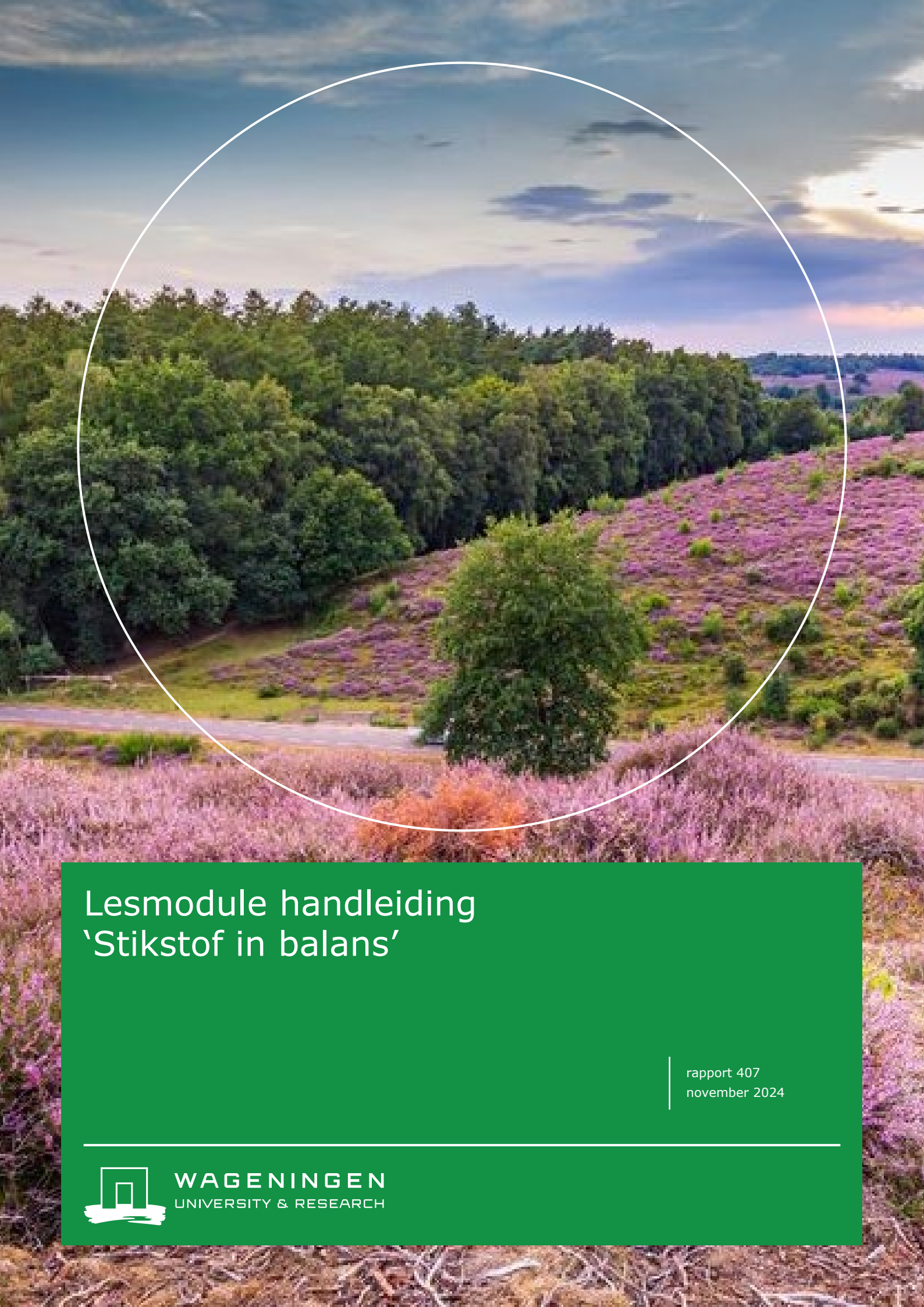




Lesmodule handleiding 'Stikstof in balans'

rapport 407
november 2024



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Wetenschapswinkel

Lesmodule handleiding 'Stikstof in balans'

rapport 407
november 2024

Colofon

Titel	Lesmodule handleiding 'Stikstof in balans'
Trefwoorden	Stikstof, lesmodule, biodiversiteit, ecosysteem
Keywords	Nitrogen, course, module, biodiversity, ecosystems
Opdrachtgever	Natuuropleiding
Projectuitvoering	Lian Grabijn, Wieger Wamelink, Tessa Stroeken en Lisa Warum Academic Consultancy Training-team: Douwe Klein Swormink, Vera ten Bruggencate, Janne de Haan, Floor Hoevers, Marieke Smit en Moon van Asseldonk
Projectcoördinatie	Lian Grabijn
Financiële ondersteuning	Wageningen Wetenschapswinkel
Begeleidingscommissie	Gerard Straver van Wageningen Wetenschapswinkel Alanya den Boer van de Wageningen Wetenschapswinkel Netty van Marle van Het Streek in Ede Rob Keller van Karel de Grote College in Nijmegen
Fotoverantwoording	De foto's, kaartjes en figuren zijn vervaardigd door de auteurs of de meewerkende studenten, tenzij anders aangegeven
Vormgeving	Wageningen University & Research, Communication Services
Druk	RICOH, 's-Hertogenbosch
Bronvermelding	Verspreiding van de publicatie en overname van gedeelten eruit wordt aangemoedigd, mits voorzien van deugdelijke bronvermelding

Dit stemt overeen met de Creative Commons Licentie: CC BY

Zie ook: Ownership & licences – WUR



This work is licensed under the Creative Commons CC-BY license. The license terms are available on: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>.

DOI <https://doi.org/10.18174/678839>

Wageningen, Wetenschapswinkel rapport 407

Rapportnummer 407

Lian Grabijn en Wieger Wamelink
Wageningen, november 2024

**Monique Könings van
Natuuropleiding**

Natuuropleiding biedt lessen aan die ervaringsgericht zijn, dat wil zeggen dat ze je mee op pad nemen en de natuur laten zien, horen, ruiken, proeven, voelen en ervaren. Bij Natuuropleiding geloven ze in fysieke lessen, dus geen tutorials of webinars! Ook geloven ze dat nooit één docent alle wijsheid in pacht heeft, dus bestaan ze uit een heel team van Natuurdocenten!

**Wageningen Environmental
Research**

Wageningen Environmental Research draagt door deskundig en onafhankelijk onderzoek bij aan het realiseren van een kwalitatief hoogwaardige en duurzame groene leefomgeving.

**Wetenschapswinkel Wageningen
University & Research**

Postbus 9101
6700 HB Wageningen
(0317) 48 39 08
wetenschapswinkel@wur.nl

Maatschappelijke organisaties zoals verenigingen en belangengroepen, die niet over voldoende financiële middelen beschikken, kunnen met onderzoeksvragen terecht bij de Wageningen Wetenschapswinkel. Deze biedt ondersteuning bij de realisatie van onderzoeksprojecten. Aanvragen moeten aansluiten bij de werkgebieden van Wageningen University & Research: duurzame landbouw, voeding en gezondheid, een leefbare groene ruimte en maatschappelijke veranderingsprocessen.

Disclaimer: de inhoud van deze module is ontworpen en aangereikt door onderzoekers vanuit Wageningen University & Research (WUR).

Alle wijzigingen aan deze module én het daadwerkelijk geven van de module draagt de WUR geen verantwoording voor.

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Opzet en leerdoelen van de lesmodule	6
3	Opbouw van de lesmodule	8
4	Gedetailleerde omschrijving per onderdeel	9
4.1	Activiteit: begin de dag met 'over de streep'	9
4.2	Theorie: Wat is stikstof?	9
4.2.1	Activiteit: moleculen bouwen	11
4.3	Theorie: De stikstofkringloop	12
4.3.1	Stikstof gedicht	13
4.3.2	Activiteit: kringlooppuzzel	14
4.4	Lunch en persoonlijke impact	15
4.5	Activiteit: wandeling door een natuurgebied	16
4.5.1	Theorie: voedselweb	18
4.5.2	Activiteit: voedselwebspel	19
4.5.3	Activiteit: zintuigen	20
4.5.4	Theorie: invloed op biodiversiteit	21
4.5.5	Theorie: water eutrofiëring	22
4.5.6	Activiteit: meten van pH en Nitraat	23
5	Einde en afsluiting lesdag	24
6	Locatie suggesties en aanvullende informatie	25
7	Verdiepende literatuur	27
	Dankwoord	29
Bijlage 1	Voorbeeld stellingen voor oefening over de streep	30
Bijlage 2	Theorie: wat is stikstof?	31
Bijlage 3	Theorie: stikstofkringloop	32
Bijlage 4	Stikstof gedicht	34
Bijlage 5	Theorie: voedselweb	36
Bijlage 6	Theorie: invloed op biodiversiteit	37
Bijlage 7	Theorie: water eutrofiëring	38
	Literatuurlijst	39

1 Inleiding

Deze lesmodule is ontwikkeld om mensen op een interactieve manier te informeren over stikstof en hoe stikstof een rol speelt in ecosystemen en de maatschappij.

De module is tot stand gekomen door een aanvraag van Natuuropleiding via de Wetenschapswinkel van Wageningen University & Research.

De lesmodule is vrij te gebruiken en aan te passen naar eigen behoefte en doelgroep.

Er wordt wel aangeraden dat de docent die de module gaat geven enige voorkennis heeft over de verschillende thema's.

In de lesmodule worden deze vier thema's behandeld:

1. Biochemische eigenschappen van stikstof en de effecten van stikstofdepositie.
2. Biodiversiteit in ecosystemen en de invloed van stikstof op die ecosystemen.
3. Het aanstippen van de maatschappelijke complexiteit van de stikstofcrisis in Nederland.
4. Persoonlijke impact op stikstofdepositie.

2 Opzet en leerdoelen van de lesmodule

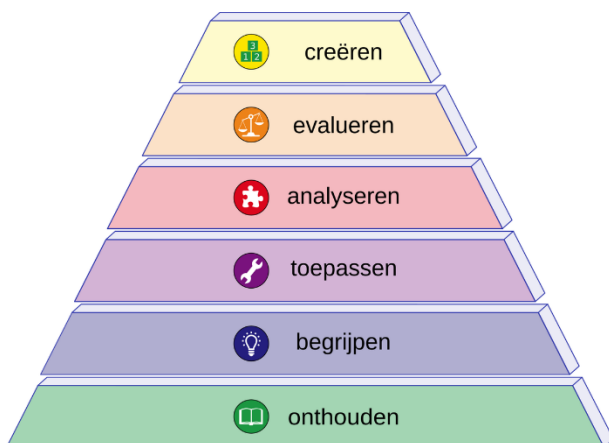
De lesmodule is opgezet rondom verschillende thema's waaruit leerdoelen zijn opgesteld. Om de leerdoelen voor de module op te stellen, zijn eerst de belangrijkste inhoudelijke thema's vastgesteld. De thema's zijn grotendeels geïnspireerd op het Academic Consultancy Training (ACT)-rapport Natuurwijzer, 2023, waarin verschillende onderwerpen over stikstof worden onderscheiden.

In het eerste thema wordt de chemische basiskennis over stikstof en de stikstofkringloop behandeld, die nodig is voor begrip van de andere thema's. Het tweede thema bouwt hierop voort en richt zich op de invloed van stikstof op natuur en biodiversiteit. Het derde thema, dat naar keuze uitgebreider of beknopter kan worden behandeld, gaat over de maatschappelijke aspecten van het stikstofprobleem. Het laatste thema betreft persoonlijke aspecten, zoals je eigen invloed op stikstofuitstoot en persoonlijke opvattingen over het onderwerp. Bij elk onderdeel van de lesmodule is aangegeven onder welk thema het gedeelte valt door middel van kleuren (grijs, groen, geel en blauw).

