonsteringsperiode tot maximaal 39 individuen (één steenmeel behandelde plot), met mediane waarden voor alle typen tussen twee en vier. Er werd geen verschil in activiteitsdichtheid gevonden tussen de behandelingen (Negative Binomial GLM; rijke strooisel aanplant: $z = -1.54$, $p = 0.12$, Soilfeed: $z = 0.50$, $p = 0.62$; referentie rijke strooiselsoorten niet meegenomen $\text{vim } n = 1$). In vergelijking met oude eikenbossen op de Veluwe (Sitters et al., 2025) was de activiteitsdichtheid van miljoenpoten laag, in die studie werden gemiddeld 5.8 miljoenpoten bemonsterd, en ook dat zijn eigenlijk al heel lage dichtheden vergeleken met minder zure bossen in het buitenland. Stašiov et al. (2012) vonden gemiddeld 114.5, mediaan 81 individuen per potvalserie in vergelijkbaar potval onderzoek in verscheidene bosbestanden in Slowakije.

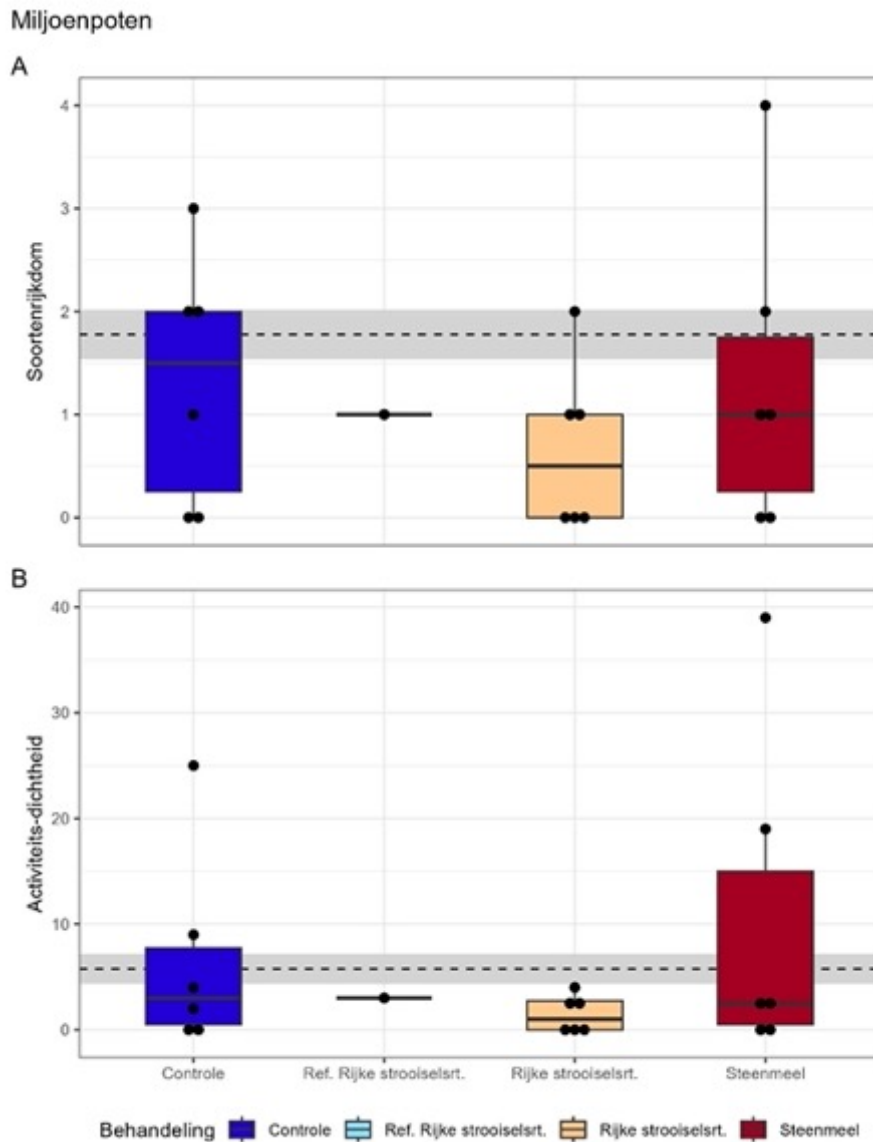


Fig. 3.4 Box- en whiskerplots van soortenrijkdom (A) en activiteitsdichtheid (B) van miljoenpoten aangetroffen in de potvallen, verdeeld over verschillende behandelingen. Controle: geen behandeling (n=6). Ref. Rijke strooiselsrt.: referentielocatie met ondergroei van rijke strooiselsoorten (hier: Amerikaanse vogelkers *Prunus serotina*, n=1). Rijke strooiselsrt.: bosplots met recente jong onderaanplant van rijke strooiselsoorten (n=6). Steenmeel: bosplots met recente toediening van het steenmeel Soilfeed (dosering 10 ton/ha; n=6). Stippellijnen en grijze vlakken geven respectievelijk het gemiddelde en 95% betrouwbaarheidsinterval van de dichtheid van miljoenpoten in potvalonderzoek in zuurminnende eikenbossen op de Veluwe uit hetzelfde onderzoeksjaar.

3.3 Overlevingsexperiment

3.3.1 Visuele waarnemingen van effecten van steenmeel op miljoenpoten

Blootstelling van het steenmeel Eifelgold had duidelijk waarneembare effecten op miljoenpoten. Dit type steenmeel is beduidend fijner gemalen dan Soilfeed, en in contact met water vormde het een kleverige substantie ("eifelgoldpasta") dat met name aan de dorsale zijden van de metazoniet gedeelten van de lichaamssegmenten (Afb. 3.1) bleef plakken. Dit effect was het duidelijkst waarneembaar bij hogere doseringen van Eifelgold (20 en 50 ton/ha equivalenten, pers. obs.).



Afb. 3.1 Effect van Eifelgold op de Grote platrug (*Polydesmus angustus*). Het steenmeel Eifelgold is zeer fijn gemalen en wanneer het in contact komt met water resulteert dat in het vormen van een kleverige kleiige massa. Dit materiaal blijft kleven aan de lichaamssegmenten, met name aan de apicale en dorsale zijde. Foto links: individu uit hoog dosering Eifelgold behandeling. Foto rechts: individu uit controle behandeling.

3.3.2 Gewichtsverloop

Het gewichtsverloop over de tijd van elke individuele *P. angustus* is weergegeven in Fig. 3.5, uitgesplitst over de verschillende behandeling-doseringscombinaties. Duidelijk verschillend zijn de gewichten tussen adulten (Fig. 3.5A) en juvenielen (Fig. 3.5B). Tussen behandelingen waren er kleine, maar significante verschillen in startgewicht, en verschilde de spreiding in gewichten bij enkele behandelingen ten opzichte van de controle behandeling (zie Bijlage 6.5 voor model resultaten). Het gewicht van de individuen bleef over het algemeen constant. Significante afwijkingen in gewichtsverloop werden bij adulten gevonden bij Eifelgold 20 (toename in de tijd), Soilfeed 5 (afname in de tijd) en Soilfeed 50 (toename in de tijd), en bij juvenielen bij Eifelgold 5 en 10 (afname), en Soilfeed 10 (toename) en 50 (afname) behandelingen. Deze effecten lijken echter niet het gevolg van veranderende gewichten van afzonderlijke individuen. Het door sterfte eerder wegvallen van lichtere of juist zwaardere individuen in de behandelingen lijkt dit effect beter te verklaren (zie Fig. 3.5A en B; eerder uitvallen van lichtere exemplaren bij adulten: Eifelgold 20 en Soilfeed 50, juvenielen: Soilfeed 10, eerder wegvallen van zwaardere individuen bij adulten in Soilfeed 5, juvenielen: Eifelgold 5 en 10, Soilfeed 50). Op basis van de gewichtsbepalingen kan in elk geval worden opgemaakt dat individuele miljoenpoten over het algemeen een stabiel gewicht behielden gedurende de loop van het experiment, maar dat er duidelijke verschillen in overlevingsduur tussen individuen en behandelingen waarneembaar waren.

