

Methoden en technieken gebruikt bij de PBL-studie 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland'

Inventarisatie van de omgevingsontwikkelingen

A. Cormont, J.M. Houtkamp, C. van Haren, P.J.F.M. Verweij en R. Pouwels

| WOT-technical report 267



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Methoden en technieken gebruikt bij de PBL-studie 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland'

Dit WOT-technical report is gemaakt conform het Kwaliteitsmanagementsysteem (KMS) van de unit Wettelijke Onderzoekstaken (WOT) Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research.

WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de minister van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN) te ondersteunen. WOT Natuur & Milieu zorgt voor rapportages en data voor (inter)nationale verplichtingen op het gebied van agromilieu, biodiversiteit en bodeminformatie, en werkt mee aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving zoals de Balans van de Leefomgeving.

Disclaimer WOT-publicaties

De reeks 'WOT-technical reports' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor WOT Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het PBL is een inhoudelijk onafhankelijk onderzoeksinstituut op het gebied van milieu, natuur en ruimte, zoals gewaarborgd in de Aanwijzingen voor de Planbureaus, Staatscourant 3200, 21 februari 2012.

Dit onderzoeksrapport draagt bij aan de kennis die verwerkt wordt in meer beleidsgerichte publicaties zoals Natuurverkenning, Balans van de Leefomgeving en andere thematische verkenningen.

Het onderzoek is gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN).

Methoden en technieken gebruikt bij de PBL-studie 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland'

Inventarisatie van de omgevingsontwikkelingen

Anouk Cormont¹, Joske Houtkamp¹, Charlotte van Haren¹, Peter Verweij¹, Rogier Pouwels²

1 Wageningen Environmental Research

2 Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

BAPS-projectnummer WOT-04-011-044.01

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2024

WOT-technical report 267

ISSN 2352-2739

DOI [10.18174/680373](https://doi.org/10.18174/680373)

Referaat

Cormont, A., J.M. Houtkamp, C. van Haren, P.J.F.M. Verweij en R. Pouwels (2024). *Methoden en technieken gebruikt bij de PBL-studie 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland'; Inventarisatie van de omgevingsontwikkelingen*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOT-technical report 267.

De PBL-studie 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland' omvat een inventarisatie en analyse van de externe ontwikkelingen die op de landbouw en natuur af zullen komen. Hiervoor is een brede kennisbasis nodig die gevoed wordt door literatuur en expertkennis. Dit rapport beschrijft de methoden en technieken die gebruikt zijn om deze kennis bijeen te brengen en te formaliseren. Het levert de achtergrond voor het PBL-rapport 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland.'

Trefwoorden: landbouw- en natuurverkenning, kennisinventarisatie, participatieve methoden, Bayesiaanse netwerken.

Abstract

Methods and techniques used in the PBL study 'Long-term external influences on agriculture and nature in the Netherlands': Inventory of environmental trends

The Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL) study 'Long-term external influences on agriculture and nature in the Netherlands' includes an inventory and analysis of the external trends that will affect agriculture and nature. This requires a broad knowledge base fed by literature and expert knowledge. This report describes the methods and techniques used to assemble and formalise this knowledge. It provides the background to the PBL report 'Long-term external influences on agriculture and nature in the Netherlands.'

Foto omslag: Pexels – Matthias Groeneveld

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/680373> of op www.wur.nl/wotnatuurenmilieu. WOT Natuur & Milieu verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2024 **Wageningen Environmental Research**

Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 48 59 57; e-mail: anouk.cormont@wur.nl

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (unit binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research),

Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 54 71, info.wnm@wur.nl, www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.



Dit werk is gelicentieerd onder de Creative Commons CC-BY-NC licentie. Zie voor de licentievoorwaarden: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.nl>

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de door de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

WOT Natuur & Milieu aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

Het rapport dat voor u ligt beschrijft de methodiek die aan de basis ligt van het PBL-rapport 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland', een verkenning van de ontwikkelingen die in de komende drie decennia invloed zullen hebben op de Nederlandse landbouw en natuur.

Eind 2021 heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) Wageningen Environmental Research (WENR) gevraagd mee te werken aan de ontwikkeling van een onderzoeksaanpak, uitvoering en analyse van de resultaten.

De aanpak moest aan een aantal eisen voldoen: het vermogen om kennis vanuit verschillende disciplines en bronnen te combineren, het in kaart brengen van toekomstige ontwikkelingen, het kunnen uitzoomen om de hoofdlijnen te onderscheiden en vervolgens weer inzoomen op de effecten voor landbouw en natuur in Nederland. Ook moesten er veel momenten van interactie en evaluatie met experts worden ingebouwd om de resultaten met hen te kunnen toetsen.

In dit project is daarom veel aandacht besteed aan het ontwikkelen van een strategie die zowel richting als ruimte bood, aangezien in een verkenning als deze de onderzoekers op onverwachte inzichten en kennislacunes stuiten waarvoor men snel en zorgvuldig een oplossing moet kunnen vinden.

In het rapport besteden de auteurs uitgebreid aandacht aan de toepassing van Bayesiaanse netwerken, ofwel *Bayesian Belief Networks* (BBNs). Deze zijn gebruikt om tot beter begrip te komen van de interactie tussen verschillende factoren en ontwikkelingen die met de experts zijn geïdentificeerd en invloed zullen uitoefenen op natuur en landbouw in toekomstig Nederland. Omdat dit een relatief nieuwe techniek is in projecten als deze, bevat het rapport uitgebreide toelichting op hoe de resultaten tot stand zijn gekomen.

Onze dank gaat uit naar allen die ondersteuning hebben geboden bij de uitvoering van dit project, met name de experts die naast hun inhoudelijke kennisbijdrage ook feedback hebben gegeven op de methoden, toegepast binnen dit project: Rob Alkemade, Hans Dagevos, Rene Henkes, Trond Selnes, Theo van der Sluis, Daan Verstand, Wieger Wamelink (WUR), Louise van Schaik (Clingendael), Rob Alkemade, Michel Bakkenes, Hendrien Bredenoord, Gert Jan van der Born, Frank van Dam, Ron Franken, Frank van Gaalen, Marcel Kok, Mark van Oorschot, Aaldrik Tiktak, Henk Westhoek (PBL). Ook bedanken we Ron Wehrens (Biometris, WUR) voor zijn uitgebreide statistische analyse van de BBN-resultaten en het meedenken over de mogelijkheden van de techniek. Tenslotte bedanken we Arjen van Hinsberg en Marijke Vonk (PBL), die een onmisbare rol speelden in het gehele project, van de ontwikkeling van de strategie tot en met de uitvoering van de verschillende onderdelen.

Inhoud

Samenvatting	9	
Summary	13	
1	Langetermijninvloeden: natuur en landbouw in een onzekere buitenwereld	17
	1.1 Inleiding en achtergrond	17
	1.2 Uitgangspunten bij aanvang analyse	17
	1.3 Opbouw van het rapport	19
2	Expertvisies op externe ontwikkelingen	21
	2.1 Inleiding	21
	2.2 Uitvoering	21
	2.3 Reflectie op proces en resultaten	22
	2.4 Conclusies richting vervolgstap	22
3	Samenhang tussen expertvisies op externe ontwikkelingen	24
	3.1 Inleiding	24
	3.2 Uitvoering	24
	3.3 Reflectie op proces en resultaten	28
	3.4 Conclusies richting vervolgstap	28
4	Interne reflectie met causale Bayesiaanse netwerken	29
	4.1 Inleiding	29
	4.2 Uitvoering	29
	4.3 Kenmerken van de resultaten	32
	4.4 Reflectie op proces en resultaten	33
	4.5 Conclusies richting vervolgstap	33
5	Expertbevraging ten behoeve van getrainde Bayesiaanse netwerken	34
	5.1 Inleiding	34
	5.2 Uitvoering	34
	5.3 Kenmerken van de resultaten	37
	5.4 Reflectie op proces en resultaten	39
	5.5 Conclusies richting vervolgstap	40
6	Statistische analyse voor inhoudelijke conclusies	41
	6.1 Inleiding	41
	6.2 Uitvoering	41
	6.3 Kenmerken van de resultaten	41
	6.4 Reflectie op proces en resultaten	43
	6.5 Conclusies	44
7	Reflectie op de gebruikte methoden en technieken	45
8	Nawoord	49
Literatuur		50
Verantwoording		51
Bijlage 1	Vragenlijst individuele expert-perspectieven op externe ontwikkelingen	52
Bijlage 2	Conceptueel model per thema, gebaseerd op de input van de experts	60