De vier thema's:

- 1. Biochemische eigenschappen van stikstof en de effecten van stikstofdepositie.
- 2. Biodiversiteit in ecosystemen en de invloed van stikstof op die ecosystemen.
- 3. Het aanstippen van de maatschappelijke complexiteit van de stikstofcrisis in Nederland.
- 4. Persoonlijke impact op de stikstofdepositie.

Op basis van deze vier thema's zijn leerdoelen geformuleerd volgens de taxonomie van Bloom (Krathwohl, 2002). Deze taxonomie onderscheidt verschillende leerstadia die elkaar in een oplopende volgorde opvolgen, waarbij het ene niveau de basis vormt voor het volgende niveau (zie figuur 1). De leerdoelen zijn opgesteld aan de hand van dit model om duidelijk te maken welk leerniveau van de deelnemers verwacht wordt. In tabel 1 zijn de leerdoelen per leerniveau en thema weergegeven, waarbij de thema's per rij en de leerniveaus per kolom zijn ingedeeld.



Figuur 1 Taxonomie van Bloom. Bron: UU, docentenportaal farmaceutische wetenschappen.

Tabel 1 Leerdoelen opgezet volgens de taxonomie van Bloom ingedeeld per thema welke in de lesmodule behandeld wordt.

Thema	Kennis	Begrip	Toepassing	Analyse	Evaluatie	Creatie
Stikstofkringloop & deposities	Herken verschillende eigenschappen van stikstof.	Begrijp de rol van de stikstofkringloop in ecosystemen. Begrijp hoe mensen de stikstofkringloop kunnen beïnvloeden.	Meet stikstof aanwezigheid en verbind theorie met praktijk.	Onderzoek de invloed van menselijke verstoringen op de stikstofkringloop.	Herken algemene aanwezigheid van stikstof in de natuur.	
Biodiversiteit & systemen	Omschrijf natuurherstelmogelijkheden die effecten van stikstofdepositie kunnen verminderen.	Begrijp de invloed van stikstofdepositie op biodiversiteit en relaties in ecosystemen.		Onderzoek verschillende niveaus van een voedsel web en laat verstoringen zien.	Ervaar de natuurlijke omgeving met al je zintuigen. Onderzoek relaties en observeer complexiteit en veranderlijkheid van de ecologische balans om een level van systeemdenken te bereiken.	
Maatschappij & perspectief					Leer kritisch nieuwe informatie te analyseren en meer inzicht te krijgen in de stikstofproblematiek. En daarnaast een eigen mening te vormen.	
Persoonlijke invloed				Analyseer (grofweg) de hoeveelheid stikstof in je voedsel.	Denk na over je persoonlijke stikstofuitstoot en de oorzaken. Beschouw persoonlijke emoties en gevoelens over de behandelde onderwerpen.	Geïnspireerd raken om zelf tot persoonlijke initiatieven te komen om je eigen stikstofuitstoot te verminderen.

3 Opbouw van de lesmodule

De opzet van de lesmodule is op zo'n manier ontwikkeld dat deze in één dag te geven is. De dag zelf is opgesplitst in twee delen. In het **eerste dagdeel** wordt er antwoord gegeven op de vraag 'wat is stikstof?' en wordt de stikstofkringloop uitgelegd op een interactieve wijze. Het **tweede deel** van de dag vindt buiten plaats in de vorm van een wandeling. De route van de wandeling is locatie specifiek en het is aan de docent om deze uit te kiezen. Tijdens deze wandeling worden de volgende onderdelen behandeld: het voedselweb, invloed op biodiversiteit (vermesting en verzuring) en water eutrofiëring (optioneel). De theoretische achtergrond en activiteiten zijn gekoppeld aan leerdoelen. In tabel 2 is een voorbeeld opgezet voor een lesdag.

Tabel 2 Voorbeeld indeling van een lesdag.

Tijd	Onderwerp	Activiteit	Leerdoelen
10:15	Opening	Over de streep	Beschouw persoonlijke emoties en gevoelens over de behandelde onderwerpen.
10:30	Wat is stikstof?	Moleculen bouwen	Herken verschillende eigenschappen van stikstof. Herken de algemene aanwezigheid van stikstof in de natuur.
11:15		Pauze	
11:30	Stikstofkringloop en verstoringen	Kringloop puzzel en gedicht	Begrijp de rol van de stikstofkringloop in ecosystemen in Nederland. Begrijp hoe mensen de stikstofkringloop kunnen verstoren in Nederland en hoe maatschappelijk complex dit onderwerp is.
12:30	Lunch	Bespreken stikstof impact lunch	Schat de hoeveelheid (weinig, veel) stikstof in je eigen voedsel. Onderzoek de oorzaken en grootte van onze persoonlijke stikstof uitstoot. Raak geïnspireerd om over eigen initiatieven na te denken.
13:30		Start wandeling	
13:45	Voedselweb	Voedselweb spel	Onderzoek verschillende niveaus van een voedsel web en laat verstoringen zien.
14:15	Zintuigen	Bosbaden	Ervaar de natuurlijke omgeving met al je zintuigen.
14:30	Verstoringen	Schaapskooi: kringloop op boerderij, schapen op de heide	Omschrijf natuurherstel mogelijkheden die effecten van stikstofdepositie kunnen verminderen.
15:15	Heide: impact stikstof	Vermesting en verzuring	Begrijp de invloed van stikstofdepositie op de biodiversiteit en de relaties in een ecosysteem.
	Heide: verstoord voedselweb	Observeren en verbanden leggen	Onderzoek relaties in een ecosysteem en observeer de complexiteit en veranderlijkheid van de ecologische balans om een level van systeemdenken te bereiken.
	Water: eutrofiëring	Optioneel: meten pH en NOx	Meet de aanwezigheid van stikstof met pH en nitraat metingen en verbind theoretische kennis met de resultaten van de metingen.
15:45	Afronding	Deelnemers evaluatie	In staat zijn om kritisch nieuwe informatie te analyseren gebaseerd op verworven kennis in deze module en om een eigen mening te vormen.

4 Gedetailleerde omschrijving per onderdeel

4.1 **Activiteit:** begin de dag met 'over de streep'

Om de dag te beginnen, worden deelnemers uitgenodigd om een 'landings' oefening te doen, genaamd 'over de streep'. Hier worden deelnemers uitgedaagd om over hun persoonlijke relatie met stikstof na te denken. Dit helpt om standpunten duidelijk te maken en voorkennis te testen, terwijl een veilige en respectvolle sfeer wordt gecreëerd.

Aanpak

1. Creëer een veilige omgeving: stel regels vast voor de oefening, zoals het niet reageren op elkaars standpunten en er zijn geen foute antwoorden, om een open en relaxte sfeer te bevorderen.
2. Trek een denkbeeldige lijn met 'eens' aan de ene kant en 'oneens' aan de andere kant.
3. Beantwoord de stellingen: introduceer een stelling (zie bijlage 1 voorbeeldstellingen). Geef deelnemers tijd om na te denken en laat ze dan naar de kant van de lijn lopen die hun mening weerspiegelt.
4. Reflecteer op de stellingen: vraag, indien passend, naar het standpunt van de deelnemers maar houd de discussie respectvol en vermijd politieke debatten.

4.2 **Theorie:** Wat is stikstof?

Leerdoel: herken de verschillende eigenschappen van stikstof.

In dit gedeelte worden de chemische eigenschappen van stikstof beschreven en uitgelegd. Dit kan aan de hand van een PowerPoint in combinatie met een interactieve lesvorm. Na de theoretische uitleg wordt het gevolgd door een activiteit: moleculen bouwen. Zie bijlage 2 voor uitgebreide theoretische informatie.

Kennisvereiste docent: basiskennis scheikunde en hoe moleculen opgebouwd zijn en de eigenschappen van moleculen (en met name stikstof).

Opdracht vóór de les

- Vraag deelnemers om een object mee te nemen dat stikstof bevat.
- *Alternatief:* vraag deelnemers om objecten in hun omgeving aan te wijzen of op te noemen die stikstof bevatten.

Doel van de opdracht

- Stimuleer deelnemers om na te denken over stikstof en de aanwezigheid van stikstof in hun omgeving.
- Maak de term stikstof minder abstract en laat deelnemers inzien dat stikstof overal om ons heen is.
- Verkrijg inzicht in de voorkennis van deelnemers door de objecten te bekijken.

Activiteit bij start van de les

- Bespreek de meegebrachte objecten.
- Laat elke deelnemer uitleggen welk object ze hebben meegenomen en in welke vorm stikstof daarin aanwezig is.

De theorie die vervolgens wordt behandeld is als volgt opgezet:

1. **Wat is stikstof?**

- Stikstof (N), een atoom, is aanwezig in veel moleculen.
- Lucht bestaat voor 78% uit stikstofgas (N₂).

2. **Eigenschappen van stikstofgas**

- N₂ is niet reactief onder normale omstandigheden.
- Wordt gebruikt voor druk in spuitbussen en om banden te vullen.
- Vloeibaar bij -196°C, gebruikt voor medische- en kooktoepassingen.

3. **Toepassingen van vloeibare stikstof**

- Bevriezen van voedingsmiddelen en organen.
- Wratten aanstippen en voedingsmiddelen snel invriezen.

4. **Stikstof in eiwitten**

- Essentieel voor alle organismen in de vorm van eiwitten.
- Wij krijgen stikstof binnen via eiwitten in voedsel (vlees, peulvruchten, noten, zuivel).
- Eiwitten bestaan uit stikstof, koolstof, zuurstof, en waterstof.

5. **Stikstofkringloop**

- Beweegt door de natuur in verschillende vormen: stikstofgas, ammoniak (NH₃), ammonium (NH₄⁺), Lachgas (N₂O) en stikstofoxiden (NO, NO₂⁻, NO₃). Daarnaast onderdeel van eiwitten, DNA en veel organische verbindingen.
- Stikstofoxiden komen vrij bij verbranding van fossiele brandstoffen en kunnen schadelijk zijn voor gezondheid en milieu.

6. **Ammoniak**

- Essentieel in de bodem voor planten, maar overmatige uitstoot kan milieuschade veroorzaken.

4.2.1 **Activiteit:** moleculen bouwen

Doel van de activiteit

- Maak abstracte termen zoals N_2 , N_2O , NO_x , NH_3 , en NH_4^+ tastbaarder door moleculen te bouwen.
- Begrip van reactieve (bijv. NH_3) en niet-reactieve moleculen (bijv. N_2) met stikstof.
- De oefening is bedoeld om moleculen te visualiseren, niet om diepgaande chemische kennis te verwerven.

Tips voor succes

Voorkennis: vraag naar de voorkennis van deelnemers. Maak indien gewenst twee groepen: beginners en gevorderden.

Beginners: begin met eenvoudige moleculen. Geef kleurcodes aan atomen als er een gekleurde molecuulbouwset wordt gebruikt.

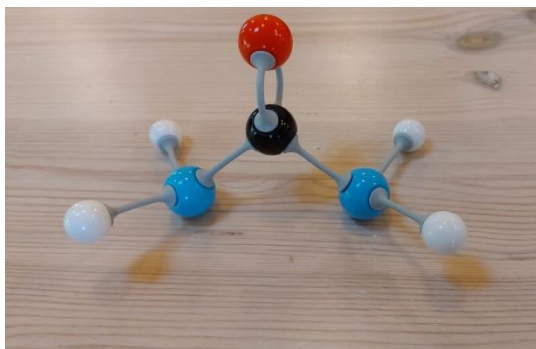
Gevorderden: daag hen uit met complexere moleculen zoals ureum, DNA of eiwitten. Laat hen letten op bindingen en ladingen.

Benodigdheden

- Scheikundige molecuulbouwset (figuur 2).

Aanpak

- Laat deelnemers zelf moleculen bouwen die stikstof bevatten.
- Vertel duidelijk dat het niet om het volledig begrijpen van alle stikstofverbindingen gaat, maar om het visualiseren van moleculen en hun verschillen.