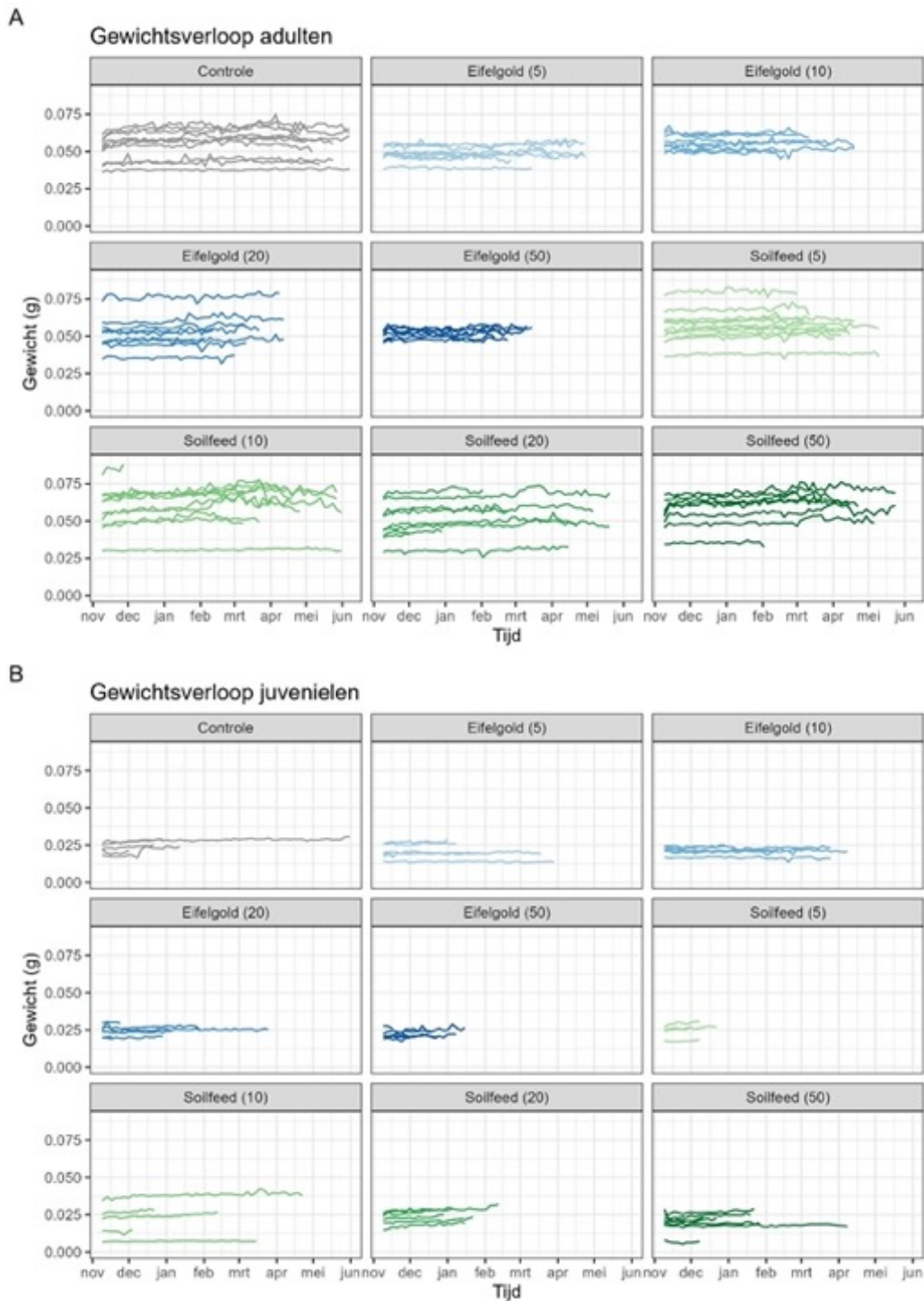


Fig. 3.5 Gewichtsverloop van adulte (A) en juveniele (B) *P. angustus* individuen gedurende de looptijd van het experiment.

3.3.3 Overleving

Uit de lengte van de individuele gewichtsverlopen in Fig. 3.5 is al op te maken dat er een duidelijk verschil in overleving tussen adulte en juveniele miljoenpoten bestond. Om dit effect goed te kunnen meenemen in de analyse is het cox proportional hazard toetsmodel daarom gestratificeerd op levensstadium. Het totaal model kon de overlevingskans redelijk voorspellen

(concordance =0.66, beter dan willekeurig). In Fig. 3.6 zijn de overlevingscurves van de miljoenpoten, uitgesplitst over controle versus verschillende doseringen van Eifelgold en Soilfeed, en apart weergegeven voor adulten en juvenielen.

Uit deze grafiek is op te maken dat de overleving van miljoenpoten in de controle behandeling voor adulten gedurende een groot deel van het experiment constant op 100% bleef. Sterfte in deze groep begon op te treden na ca 175 dagen, en de statistisch berekende overlevingskans was 50% na iets minder dan 200 dagen. Voor juvenielen is een heel ander beeld, hier is de sterfte in controle vanaf het begin al hoog maar stabiliseert uiteindelijk voor een lange periode. Aan die stabilisering moet echter niet al te veel waarde gehecht worden, aangezien dit wordt bepaald door één veel langer overlevend individu.