Bijlage 3	Onderliggende redenering bij waarschijnlijkheidstabellen causale BBNs	63
Bijlage 4	Berekening effecten van drie toekomstbeelden, zoals beschreven in PBL-rapportage	80
Bijlage 5	Verslag Workshop Landbouw- en Natuurverkenning 15 februari 2023	81
Bijlage 6	Vragenlijst over de effecten van de toekomstbeelden ten behoeve van de training van de BBNs, opgesteld in Microsoft Forms	87
	Melkveehouderij op veen – vragenlijst Workshop 15 februari 2023	87
	Melkveehouderij op veen - online vragenlijst maart 2023	90
	Gangbare veehouderij - online vragenlijst maart 2023	93
	Akkerbouw -online vragenlijst maart 2023	96
Bijlage 7	Beschrijvingen van de methode en uitkomsten van de statistische analyse	99

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de methodiek die aan de basis ligt van het PBL-rapport 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland.' Deze PBL-studie verkent de lange-termijntoewijzingen van de externe omgevingsfactoren die van invloed zijn op landbouw en natuur in Nederland en waar het Nederlandse beleid geen of beperkt invloed op heeft. Dit zijn bijvoorbeeld veranderingen in klimaat, internationale ontwikkelingen en beleid en consumptieketens en consumenten. Daarbij gaat ook aandacht uit naar onzekerheden die een rol kunnen spelen in de mate waarin deze factoren van invloed zijn op de landbouw en natuur in Nederland. De ontwikkelingen in externe omgevingsfactoren leiden tot veranderende situaties in landbouw en natuur en tot een nieuwe relatie tussen beide.

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in 2022 en de eerste helft van 2023. Dit rapport beschrijft de stappen en methoden die daarin zijn uitgevoerd en de tussentijdse resultaten. Voor meer achtergronden ten aanzien van ontwikkelingen van externe omgevingsfactoren verwijzen wij naar Van Hinsberg et al. 2024.

In de voorbereidingsfase heeft het projectteam een plan van aanpak opgesteld en een eerste inventarisatie gemaakt van externe factoren die invloed hebben op het landbouw-natuursysteem. Dit heeft geleid tot definities van belangrijke begrippen en een diagram of denkmodel dat het uitgangspunt vormde voor het onderzoek.

Het doel van stap 1, de eerste expertbevraging, was om met behulp van vijftien experts en aanvullend literatuuronderzoek vanuit de verschillende vakgebieden kennis te verzamelen over verwachte en mogelijke ontwikkelingen van de omgevingsfactoren (uit de voorbereidende fase) tot 2050, die effect zullen hebben op het landbouw-natuursysteem. De experts hebben deze ontwikkelingen met behulp van vragenlijsten en interviews vanuit hun vakgebied beschreven en zijn daarbij zoveel mogelijk ingegaan op de impact en onzekerheden van de ontwikkelingen. Het projectteam heeft een eerste analyse gemaakt van de beschrijvingen van de experts en deze weergegeven in conceptuele modellen met verwachte causale verbanden voor drie belangrijke externe factoren, samengevat in klimaat, internationale ontwikkelingen en beleid en consumptieketens en consumenten. Elk van de conceptuele modellen is opgebouwd uit de door experts genoemde achterliggende *drivers* (sturende factoren), externe ontwikkelingen en effecten daarvan op het landbouw-natuursysteem, alsmede mogelijke andere factoren die invloed hebben op de drivers, ontwikkelingen of effecten. De opgehaalde informatie uit interviews en vragenlijsten is gebruikt als basis voor de PBL-rapportage over de verschillende externe ontwikkelingen.

Bij een tweede ronde expertbevraging zijn de verschillende ontwikkelingen naast elkaar gelegd en hebben de experts in een workshop bediscussieerd hoe deze op elkaar in kunnen grijpen en welke zij als belangrijkste invloeden zien. Naast bevestiging dat de dominante drivers waren geïdentificeerd, benoemden de deelnemers ook enkele ontwikkelingen die eerder in de interviews en vragenlijsten niet zo duidelijk naar voren kwamen, zoals sturing op behoud van de huidige situatie.

In de workshop is een gezamenlijk beeld ontstaan van belangrijke externe ontwikkelingen. PBL vat deze samen als figuur 1. Ook ontstond er in de workshop een eerste beeld van de samenhang van de diverse factoren en hun doorwerking op natuur en landbouw. Zo is een eerste overzicht gecreëerd van enkele belangrijke paden van de drivers via ontwikkelingen richting effecten. De betrokkenen merkten echter op dat het moeilijk was de verbanden te leggen en samenhang te ontdekken tussen de ontwikkelingen. Het was dus noodzakelijk om dit gezamenlijke beeld expliciet te maken en te analyseren om daarmee begrip van het systeem en onderlinge beïnvloeding van systeemelementen te verkrijgen.