Figuur 2 Nagebouwd molecuul welke stikstof bevat.

4.3 Theorie: De stikstofkringloop

Leerdoel: begrijp de rol van de stikstofkringloop in ecosystemen.

Leerdoel: begrijp hoe mensen de stikstofkringloop kunnen beïnvloeden.

In dit gedeelte wordt de stikstofkringloop uitgelegd en hoe stikstof zich door het ecosysteem heen beweegt. Dit gedeelte bestaat uit een gedicht en een activiteit: kringloop puzzel. De theoretische achtergrond hieronder is voornamelijk voor de docent om erbij te houden en eventueel vragen te beantwoorden of toch iets dieper in te gaan op de verschillende delen van de stikstofkringloop.

Bij dit onderdeel kan dus gestart worden met het gedicht en aan de hand daarvan kan de kringloop puzzel gemaakt worden. Daarna kan er eventueel dieper worden ingegaan op de theorie. Zie bijlage 3 voor uitgebreidere theoretische achtergrond.

Kennisvereiste docent: werking van de stikstofkringloop, basiskennis ecosystemen.

1. Inleiding stikstofkringloop

- De stikstofkringloop beschrijft hoe stikstof zich door een ecosysteem beweegt en omgezet wordt in verschillende moleculen.

2. Stikstof in de atmosfeer

- Stikstofgas (N_2) is aanwezig in de lucht en is niet direct bruikbaar voor de meeste organismen.
- Stikstoffixatie: stikstofgas wordt omgezet in ammonium of nitraat door stikstofbindende bacteriën (en ook vrijlevende bacteriën zoals cyanobacteriën) in de wortels van vlinderbloemigen (bonensoorten).

3. Stikstofopname door planten

- Planten nemen stikstof op als ammonium of nitraat uit de bodem.
- Stikstofassimilatie: planten gebruiken de opgenomen stikstof om eiwitten te bouwen.

4. Beweging van stikstof door de kringloop

- Planten worden gegeten door andere organismen, wat leidt tot voortgezette assimilatie.
- Uitscheiding en compostering: dode organismen en uitscheiding van dieren brengen stikstof terug in de bodem, waar het wordt omgezet via ammonificatie (ureum naar ammoniak) en nitrificatie (ammoniak naar nitriet en nitraat).

5. Stikstof terugkeer naar de atmosfeer

- Ammoniak kan omgezet worden in stikstofgas door deammonificerende bacteriën in zuurstofloze omstandigheden.
- Nitraat kan weer omgezet worden in stikstofgas via denitrificatie.

6. Ontsnappen uit de kringloop

- Vervluchting: ammoniak uit urine en mest kan als gas in de lucht komen.
- Uitspoeling: nitraat kan oplossen in oppervlakte- en grondwater. Daarnaast is het belangrijk dat het ook kan uitspoelen naar dieper bodemlagen en grondwater. Bij afspoeling naar oppervlaktewater verplaatst het en veroorzaakt elders mogelijk problemen.

1. Stikstofoverschot

- Mensen voegen (indirect) stikstof toe aan het ecosysteem, wat leidt tot stikstofdepositie.

2. Belangrijke bronnen van stikstof

- Kunstmest: komt in de stikstofcyclus op de boerderij terecht. Wat betekent dus meer voeding voor vee. Het vee produceert vervolgens weer meer mest en dus weer meer ammoniak.
- Veevoer: het eiwitrijke krachtvoer voor vee bevat veel stikstof. Dit krachtvoer wordt vaak ingevoerd uit het buitenland waardoor er stikstof aan het systeem wordt toegevoegd.
- Fossiele brandstoffen: verbranding veroorzaakt stikstofoxiden die bijdragen aan stikstofdepositie.

3. Gevolgen en oplossingen

- Stikstofdepositie kan leiden tot milieuproblemen zoals verzuring en eutrofiëring.
- Maatregelen: er zijn maatregelen opgesteld vanuit de Europese Unie en Nederlandse overheid om stikstofemissies te verminderen, maar veranderingen in beleid zijn complex door hun impact op sectoren zoals landbouw en industrie en de vele belangen die hiermee gemoeid zijn.

4.3.1 Stikstof gedicht

Zie bijlage 4 voor het gedicht welke is geschreven door stagiaire, Lisa Warum. Het gedicht is in het Engels geschreven en het wordt ook aangeraden om het in het Engels voor te dragen. Een Nederlandse optie is wel beschikbaar in de bijlage.

Doel van het gedicht

Het doel is om deelnemers op een creatieve manier kennis te laten maken met de concepten van de kringloop.

- Visualisatie: het gedicht helpt deelnemers om een visueel en emotioneel begrip van de stikstofkringloop te krijgen zonder technische uitleg.
- Het moedigt deelnemers aan om na te denken over de rol van stikstof in verschillende stadia van de kringloop en de continuïteit van de verandering in de natuur.

Optionele vervolgstappen

- Leg de belangrijkste concepten van de stikstofkringloop uit, zoals stikstoffixatie, assimilatie door planten, de voedselketen en afbraakprocessen.

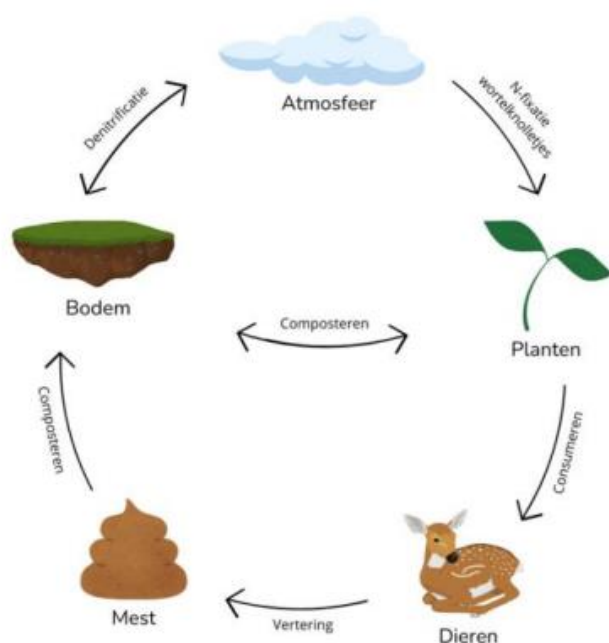
4.3.2 Activiteit: kringlooppuzzel

1. Voorbereiding

- Zorg voor kaartjes met de hoofdonderdelen van de stikstofkringloop: atmosfeer, planten, dieren, mest, en bodem (met plaatjes indien mogelijk, zie figuur 3).
- Maak ook pijlen voor het verbinden van onderdelen.
- Maak briefjes met versimpelde processen zoals stikstofixatie, eten/consumeren, verbranding, rotten/composteren en denitrificatie.

2. Introductie van de activiteit

- Leg uit dat deelnemers zelf een stikstofkringloop puzzel gaan maken.
- Deel de kaartjes uit met de hoofdonderdelen en pijlen.
- Geef de deelnemers briefjes met versimpelde processen.



Figuur 3 Vereenvoudigde stikstofkringloop. Bron: Stroeken 2024.

3. Aanpak activiteit

1. Laat de deelnemers de hoofdonderdelen in een cirkel leggen zoals zij dat logisch vinden.
2. Vervolgens laat je de deelnemers de pijlen gebruiken om de onderdelen met elkaar te verbinden.
3. Vraag de deelnemers om de briefjes met processen naast de juiste verbindingen te leggen.

4. Discussie over de natuurlijke Stikstofcyclus

- Bespreek hoe de natuurlijke stikstofcyclus werkt aan de hand van de puzzel.
- Introduceer factoren die de stikstofkringloop beïnvloeden, zoals landbouw, industrie en verkeer.
- Laat de deelnemers deze factoren op nieuwe briefjes schrijven en op de juiste plekken in de kringloop plaatsen.

5. Discussie over menselijke invloeden

- Bespreek de impact van menselijke activiteiten op de stikstofkringloop, zoals stikstofoverschot door landbouw en NOx uitstoot door fossiele brandstoffen.
- Voeg extra pijlen toe om deze invloeden te illustreren (bijvoorbeeld influx uit het buitenland door krachtvoer en kunstmest, en NOx uitstoot door verbranding van fossiele brandstoffen).

6. Verdieping (optioneel)

- Voor deelnemers die meer geïnteresseerd zijn in chemische processen, voeg stikstofmoleculen toe aan de puzzel en bespreek de chemische eigenschappen en processen.

4.4 Lunch en persoonlijke impact

Leerdoel: analyseer (groveweg) de hoeveelheid stikstof in je voedsel.

Leerdoel: nadenken over je persoonlijke stikstofuitstoot en de oorzaken hiervan.

Leerdoel: geïnspireerd worden om zelf tot persoonlijke initiatieven te komen om je eigen stikstofuitstoot te verminderen.

De lunchpauze kan gebruikt worden om de deelnemers inzicht te laten krijgen van de hoeveelheid stikstof in hun voedsel. Daarnaast kan de lunch gebruikt worden om bewustzijn te creëren en een gesprek te hebben over de impact van voedselkeuzes (maar het doel is niet om exacte cijfers te berekenen). Dit kan aan de hand van een dierlijk product van een gangbare boerderij en/of biologische boerderij en een ander eiwitrijk product zoals bonen of noten.

1. Hoeveelheid Stikstof

- Stel de vraag: "In welk voedingsmiddel uit de lunch zit naar jouw idee de meeste stikstof?"
- Bespreek eiwitrijk voedsel en de relatie tussen eiwitten en stikstof.
- Leg uit dat eiwitten hoge stikstofgehalten hebben.

2. Stikstofuitstoot

- Vraag: "Welk voedingsmiddel veroorzaakt volgens jou de hoogste stikstofuitstoot?"
- Herhaal de oorzaken van stikstofuitstoot indien nodig (bijv. productie van vlees, kunstmestgebruik).
- Bespreek de impact van voedselproductie en transport op stikstofuitstoot.

3. Verbanden

- Bespreek hoe dierlijke producten vaak een hogere stikstofuitstoot veroorzaken dan plantaardige producten. Het is wel belangrijk om te weten waar het dierlijke product vandaan komt. De impact op de omgeving van een stukje vlees (of melk, kaas etc.) van een gangbare boerderij kan groter zijn dan van een biologische boerderij, waarbij ze nauwelijks krachtvoer gebruiken.
- Overweeg ook de impact van voedsel dat lange afstanden aflegt naar de supermarkt in Nederland.

4. Bewustwording en actie

- Bespreek de persoonlijke impact van voedselkeuzes op stikstofdepositie.
- Moedig deelnemers aan om na te denken over hoe ze hun eigen voedingspatroon kunnen aanpassen om de stikstofuitstoot te verminderen (bijv. minder vlees, lokaal geproduceerd voedsel).

4.5 **Activiteit:** wandeling door een natuurgebied

Deze activiteit bestaat uit een wandeling door een natuurgebied, met als thema de invloed van stikstof op natuur. Het doel hiervan is om te visualiseren en de deelnemers te laten waarnemen wat het effect is van stikstof op de natuur. Het is gebiedsafhankelijk welke effecten van stikstof op de natuur waar te nemen zijn.