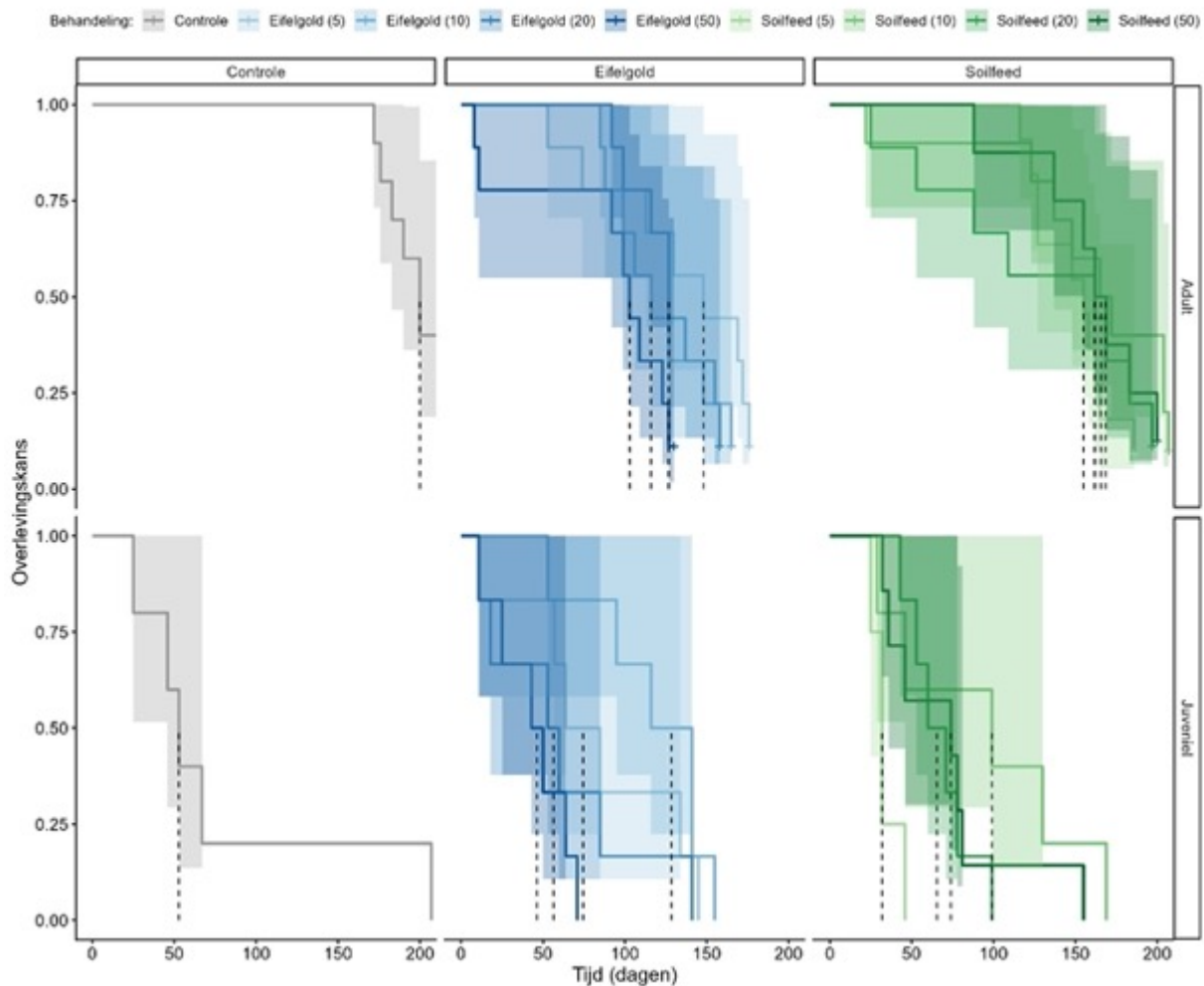


Fig. 3.6 Overlevingscurves van de miljoenpoten, uitgesplitst over behandelingen (van links naar rechts) en stadium (van boven naar beneden). Steenmeel dosering is met verschillende blauw/groentinten weergegeven met toenemende intensiteit met toenemende dosering. Vlakken geven de 95% betrouwbaarheidsintervallen weer van de gemodelleerde overlevingskans. Stippellijnen geven per behandeling en stadium het punt in de tijd weer waarop de overlevingskans 50% is.

Voor de steenmeel behandelingen is (met name bij de adulten) op te maken dat er eerder sterfte optreedt in zowel Eifelgold als Soilfeed. Voor Eifelgold lijkt deze ook doseringsafhankelijk (overlevingskans neemt sterker af in de volgorde 50-20-10-5 ton/ha equivalent behandeling), voor Soilfeed is dit niet het geval. Bij de juvenielen is dit beeld minder duidelijk, omdat hier voor

alle behandelingen er een hoge initiële sterfte wordt waargenomen. Toch lijken ook hier in de mid- en eindfase de overlevingskansen van miljoenpoten in de steenmeel behandelingen sterker af te nemen dan die in de controle.

De uitkomst van de *cox proportional hazard* modellen ondersteunen deze observaties. Alle steenmeel behandelingen kenden een significant sterfterisico (HR: 1.77-10.94) ten opzichte van de controle. Voor Eifelgold was dit risico het sterkst en nam toe bij hogere doseringen (Eifelgold 5: HR=3.35, 95%CI = 1.41-7.96; Eifelgold 10: HR=3.12, 95%CI = 1.28-7.58, Eifelgold 20: HR=5.31, 95%CI = 2.20-12.82; Eifelgold 50: HR=10.94, 95%CI = 4.44-27.0). Soilfeed kende een verhoogd sterfterisico dat doorgaans meer in de range lag van de lagere doseringen Eifelgold, en dit risico nam niet toe bij hogere doseringen (Soilfeed 5: HR=4.65, 95%CI = 1.96-11.01; Soilfeed 10: HR=1.77, 95%CI = 0.78-4.0 (niet significant verschillend van controle), Soilfeed 20: HR=3.59, 95%CI = 1.53-8.41; Soilfeed 50: HR=2.69, 95%CI = 1.16-6.24).

4 Discussie

4.1 De veldsituatie

4.1.1 Groei en overleving van de aanplant rijke strooiselsoorten

De jonge aanplant heeft een moeilijke start gehad door de extreme droogte in de jaren kort na aanplant. Mede als gevolg hiervan was de sterfte in de PQ's hoog en de groei van de bomen zeer beperkt. In 2025 is de overleving van de aanplant gemonitord: overleving van winterlinde, iep en haagbeuk was gemiddelde 25 – 30% per locatie, van esdoorn en hazelaar iets meer dan 45 %. Er is echter een grote variatie tussen de PQ's (5 -86% overleving per soort per PQ). Slechts enkele individuen hebben zich ontwikkeld tot boven de vraatlijn (De Graaf e.a. in prep). De hoge zuurgraad en lage beschikbaarheid van nutriënten zal ongetwijfeld ook hebben meegespeeld in de lage overleving van de aanplant, gezien het optreden van chlorose in de bladeren (zie Bijlage 6.3).

4.1.2 Bodemchemische condities in relatie tot miljoenpoten

Nagenoeg alle locaties, met uitzondering van de 'referentie situatie van rijke strooisel soorten' werden gekenmerkt door uitermate zure bodems met lage beschikbaarheid van elementaire nutriënten. In deze fase van de toediening is het effect van rijke strooiselsoorten aanplant uiteraard nog niet relevant voor de samenstelling van het strooisel; daarvoor is het eerst vereist dat de aanplant op zijn minst een struik- of lage kroonlaag gaat vormen. De invloed van het uitstrooien van Soilfeed was evenwel al wel enigszins zichtbaar in pH, maar ook hier nog niet significant. Veel van de bospercelen worden gekenmerkt door een uitgesproken dikke strooisellaag. Dit strooisel vormt ook een groot reservoir van positief geladen (kat)ionen; de kation uitwisselingscapaciteit van deze bodems is dus erg hoog. Hierdoor is er ook relatief veel Soilfeed nodig om de basenverzadiging (en bijgevolg pH) meetbaar en significant te doen stijgen.