Externe factoren met hun invloed op natuur en landbouw in Nederland



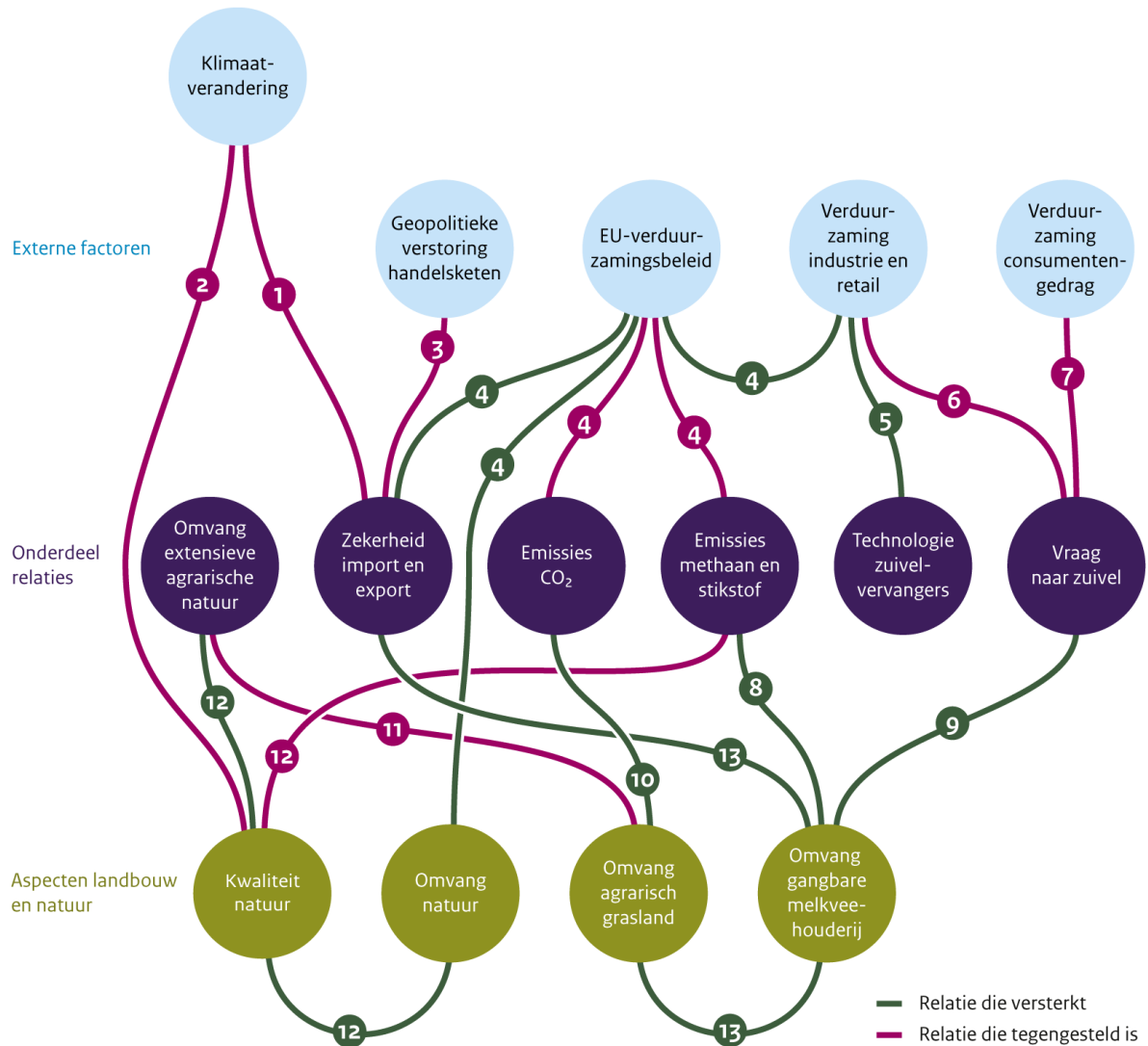
Bron: PBL

Om tot een beter begrip te komen van de interactie tussen verschillende factoren en ontwikkelingen heeft het projectteam gebruik gemaakt van Bayesian Belief Networks (BBN). Deze techniek is toegepast op de drie belangrijkste vormen van landbouw in Nederland, met de bijbehorende relatie met natuur: grondgebonden melkveehouderij op veen, intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) en akkerbouw.

BBNs zijn modellen die eruitzien als netwerken van elementen met onderlinge relaties ertussen en die rekenen op basis van waarschijnlijkheidsfuncties. Gewichten aan deze relaties worden toegekend op basis van de kansen dat de relaties in werkelijkheid voorkomen. Het toekennen van gewicht kan worden gedaan op basis van zowel (semi)kwantitatieve als kwalitatieve, al dan niet onzekere of incomplete data. De uitkomst van een BBN is de waarschijnlijkheid dat een bepaalde gebeurtenis optreedt.

Veel genoemde en belangrijke elementen van de conceptuele modellen uit de vorige stap zijn met elkaar in verband gebracht middels een logische relatie van drivers en ontwikkelingen in omgevingsfactoren, sociaal-maatschappelijke respons, gevolgd voor voedselsysteem en natuur, uitwerking in landgebruik en effect op landbouw en natuur. Deze elementen en relaties zijn overgebracht in causale BBNs voor de drie vormen van landbouw (melkveehouderij op veen, intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) en akkerbouw), aangevuld met enkele additionele elementen om logische (causale) relaties tussen de elementen te kunnen leggen. Figuur 2 uit het de PBL-rapportage geeft een grafische en vereenvoudigde indruk van hoe een dergelijk kennisnetwerk er uit ziet. De opgestelde kennisnetwerken geven een overzicht van de samenhang van alle onderzochte elementen. Echter, de bevindingen zijn gestuurd door de keuzes die gemaakt zijn tijdens het proces en zijn daarmee afhankelijk van het team van betrokken experts en de budgettaire en temporele randvoorwaarden. De onderbouwing van gekozen elementen, de relaties daartussen en de bijbehorende gewichten zijn in dit geval afkomstig uit literatuur, rapporten, data en kennis van de betrokkenen van het projectteam zelf. Deze kennis is expliciet gemaakt en overzichtelijk met elkaar verbonden. De ontwikkeling van de causale BBNs heeft daardoor eveneens geleid tot een verdiept begrip van de eerder verzamelde kennis.

Invloeden van externe factoren op melkveehouderij



- 1 Grote klimaatverandering kan zekerheid van in- en export negatief beïnvloeden.
- 2 Grote klimaatverandering heeft negatieve effecten op veel soorten.
- 3 Geopolitieke verstoring kan in- en export bemoeilijken.
- 4 Sterker EU-verduurzamingsbeleid zet in op reductie emissies (broeikasgassen, stikstof), vergroting natuurareaal, vergroting verduurzaming ketens en stabiele handelsrelaties.
- 5 Verduurzaming van ketens is afhankelijk van ontwikkeling van technische alternatieven, zoals plantaardige zuivelvervangers.
- 6 Vraag van type voedsel bepaalt en stuurt verduurzamingsmogelijkheden keten.
- 7 Verandering van consumentengedrag stuurt voedselvraag.
- 8 Intensiteit van veehouderij bepaalt in belangrijke mate de omvang van de emissies.
- 9 Bij afnemende vraag naar melk zal de intensiteit van de veehouderij dalen.
- 10 Het ontwaterde veenweidegebied emitteert veel CO₂.
- 11 Extensivering van agrarisch gebruik door bijvoorbeeld aanleg van groene landschapselementen gaat ten koste van omvang intensief agrarisch grasland, maar verhoogt voorkomen van agrarische soorten.
- 12 Voorkomen van soorten in natuurgebieden wordt in positieve mate beïnvloed door verlaging depositie van stikstof, vergroting van natuurareaal en vergroting van extensieve agrarische natuur in de omgeving.
- 13 De intensiteit van de melkveehouderij wordt ook gestuurd door de beschikbaarheid aan grasland en in- en uitvoer uit het buitenland.

Bron: PBL

In de laatste fase van het onderzoek zijn de resultaten van deze causale BBNs uit de voorafgaande fase beoordeeld door experts. Zij zijn in twee rondes gevraagd om vragenlijsten in te vullen. Deze informatie is gebruikt om BBNs te 'trainen'. Zo ontstond een beeld van de belangrijkste effectpaden voor de drie gekozen vormen van landbouw met de bijbehorende relatie met natuur. De eerste ronde vond plaats in een workshop waarin de resultaten, die de getrainde BBNs lieten zien, uitgebreid werden besproken. Een tweede ronde

vond later online plaats. Uit de getrainde BBNs kwamen resultaten die op het eerste gezicht behoorlijk vergelijkbaar waren met de resultaten van de causale BBNs, maar in nuance toch verschilden. De resultaten gaven aanleiding tot verdere analyse en discussie. Deze fase was de laatste stap van het voor dit onderzoek ontwikkelde proces en droeg bij aan inzicht in het systeem, de onderlinge beïnvloeding van de elementen van het systeem en de invloed van omgevingsfactoren.

Het gebruik van BBNs binnen een breed en diffuus vraagstuk in beleid is een nog weinig toegepaste methode, waardoor er behoefte ontstond om de resultaten statistisch te onderzoeken en antwoorden te vinden op vragen die waren gerezen. Ter afsluiting zijn daarom de resultaten van de getrainde en causale BBNs van melkveehouderij op veen voorgelegd aan een statistisch expert van Biometris (WUR). Vragen daarbij waren onder andere hoe de BBNs op een statistisch verantwoorde manier te analyseren en hoe de resultaten te interpreteren.

Op basis van de analyses met de BBNs kan geconcludeerd worden dat externe ontwikkelingen een aanzienlijke invloed kunnen hebben op natuur en landbouw in Nederland. Tegelijkertijd is duidelijk dat effecten van externe ontwikkelingen een aanzienlijke bandbreedte kennen, afhankelijk van de omvang van de afzonderlijke externe ontwikkelingen en de combinatie waarin zij optreden (zie Van Hinsberg et al. 2024 voor details over omvang en bandbreedte van de onderzochte externe ontwikkelingen). Uit de gevoeligheidsanalyse met 108 combinaties van verschillende situaties van externe ontwikkelingen blijkt dat vooral de ontwikkeling van de klimaatverandering en die van het EU-verduurzamingsbeleid bepalend zijn voor de mate en richting waarin de natuurkwaliteit verandert. Voor een hoge natuurkwaliteit is het essentieel dat klimaatverandering beperkt blijft en dat het duurzaamheidsbeleid vorm krijgt. Bij een beperkte klimaatverandering en een stevig duurzaamheidsbeleid is de kans dat de natuurkwaliteit verslechtert, het kleinst. Natuurkwaliteit blijkt gebaat bij een samenhangende actie richting de verduurzaming van zowel EU-beleid als keten en consument, maar het EU-beleid heeft daarbij het grootste effect. Ook op de omvang en de intensiteit van de landbouw blijken deze externe factoren een aanzienlijke invloed te kunnen hebben. Met name in contextscenario's waarin consumenten, ketens en beleidsmakers dezelfde duurzaamheidskeuzes maken, is die invloed groot. Van Hinsberg et al. 2024 beschrijft in meer detail de doorwerking van enkele scenario's aan externe ontwikkelingen op natuur en landbouw.