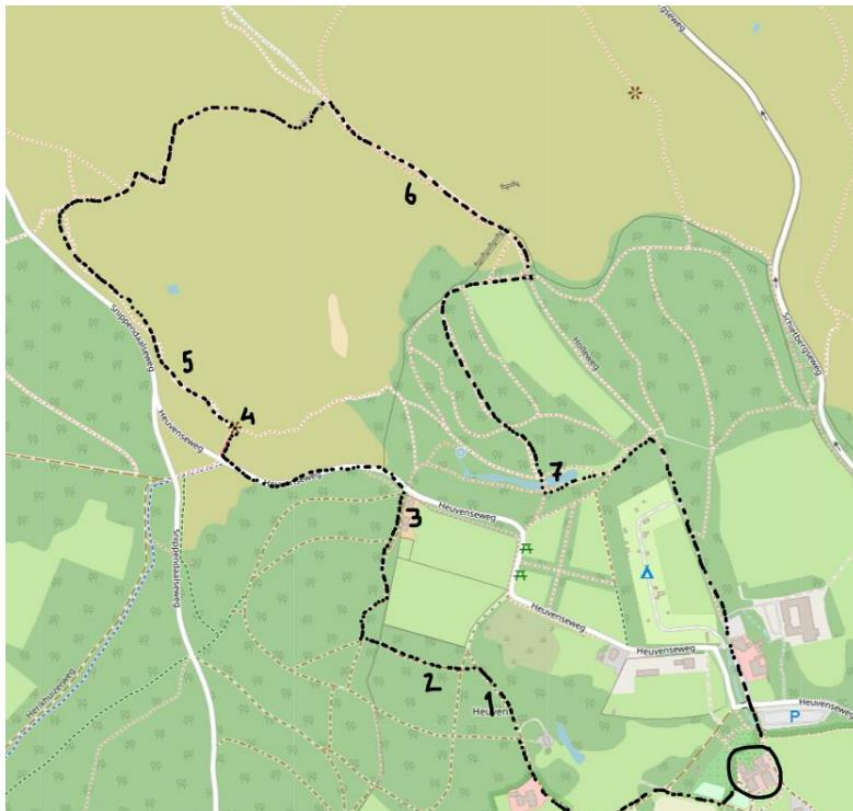
Vorbereiding:

1. Kies de locatie

- Selecteer een natuurgebied (zie hoofdstuk 6 voor suggesties voor locaties) dat bij voorkeur heide en een (eiken) bos bevat. Alternatieven zijn ook mogelijk. Denk aan bezoek van een biologische boer tijdens de wandeling of om de wandeling mee te eindigen.
- Zorg voor een route die de relevante onderwerpen en activiteiten met elkaar verbindt. En dat de onderwerpen aansluiten bij de aanwezige flora, fauna en landschappen.
- Check altijd bij de terrein beherende organisatie of particuliere beheerder of je er mag komen!

2. Routeplanning

- Stippel een route uit die langs verschillende punten komt waar de specifieke onderwerpen besproken kunnen worden (zie figuur 4 voorbeeldroute op de Veluwezoom).
- Bereid je voor op de locatie-specifieke kenmerken en bepaal welke flora en fauna relevant zijn voor de discussie.



Figuur 4 Voorbeeldroute op de Veluwezoom waarbij er op verschillende punten theorie wordt behandeld of een activiteit gedaan wordt. Bron: Natuurmonumenten.

Activiteiten tijdens de wandeling (worden in de volgende hoofdstukken uitgebreider uitgelegd):

1. Start: het voedselweb

- Locatie: open plek aan het begin van de route.
- Theorie: leg kort uit wat een voedselweb en de complexiteit van zo'n web (zie hoofdstuk 4.5.1 voedselweb).
- Activiteit: speel het voedselwebspel om de relaties in een ecosysteem te illustreren (zie hoofdstuk 4.5.2 voedselwebspel).

2. Bosbaden

- Locatie: rustig en bebost deel van de route.
- Activiteit: laat deelnemers in stilte wandelen en hun zintuigen gebruiken om de omgeving in zich op te nemen (zie hoofdstuk 4.5.3 zintuigen).

3. Schaapskooi of koeienweide

- Locatie: langs een schaapskooi of een weide.
- Theorie: eventueel stikstofkringloop herhalen en in de context van een (kleinschalig) landbouwsysteem uitleggen en hoe er extra stikstof geïntroduceerd wordt in de kringloop. Vervolgens kan er de link gelegd worden met een stikstofoverschot en natuurherstel door middel van bijvoorbeeld begrazing (zie hoofdstuk 4.5.4. invloed op biodiversiteit).

4. Heide

- Locatie: heidelandschap.
- Activiteit: vraag deelnemers goed te observeren wat er te zien en te horen is qua biodiversiteit. Bespreek na de wandeling de observaties, zoals de afwezigheid van vogels en insecten.
- Theorie: bespreek op een plek langs de route de effecten van stikstof op het heide-ecosysteem, zoals vermessing en het effect hiervan op de biodiversiteit (zie hoofdstuk 4.5.4. invloed op biodiversiteit).

5. Eikenbomen aan de rand van de heide

- Locatie: langs een groep (eiken) bomen.
- Activiteit: onderzoek de (verzwakte) eiken. Bespreek mogelijke oorzaken zoals verzuring door stikstofdepositie. Gebruik dit als voorbeeld om de complexiteit van ecosysteemproblemen te illustreren (zie hoofdstuk 4.5.4. invloed op biodiversiteit).

6. Watersysteem (optioneel onderdeel en indien aanwezig)

- Locatie: bij een waterlichaam aan het einde van de route.
- Activiteit: bespreek het effect van stikstof op waterkwaliteit en de ecologie van waterlichamen (zie hoofdstuk 4.5.5).

7. Afronding

- Reflectie en samenvatting

Eindig de wandeling met een groepsdiscussie waarin ook de belangrijkste leerpunten worden herhaald en moedig deelnemers aan om hun inzichten en ervaringen te delen (zie hoofdstuk 5).

4.5.1 Theorie: voedselweb

Leerdoel: onderzoek verschillende niveaus van een voedselweb en laat verstoringen zien.

Leerdoel: onderzoek relaties in een ecosysteem en observeer de complexiteit en veranderlijkheid.

Tijdens de wandeling wordt op verschillende plekken theorie behandeld. In dit gedeelte wordt het voedselweb beschreven gevolgd door een activiteit: voedselwebspel. Zie bijlage 5 voor de theoretische achtergrond.

Kennisvereiste docent: basiskennis ecosystemen, inzicht in natuurlijke processen en kennis van wat er gebeurt als een ecosysteem uit balans raakt door bijvoorbeeld stikstofdepositie.

1. Voedselweb

Illustratie van complexe relaties in een ecosysteem waarbij eten en gegeten worden centraal staan.

- Bewustzijn: deelnemers bewust maken van zowel directe als indirecte relaties binnen het voedselweb.
- Voorbeeld: relatie tussen planten (voedsel van de prooi) en de predator, en hoe verstoringen doorwerken naar hogere niveaus.
- Relaties kunnen direct of indirect zijn, zoals tussen predator en plant via uitwerpselen.

2. Systeemdenken

- Doel: ontwikkelen van systeemdenken door het onderzoeken van relaties in ecosystemen.
- Verbindingen: leren hoe alles in een ecosysteem met elkaar verbonden is.
- Relaties in kaart brengen: focus op de interacties tussen organismen en hoe deze elkaar beïnvloeden.
- Feedbackmechanismen: inzicht krijgen in positieve en negatieve feedback in natuurlijke processen.

3. Complexiteit van ecosystemen

- Veranderlijkheid: ecosystemen zijn dynamisch en voortdurend in verandering, wat betekent dat er geen statische ecologische balans is.
- Holistische benadering: niet alleen leren over afzonderlijke onderdelen, maar ook hoe deze samenhangen binnen het grotere systeem.

4.5.2 **Activiteit:** voedselwebspel

Doel van de activiteit

- Begrip van verbondenheid: deelnemers actief laten ervaren hoe organismen in een ecosysteem met elkaar verbonden zijn.
- Impact van verstoringen: illustreren wat er gebeurt als verbindingen in een voedselweb worden verbroken.

1. Voorbereiding

Relevantie: zorg ervoor dat de gekozen organismen aansluiten bij het ecosysteem van de leslocatie!

- Maak (kartonnen) bordjes en voorzie deze van afbeeldingen of namen van verschillende organismen uit alle trofische niveaus (zoals planten, insecten, herbivoren, predatoren). Het makkelijkste is om organismen uit een bekend ecosysteem te kiezen voor de deelnemers. Voorbeeld ecosysteem: heide met grazers (reeën), predator (vos), planten (heide), kleinere zoogdieren (muis), vogels (merel, buizerd), en bodemdieren (regenworm, mol).
- Touwtjes: bevestig touwtjes aan elk bordje om relaties tussen de organismen visueel te maken. Zorg dat de touwtjes lang genoeg zijn zodat deelnemers deze met elkaar kunnen verbinden.

2. Aanpak

1. Organisme kiezen
 - Deelnemers kiezen een organisme uit waar ze affiniteit mee hebben.
2. Groepscirkel
 - Maak een cirkel met de deelnemers.
3. Relaties leggen
 - Vraag aan de deelnemers welke verbinding ze willen leggen met een ander organisme. Touwtjes verbinden: de touwtjes worden verbonden tussen deze twee organismen om relaties te visualiseren.
 - Eén voor één worden de relaties tussen organismen besproken door de groep.
 - Complex voedselweb: geleidelijk ontstaat in het midden van de cirkel een complex voedselweb.
4. Verbindingen verbreken
 - Leiding van de docent: een aantal touwtjes (verbindingen) worden losgelaten om verstoringen in het web te simuleren.
 - Impact bespreken: bespreek de gevolgen van elke verbroken verbinding en hoe dit de balans in het ecosysteem beïnvloedt.

Nadruk op emoties

Er zou een andere sfeer kunnen ontstaan doordat verstoring van het voedselweb laat zien dat er al snel een (negatief) effect kan ontstaan als er een soort wegvalt. Dit zou sombere emoties kunnen oproepen bij deelnemers.

- Praten of doorgaan
- Optie 1: ruimte bieden voor gesprek en het delen van gevoelens.
- Optie 2: direct doorgaan naar de volgende activiteit, waar deelnemers hun gevoelens kunnen verwerken door middel van hun zintuigen bij het bosbaden.

Vraag dit ook vooral aan deelnemers waar zij behoefte aan hebben!

4.5.3 **Activiteit:** zintuigen

Leerdoel: ervaar de natuurlijke omgeving met al je zintuigen.

Leerdoel: beschouw persoonlijke emoties en gevoelens over de behandelde onderwerpen.

Bij deze activiteiten worden deelnemers uitgenodigd om hun zintuigen te gaan gebruiken. We vragen deelnemers om aandachtig om hen heen te kijken, luisteren, voelen, ruiken en eventueel proeven (mits veilig) van de natuurlijke omgeving.

1. Introductie van de activiteit

- Korte uitleg: vertel deelnemers dat ze hun zintuigen gaan gebruiken om de natuur te ervaren.
- Zintuigen inzetten
- Kijken: observeer planten, dieren en landschappen.
- Luisteren: focus op geluiden van dieren, zoals vogels of insecten.
- Voelen: ervaar abiotische factoren zoals wind, temperatuur, en het gevoel van de grond onder je voeten.
- Ruiken en proeven: ruik de omgeving, en proef, indien veilig, eetbare planten.

2. Bosbaden (Shinrin-yoku)

- Beschrijving: een rustige, stille wandeling door een natuurlijke omgeving, bij voorkeur een bos.
- Aarden: begin eventueel met een korte oefening of meditatie om te aarden en tot rust te komen.
- Wandeling:
 - In stilte: deelnemers lopen in stilte en gericht op zintuiglijke waarneming.
 - Eigen tempo: deelnemers mogen op hun eigen tempo de omgeving verkennen.
 - Tijd nemen: moedig deelnemers aan om de tijd te nemen en volledig in de ervaring op te gaan.
- Optioneel:
 - Meditatiebegeleiding: bied eventueel begeleiding aan tijdens de wandeling.
 - Eetbare planten: moedig deelnemers aan om zorgvuldig eetbare planten te plukken en te proeven, indien veilig en zonder het vertrappen van andere planten. Maar geef ook vooral aan om genoeg te laten hangen voor de dieren in het bos.