De gehalten aan elementaire nutriënten die in strooisel liggen opgeslagen zijn hoger in de 'referentie situatie rijke strooiselsoorten', een door Amerikaanse vogelkers gedomineerde lage kroonlaag onder *Pinus* spp. in de hoge kroonlaag. Omdat de strooisellaag hier dunner is dan in de sterk zure en arme Grove dennen bestanden is het verschil in totale beschikbaarheid per oppervlakte eenheid bos weliswaar minder uitgesproken, maar het is de vraag of dit relevant is voor miljoenpoten. De veel hogere element-turnover van het rijkere strooisel zal tot gevolg hebben dat deze gemakkelijker door miljoenpoten kan worden verteerd, en door de hogere gehalten hoeft bovendien veel minder volume aan strooisel te worden gegeten om de gewenste hoeveelheden elementen te verkrijgen voor groei. "Op papier" zouden we dus verwachten dat de activiteitsdichtheden en soortenrijkdom van miljoenpoten in deze situatie ook veel hoger zou liggen dan in de andere bospercelen. De resultaten laten dit echter niet zien, we vonden er gedurende de gehele onderzoeksperiode slechts twee individuen, weliswaar van een andere soort die in iets rijkere bosbodems voorkomt, maar van een hoge abundantie is geen sprake. Eenzelfde beeld is gerapporteerd voor bodemmicro-arthropoden die betrokken zijn bij strooiselafbraak, en in die studie wordt de hypothese geopperd dat dit een gevolg is van het jaarlijks vrijkomen van fytotoxinen uit het vers gevallen blad van Amerikaanse vogelkers

(Siepel, 2020). Wel moet worden onthouden dat in deze studie hier slechts 1 monsterpunt met dominantie van Amerikaanse vogelkers is onderzocht, harde conclusies kunnen niet worden getrokken. Het nodigt wel uit tot een breder onderzoek naar het effect van Amerikaanse vogelkers op strooiselafbrekers.

Voor alle andere bospercelen kan de conclusie met betrekking tot de miljoenpotenfauna kort zijn: de onderzochte bospercelen worden gekenmerkt door een zeer lage soortenrijkdom en activiteitsdichtheid van miljoenpoten. Dit geldt zeker in vergelijking tot beter gebufferde bosbodems in binnen- en buitenland (Stašiov et al., 2012, de Vries et al., 2019, Stašiov et al., 2021), waar tot een tienvoud meer soorten én individuen worden aangetroffen. Maar ook in vergelijking tot verzuurde eikenbossen in Nederland (de Vries et al., 2019, Sitters et al., 2025) is de activiteitsdichtheid en soortenrijkdom van miljoenpoten laag in de onderzochte bossen. De meest voor de hand liggende oorzaak is de hoge zuurgraad van de FH laag in deze bossen, met regelmatig pH_{NaCl} waarden beneden de 3. Daarnaast is het gehalte aan elementen van het strooisel relatief laag en de afbraak door schimmels is eveneens sterk geremd (er werden strooiseldiktes van 10 cm en meer gemeten). Voor de huidige situatie kan dus geconcludeerd worden dat de onderzochte bossen een zeer marginaal habitat vormen voor miljoenpoten, waar alléén de meest "geharde" soorten zich nog kunnen handhaven. De Grote platrug valt hier duidelijk onder. Mogelijk kan deze soort zich handhaven omdat deze een dikke wasachtige cuticula als buitenlaag van het exoskelet vormt. Deze laag kan de individuen mogelijk beschermen tegen het oplossen van het exoskelet onder hoge zuurgraad. Bij de ruwe pissebed (*Porcellio scaber*), is deze aanpassing ook bekend en deze werd dan ook als één van de weinige soorten met enige regelmaat in de potvallen aangetroffen (data hier niet getoond). Toch hebben ook deze soorten moeite met zich te handhaven, en activiteitsdichtheden blijven ook bij deze soorten laag tot zeer laag.

4.1.3 Effecten van steenmeel op de overleving van de Grote platrug

De resultaten van het overlevingsexperiment geven duidelijk aan dat er risico's verbonden zijn aan de toepassing van steenmeel in natuurbeheer. De overlevingskansen van de Grote platrug namen significant af bij toepassing van beide onderzochte steenmelen, en deze effecten waren ook zichtbaar bij doseringen (5-10 ton/ha) die gangbaar zijn in natuurbeheer. Het effect van het steenmeel Soilfeed was evenwel niet bij alle doseringen significant, maar voor dit type werd dan ook geen duidelijke dosis-effect relatie gevonden. Soilfeed verschilt van Eifelgold in zowel samenstelling als maalfractie, waarbij het Eifelgold bestaat uit min of meer dezelfde fijne korrelgrootte, en Soilfeed uit een mix van grovere en fijner gemalen partikels. Dit verklaart mogelijk het ontbreken van een dosis-effect relatie bij Soilfeed; verschillen in de korrelgrootte verdeling van het toegediende Soilfeed tussen containers kan verklaren waarom er geen duidelijk effect gevonden wordt. Bij hogere dosering van Eifelgold werd ook een hogere sterftekans waargenomen, wat in lijn met een dosis-effect respons.

Het effect van beide steenmelen op de overlevingskans was met HR variërend tussen 1.7 en 11) redelijk fors tot groot te noemen. In de experimenten betekende dit concreet dat in de Eifelgold hoge (20-50) doseringen een sterfte van de gehele onderzoekspopulatie minus 1 individu bereikt werd na 158 resp. 130 dagen, in lagere doseringen van Eifelgold na 175 en 176 dagen. Bij Soilfeed werd dit moment bereikt na 186, 207, 197 en 200 dagen. Ter vergelijking: bij

beëindiging van de proef na 214 dagen) was de helft van de controle populatie nog steeds in leven. Geconcludeerd mag worden dat een direct mortaliteitseffect van steenmeel toediening in bosbodems een zeer plausibele verklaring is achter de in eerder onderzoek (de Vries et al., 2019) waargenomen verminderde dichtheden van miljoenpoten in rijkere bossen.

Het werkingsmechanisme achter de verhoogde mortaliteit van miljoenpoten is uit deze vaststelling minder eenvoudig vast te stellen. Uit gewasbeschermingsonderzoek is de effectiviteit van vergelijkbare producten zoals diatomeeënaarde als insecticide bekend (Thabet et al., 2021, Zeni et al., 2021), en deze studies noemen een beschadiging van de cuticula en bijgevolg uitdroging van de insecten als een belangrijk werkingsmechanisme. Steenmeel toepassing als insecticide/acaricide is in twee studies onderzocht, en ook deze toepassing leidde tot significant hogere sterfte bij de onderzochte modelsoorten (Faraone et al., 2018, Faraone et al., 2020). Voor al deze typen wordt echter kwarts (SiO_2) genoemd als het effectieve ingrediënt (diatomeeënaarde bestaat voor een groot deel uit kwarts), en dit komt in Eifelgold noch Soilfeed voor. Mogelijk hebben de fijnere silicaatmineralen in de onderzochte steenmelen een vergelijkbare werking.

Voor de hogere doseringen van Eifelgold kan beschadiging van het de cuticula een plausibele verklaring zijn voor de verhoogde sterfte. We zagen dat met name de individuen in de hoge Eifelgold behandelingen bedekt raakten met dit materiaal. Echter, in onze studie werd de relatieve luchtvochtigheid hoog gehouden gedurende de gehele proef, waardoor een uitdrogingseffect als gevolg van beschadiging van de exocuticula niet de meest voor de hand liggende verklaring is. Een tweede optie is dat de miljoenpoten door het eten van het substraat de fijnste partikels van het steenmeel binnen krijgen, die vervolgens leiden tot schade aan het darmepitheel met een hogere mortaliteit als gevolg. In twee student onderzoeken in samenwerking met de Radboud Universiteit is geprobeerd om dit nader te onderzoeken, maar voorsnog is dit niet gelukt. Als resultaat is intussen wel een protocol voor het maken van histologische preparaten van miljoenpoot darmen voorhanden, maar de individuen uit het experiment bleken niet bruikbaar meer voor histologische analyse (al na enige uren na sterfte is histologie niet meer mogelijk, en de overleden miljoenpoten konden al 2 dagen eerder gestorven zijn). Mogelijk wordt dit nog in de toekomst nader onderzocht.