Op methodisch vlak kan geconcludeerd worden dat BBNs een veelbelovende techniek zijn voor het modelleren en begrijpen van complexe systemen met experts. PBL concludeert dat "de gehanteerde methodiek van systeemanalyse een toegevoegde waarde heeft bij het maken en analyseren van scenario's van externe ontwikkelingen. Ze geeft bijvoorbeeld een analytisch houvast bij het systematisch analyseren van afzonderlijke ontwikkelingen, waarmee inzichtelijk wordt welke factoren elkaar kunnen beïnvloeden en in welke mate. Dit helpt om logica aan te brengen bij het maken van consistente contextscenario's voor verkenningen van de toekomst van de natuur en landbouw. De methodiek biedt ook de mogelijkheid om kwalitatieve en kwantitatieve kennis te combineren, waardoor in toekomstverkenningen niet alleen gericht hoeft te worden op een van beide type kennis. De methode kan aan kracht winnen als de relaties in het netwerk worden gevuld met informatie van een groter aantal experts en/of rekenmodellen dan in deze studie mogelijk was" (Van Hinsberg et al. 2024). Echter, het gebruik ervan vereist zorgvuldige begeleiding en expertise op technisch vlak, maar met name ook op het gebied van procesfacilitatie. BBNs bieden de mogelijkheid om complexe relaties en interacties binnen systemen in kaart te brengen, waardoor ze waardevolle inzichten kunnen verschaffen. Het vermogen om onzekerheid en waarschijnlijkheid in modellen op te nemen maakt ze bijzonder geschikt voor situaties waarin de toekomstige uitkomsten niet volledig bekend zijn.

De in dit project ontwikkelde strategie was erop gericht om met de experts de kennis die zij inbrachten en de aanvullende informatie uit de literatuur, te analyseren en te ordenen. Daarbij zijn gebruikelijke technieken toegepast zoals interviews, vragenlijsten en workshops. De BBNs hebben als aanvullende, nieuwe techniek een belangrijke rol gespeeld in het helpen begrijpen van de belangrijke onderlinge verbanden in het toekomstig systeem van landbouw en natuur. Deze strategie was bij aanvang op hoofdlijnen uitgezet. Gedurende het proces heeft het projectteam de afzonderlijke stappen waar nodig aangepast. Dit rapport bevat een overzicht van de toegepaste methoden. De bijlagen bevatten de gebruikte vragenlijsten, tussentijdse resultaten en verslagen en de toelichting op de statistische analyse van de resultaten van de BBNs.

Summary

This report describes the methodology for the study by the Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL) on 'Long-term external influences on agriculture and nature in the Netherlands.' The PBL report of the study describes long-term trends in the external environmental factors influencing agriculture and nature in the Netherlands that are largely unaffected by Dutch policies. These factors include changes in the climate, international developments and policies, and consumption chains and consumer behaviour. Attention is also given to uncertainties that can affect the degree to which these factors influence agriculture and nature in the Netherlands. Changes in external factors lead to changing situations in agriculture and nature and to a new relationship between them.

The research took place in 2022 and the first half of 2023. This report describes the steps in the research process, the methods used and the interim results. For more background information on the trends in external environmental factors we refer the reader to Van Hinsberg et al. 2024.

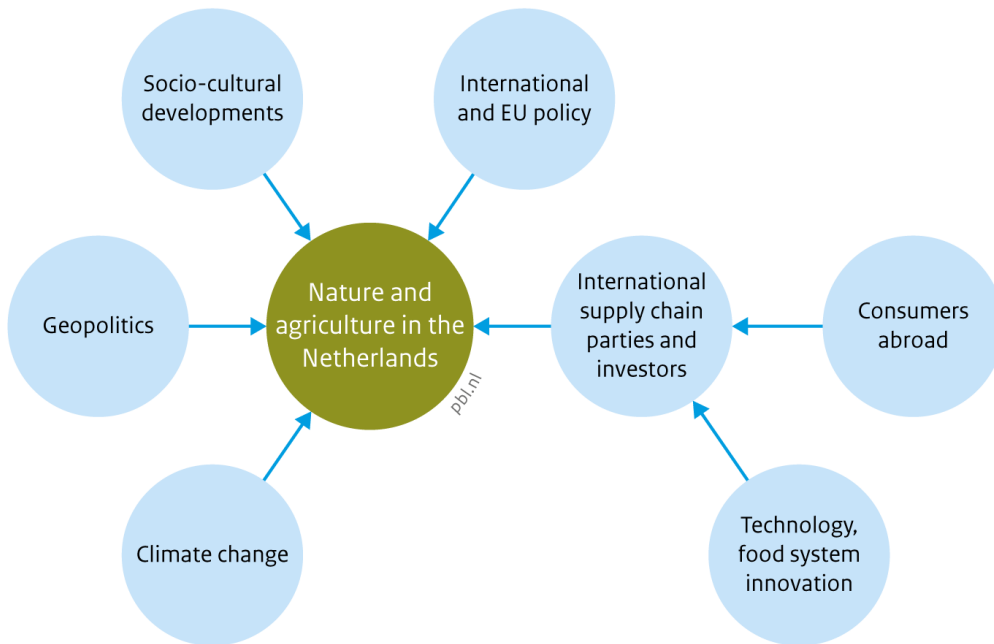
In the preparatory phase the project team drew up a work plan, made an initial inventory of external factors that influence the agriculture–nature system, defined a number of important concepts and made a diagrammatic conceptual model to guide the research.

The aim of step 1, the first dialogue with fifteen experts and a supplementary literature study, was to acquire knowledge across various disciplines on the expected and possible trends in environmental factors to 2050 (identified in the preparatory phase) that will affect the agriculture–nature system. Descriptions of these trends from the perspective of the disciplines of the experts were compiled from questionnaires filled in by the experts and interviews with the experts, focusing on the impacts and uncertainties of the trends. The project team made an initial analysis of the expert descriptions and translated these into conceptual models showing expected causal relationships for three important aggregate external factors: climate, international developments and policies, and consumption chains and consumer behaviour. Each of the conceptual models consists of underlying drivers, external trends and their effects on the agriculture–nature system identified by the experts, as well as other factors that may influence the drivers, trends or effects. Information obtained from the interviews and questionnaires was used as the basis for the PBL report on external trends.

In a second round of dialogue with the experts the various trends were examined together in a workshop; the experts discussed how the trends could affect each other and identified what they considered to be the most important influences. Besides confirming that the dominant drivers had been identified, the participants also mentioned a few trends which had not been clearly defined in the interviews and questionnaires, such as managing change to sustain the existing situation.

During the workshop a common picture emerged of the important external trends. These are summarised by PBL in Figure 1. An initial picture of how the various factors interrelate and influence the agriculture–nature system also emerged. Together these provide an initial overview of several important driver pathways via trends to effects. However, as the participants also noted that it was difficult to identify the connections and interplay between trends, it was necessary to make this common picture explicit and analysis it to obtain an understanding of the system and the underlying influences between elements in the system.