3. Nabespreking

- Reflectie: sluit de activiteit af met een reflectie. Nodig deelnemers uit om ervaringen te delen en te bespreken wat ze hebben waargenomen en gevoeld.

4.5.4 **Theorie:** invloed op biodiversiteit

Leerdoel: begrijp de invloed van stikstofdepositie op biodiversiteit en de relaties in een ecosysteem.

Leerdoel: omschrijf natuurherstelmogelijkheden die effecten van stikstofdepositie kunnen verminderen.

Vervolgens wordt er op een plek tijdens de wandeling besproken wat biodiversiteit is, het effect van stikstofdepositie op de biodiversiteit en wat er aan herstelmaatregelen gedaan kan worden. Dit kan gedaan worden bij heide of een schaapskooi. Zie bijlage 6 voor theoretische achtergrondinformatie.

Kennisvereiste docent: basiskennis over wat biodiversiteit is en waarom het belangrijk is. Kennis van de stikstofproblematiek en wat stikstofdepositie voor invloed heeft op biodiversiteit. Kennis over natuurherstel en globaal weten wat voor natuurherstel er in Nederland wordt uitgevoerd.

1. Introductie tot stikstofdepositie en biodiversiteit

- Definitie biodiversiteit: alle organismen die op aarde leven. Verlies van soorten betekent een afname van biodiversiteit.
- Belang van biodiversiteit: een hoge biodiversiteit zorgt voor een robuust ecosysteem dat verstoringen beter kan opvangen.
- Rol van stikstof in ecosystemen: stikstof verplaatst zich in een natuurlijke kringloop, maar menselijke activiteiten verstoren deze door een overschot te creëren.

2. Effecten van stikstofoverschot

- Vermesting
- Definitie: een teveel aan voedingsstoffen, met name stikstof, in de bodem.
- Gevolgen: snelgroeiende stikstofminnende planten verdringen soorten die gedijen in voedselarme omstandigheden, wat leidt tot een afname van biodiversiteit.
- Voorbeeld: overwoekering door brandnetels langs wegen door NOx-uitstoot van auto's.
- Verzuring
- Definitie: verlaging van de pH-waarde van de bodem door omzetting van stikstofverbindingen door bacteriën.
- Gevolgen: verminderde beschikbaarheid van essentiële mineralen zoals calcium, wat leidt tot problemen voor planten en dieren, zoals het verdwijnen van huisjesslakken en vogels met zwakkere botten.

3. Natuurherstelmaatregelen

- Directe verwijdering van stikstof
- Begrazing: schapen of runderen grazen om stikstofrijke planten te reduceren.
- Maaien en afvoeren: het gemaaide materiaal, rijk aan stikstof, wordt afgevoerd voor verdere verarming van de bodem.
- Waterbeheer: aanleggen van natuurvriendelijke oevers en baggeren van waterlopen om stikstof te verwijderen.
- Neutralisatie van stikstofoverschot
- Toepassing van basische stoffen: toevoegen van steenmeel of kalk om de verzuring van de bodem te neutraliseren.
- Risico's: het neutraliseren kan leiden tot de afbraak van organische stoffen (wat extra voedingsstoffen vrij maakt) waardoor het groeipotentieel van snelgroeiende soorten wordt verhoogd en het andere soorten kan verdringen. Het toevoegen moet dus zorgvuldig worden gepland.

4. Belang van natuurherstel

- Doel van natuurherstel: het voorkomen van verdere achteruitgang van ecosystemen en het beschermen van biodiversiteit.

- Natura 2000 gebieden: deze gebieden zijn specifiek beschermd onder de Europese Habitatrichtlijn om bijzondere habitatten te behouden. Vermindering van stikstofdepositie is gewenst voor het behoud van deze gebieden.

5. Risico's van natuurherstelmaatregelen

- Verstoring van bestaande ecosystemen in de vorm van onbedoelde schade aan flora en fauna en schade aan bestaande habitatten.
- Effecten op lokale (menselijke) gemeenschappen. Zoals beperkingen van landgebruik als landbouwgrond omgevormd wordt tot natuurgebied.
- Kosten van natuurherstelmaatregelen zijn vaak hoog.
- Onzekerheid door klimaatverandering. Natuurherstelmaatregelen kunnen onvoorspelbare gevolgen hebben door klimaatverandering, zoals droogte, wat nieuwe aanplantinsprojecten kan verstoren.

6. Nabespreking en reflectie

- Discussie: bespreek met deelnemers hoe stikstofdepositie de biodiversiteit beïnvloedt en welke herstelmaatregelen effectief kunnen zijn. Benadruk ook dat er risico's aan natuurherstel zitten. Voorkomen is beter dan genezen.
- Reflectie: laat deelnemers nadenken over het belang van natuurbehoud en de complexiteit van natuurherstel.

4.5.5 Theorie: water eutrofiëring

Hoewel dit onderwerp een waardevolle aanvulling kan vormen op de lesstof, is de behandeling ervan optioneel. Een diepgaande verkenning van dit onderwerp zou een extra lesdag vereisen en is afhankelijk van de beschikbaarheid van waterlichamen in de omgeving en de mogelijkheid om metingen uit te voeren. Gezien de praktische en contextuele beperkingen kan ervoor worden gekozen dit onderwerp buiten beschouwing te laten. Echter, voor sommige deelnemers met een specifieke achtergrond kan dit onderwerp een waardevolle verdieping van de lesinhoud bieden.

In dit gedeelte wordt er kort besproken wat stikstofdepositie voor een effect heeft in watersystemen. Ook hier wordt de theorie weer gevolgd door een activiteit: meten van pH en Nitraat. Zie bijlage 7 voor theoretische achtergrondinformatie.

Kennisvereiste docent: basiskennis over pH, water eutrofiëring en wat voor een rol stikstof hierbij speelt.

1. Introductie stikstof in water

- Uitleg: leg de term pH kort uit en dat stikstof naast effecten op land ook invloed heeft op watersystemen.
- Concept: bespreek kort het proces van eutrofiëring (overmaat aan voedingsstoffen, zoals stikstof en fosfaat) en hoe dit leidt tot algenbloei. Dit resulteert weer in een overmatige algenbloei wat het licht blokkeert voor andere planten, vermindert zuurstof in het water, en verstoort het onderwaterleven.

4.5.6 **Activiteit:** meten van pH en Nitraat

Leerdoel: meet de stikstofaanwezigheid met pH- en nitraatmetingen en verbind de resultaten met theoretische kennis.

1. Uitleg van metingen

- pH-Meting: leg uit hoe de pH van bodem en waterlichamen gemeten kan worden met bijvoorbeeld pH-kleurenstrips.
- Nitraatmeting: bespreek de mogelijkheid om nitraten te meten in watermonsters (indien beschikbaar).

2. Uitvoering van de metingen

- Opdracht: laat deelnemers zelf pH- en/of nitraatmetingen uitvoeren, eventueel in groepen.
- Materialen: gebruik eenvoudige hulpmiddelen zoals pH-kleurenstrips (die op 0,1 pH eenheid kunnen meten). Nauwkeurigheid is minder belangrijk; het gaat om het leerproces.

3. Bespreking van resultaten

- Interactie: vraag deelnemers om hun meetresultaten te verklaren en verbanden te leggen met de theoretische kennis. Bespreek of de metingen het verwachte stikstofoverschot laten zien en wat dit betekent voor het ecosysteem.
- Conclusie: leg uit hoe deze passen in het bredere kader van stikstofvervuiling en eutrofiëring.

5 Einde en afsluiting lesdag

Als afsluiting van de lesdag kan er een kort evaluatie moment gehouden worden. Zo kan de docent feedback verzamelen en een indruk krijgen van de leerervaringen van de deelnemers. Ook kan de docent op deze manier de deelnemers uitdagen om verder na te denken over wat ze hebben geleerd en hoe ze dit toe kunnen passen binnen hun eigen leven. Er kan voor gekozen worden om de evaluatie mondeling te doen (punt 1) of op schrift (punt 2). Ten slotte, zou de docent nog een samenvatting kunnen geven door middel van een flyer uit te delen of door middel van een interactieve sessie met de groep om zo gezamenlijk af te sluiten.

1. Evaluatiemoment ter plaatse (mondeling)

- Doel: krijg inzicht in de effectiviteit van de les en welke onderdelen het meest waardevol werden gevonden.
- Rondje feedback: loop alle deelnemers kort langs en stel bijvoorbeeld de volgende vragen:
- "Wat neem je mee van deze dag?"
- "Wat inspireerde je tijdens deze les?"
- "Wat waren voor jou 'eye-openers' tijdens de dag?"

2. Evaluatiemoment ter plaatse op schrift (eventueel anoniem)

- Doel: dit maakt het veilig en minder confronterend om feedback te geven en te ontvangen.
- Geef elke deelnemer een papiertje en laat ze anonieme feedback en/of tips opschrijven over de dag. Iedereen schrijft hun mening of suggesties op een kaartje en stopt dit in een enveloppe of doos. Na afloop kan de docent de feedback anoniem verwerken.

3. Optionele samenvatting

- Manieren: door middel van een flyer met een samenvatting of een interactieve sessie waarin de groep gezamenlijk samenvat.
- Interactie: vraag de deelnemers om samen te vatten wat ze belangrijk vonden in de les, bijvoorbeeld:
- "Wat zijn de belangrijkste oorzaken van stikstofuitstoot door de mens?"
- "Hoe wordt de heide aangetast door stikstofdepositie?"
- "Wat zijn de gevolgen van verzuring in de bodem?"

4. Afsluiting

- Reflectie: moedig deelnemers aan om na te denken over hoe ze de opgedane kennis in de praktijk kunnen brengen. In hoofdstuk 7 staat een literatuurlijst met verdiepende literatuur voor als deelnemers verder willen inlezen over de rol van stikstof in ecosystemen en de maatschappij.
- Dankwoord voor deelname.

6 Locatie suggesties en aanvullende informatie

Er zijn in Nederland verschillende natuurgebieden waar de effecten van stikstofdepositie duidelijk zichtbaar zijn. Stikstofdepositie leidt vaak tot veranderingen in biodiversiteit, zoals het verdwijnen van stikstofgevoelige planten en de dominantie van snelgroeiende grassen. Hieronder is een lijst van natuurgebieden waar je deze effecten kunt waarnemen:

1. Veluwe

- **Locatie:** Gelderland
- **Kenmerkend effect van stikstof:** de Veluwe is een van de grootste aaneengesloten natuurgebieden in Nederland, maar het staat onder druk door stikstofdepositie. Dit heeft geleid tot de vergrassing van heidevelden en het verdwijnen van specifieke heideplanten. Grove den en Amerikaanse vogelkers, die profiteren van stikstof, verdringen andere plantensoorten.

2. Brunssummerheide

- **Locatie:** Limburg
- **Kenmerkend effect van stikstof:** dit heidegebied lijdt onder stikstofdepositie, wat heeft geleid tot een verarming van de heide. Grassen zoals pijpenstrootje nemen de overhand, waardoor de karakteristieke heidevegetatie onder druk komt te staan.

3. Dwingelderveld

- **Locatie:** Drenthe
- **Kenmerkend effect van stikstof:** in dit nationale park, het grootste natte heidegebied van West-Europa, zijn de effecten van stikstof duidelijk zichtbaar. Vennen verzuren, de heide vergrast, en bijzondere plantensoorten zoals klokjesgentiaan verdwijnen geleidelijk.

4. De Peel

- **Locatie:** Noord-Brabant en Limburg
- **Kenmerkend effect van stikstof:** dit hoogveengebied is erg gevoelig voor stikstofdepositie. De veengronden verzuren en karakteristieke soorten zoals zonnedauw en lavendelheide nemen af. Bovendien worden de wateren in De Peel beïnvloed door eutrofiëring.