4.1.4 Betekenis voor beheer

De resultaten van dit onderzoek stellen de bosbeheerder voor lastige dilemma's. Aan de ene kant is uit het onderzoek gebleken dat grove dennenbossen op de arme zandgrond dermate zuur van karakter zijn dat zij nauwelijks nog een geschikt habitat vormen voor miljoenpoten (en pissebedden). Beide soortgroepen zijn kalkrijke ongewervelden die in vergelijking tot huisjesslakken, vaak nog in bossen met hogere zuurgraad in voldoende mate aanwezig kunnen zijn. Hier dragen ze bij aan de afbraak van strooisel, en fungeren ze als alternatieve calciumbron voor insectivore vogelsoorten bij gebrek aan huisjesslakken (Bureš & Weidinger, 2003). De bodems van de Grove dennenbossen in deze studie zijn duidelijk ook te zuur om als geschikt habitat voor deze soortgroepen te kwalificeren. Deze soorten komen waarschijnlijk overigens nog wel in hogere dichtheden voor in microhabitats anders dan de bosbodem, met name achter schors van dode bomen. Hiermee zijn ze nog wel bereikbaar voor vogelsoorten

die actief foerageren in deze microhabitats, maar de beschikbaarheid en bereikbaarheid is evenwel tot een zeer laag niveau gedaald in dit bostype.

Uit herstel oogpunt is het dus noodzakelijk om de bodemchemie van de bossen substantieel te verbeteren, zodat er *überhaupt* een miljoenpoot populatie van enige omvang kan bestaan in deze bossen. Steenmeel blijft daarom een te overwegen maatregel om dit te bewerkstelligen, maar moet gezien de bewezen negatieve impact die het kan hebben op bestaande miljoenpoot populaties wel met meer terughoudendheid worden toegepast. Een ander alternatief is om toch terug te grijpen op bekalking als herstelmaatregel, maar ook daarvan is bekend dat deze al bij praktijktoepassingen (doseringen die gangbaar of vereist zijn voor herstel) een negatieve impact kan uitoefenen op bodemfauna (Michalko et al., 2018, Siepel et al., 2019), al zijn er ook studies bekend die positieve effecten op vogelpopulaties en rapporteren (Pabian & Brittingham, 2007, Pabian et al., 2012). Voor miljoenpoten is evenwel nog geen duidelijke positieve respons op bekalking gevonden, dit lijkt vooral evident bij huisjesslakken op te treden (Pabian et al., 2012).

Een pragmatische benadering is dat op dit moment nog niet bekend is hoe persistent en hoe sterk het negatieve effect van steenmeel toediening is op miljoenpoot populaties is, en dat het voor bostypen die onder de huidige omstandigheden te zuur zijn het nu geen kwaad kan om steenmeel toe te passen. In deze studie en het uitgebreide opgezette steenmeelexperiment in oude eikenbossen vonden we geen negatief effect van Eifelgold noch Soilfeed toediening op miljoenpoot populaties (Sitters et al., 2025), en bij Soilfeed vonden we zelfs een bescheiden toename in die studie. Dit zijn voorzichtige aanwijzingen dat in de veldsituatie een door Soilfeed bereikte stijging van de pH meer goed doet dan dat de verhoogde mortaliteit door directe blootstelling kwaad kan doen. Dit zal echter vooral het geval zijn in situaties waar de bodem sterk verzuurd is. Voor rijkere, beter gebufferde bostypen met een lagere zuurgraad en bijgevolg hogere miljoenpoot abundantie, zal die kosten-baten balans onder de streep echter anders uitpakken. Het is voor te stellen dat een beheerder hiertoe kan besluiten vanuit de gedachte dat het beter is om bodemverzuring vroeg aan te pakken. Samen met het punt dat dit waarschijnlijk niet effectief is, bij hogere pH waarden neemt de verwerking en dus de bijdrage van het steenmeel aan het leveren van basen als snel af (Van Der Bauwhede, 2025), is dit een ongelukkige beheerkeuze. Steenmeel toediening zal in dit type bossen meer kwaad dan goed doen. Ondersteunend bewijs hiervoor ligt aan de basis van dit onderzoek, waarbij een (bescheiden) positief effect van steenmeel op miljoenpoten in zure eikenbossen op de Veluwe werd gevonden (Sitters et al., 2025), maar in het beter gebufferde Mastbos (de Vries et al., 2019) een negatief effect. Ter referentie zijn de betreffende figuren uit dit onderzoek van de Vries et al. (2019) opgenomen in Bijlage 6.7.

We adviseren dan ook om in rijkere, nog enigszins gebufferde bostypen geen steenmeel toe te passen. In sterk verzuurde bossen is steenmeeltoediening nog steeds te overwegen, maar de resultaten uit deze studie geven aanleiding om ook daar terughoudend te zijn met grootschalige toepassing. Fasering in ruimte en tijd is ook hier noodzakelijk om de der eventuele nevenschade te kunnen ondervangen. Dit kan bijvoorbeeld door steenmeel toe te dienen in banen of vlakken in het bos, afgewisseld door niet behandelde banen/vlakken. Op die

manier kan de populatie overleven in de niet behandelde delen en vandaaruit het met steenmeel behandelde bos opnieuw koloniseren.

De vraag hoe lang steenmeel negatieve effecten uitoefent op miljoenpoot populaties is met dit onderzoek niet te beantwoorden. Als het werkingsmechanisme inderdaad het veroorzaken van schade aan het maagdarmkanaal is door het 'scherpe randen effect' van verst toegediend steenmeel is het denkbaar dat als gevolg van verwerking van het steenmeel dit effect geleidelijk aan zal verdwijnen. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn langjarige monitoringsstudies nodig, eventueel aangevuld met gecontroleerde kweekproeven waarbij het effect van kunstmatig versneld verweerd steenmeel in contrast tot 'vers' steenmeel en controle behandelingen vergeleken worden.

5 Referenties

- Augusto, L., J. Ranger, D. Binkley & A. Rothe 2002. Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Ann. For. Sci.* **59**:233-253.
- Berg, M. P., A. Krediet & T. Heijerman 2015. Tabel voor de Nederlandse Miljoenpoten (Myriapoda: Diplopoda). Jeugdbonduitgeverij, 's Graveland.
- Bureš, S. & K. Weidinger 2003. Sources and timing of calcium intake during reproduction in flycatchers. *Oecologia* **137**:634-647.
- Cárcamo, H. A., T. A. Abe, C. E. Prescott, F. B. Holl & C. P. Chanway 2000. Influence of millipedes on litter decomposition, N mineralization, and microbial communities in a coastal forest in British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* **30**:817-826.
- de Graaf, M. & L. Raats 2024. SUPERB workplan The Netherlands, v 2.2. Bosgroep Zuid Nederland, Heeze, 51 pag.
- de Vries, W., M. Weijters, A. de Jong, B. van Delft, J. Bloem, A. van den Burg, G.-J. van Duinen, E. Verbaarschot & R. Bobbink 2019. Verzuring van loofbossen op droge zandgronden en herstelmogelijkheden door steenmeeltoediening. VBNE, Vereniging van Bos-en Natuurterreineigenaren, Driebergen, 141 pag.
- Desie, E., L. Berg, B. Nyssen, M. Weijters, G. A. Duinen, J. Ouden, K. Vancampenhout & B. Muys 2020a. Rijkstrooisel: kansen voor herstel van de nutriëntenkringloop in bossen. *De Levende Natuur* **121**:134-139.
- Desie, E., K. Vancampenhout, B. Nyssen, L. van den Berg, M. Weijters, G.-J. van Duinen, J. den Ouden, K. Van Meerbeek & B. Muys 2020b. Litter quality and the law of the most limiting: Opportunities for restoring nutrient cycles in acidified forest soils. *Science of the Total Environment* **699**:134383.
- Diekmann, M. & U. Falkengren-Grerup 2002. Prediction of species response to atmospheric nitrogen deposition by means of ecological measures and life history traits. *Journal of Ecology* **90**:108-120.
- Falkengren-Grerup, U. & M. Schöttelndreier 2004. Vascular plants as indicators of nitrogen enrichment in soils. *Plant Ecology* **172**:51-62.
- Faraone, N., R. Evans, J. LeBlanc & N. K. Hillier 2020. Soil and foliar application of rock dust as natural control agent for two-spotted spider mites on tomato plants. *Scientific Reports* **10**:12108.
- Faraone, N., S. MacPherson & N. K. Hillier 2018. Evaluation of repellent and insecticidal properties of a novel granite dust product in crop protection. *Journal of Pest Science* **91**:1345-1352.
- Fowler, Z. K. 2014. The effects of accelerated soil acidification on aggrading temperate deciduous forests: The Fernow Experimental Forest Long Term Soil Productivity (LTSP) Study at 13 years. West Virginia University, Morgantown, WV.
- Kassambara, A., M. Kosinski & P. Biecek. 2025. survminer: Drawing Survival Curves using 'ggplot2'. versie R package version 0.5.1.
- Michalko, R., E. Kula & O. Kosulic 2018. Liming alters body size distribution in a community of epigeic spiders in birch forest (*Betula pendula* Roth). *Annals of Forest Science* **75**:92.
- Murphy, C. M., G. Gonzalez & J. Belén 2008. Ordinal abundance and richness of millipedes (Arthropoda: Diplopoda) in a subtropical wet forest in Puerto Rico. *Acta Científica* **22**:57-65.