External factors with their influence on nature and agriculture in the Netherlands



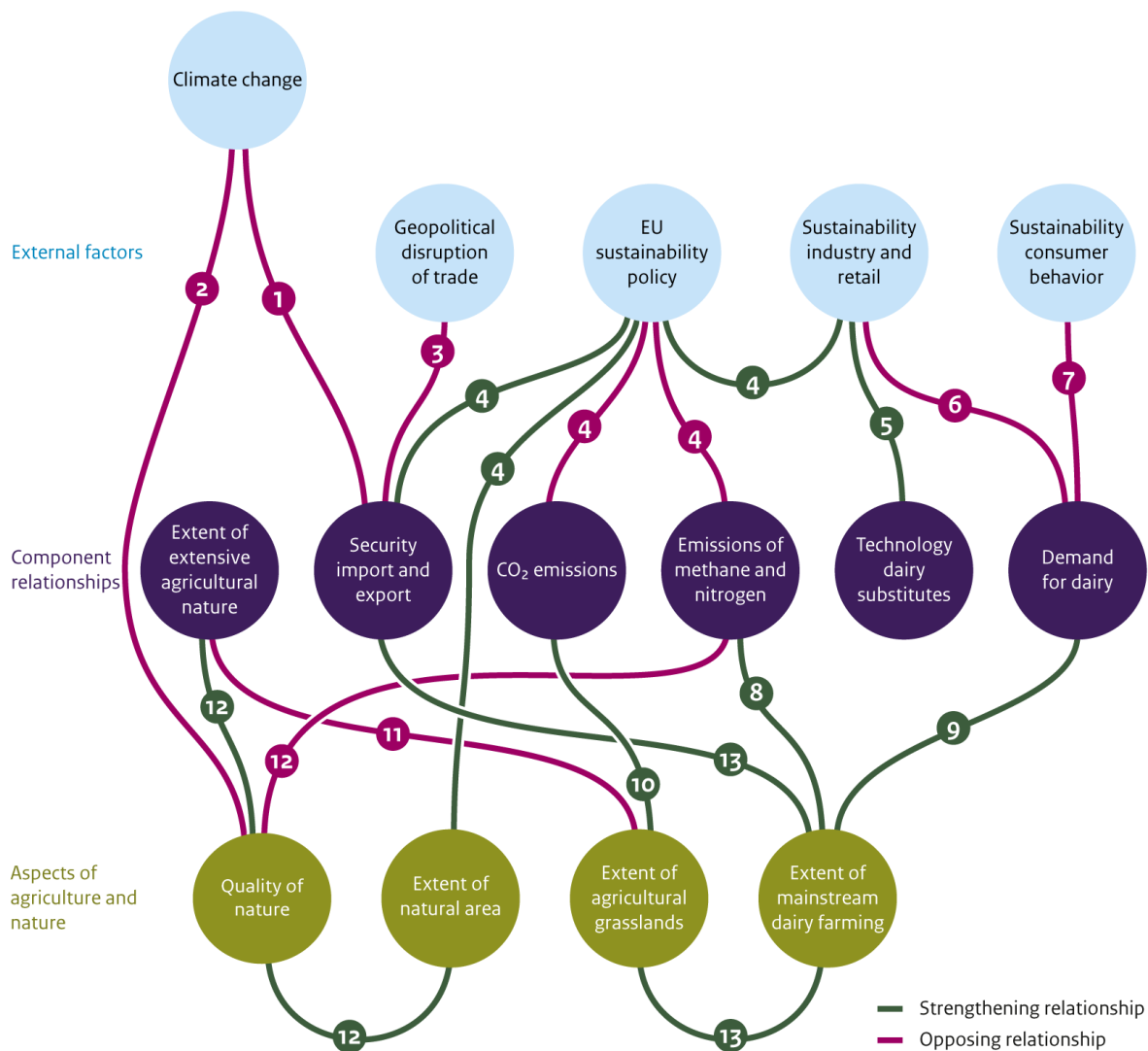
Source: PBL

The project team used Bayesian Belief Networks (BBNs) to obtain a better understanding of the interaction between the various factors and trends. This technique was applied to the three most important types of agriculture in the Netherlands and their relationships with nature: land-based dairy farming on peaty soils, intensive livestock farming (pigs and poultry) and arable farming.

BBNs are models that look like networks of elements with mutual relationships and that perform calculations based on probability functions. These relationships are weighted according to the probabilities that the relationships actually occur in nature. Weights can be assigned on the basis of both (semi-)quantitative and qualitative data, which may be uncertain or incomplete. The outcome of a BBN is the probability that a certain event will occur.

Frequently mentioned and important elements of the conceptual models from the previous step were linked through logical connections between drivers and trends in environmental factors and societal responses for the food system and nature, expressed in terms of land use and impacts on agriculture and nature. These elements and relationships were converted into causal BBNs for the three types of agriculture (dairy farming on peaty soils, intensive livestock farming (pigs and poultry) and arable farming), supplemented with some additional elements to establish logical (causal) relationships between the elements. Figure 2 from the PBL report is a simplified graphical impression of what such a knowledge network looks like. The knowledge networks shown in the figure provide an overview of the interconnections between all the elements studied. However, the findings are driven by the choices made during the process and are therefore dependent on the team of experts and the budgetary and temporal constraints. In this case, the evidence supporting the choice of elements, the relationships between them and associated weightings comes from the literature, reports, data and the knowledge of the project team. The knowledge of the various members of the project team was made explicit and clearly linked together. As a result, the development of the causal BBNs also led to a deeper understanding of previously collected knowledge.

Influences of external factors on dairy farming



- 1 Major climate change may negatively affect stability of imports and exports.
- 2 Major climate change has negative effects on many species.
- 3 Geopolitical disruption may complicate imports and exports.
- 4 Stronger EU sustainability policy is aimed at reducing emissions (greenhouse gases, nitrogen), increasing natural areas, increasing sustainability of chains and stable trade relations.
- 5 Making supply chains more sustainable depends on the development of technical alternatives, such as vegetable dairy substitutes.
- 6 Demand for type of food determines and steers opportunities for sustainability of chain.
- 7 Changes in consumer behavior steer sustainability potential of the food chain.
- 8 Intensity of livestock farming largely determines the extent of emissions.
- 9 As demand for milk declines, the intensity of livestock farming will decrease.
- 10 Draining peat meadows increases CO₂ emissions.
- 11 Extensification of agricultural land use by, for example, creating green landscape elements will be at the expense of the extent of intensive agricultural grassland, but will increase the occurrence of agricultural species.
- 12 The occurrence of species in nature areas is positively influenced by lowering nitrogen deposition, increasing the area of nature and increasing extensive agricultural nature in the vicinity.
- 13 Dairy farming intensity is also driven by grassland availability and imports and exports from abroad.

Source: PBL

In the last phase of the study the results of these causal BBNs from the previous phase were evaluated by experts, who completed questionnaires in two rounds of evaluation. The information from the questionnaires was then used to 'train' the BBNs. A picture of the most important effect paths was thus obtained for the three chosen types of agriculture and their associated relationships with nature. The first evaluation round took place during a workshop in which the results, as expressed by the trained BBNs, were discussed. The second round took place later online. The trained BBNs produced results which at first sight appeared to be very similar to the results of the causal BBNs, but with subtle differences, which were then subjected to

further analysis and discussion. This phase was the last step of the process developed for this study and it gave further insight into the workings of the system, the mutual influences between the elements of the system and the influence of environmental factors.

As BBNs have rarely been used as a method for studying a wide-ranging and diffuse policy issue, it was felt that the results should be subjected to a statistical analysis to find answers to questions which had arisen during the study. The results of the trained and causal BBNs for dairy farming on peaty soils were therefore given to an expert statistician at Biometris (WUR), who was asked what form of statistical analysis should be applied to the BBNs and how to interpret the results.

From the analyses of the BBNs it can be concluded that external trends can have a considerable influence on nature and agriculture in the Netherlands. At the same time, it is clear that external trends have a wide range of effects, depending on the scale of the individual external developments and the combinations in which they occur (see Van Hinsberg et al. 2024 for details of the scale and range of the investigated external trends). The sensitivity analysis of 108 combinations of differing external trends indicates that climate change and EU sustainability policies are determining factors for the scale and direction of changes in ecological quality. To maintain a high ecological quality it is essential that climate change is limited and that sustainability policies take effect. If climate change is kept in check and firm sustainability policies are pursued, the likelihood of ecological quality deteriorating is minimised. Ecological quality will benefit from concerted action to increase the sustainability of EU policies, consumption chains and consumer behaviour, but greening EU policy will have the greatest effect. These external factors can also have a considerable influence on the scale and intensity of agriculture. This influence is particularly large in context scenarios in which consumers, consumption chains and policymakers make the same sustainability choices. Van Hinsberg et al. 2024 describe in more detail for a few scenarios how external trends influence nature and agriculture.