5. Drents-Friese Wold

- **Locatie:** Drenthe en Friesland
- **Kenmerkend effect van stikstof:** dit natuurgebied kampt met stikstofdepositie die zorgt voor vergrassing van de heide en de afname van zeldzame soorten zoals het korhoen. Door stikstof wordt de bodem vruchtbaarder, wat leidt tot een overheersing van grassen. Ook is er een groot deel bos waar je bramen en brandnetels (stikstof minnende planten) kunt bekijken.

6. De Loonse en Drunense Duinen

- **Locatie:** Noord-Brabant
- **Kenmerkend effect van stikstof:** de stikstofdepositie heeft een grote impact op dit stuifzandgebied. Stikstofminnende planten zoals grassen overwoekeren het open zand, wat leidt tot een afname van karakteristieke zandverstuivingsvegetatie.

7. Weerribben-Wieden

- **Locatie:** Overijssel
- **Kenmerkend effect van stikstof:** dit moerasgebied heeft last van verzuring door stikstofdepositie, wat leidt tot een verarming van de biodiversiteit in het water. Snelgroeiende soorten zoals riet en waterplanten nemen toe ten koste van kwetsbare soorten zoals orchideeën en veenmos.

8. De Biesbosch

- **Locatie:** Noord-Brabant en Zuid-Holland
- **Kenmerkend effect van stikstof:** in dit dynamische zoetwatergetijdengebied zorgt stikstof voor een toename van snelgroeiende vegetatie zoals riet, wat de natuurlijke dynamiek van het gebied verandert. Eutrofiëring van waterlichamen is ook een probleem.

9. De Kampina

- **Locatie:** Noord-Brabant
- **Kenmerkend effect van stikstof:** dit natuurgebied bestaat uit heide, bossen en vennen. De stikstofdruk leidt hier tot een afname van soortenrijkdom op de heide en vergrassing, terwijl vennen verzuren en kwetsbare planten verdwijnen.

10. De Sallandse Heuvelrug

- **Locatie:** Overijssel
- **Kenmerkend effect van stikstof:** dit natuurgebied is beroemd vanwege de aanwezige korhoenders, een soort die ernstig bedreigd wordt door stikstofdepositie. De heide vergrast, en door stikstofminnende soorten verliezen typische heideplanten terrein.

7 Verdiepende literatuur

Hieronder is een lijst van wetenschappelijke literatuur per onderwerp om je verder te verdiepen in de stikstofproblematiek en de bijbehorende thema's. Deze bronnen bieden wetenschappelijke diepgang over de biochemische, ecologische, maatschappelijke en persoonlijke aspecten van stikstofproblematiek, met een focus op de Nederlandse situatie waar relevant.

1. Biochemische eigenschappen van stikstof en de effecten van stikstofdepositie

Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., et al. (2004). Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future. *Biogeochemistry*, 70(2), 153–226.

Een fundamentele paper die een overzicht geeft van de biochemische stikstofkringloop en de invloed van antropogene stikstofdepositie op verschillende ecosystemen.

Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., et al. (1997). Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications*, 7(3), 737–750.

Dit artikel bespreekt de veranderingen in de stikstofcyclus als gevolg van menselijke activiteit en de ecologische effecten van deze veranderingen.

Erismann, J. W., Galloway, J. N., Seitzinger, S., et al. (2008). How a Century of Ammonia Synthesis Changed the World. *Nature Geoscience*, 1(10), 636–639.

De geschiedenis en impact van synthetische stikstofproductie op wereldwijde schaal, met een nadruk op de biochemische processen van stikstof.

2. Biodiversiteit in ecosystemen en de invloed van stikstof

Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., et al. (2010). Global Assessment of Nitrogen Deposition Effects on Terrestrial Plant Diversity: A Synthesis. *Ecological Applications*, 20(1), 30–59.

Een uitgebreide synthese over de wereldwijde impact van stikstofdepositie op biodiversiteit en ecosystemen, met nadruk op plantendiversiteit.

Stevens, C. J., Duprè, C., Dorland, E., et al. (2010). Nitrogen Deposition Threatens Species Richness of Grasslands Across Europe. *Environmental Pollution*, 158(9), 2940–2945.

Case study die onderzoekt hoe stikstofdepositie de soortenrijkdom van graslanden in Europa beïnvloedt.

Phoenix, G. K., Emmett, B. A., Britton, A. J., et al. (2012). Impacts of Atmospheric Nitrogen Deposition: Responses of Multiple Plant and Soil Parameters Across Contrasting Ecosystems in Long-Term Field Experiments. *Global Change Biology*, 18(4), 1197–1215.

Deze studie bekijkt hoe langdurige stikstofdepositie een breed scala aan ecologische parameters beïnvloedt, van planten tot bodemorganismen.

3. De maatschappelijke complexiteit van de stikstofcrisis in Nederland

Stikstofproblematiek en maatschappelijke uitdagingen in Nederland. (2021). Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Een diepgaande analyse van de stikstofproblematiek in Nederland, de economische en politieke dimensies, en de maatschappelijke gevolgen.

De Vries, W., Kros, J., Oenema, O., et al. (2011). Assessment of Nitrogen Impacts on the Environment and Climate. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(5), 309–320.

Dit artikel bespreekt de effecten van stikstofgebruik op het milieu en hoe dit de stikstofcrisis heeft beïnvloed.

Schouten, W. S. & van der Valk, A. J. J. (2022). Het Stikstofdebat in Nederland: Politieke en Beleidsmatige Dynamiek. *Milieu*, 28(3), 18–23.

Een analyse van de politiek en beleidsmatige kant van de stikstofcrisis, met aandacht voor conflicten tussen verschillende belanghebbenden zoals boeren, natuurbeschermers en de overheid.

4. Persoonlijke impact op de stikstofdepositie

Leach, A. M., Galloway, J. N., Bleeker, A., et al. (2012). A Nitrogen Footprint Model to Help Consumers Understand Their Role in Nitrogen Losses to the Environment. *Environmental Development*, 1(1), 40–66.

Dit artikel introduceert een model om de stikstofvoetafdruk van consumenten te berekenen en legt uit hoe individueel gedrag stikstofemissies beïnvloedt.

Stevenson, C., & Guinee, J. B. (2017). Environmental Impacts of Nitrogen Use: Insights from Life Cycle Assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 21(4), 963–975.

Een levenscyclusanalyse die de impact van stikstofgebruik in verschillende sectoren, zoals landbouw en industrie, kwantificeert en linkt aan persoonlijke keuzes.

Chaudhary, A., & Brooks, T. M. (2018). National Consumption and Global Trade Impacts on Biodiversity. *Global Environmental Change*, 52, 1–10.

Deze studie kijkt naar de ecologische voetafdruk van consumptie, met nadruk op de rol van stikstof en andere milieu-impactfactoren die consumentenkeuzes beïnvloeden.

Aanvullende bronnen

Van Grinsven, H. J. M., Erisman, J. W., De Vries, W., et al. (2015). Potential of European Union Policies to Reduce Nitrogen Emissions to the Environment. *Environmental Science & Policy*, 55, 153–164.

Een bespreking van beleidsmaatregelen binnen de EU en Nederland om stikstofemissies te verminderen.

Smil, V. (2001). *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*. MIT Press.

Dit boek biedt een historische kijk op de ontwikkeling van de stikstofchemie en de impact ervan op wereldwijde voedselproductie en ecologie.

Erisman, J. W., de Vries, W., van Donk, E., Reumer, J., van den Broek, J., Smit, A., Kerklaan, J., & van Schayck, P. (Eds.) (2021). *Stikstof: de sluipende effecten op natuur en gezondheid*. Uitgeverij Lias.

De auteur van dit boek bespreekt de verborgen en langdurige impact van stikstofuitstoot op zowel ecosystemen als de volksgezondheid, en onderzoekt de uitdagingen en oplossingen voor dit groeiende milieuprobleem.

Wamelink, W. (2024). *Het stikstofweb*. New Scientist.

Wamelink onderzoekt hoe stikstofuitstoot het ecosysteem beïnvloedt en wat de gevolgen zijn voor natuur en milieu, waarbij hij kijkt naar het evenwicht tussen natuurbehoud en menselijke behoeften. Dit op een toegankelijke manier geschreven voor het bredere publiek.

Dankwoord

Als eerste willen we vanuit het projectteam graag iedereen bedanken die heeft bijgedragen aan dit wetenschapswinkel project en de ontwikkeling van deze lesmodule. Veel dank aan Monique Könings, eigenares van Natuuropleiding, voor de fijne samenwerking. Ook gaat onze dank uit naar het Academic Consultancy Training (ACT) team Natuurwijzer bestaande uit Douwe Klein Swormink, Vera ten Bruggencate, Janne de Haan, Floor Hoevers, Marieke Smit en Moon van Asseldonk, die een goede basis hebben gelegd voor de module. Speciaal dank aan de Master studenten Tessa Stroeken en Lisa Warum voor hun grote bijdrage aan het opzetten en het realiseren van deze module!

Bijlage 1 Voorbeeld stellingen voor oefening over de streep

Voorbeelden van stellingen:

- Ik heb vandaag iets gegeten waar stikstof inzit.
- Ik heb zin in deze lesdag.
- Mijn persoonlijke leven wordt beïnvloed door stikstof.
- Ik maak me zorgen dat Nederland te veel stikstof uitstoot.
- Ik maak me zorgen over het verlies van biodiversiteit in Nederland.
- Minder stikstofuitstoot zorgt voor een gezondere natuur en meer biodiversiteit.
- Ik denk dat stikstofuitstoot een grote bedreiging vormt voor de biodiversiteit.
- Ik geloof dat de stikstofcrisis een groot probleem is dat onmiddellijke actie vereist.
- Ik ben optimistisch over toekomstige oplossingen voor stikstofproblemen.
- De stikstofcrisis in Nederland is meer een politiek probleem dan een milieuprobleem.
- Het reduceren van stikstofuitstoot zou een collectieve verantwoordelijkheid moeten zijn.
- Er is geen stikstofprobleem.
- Nederland kan een voorbeeld zijn in het aanpakken van stikstofproblemen op een duurzame manier.

Bijlage 2 Theorie: wat is stikstof?

Stikstof, aangeduid met de chemische notatie N, is een essentieel element dat in tal van moleculen voorkomt. Het is wijdverspreid in de atmosfeer, waar het 78% van de lucht uitmaakt in de vorm van stikstofgas (N₂).

Dit molecuul is onder normale omstandigheden inert en reageert niet spontaan met andere stoffen (RIVM). Stikstofgas is veelzijdig toepasbaar; het wordt bijvoorbeeld gebruikt in spuitbussen om druk te genereren en voor het vullen van banden van raceauto's en vliegtuigen. Bovendien kan stikstofgas bij extreem lage temperaturen (-196°C) vloeibaar worden, wat nuttig is voor toepassingen zoals cryogene bewerkingen, het invriezen van organen of moleculair koken, waarbij voedsel snel wordt bevroren met een andere kristalstructuur dan bij conventioneel invriezen (Demaco Cryogenics z.d.).

Naast het inert stikstofgas (N₂), dat enkel uit twee stikstofatomen bestaat, komt stikstof voor in een breed scala aan andere moleculen. Wanneer gesproken wordt over "stikstof", verwijst dit vaak naar een van de vele moleculen waarin stikstof een belangrijke component is. In levende organismen is stikstof onmisbaar, voornamelijk in de vorm van eiwitten, die fundamentele bouwstoffen vormen voor cellen, en fungeren als enzymen en afweerstoffen. Mensen nemen stikstof op via eiwitten in voedsel, waarbij voedingsbronnen zoals vlees, peulvruchten, noten en zuivel belangrijke stikstofleveranciers zijn. Na consumptie worden eiwitten afgebroken en hergebruikt om lichaamseigen eiwitten te synthetiseren. Eiwitten bestaan in wezen uit stikstof, koolstof (C), zuurstof (O) en waterstof (H), en zijn daarmee cruciaal voor al het leven op aarde (Stevens 2019).