- Nyssen, B. & L. J. L. van den Berg 2018. Bosontwikkeling op droge zandgronden. *in* J. Straaten, E. J. van Haften, W. van Kruijsbergen, en J. Hendriks (red.). Landschappen van Noord-Brabant.
- Pabian, S., S. Rummel, W. Sharpe & M. Brittingham 2012. Terrestrial liming as a restoration technique for acidified forest ecosystems. *International Journal of Forestry Research* **2012**.
- Pabian, S. E. & M. C. Brittingham 2007. Terrestrial liming benefits birds in an acidified forest in the northeast. *Ecological Applications* **17**:2184-2194.
- R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing versie 4.3.2.
- Siepel, H. 2020. Bodem-microarthropoden onder Amerikaanse vogelkers. *Vakblad Bos, Natuur & Landschap*:3-5.
- Siepel, H., R. Bobbink, B. P. van de Riet, A. B. van den Burg & E. Jongejans 2019. Long-term effects of liming on soil physico-chemical properties and micro-arthropod communities in Scotch pine forest. *Biology and Fertility of Soils* **55**:675-683.
- Sitters, J., M. Weijters, D. van Pul, R. Bobbink, J. Bruggink, M.-C. Petersdorf, H. Siepel, J. Vogels, K. Geurts, J. van der Schoor, P. C. Jansen, E. Verbruggen, W. J. Emsens, S. de Goeij & M. Scherpenisse 2025. Steenmeeltrials voor herstel van Oude eikenbossen op arme zandgronden (H9190). Voortgangsrapportage (2024). Onderzoekcentrum B-WARE iov Provincie Gelderland, 239 pag.
- Smith, J., A. Chapman & P. Eggleton 2006. Baseline biodiversity surveys of the soil macrofauna of London's green spaces. *Urban Ecosystems* **9**:337-349.
- Stašiov, S., A. Stašiová, M. Svitok, E. Michalková, B. Slobodník & I. Lukáčik 2012. Millipede (Diplopoda) communities in an arboretum: Influence of tree species and soil properties. *Biologia* **67**:945-952.
- Stašiov, S., V. Vician, T. Benčať, V. Pätoprstý, I. Lukáčik & M. Svitok 2021. Influence of soil properties on millipede (Diplopoda) communities in forest stands of various tree species. *Acta Oecologica* **113**:103793.
- Thabet, A. F., H. A. Boraei, O. A. Galal, M. F. M. El-Samahy, K. M. Mousa, Y. Z. Zhang, M. Tuda, E. A. Helmy, J. Wen & T. Nozaki 2021. Silica nanoparticles as pesticide against insects of different feeding types and their non-target attraction of predators. *Scientific Reports* **11**:14484.
- Therneau, T. 2024. A Package for Survival Analysis in R. versie R package version 3.8-3.
- van den Berg, L. & P. Sauren 2021. Resultaten monitoring POP3. Bosgroep Zuid Nederland, Heeze, 51 pag.
- Van Der Bauwhede, R. 2025. Rock dust as a restoration measure for acidified forests. From mineral dissolution to helicopter application.
- van der Burg, R. F., E. Brouwer, R. J. Bijlsma, A. van der Burg, G. A. van Duinen, P. W. F. M. Hommel, A. J. M. Jansen, E. C. H. E. T. Lucassen & R. W. de Waal 2014. Preadvies voor herstel en ontwikkeling van vochtige bossen op de pleistocene zandgronden. VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, Driebergen.
- Verbaarschot, E., D. Tak, J. Vogels, B. van de Riet, E. Verbruggen, W.-J. Emsens, S. Findeisen, M. Weijters & R. Bobbink 2025a. Effectiviteit van steenmeel als herstelmaatregel van droge heide (H4030) in het Natura 2000-gebied Strabrechtse heide. 152 pag.
- Verbaarschot, E., M. Weijters & E. Brouwer 2025b. Bosherstel project SUPERB, bodem- en bladchemisch onderzoek, eindrapportage. Onderzoekcentrum B-ware, Nijmegen, 29 pag.
- Verbaarschot, E., M. Weijters, B. van de Riet, E. Brouwer, H. Bergsma, J. Vogels & R. Bobbink 2020. Effecten van steenmeeltoediening na 5 jaar op de Strabrechtse heide. RP-17.110.20.17, Onderzoekcentrum B-WARE B.V., Nijmegen, 117 pag.

- Vogels, J. J., J. van der Schoor, R. Loeb, E. Verbaarschot, R. Bobbink, M. Scherpenisse, R. Felix, P. Verbeek, J. Verhees, H. Siepel, S. Findeisen, W.-J. Emsens, E. Verbruggen, E. Cammeraat & B. Jansen 2025. Steenmeeltoepassing in het droge heidelandschap - Tweede fase onderzoek steenmeeltoepassing in Het Nationale Park De Hoge Veluwe 2021-2025. Stichting Bargerveen, Nijmegen, 196 pag.
- Wallace, T. 1961. The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants by Visual Symptoms: A Colour Atlas and Guide. H.M. Stationery Office, London.
- Weijters, M., R. Bobbink, E. Bohnen-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., VBNE, Driebergen, 216 pag.
- Weijters, M., E. Bohnen-Verbaarschot, J. Vogels, L. Smits, B. Van de Riet, H. Siepel, E. Verbruggen, W. J. Emsens, E. Brouwer & R. Bobbink 2023. Herstel van droge- en vochtige heide door middel van silicaatmineralen (steenmeel). Resultaten van negen jaar steenmeelonderzoek. Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen, 198 pag.
- Wickham, H., M. Averick, J. Bryan, W. Chang, L. McGowan, R. François, G. Grolemund, A. Hayes, L. Henry, J. Hester, M. Kuhn, T. Pedersen, E. Miller, S. Bache, K. Müller, J. Ooms, D. Robinson, D. Seidel, V. Spinu, K. Takahashi, D. Vaughan, C. Wilke, K. Woo & H. Yutani 2019. Welcome to the Tidyverse. *Journal of Open Source Software* **4**.
- Zeni, V., G. V. Baliota, G. Benelli, A. Canale & C. G. Athanassiou 2021. Diatomaceous Earth for Arthropod Pest Control: Back to the Future. *Molecules* **26**:7487.