At the methodological level, it can be concluded that BBNs are a promising technique for modelling and understanding complex systems with experts. PBL concludes that 'the systems analysis methodology used has added value when developing and analysing scenarios for external trends. For example, the methodology provides a firm analytical footing for systematically analysing individual trends, providing insight into which factors can influence each other and to what degree. This helps to provide a logical basis for developing consistent context scenarios for studying trends in nature and agriculture. The methodology also offers the possibility of combining quantitative and qualitative knowledge, which means that futures studies do not have to depend on just one of these two types of knowledge. The method can be made more powerful if the relationships in the network are supplemented with information from a larger number of experts and/or computational models than was possible in this study' (Van Hinsberg et al. 2024). However, use of the technique will require careful guidance and technical expertise, especially in process facilitation. BBNs make it possible to map complex relationships and interactions within systems, which can give rise to valuable insights. The ability to incorporate uncertainty and probability into models makes them particularly suitable for situations in which future outcomes are not fully known.

The strategy developed in this project was to work with experts to analyse and structure the knowledge they brought to the table and additional information from the literature. This involved the use of standard techniques such as interviews, questionnaires and workshops. The BBNs, as a complementary new technique, played an important part in helping to understand the important interrelationships in the future system of agriculture and nature. During the process, the various steps in the process were refined and adapted as needed. This report contains an overview of the methods used. The appendices contain the questionnaires, the interim results and reports, and the explanation of the statistical analysis of the results of the BBNs.

1 Langetermijninvloeden: natuur en landbouw in een onzekere buitenwereld

1.1 Inleiding en achtergrond

Dit onderzoek is onderdeel van de PBL-verkenning van de externe langetermijn invloeden op landbouw en natuur in Nederland. Deze PBL-studie verkent de langetermijnontwikkelingen van de externe omgevingsfactoren die van invloed zijn op landbouw en natuur in Nederland en waar het Nederlandse beleid geen of beperkt invloed op heeft.

Daarbij wordt aandacht besteed aan onzekerheden die een rol kunnen spelen in de mate waarin deze factoren van invloed zijn op de landbouw en natuur in Nederland. Wereldontwikkelingen waren altijd al onzeker, maar nu wordt ook klimaatverandering en haar onzekerheden steeds belangrijker, ook voor de fysieke omgeving. Dit leidt tot nieuwe kwetsbaarheden van landbouw en natuur en een nieuwe relatie tussen beide. Trends en signalen van mogelijke ontwikkelingen (waaronder trendbreuken) zijn geïnventariseerd, geïnterpreteerd en 'vertaald' naar de toekomst. Naast gelijkmatige ontwikkelingen met een bepaalde mate van onzekerheid zijn ook enkele kantelpunten verkend. Dit zijn gebeurtenissen die, als zij optreden, een grote impact hebben op de ontwikkeling en deze zouden kunnen doen kantelen.

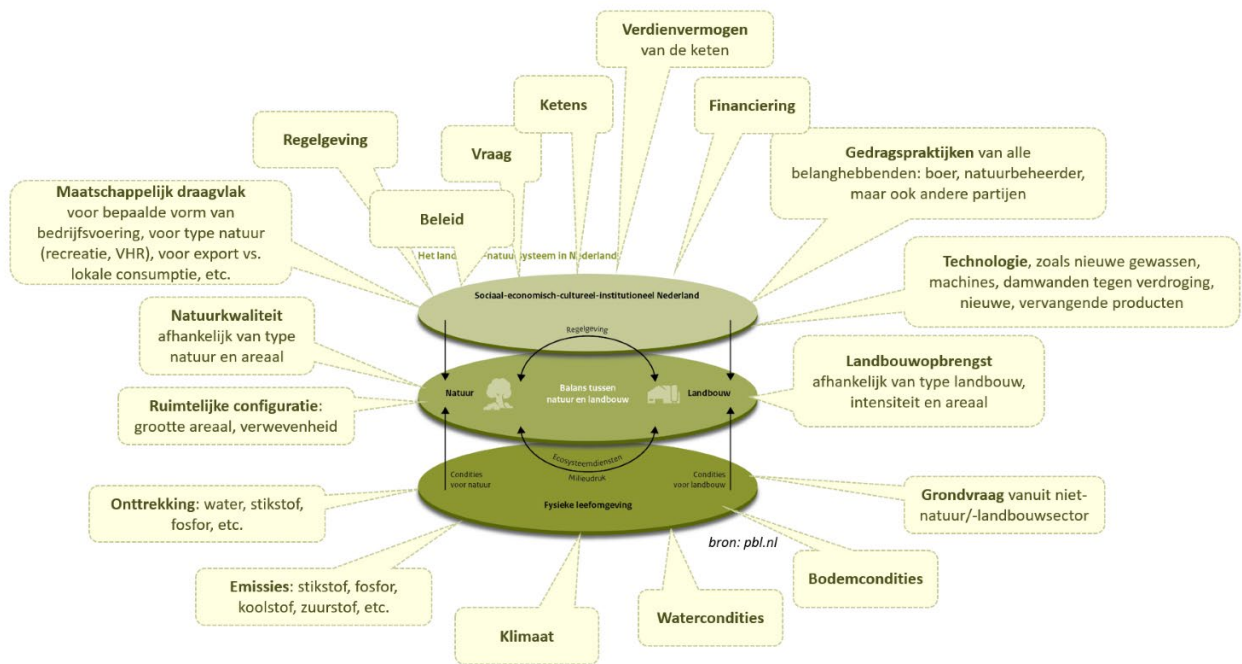
Het doel van de PBL-verkenning is te komen tot systeembegrip waarmee de belangrijke impact op landbouw en natuur, en onzekerheden van toekomstige ontwikkelingen van externe factoren, benoemd kunnen worden en op basis waarvan scenario's kunnen worden gedefinieerd die de externe factoren met bijbehorende onzekerheden omspannen. Onzekerheid op deze manier inzichtelijk maken biedt de mogelijkheid om de verschillende relevante aspecten ervan verder door te denken.

Om een verkennend onderzoek goed uit te voeren is een duidelijk onderzoeksplan nodig, waarbij regelmatig kritisch wordt gekeken of de gekozen methoden en technieken leiden tot voldoende resultaten van afdoende betrouwbaarheid en bruikbaarheid. Het projectteam, bestaande uit onderzoekers van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) en Wageningen Environmental Research (WENR) heeft daarom nauw samengewerkt, waarbij de eersten zich vooral richtten op bruikbaarheid voor het schrijven van de PBL-rapportage over externe ontwikkelingen en de laatsten zich vooral richtten op de ontwikkeling en toepassing van de methoden en technieken.

Het onderzoek heeft plaatsgevonden in 2022 en de eerste helft van 2023. Dit rapport beschrijft de strategie die is gevolgd om deze verkenning uit te voeren en welke methoden zijn ontwikkeld en toegepast in de verschillende stappen. Voor de beleidsimplicaties van de externe factoren wordt verwezen naar (Van Hinsberg et al. 2024).

1.2 Uitgangspunten bij aanvang analyse

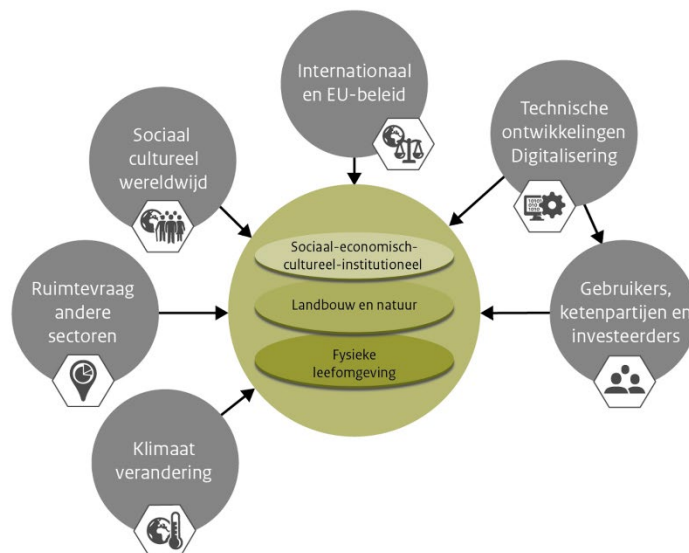
In de voorbereidende fase van het project heeft het projectteam de focus voor dit onderzoek omschreven en een schematische weergave gemaakt van de context waarin het landbouw-natuursysteem functioneert (Figuur 1.1). Natuur en landbouw in Nederland zijn onderhevig aan verschillende invloeden via de fysieke leefomgeving en de sociale, economische, culturele en institutionele systemen en processen en oefenen op hun beurt invloed uit op factoren zoals bodemcondities en regelgeving. Figuur 1.1 geeft in gele tekstballonnen belangrijke elementen weer die deel uitmaken van het landbouw-natuursysteem, de fysieke leefomgeving en de sociale, economische, culturele en institutionele processen.