In de natuur circuleert stikstof in verschillende vormen via de stikstofkringloop. Naast stikstofgas en eiwitten spelen andere moleculen zoals ammoniak (NH₃, en ammonium: NH₄⁺) en stikstofoxiden (NO, NO₂⁻ en NO₃⁻) een rol. Stikstofoxiden komen van nature voor in de bodem, waar ze worden opgenomen door organismen (RIVM). Ze kunnen echter ook vrijkomen door de verbranding van fossiele brandstoffen, bijvoorbeeld in motorvoertuigen en industriële processen, wat leidt tot schadelijke effecten op zowel het milieu als de menselijke gezondheid. Ammoniak is een andere belangrijke stikstofverbinding die door planten uit de bodem wordt opgenomen om eiwitten te vormen. Overmatige uitstoot van ammoniak, voornamelijk afkomstig uit meststoffen, kan echter leiden tot schade aan ecosystemen (Sommer 2021).

Het herkennen van de alomtegenwoordigheid van stikstof in de natuur is cruciaal. Stikstof is een van de belangrijkste voedingsstoffen in ecosystemen, aanwezig in zowel de lucht die we inademen als in de voedingsmiddelen die we consumeren. Voor het behoud van het leven op aarde is het van groot belang dat stikstof efficiënt wordt verwerkt en hergebruikt in de verschillende stadia van de stikstofkringloop, die de mens verbindt met alle andere levensvormen (de Haan et al. 2008).

Bijlage 3 Theorie: stikstofkringloop

De stikstofkringloop beschrijft de dynamiek van stikstofatomen binnen een ecosysteem, inclusief de chemische en biologische processen die stikstof omzetten in verschillende moleculaire vormen. In deze lesmodule wordt een vereenvoudigde weergave van de stikstofkringloop besproken, waarbij complexere chemische processen achterwege blijven. Indien gewenst, kan een diepere studie van de stikstofkringloop worden behandeld met behulp van geavanceerdere tabellen (zoals BiNaS tabel 93G).

De kringloop begint in de atmosfeer, waar stikstof voornamelijk aanwezig is als stikstofgas (N_2). Dit gas is inert en wordt door de meeste organismen niet direct opgenomen. Om stikstof beschikbaar te maken voor planten, moet het worden omgezet in ammonium (NH_4^+) of nitraat (NO_3^-), moleculen die door planten uit de bodem worden opgenomen. Stikstoffixatie, een cruciaal proces, wordt uitgevoerd door stikstoffixerende bacteriën die leven in symbiose met planten, zoals bij vlinderbloemigen (Sprent, 2005). Deze bacteriën zetten stikstofgas om in een biologisch beschikbare vorm, vaak ammonium, in ruil voor organische verbindingen die door de plant via fotosynthese worden geproduceerd (de Haan 2008).

Naast stikstoffixatie vindt er stikstofassimilatie plaats in planten, waarbij opgenomen stikstofverbindingen worden gebruikt voor de synthese van eiwitten. Wanneer planten worden geconsumeerd door dieren, wordt stikstof op hogere trofische niveaus opnieuw opgenomen. Dit proces, dat zich op meerdere niveaus binnen voedselketens herhaalt, draagt bij aan de recycling van stikstof in het ecosysteem (Sprent 2005).

Bij de afbraak van dode organismen en via uitscheiding wordt stikstof terug in de bodem gebracht. Deze organische stikstofverbindingen worden via composteerprocessen door micro-organismen omgezet in vormen die opnieuw door planten kunnen worden opgenomen. Een belangrijk proces hierbij is ammonificatie, waarbij organische stikstofverbindingen zoals ureum door bacteriën worden omgezet in ammoniak (NH_3), wat vervolgens via nitrificatie kan worden omgezet in nitraat (NO_3^-). Onder anaerobe omstandigheden kan ammoniak worden omgezet in stikstofgas door denitrificerende bacteriën, waarbij stikstof terugkeert naar de atmosfeer. Stikstof kan ook uit de lokale kringloop ontsnappen via processen zoals vervluchtiging, waarbij ammoniak verdampt, of via uitspoeling van nitraat naar het oppervlakte- en grondwater. Deze mechanismen verplaatsen stikstof van het ene ecosysteem naar het andere, wat invloed heeft op de stikstofbeschikbaarheid in lokale milieus (de Haan 2008).

De menselijke invloed op de stikstofkringloop is significant, met potentieel versturende effecten op ecosystemen door stikstofoverschotten. Dit overschot leidt tot stikstofdepositie, waarbij stikstofverbindingen neerslaan op de bodem en de natuurlijke balans van het ecosysteem verstoren. In Nederland wordt stikstofdepositie voornamelijk veroorzaakt door landbouw, veeteelt en industrie. Waarvan drie belangrijke bronnen van antropogene stikstoftoevoer zijn kunstmest, geïmporteerd veevoer en fossiele brandstoffen (CBS, 2023).

Na de Tweede Wereldoorlog werd de landbouw in Nederland sterk geïntensiveerd om hongersnood te voorkomen, wat leidde tot grootschalige kunstmestgebruik. Kunstmest, een resultaat van de industriële binding van atmosferisch stikstofgas, maakt stikstof snel beschikbaar voor gewassen. Echter, door deze kunstmatige toevoeging wordt stikstof op grote schaal aan de kringloop toegevoegd, wat bijdraagt aan overmatige stikstofdepositie, vooral wanneer stikstofhoudende gassen verdampen tijdens het uitrijden van mest (Sommer, 2001).

Daarnaast draagt de veeteelt, met name door de import van eiwitrijk krachtvoer, bij aan stikstofoverschotten. Nederland heeft onvoldoende landoppervlak om al het benodigde veevoer lokaal te produceren, waardoor er aanzienlijke hoeveelheden stikstof via geïmporteerd veevoer in de kringloop worden geïntroduceerd (Nevedj, 2019).

Een derde belangrijke bron van stikstofdepositie is de verbranding van fossiele brandstoffen. Bij verbrandingsprocessen komen stikstofoxiden vrij, die vervolgens kunnen neerslaan op landoppervlakken. Dit creëert een overschot aan stikstof in de bodem, wat schadelijk kan zijn voor ecosystemen. Het gebruik van fossiele brandstoffen, essentieel voor industrie, transport en voedselproductie, draagt op deze manier indirect bij aan verstoringen in de stikstofkringloop (van der Ree et al. 2019).

Om de effecten van stikstofoverschot te mitigeren, worden er verschillende maatregelen genomen om stikstofemissies te verminderen, zowel op Europees als op nationaal niveau (LNV, 2022). Deze maatregelen zijn echter complex, gezien de sterke afhankelijkheid van vitale sectoren zoals landbouw, transport en industrie van stikstofgerelateerde processen, wat een directe impact heeft op het levensonderhoud en de economie.

Bijlage 4 Stikstof gedicht

I feel quite important, I am a nitrogen molecule, N₂, the most abundant component of your air.

As a non-reactive molecule, I am comfortably floating through space, filling up gaps, knowing that I could be everywhere.

Gaps in the soil, oh what do I find? Wortelknolletjes that transform me into a different life!

[N₂] Plants don't accept me as I am, they tell me to change. And thus I oxidize to ammonia, what a beautiful disguise!

[NH₄⁺] Here in this plant I feel useful, they tell me 'you rock'. I make DNA, proteins and chlorophyll, a plant's building blocks.

I am great at providing life in this little plant, I wish I could stay. But I know that the only consistent thing is change,as I get eaten away.

Herbivores are the first to grin their teeth on me. Rabbit, Deer, Bird, and Chimpanzee.

What follows is a marvelous chain of reactions, I reinvent myself, just as I please.

New body, new home, I'll get busy with work. Helping animals grow and move in this world.

But before I get comfortable, I am reminded then, that all things beautiful, change and change again.

As rabbit is eaten by fox, I am destroyed and renewed, again new body, again new protein.

Dear me, I feel old.

Providing these bodies with proteins is tiring, no doubt. I am stuck in the food chain; how do I get out? Luckily, not everyone knows how to deal with me, is there a light at the end of the tunnel, I see? I am at the core of all biological life; I am a star. But when I no longer serve my cause, I get expelled as urea.

I prepare for a new journey, again embracing change. But Oh Geez! Seems like this time I ended up in the faeces!

Nederlandse vertaling optie

Ik voel me heel belangrijk, ik ben stikstof, N₂, in de lucht ben ik overal en altijd in de weer.

Als niet-reactieve molecuul zweef ik rond in de ruimte, vul gaten op, weet dat ik overal kan zijn, keer op keer.

Gaten in de aarde, wat zie ik daar? Wortelknolletjes die me omtoveren, dat is klaar!

[N₂] Planten willen me niet zoals ik ben, ze zeggen 'verander nu maar', ik word ammonia, een schuilplek in het stelsel van hen.

[NH₄⁺] Hier in de plant voel ik me nuttig, 'je bent geweldig', zeggen ze, ik bouw DNA, eiwitten, chlorofyl, de basis van hun wezen.

Ik geef leven aan deze plant, ik zou willen blijven, maar verandering is constant, als ik weer moet verdwijnen.

Herbivoren bijten als eerste in mij, konijn, hert, vogel en chimpansee, allemaal blij.

Wat volgt is een keten van reacties, ik herschep mezelf in allerlei tracties.

Nieuw lichaam, nieuw thuis, aan het werk met een missie, dieren helpen groeien en bewegen, dat is mijn visie.

Maar voor ik echt op mijn gemak ben, herinner ik mij, dat alles wat mooi is, verandert keer op keer, altijd voorbij.

Als het konijn door de vos wordt gegeten, word ik opnieuw gevormd, het verandert telkens weer, een nieuw lichaam, nieuw eiwit, ik voel me vaak een keer weer verward.

Het geven van eiwitten aan lichamen is vermoeiend, geen twijfel, vast in de voedselketen, hoe kom ik eruit, is mijn probleem, een onopgelost raadsel.

Gelukkig weet niet iedereen hoe met mij om te gaan, misschien zie ik een lichtpuntje in de tunnel, is dat wat ik eraan kan doen?

Ik ben de kern van al het leven, een ster in dit domein, maar als mijn taak voorbij is, word ik als ureum uitgescheiden, dat is hoe het gaat, klein.

Ik maak me klaar voor een nieuwe reis, omarm de verandering met een frisse start,

Maar oh jee! Blijkbaar ben ik deze keer in de uitwerpselen terechtgekomen, een harde waarheid, zwaar in mijn hart!

Bijlage 5 Theorie: voedselweb

Een voedselweb beschrijft de complexe netwerken van interacties tussen organismen binnen een ecosysteem, gebaseerd op voedselrelaties. Het biedt een holistische weergave van de energie- en voedingsstromen en illustreert hoe organismen elkaar beïnvloeden, zowel direct als indirect (Allesina et al. 2008). In deze les worden deelnemers gestimuleerd om na te denken over de onderlinge relaties binnen een voedselweb, met als doel bewustzijn te creëren van de samenhang tussen verschillende soorten en de impact van verstoringen op hogere trofische niveaus.

Hoewel de interactie tussen een predator en een prooi doorgaans duidelijk is, ligt de focus hier op het begrip van indirecte effecten, zoals de relatie tussen een predator en de plantaardige voedselbron van zijn prooi. Dit inzicht kan duidelijk maken dat verstoringen op lagere niveaus, zoals bij primaire producenten (planten), gevolgen kunnen hebben tot aan de top van het voedselweb. In plaats van een traditionele piramide van energieoverdracht te gebruiken, worden deelnemers aangemoedigd om actief na te denken over deze verbindingen. Zo kunnen ze gezamenlijk een voedselweb of ecologische kringloop creëren, inclusief cyclische processen zoals de terugkeer van nutriënten naar het systeem door uitwerpselen van predatoren.