6 Bijlagen

6.1 Overzicht van de PQ's die in dit project zijn onderzocht

Tab. 6.1 overzichtstabel van alle monsterlocaties waar potvallen zijn uitgezet en miljoenpoten uit zijn gesorteerd.

SUPERB_Code	Ori_code	Maatregel	locatie	sublocatie	RD-X	RD-Y
NL_01	POP_PQ12	controle	Kempen	Strabrechtse Heide	173253	379858
NL_02	POP_PQ14	rijkstrooisel aanplant	Kempen	Strabrechtse Heide	172979	376353
NL_03	POP_PQ13	rijkstrooisel aanplant	Kempen	Strabrechtse Heide	173225	379606
NL_06	POP_PQ03	controle	Maashorst	Maashorst	166658	415145
NL_07	POP_PQ02	rijkstrooisel aanplant	Maashorst	Maashorst	166564	415286
NL_08	POP_PQ04	rijkstrooisel aanplant	Maashorst	Maashorst	170969	415088
NL_09	Maash_ref	rijkstrooisel aanplant	Maashorst	Maashorst ref	170064	414000
NL_15	POP_PQ17	controle	Kempen	Strabrechtse Heide	174754	372015
NL_16	POP_PQ22	controle	Kempen	Oirschotse heide e.o.	142371	383221
NL_17	POP_PQ29	controle	Kempen	Kempen midden	147268	365578
NL_20	POP_PQ23	rijkstrooisel aanplant	Kempen	Oirschotse heide e.o.	158568	368080
NL_21	POP_PQ30	rijkstrooisel aanplant	Kempen	Oirschotse heide e.o.	147255	364491
NL_22	POP_PQ15	steenmeel	Kempen	Strabrechtse Heide	173306	376211
NL_23	POP_PQ24	steenmeel	Kempen	Oirschotse heide e.o.	166033	378704
NL_24	POP_PQ31	steenmeel	Kempen	Kempen midden	147798	364701
NL_26	POP_PQ41	steenmeel	Kempen	Strabrechtse Heide	173442	379845
NL_27	POP_PQ05	controle	Maashorst	Maashorst	171687	415493
NL_28	POP_PQ01	steenmeel	Maashorst	Maashorst	166299	415434
NL_29	POP_PQ06	steenmeel	Maashorst	Maashorst	171481	414891

6.2 Aanplantschema rijk strooiselsoorten PQ onder scherm (schaduw)

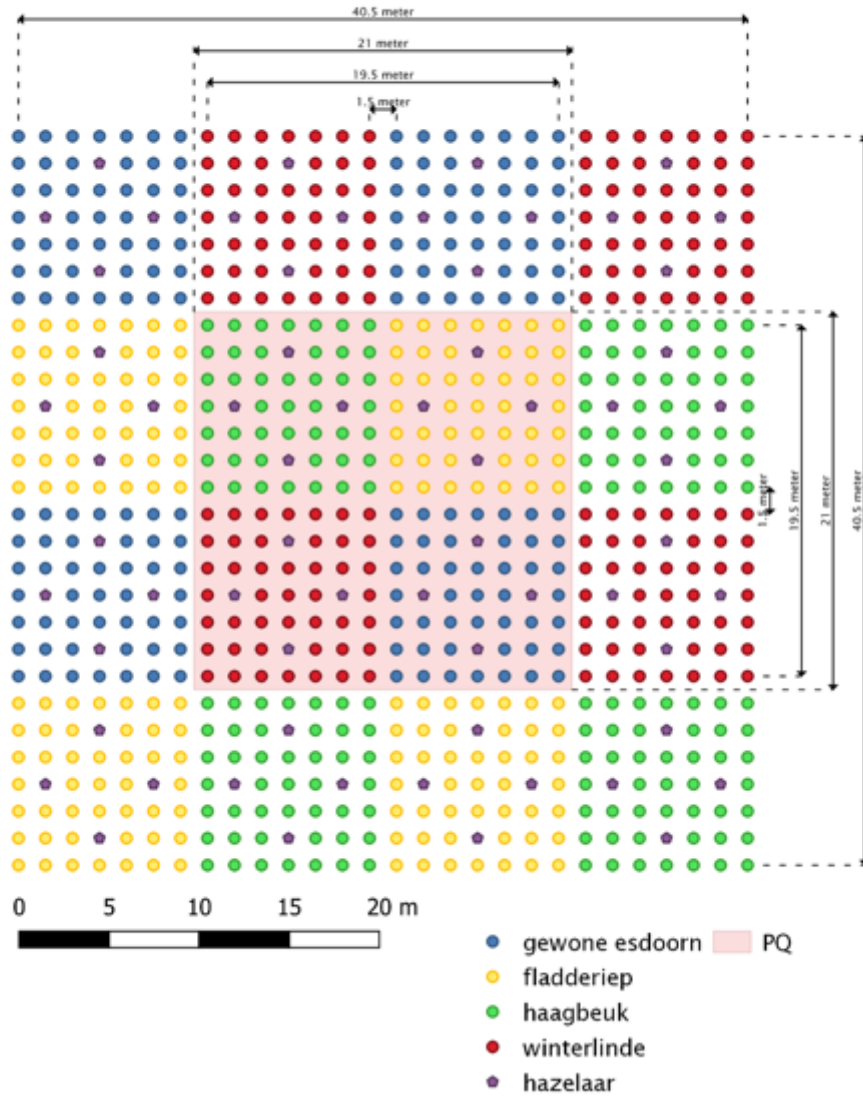


Fig. 6.1 Aanplantschema in de PQ's met rijke strooiselsoorten inbreng. Kleuren refereren naar de boomsoort die is ingebracht.

6.3 Enkele foto's genomen in de PQ's ten tijde van bemonstering



Afb. 6.1 foto impressie van situatie in de PQ's. Links: weelderige groei van Rankende helmbloem (*Ceratocarpus claviculata*) in één van de Strabrecht plots (nabij Beuven), indicatief voor een hoge beschikbaarheid van anorganisch N in het strooisel. Overige foto's: Teken van chlorose in de bladeren van rijke strooisel aanplant (van links naar rechts Fladderiep, Esdoorn, Winterlinde) indiceren een tekort aan (sporen)elementen (waarschijnlijk Mg en/of Mn, mogelijk Fe, op basis van Wallace, 1961).

6.4 Model resultaten miljoenpoot soortenrijkdom en dichtheden in veldstudie

Tab. 6.2 Poisson GLM model resultaten miljoenpoot activiteitsdichtheid in potvallen in de veldstudie. n=18, residual df=15. Estimates zijn weergegeven als ln(SR) en ln(afwijkingen op controle)

Behandeling	Estimate	SE	Z-waarde	p-waarde
Controle	0.288	0.354	0.814	0.416
Rijke strooisel aanplant	-0.693	0.612	-1.132	0.258
Soilfeed	<0.000	0.5	<0.000	1

Tab. 6.3 Negative Binomial GLM model resultaten miljoenpoot activiteitsdichtheid in potvallen in de veldstudie. Negative Binomial dispersiefactor = 0.42, n=18, residual df=15. Estimates zijn weergegeven als ln(AD) en ln(afwijking AD op controle).