Figuur 1.1 Systeemschets met voorbeelden van factoren in Nederland die inwerken op, of nauw samenhangen met, het landbouw-natuursysteem. (bron: pbl.nl)

Verschillende sturende omgevingsfactoren, die zich ook grotendeels buiten Nederland ontwikkelen, hebben invloed op landbouw en natuur. Voor dit onderzoek zijn als belangrijkste factoren geselecteerd klimaatverandering, ruimtevraag vanuit andere sectoren, sociaal-culturele ontwikkelingen wereldwijd, internationaal en EU-beleid, technische ontwikkelingen waaronder digitalisering, consumenten, ketenpartijen en investeerders (Figuur 1.2).

Omgevingsfactoren die inwerken op het landbouw-natuursysteem



Figuur 1.2 Basismodel voor het onderzoek: sturende omgevingsfactoren die inwerken op het landbouw-natuursysteem in Nederland.

1.3 Opbouw van het rapport

Het rapport beschrijft de opeenvolgende stappen die zijn genomen in het onderzoek, zoals weergegeven in Figuur 1.3.

In de voorbereidingsfase heeft het projectteam een eerste inventarisatie gemaakt van externe factoren die invloed hebben op het landbouw-natuursysteem. Dit heeft geleid tot definities van belangrijke begrippen en een systeemschets dat het uitgangspunt vormde voor het onderzoek (Figuur 1.1).

Het doel van stap 1, de eerste expertbevraging (hoofdstuk 2), was om met behulp van experts en aanvullend literatuuronderzoek kennis te verzamelen vanuit de verschillende vakgebieden over verwachte en mogelijke ontwikkelingen in omgevingsfactoren tot 2050 die effect zullen hebben op het landbouw-natuursysteem. De experts hebben deze ontwikkelingen met behulp van vragenlijsten en interviews vanuit hun vakgebied (klimaatverandering, internationaal en EU-beleid, gewasbescherming, ecologie en biodiversiteit, sociaal-culturele attitudes ten aanzien van natuur, economische aspecten van landbouw en natuur, consumptieketens en duurzaamheid) beschreven en zijn daarbij zoveel mogelijk ingegaan op de impact op het landbouw-natuursysteem en de onzekerheden van de ontwikkelingen. Deze stap werd gevolgd door een inventarisatie van de tot dan toe verzamelde kennis en een reflectie door het projectteam.

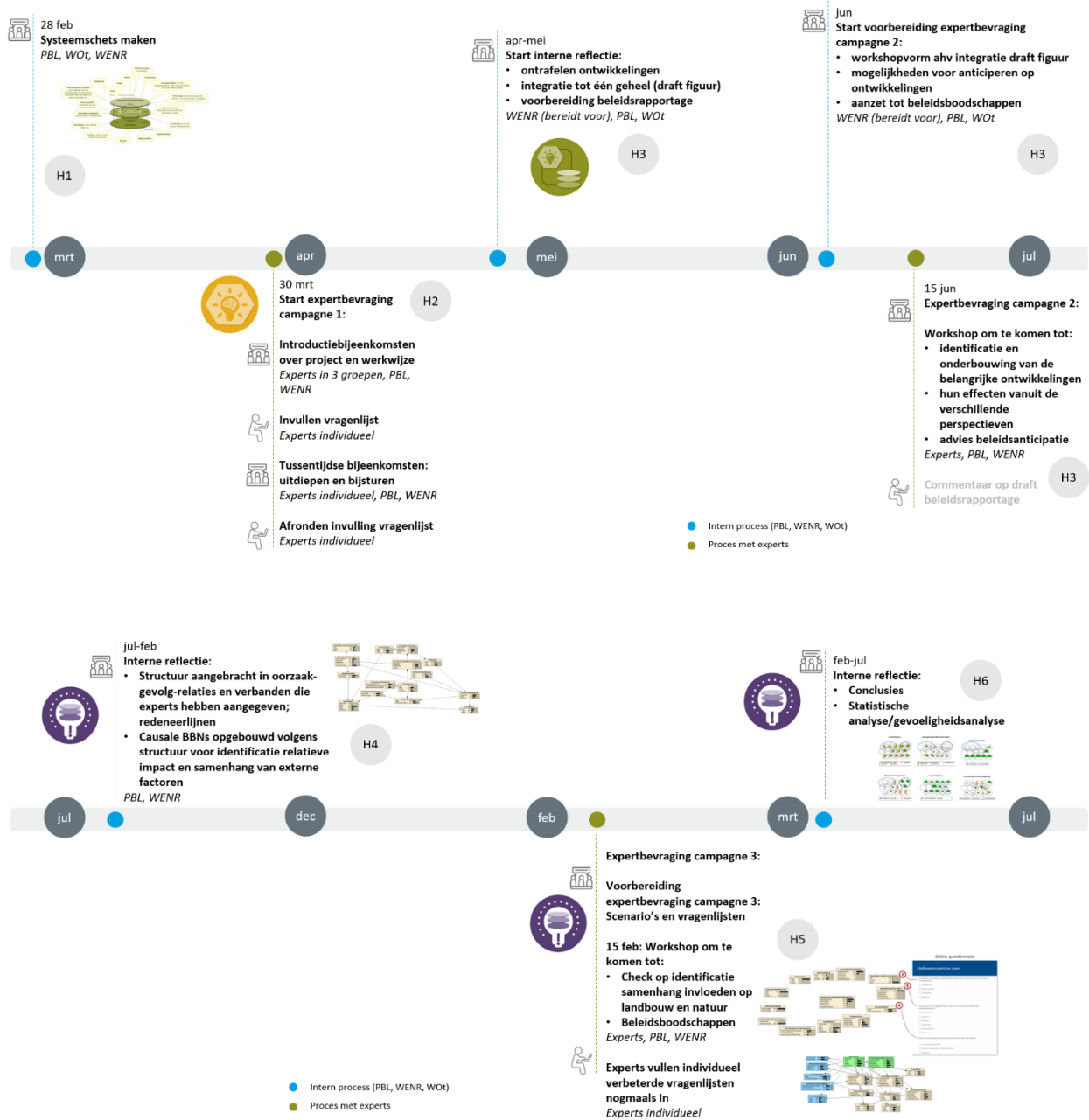
In stap 2 (de tweede expertbevraging, hoofdstuk 3) zijn de verschillende ontwikkelingen in omgevingsfactoren met elkaar vergeleken en hebben de experts in een workshop bediscussieerd hoe deze ontwikkelingen op elkaar in kunnen grijpen en welke zij als belangrijkste invloeden op het landbouw-natuursysteem zien.

Om tot beter begrip te komen van de interactie tussen verschillende omgevingsfactoren en ontwikkelingen heeft het projectteam gebruik gemaakt van Bayesiaanse netwerken, ofwel Bayesian Belief Networks (BBNs). Hoofdstuk 4 legt uit op welke wijze deze techniek is ingezet in het project en tot welke uitkomsten dit heeft geleid.

Hoofdstuk 5 beschrijft de laatste stap (stap 3) in het proces, waarin de experts hun kennis inbrachten in deze BBNs en de resultaten evalueerden. Met de analyse van de resultaten van deze derde en laatste expertbevraging is het proces afgerond.

De bevindingen zijn beschreven in hoofdstuk 6.