Systeemdenken, waarbij het vermogen centraal staat om verbanden tussen verschillende componenten binnen een systeem te herkennen (Arnold & Wade 2015), vormt de kern van deze lesmodule. Het doel is om deelnemers een diepere ecologische visie te geven, waarin niet alleen individuele soorten of organismen worden bestudeerd, maar vooral de relaties tussen deze entiteiten en de natuurlijke processen die hen beïnvloeden. Directe relaties, zoals tussen predator en prooi, maar ook meer complexe interacties, zoals die welke worden aangedreven door feedbackmechanismen (positieve of negatieve terugkoppelingen), vormen het fundament van dit denken.

Ecosystemen zijn inherent complex en dynamisch, waarbij veranderingen continu plaatsvinden. Het idee van een 'ecologische balans' is in feite een illusie, aangezien natuurlijke systemen voortdurend in beweging zijn en reageren op interne en externe verstoringen (Wootton & Stouffer 2016). Deze module richt zich daarom op het begrijpen van de dynamische relaties binnen het systeem en hoe elk onderdeel van het ecosysteem, zowel biotisch als abiotisch, een rol speelt in de voortdurende transformaties van het systeem. Het begrijpen van de veranderlijkheid van ecosystemen en hun onderlinge verbondenheid is essentieel om inzicht te krijgen in hoe menselijke en natuurlijke verstoringen de ecologische stabiliteit kunnen beïnvloeden.

Bijlage 6 Theorie: invloed op biodiversiteit

Stikstofdepositie, voornamelijk in de vorm van ammonium (NH_4^+) en nitraat (NO_3^-), heeft diepgaande effecten op de biodiversiteit en de interacties binnen ecosystemen. Biodiversiteit, die alle variaties van organismen op aarde omvat, speelt een cruciale rol in het creëren van robuuste en veerkrachtige ecosystemen. Een hoge biodiversiteit biedt meer stabiliteit en weerstand tegen verstoringen door de aanwezigheid van diverse organismen met verschillende ecologische functies en overlevingsstrategieën. Het verlies van soorten, bijvoorbeeld door een overschot aan stikstof, leidt tot een afname van deze veerkracht, met gevolgen voor het functioneren van het ecosysteem als geheel (CBD, 1992).

De introductie van grote hoeveelheden stikstof door menselijke activiteiten, zoals landbouw en de verbranding van fossiele brandstoffen, verstoort de natuurlijke stikstofkringloop. In ecosystemen leidt dit stikstofoverschot tot processen zoals vermisting en verzuring, die de concurrentie tussen plantensoorten beïnvloeden en daarmee de structuur van de vegetatie en het voedselweb veranderen. Met name voedselarme ecosystemen, die van nature een hoge biodiversiteit herbergen, worden hierdoor aangetast, aangezien snelgroeiende, stikstofminnende soorten dominante posities innemen ten koste van langzaam groeiende, nutriënt-arme soorten (Wamelink 2020).

Vermesting

Vermesting verwijst naar de toename van nutriënten in de bodem als gevolg van stikstofdepositie. In voedselarme ecosystemen kunnen plantensoorten met verschillende overlevingsstrategieën in evenwicht samenleven, doordat stikstof een beperkende factor is voor de plantengroei. Een stikstofoverschot verstoort dit evenwicht, waarbij stikstofminnende, snelgroeiende soorten een concurrentievoordeel krijgen. Dit leidt tot de verdringing van langzaam groeiende soorten, vaak kruiden, die van nature aangepast zijn aan voedselarme omstandigheden. Het resultaat is een afname van de biodiversiteit, waarbij soorten als de brandnetel (*Urtica dioica*) in Nederland overmatig gedijen in stikstofrijke bermen en diverse inheemse plantensoorten verdringen (Wamelink, 2023).

Verzuring

Naast vermisting veroorzaakt stikstofdepositie ook verzuring van bodems, waarbij de pH-waarde daalt als gevolg van de afbraak van stikstofverbindingen zoals NH_4^+ en NO_x . Een dalende pH verstoort de chemische balans van bodems, waardoor essentiële mineralen zoals calcium en magnesium minder beschikbaar worden voor planten en dieren. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot calciumtekorten bij vogels, wat hun skeletontwikkeling schaadt. Verzuring verlaagt daarnaast de bufferende capaciteit van de bodem, wat de weerstand van het ecosysteem tegen verdere verstoringen vermindert (Dise et al. 2011). Het toevoegen van steenmeel of kalk om de verzuring van de bodem te neutraliseren (Weijters et al. 2023).

Conclusie

De effecten van stikstofdepositie op ecosystemen zijn complex en hebben invloed op zowel de biodiversiteit als de ecologische interacties. Door processen zoals vermisting en verzuring wordt de soortenrijkdom verminderd en raken voedselarme ecosystemen in onbalans. Dit benadrukt het belang van maatregelen om stikstofuitstoot te beperken en de gevolgen van stikstofoverschot te mitigeren, bijvoorbeeld via natuurherstelmaatregelen die gericht zijn op het verwijderen of neutraliseren van overtollige stikstof uit ecosystemen (Bowman et al. 2008).

Bijlage 7 Theorie: water eutrofiëring

Naast de effecten op terrestrische ecosystemen heeft stikstofdepositie ook aanzienlijke gevolgen voor aquatische systemen, hoewel de processen hier complexer zijn. Voor deze les wordt het onderwerp vereenvoudigd weergegeven. Een overschot aan nutriënten, waaronder stikstof en fosfaat, kan in aquatische ecosystemen leiden tot eutrofiëring. Eutrofiëring, een vorm van overmatige nutriëntbelasting, is vergelijkbaar met vermesting in terrestrische systemen. De nutriënten komen vaak via uitspoeling van landbouwgronden en rioolwater in het water terecht, wat de natuurlijke balans van het watersysteem verstoort (Leentvaar, 1970).

De verhoogde beschikbaarheid van nutriënten stimuleert de overmatige groei van algen, wat vaak zichtbaar is als een groene laag op het wateroppervlak. Deze algenbloei beperkt de lichtinval, waardoor onderwaterplanten minder goed kunnen groeien. Dit resulteert in een afname van de zuurstofproductie in het water, aangezien waterplanten normaal gesproken een belangrijke bron van zuurstof zijn. Het gebrek aan licht en zuurstof leidt uiteindelijk tot een drastische afname van de biodiversiteit in het water, met negatieve effecten voor zowel planten als dieren, zoals vissen en waterinsecten (Chrislock 2013).

Literatuurlijst

- Allesina, S., Alonso, D., & Pascal, M. (2008). A general model for food web structure. *science*, 320(5876), 658-661.
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia computer science*, 44, 669-678.
- Boezeman, D., Vink, M. & Van Hinsberg, D. (2023). Stikstof- en natuuraanpak in Nederland: feiten, cijfers en consequenties voor de uitvoering van beleid. In: H Schoukens (red.)
- Bowman, W. D., Cleveland, C. C., Halada, L., Hreško, J. & Baron, J. S. (2008). Negative impact of nitrogen deposition on soil buffering capacity. *Nat. Geosci.* 1, 767–770. <https://doi.org/10.1038/ngeo339> (2008).
- CBS, PBL, RIVM, WUR (2023a). Herkomst stikstofdepositie, 2021 (indicator 0507, versie 13, 27 januari 2023). www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University & Research, Wageningen.
- Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A., & Wilson, A. E. (2013). Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. *Nature Education Knowledge*, 4(4), 10.
- Demaco Cryogenics. (z.d.). *Vloeibare stikstof: Gebruik en toepassingen*. Geraadpleegd op 19 november 2024, van <https://demaco-cryogenics.com/nl/blog/vloeibare-stikstof-gebruik-en-toepassingen/>
- Dise NB, Ashmore MR, Belyazid S, et al. (2011). Nitrogen as a threat to European terrestrial biodiversity. In: The European nitrogen assessment: sources, effects, and policy perspectives. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Docentenportal farmaceutische wetenschappen. Leerdoelen en de taxonomie van Bloom. Universiteit Utrecht. Geraadpleegd op 20 juli 2024, van <https://docentenportal.farmacie.sites.uu.nl/onderwijsontwikkeling/leerdoelenformuleren/>
- de Haan, B. J., Kros, J., Bobbink, R., van Jaarsveld, J. A., Roelofs, J. G. M., & de Vries, W. (Eds.) (2008). Ammoniak in Nederland. (Rapport PBL; No. 500125003). PBL Planbureau voor de Leefomgeving. <https://edepot.wur.nl/161165>
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2
- Leentvaar, P. (1970). Het probleem van de eutrofiëring. *H2O*, 3(5), 100-103.
- LNV (2022). Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering 2022-2035. Den Haag: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Publicatie-nr 20221122.
- Natuurmonumenten. (n.d.). Wandelroute veluwezoom. Geraadpleegd op 17 juli 2024, van <https://www.natuurmonumenten.nl/natuurgebieden/nationaal-park-veluwezoom/route/wandelroute-veluwezoomposbank-bij-arnhem>
- Natuurwijzer: Klein Swormink, D., ten Bruggencate, V., de Haan, J., Hoevers, F., Smit, M., Asseldonk, M. (2023). Ontwikkelen van een interactieve leermodule over de effecten van stikstofdepositie op biodiversiteit. Een ACT rapport van studenten van Wageningen University & Research.

-
- Sommer, S.G., Hutchings, N.J. (2001). Ammonia emission from field applied manure and its reduction— invited paper. *European Journal of Agronomy*, Volume 15, Issue 1, 2001, Pages 1- 15, ISSN 1161-0301, [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00112-5).
- RIVM. Stikstof - stikstofoxiden (NOx). (z.d.). RIVM. <https://www.rivm.nl/stikstof/stikstofoxiden-nox>
- Stevens, C. J. (2019). Nitrogen in the environment. *Science*, 363(6427), 578-580.
- Sprent, J. I. (2005). NITROGEN IN SOILS | Symbiotic fixation. In Elsevier eBooks (pp. 46–56). <https://doi.org/10.1016/b0-12-348530-4/00457-4>
- Stroeken T., (2024). Stikstof in balans: een ervaringsgerichte leermodule over stikstof. Stageverslag van Tessa Stroeken, Master student aan de Wageningen University & Research
- Van der Ree, J., Honig, E., Uijt de Haag, P. A. M., Kelfkens, G., & Van de Ven, M. F. (2019). Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur.
- Wamelink, G., Goedhart, P., Roelofsen, H., Bobbink, R., Posch, M., & Van Dobben, H. (2021). Relaties tussen de hoeveelheid stikstofdepositie en de kwaliteit van habitattypen. <https://doi.org/10.18174/547752>
- Wamelink, G., Mol-Dijkstra, J., Reinds, G., Voogd, J., Bonten, L., Posch, M., Hennekens, S., & De Vries, W. (2020). Prediction of plant species occurrence as affected by nitrogen deposition and climate change on a European scale. *Environmental Pollution*, 266, 115257. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115257>
- Wamelink, W., van Dobben, H., van der Zee, F., van Hinsberg, A., & Bobbink, R. (2023). Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000: Herziening 2023.
- Weijters, M., Bohnen-Verbaarschot, E., Vogels, J., Smits, L., Van de Riet, B., Siepel, H., Verbruggen, E., Emsens, W., Brouwer E., en Bobbink, R. (2023). Herstel van droge- en vochtige heide door middel van silicaatmineralen (steenmeel). Resultaten van negen jaar steenmeelonderzoek. Rapportnummer OBN-2019-109-DZ Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen.
- Wootton, K. L., & Stouffer, D. B. (2016). Species' traits and food-web complexity interactively affect a food web's response to press disturbance. *Ecosphere*, 7(11), e01518.



Wageningen University & Research
Wetenschapswinkel
Postbus 9101
6700 HB Wageningen
T 0317 48 39 08
E wetenschapswinkel@wur.nl
wur.nl/wetenschapswinkel

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