Behandeling	Estimate	SE	Z-waarde	p-waarde
Controle	1.897	0.652	2.912	0.004
Rijke strooisel aanplant	-1.492	0.967	-1.542	0.123
Soilfeed	0.454	0.917	0.496	0.62

6.5 Model resultaten gewichtsverloop miljoenpoten in experiment

Tab. 6.4 Model resultaten van gewichtsverloop (in mg FW) van adulte miljoenpoten gedurende de loop van het experiment. Een significante interactie met behandeling en tijd indiceert een significant ander verloop van het gemiddelde gewicht van individuen door de tijd.

Term	Estimate	SE	t-waarde	p-waarde
Controle	53.986	0.816	66.147	<0.001***
Eifelgold 5	-6.119	1.273	-4.805	<0.001***
Eifelgold 10	2.131	1.314	1.621	0.105
Eifelgold 20	-3.761	1.314	-2.862	0.004**
Eifelgold 50	-2.559	1.48	-1.729	0.084
Soilfeed 5	4.668	1.194	3.908	<0.001***
Soilfeed 10	4.106	1.194	3.438	0.001**
Soilfeed 20	-3.328	1.262	-2.636	0.008**
Soilfeed 50	1.765	1.271	1.389	0.165
Tijd (dagen)	0.008	0.007	1.17	0.242
Eifelgold 5 : tijd (dagen)	0.007	0.013	0.509	0.611
Eifelgold 10 : tijd (dagen)	-0.014	0.015	-0.924	0.356
Eifelgold 20 : tijd (dagen)	0.045	0.015	2.975	0.003**
Eifelgold 50 : tijd (dagen)	0.007	0.02	0.354	0.724
Soilfeed 5 : tijd (dagen)	-0.036	0.012	-3.026	0.002**
Soilfeed 10 : tijd (dagen)	0.004	0.011	0.335	0.738
Soilfeed 20 : tijd (dagen)	0.015	0.012	1.24	0.215
Soilfeed 50 : tijd (dagen)	0.036	0.012	2.999	0.003**

Tab. 6.5 Model resultaten van gewichtsverloop (in mg FW) van juveniele miljoenpoten gedurende de loop van het experiment. Een significante interactie met behandeling en tijd indiceert een significant ander verloop van het gemiddelde gewicht van individuen door de tijd.

Term	Estimate	SE	t-waarde	p-waarde
Controle	23.402	0.782	29.942	<0.001***
Eifelgold 5	-1.299	1.125	-1.154	0.249
Eifelgold 10	-2.125	1.07	-1.986	0.047*
Eifelgold 20	0.588	1.175	0.5	0.617
Eifelgold 50	-2.086	1.379	-1.513	0.131
Soilfeed 5	0.133	1.831	0.073	0.942
Soilfeed 10	-3.756	1.133	-3.315	0.001**
Soilfeed 20	-1.083	1.228	-0.882	0.378
Soilfeed 50	-3.075	1.077	-2.856	0.004**
Tijd (dagen)	0.038	0.009	4.261	<0.001***
Eifelgold 5 : tijd (dagen)	-0.084	0.015	-5.564	<0.001***
Eifelgold 10 : tijd (dagen)	-0.045	0.013	-3.437	0.001**
Eifelgold 20 : tijd (dagen)	-0.024	0.017	-1.378	0.169
Eifelgold 50 : tijd (dagen)	0.003	0.037	0.087	0.931
Soilfeed 5 : tijd (dagen)	0.036	0.08	0.446	0.656
Soilfeed 10 : tijd (dagen)	0.037	0.014	2.618	0.009**
Soilfeed 20 : tijd (dagen)	0.012	0.024	0.518	0.605
Soilfeed 50 : tijd (dagen)	-0.041	0.015	-2.698	0.007**

6.6 Modelresultaten survival analyse

Tab. 6.6 Cox proportional hazard model resultaten van miljoenpoot overlevingskansen als verschil ten opzichte van controle onder de verschillende steenmeel behandelingen en doseringen. HR= 'hazard ratio', de maat voor relatieve kans op eerder overlijden per tijdseenheid ten opzichte van controle. 95%CI lower/upper= 95% betrouwbaarheidsintervallen van HR, Z-waarde = toetsstatistiek, p-waarde = significantiegraad. Cox proportional hazard model werd gestratificeerd over levensstadium (adult vs juveniel). Het totaal model was significant (likelihood ratio test = 34.87 bij 8 vrijheidsgraden, $p < 0.001$) en had een redelijk voorspellende waarde op overleving (concordance = 0.66).

Behandeling	HR	SE	95CI % lower	95 CI upper	Z-waarde	p-waarde
Eifelgold 5	3.35	0.44	1.41	7.96	2.74	0.006**
Eifelgold 10	3.12	0.45	1.28	7.58	2.51	0.012*
Eifelgold 20	5.31	0.45	2.2	12.82	3.71	<0.001***
Eifelgold 50	10.94	0.46	4.44	26.96	5.2	<0.001***
Soilfeed 5	4.65	0.44	1.96	11.01	3.49	<0.001***
Soilfeed 10	1.77	0.42	0.78	4.00	1.37	0.17
Soilfeed 20	3.59	0.43	1.53	8.41	2.94	0.003**
Soilfeed 50	2.69	0.43	1.16	6.24	2.3	0.021*

6.7 Grafieken miljoenpoot en pissebedden respons uit de Vries *et al*, 2019

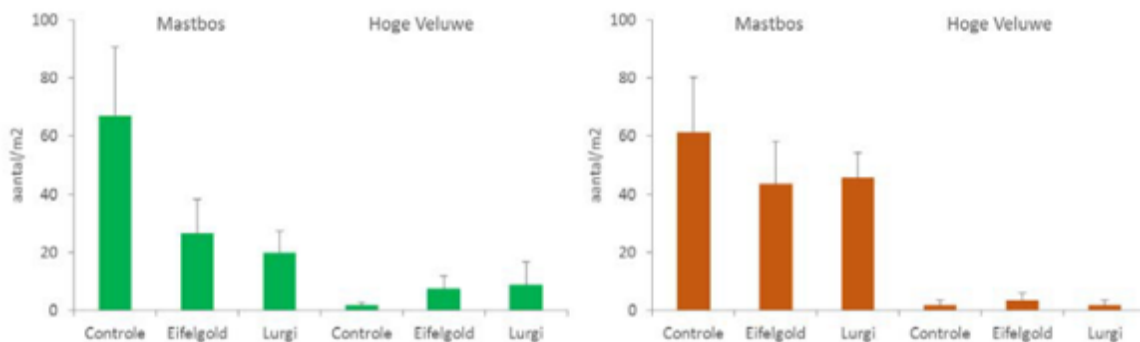


Fig. 6.2 Gemiddelde abundantie van miljoenpooten (links) en pissebedden (rechts) in de steenmeel behandelde plots in het rijkere Mastbos en het verzuurde eikenbos Hoge Veluwe. Grafiek is overgenomen uit de Vries *et al.* (2019). In Mastbos heeft zowel Eifelgold als Soilfeed (hier is nog de oude naam Lurgi gehanteerd) een significant lagere abundantie van miljoenpooten tot gevolg. Bij pissebedden is eenzelfde trend waarneembaar. In de sterk zure bosbodems van Hoge Veluwe is dit effect niet waarneembaar, maar dichtheden zijn daar in alle behandelingen zeer laag.