Hoofdstuk 7 biedt tenslotte een reflectie op de gebruikte methoden en technieken, met name de BBNs en hoe we hiermee zijn gekomen tot een systeembegrip waarmee de belangrijke impact op landbouw en natuur en onzekerheden van toekomstige ontwikkelingen van externe factoren, konden worden benoemd en op basis waarvan in een mogelijk vervolgproject scenario's kunnen worden gedefinieerd.



Figuur 1.3 De hoofdstappen in het proces zoals deze doorlopen zijn in 2022 en 2023, van vraagformulering tot systeembegrip. In de figuur is aangegeven in welk hoofdstuk van dit rapport de stap beschreven wordt (bijvoorbeeld H1: hoofdstuk 1).

2 Expertvisies op externe ontwikkelingen

2.1 Inleiding

Voor de uitwerking van de ontwikkelingen van de in de voorbereidende fase geïdentificeerde omgevingsfactoren die invloed uitoefenen op het landbouw-natuursysteem en het opstellen van een 'denkmodel' per factor, hebben we gebruik gemaakt van verschillende kennisbronnen en methodes, namelijk literatuurverkenning, expertbevraging en workshops met experts. Dit is vormgegeven als een iteratief proces met verschillende fasen. Zie daarvoor ook bijlage A in Van Hinsberg et al. 2024.

In dit hoofdstuk bespreken we de expertbevraging van stap 1. Het doel van de expertbevraging was om experts vanuit hun vakgebied op de ontwikkelingen, die zij relevant achten voor landbouw en natuur in Nederland, te laten reflecteren, om zo op gestructureerde wijze de visies op de ontwikkelingen bijeen te brengen. De experts werden daarbij aangemoedigd om eveneens moeilijke (want nog weinig bekende) onderdelen, zoals de orde van grootte van ontwikkelingen en de daar bijhorende onzekerheden die de ontwikkeling beïnvloeden, te bespreken.

De verwachting was dat hiermee per expert(ise) de belangrijkste ontwikkelingen op eenzelfde wijze in kaart konden worden gebracht zodat een overzicht zou ontstaan dat ook bespreking van onderlinge relaties en effecten van de ontwikkelingen mogelijk zou maken (stap 2).

2.2 Uitvoering

In deze fase zijn vijftien experts betrokken. Zeven van hen zijn werkzaam bij het PBL, zeven bij de WUR en één bij beide organisaties. Bij de selectie van experts per factor is gelet op hun brede en actuele kennis van een van de omgevingsfactoren die voor dit project zijn geselecteerd. Hun expertise betreft klimaatverandering, internationaal en EU-beleid, gewasbescherming, ecologie en biodiversiteit, sociaal-culturele attitudes ten aanzien van natuur, economische aspecten van landbouw en natuur, consumptieketens en duurzaamheid.

Voorafgaand aan de expertbevraging is door het projectteam een vragenlijst opgesteld. Aan de hand van deze vragenlijst konden de experts vanuit hun kennisdomein of vakgebied een uitgebreide beschrijving geven van de belangrijkste ontwikkelingen in de komende twintig jaar waarvan zij verwachten dat deze het landbouw-natuursysteem in Nederland zullen gaan beïnvloeden, de effecten hiervan op het landbouw-natuursysteem, onzekerheden in de ontwikkelingen (richting, omvang, bandbreedtes, onomkeerbaarheid, onverwachte gebeurtenissen/kantelpunten) en een indicatie van risico's en effecten voor de verschillende lagen van het systeem. Ook is gevraagd naar onderbouwing vanuit de literatuur. De volledige vragenlijst is opgenomen in bijlage 1.

De expertbevraging vond plaats in vier deelstappen: 1a) een voorbereidend gesprek, 1b) het invullen van een vragenlijst door de experts, 1c) een semigestructureerd interview naar aanleiding van de ingevulde vragenlijsten en 1d) afronding van de vragenlijst door de expert.

Uit de expertbevraging bleek dat de omgevingsfactoren zo veelzijdig zijn dat de experts niet alle aspecten ervan volledig konden vertegenwoordigen. In stap 2 van het project zijn de aan het licht gekomen lacunes aangevuld met behulp van andere deskundigen en literatuur. Dit betreft bijvoorbeeld Europees beleid, consumptieketens en sociaal-cultureel wereldwijd (onder andere geopolitiek).

2.3 Reflectie op proces en resultaten

De respondenten hebben bij het beantwoorden van de vragenlijst onderbouwing vanuit de literatuur toegevoegd. De resultaten van de vragenlijsten verschilden qua omvang en onderbouwing met behulp van literatuur. Dit hing samen met de beschikbare kennis over de omgevingsfactoren en de beschikbaarheid van de experts. De algehele indruk is dat de verwachte ontwikkelingen, gevolgen en de onderbouwing daarvan het meest uitgebreid zijn beschreven voor klimaatverandering.

Als kanttekening bij de ingevulde lijsten gaven respondenten aan dat de opbouw van de vragenlijsten hen soms hinderde bij het beschrijven van de ontwikkeling vanuit hun perspectief en dat sommige vragen moeilijk te beantwoorden waren. Eén van de vragen was bijvoorbeeld de orde van grootte van een ontwikkeling te benoemen, die alleen in relatie tot andere (voor hen onbekende of minder bekende) ontwikkelingen kan worden beoordeeld. Ook ervoeren de respondenten moeilijkheden bij het concreet beschrijven van kwetsbaarheden, onzekerheden en bandbreedtes van de ontwikkelingen en effecten. De vragenlijsten zijn om die reden door het projectteam, waar nodig en mogelijk, aangevuld met toelichting uit de individuele interviews met de experts (stap 1c), met kennis van andere experts en behulp van literatuur. De opgehaalde informatie uit interviews en vragenlijsten is door PBL gebruikt om in de PBL-rapportage invulling te geven aan ontwikkelingen op het gebied van 1) klimaat, 2) Europees beleid, 3) geopolitiek, 4) maatschappelijk denken over natuur en landbouw en 5) veranderingen in de consumptieketen. Experts schatten in dat deze factoren belangrijker zijn dan factoren die vaak in verkenningen gebruikt worden, zoals nationale demografische en economische ontwikkelingen.

2.4 Conclusies richting vervolgstap

Het projectteam heeft een eerste analyse gemaakt van de ontwikkelingen in omgevingsfactoren, effecten op het landbouw-natuursysteem, interacties tussen omgevingsfactoren en bijbehorende onzekerheden op basis van de beschrijvingen van de experts en deze weergegeven in conceptuele modellen met verwachte causale verbanden voor drie belangrijke externe sturende omgevingsfactoren, samengevat in 1) klimaat, 2) ontwikkelingen in internationaal beleid en 3) consumptieketen en consumenten. Elk van de conceptuele modellen is opgebouwd uit de door experts genoemde drivers, ontwikkelingen en effecten daarvan op het landbouw-natuursysteem, alsmede mogelijke andere factoren die invloed hebben op de drivers, ontwikkelingen of effecten.

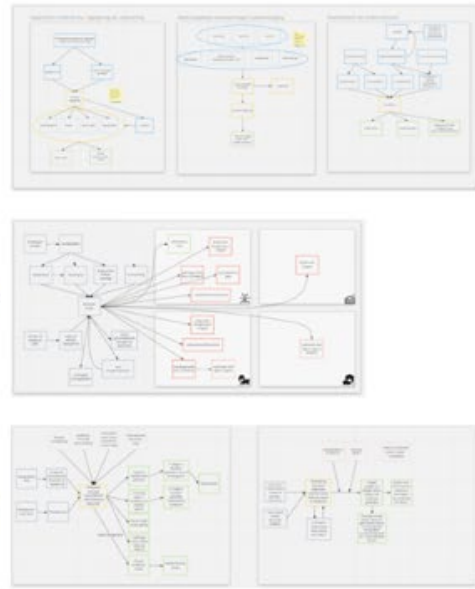
Het doel hiervan was om de belangrijkste kenmerken, overeenkomsten en verschillen tussen de genoemde ontwikkelingen in omgevingsfactoren en effecten daarvan op het landbouw-natuursysteem inzichtelijk te maken. Deze diagrammen zijn vervolgens gebruikt als vertrekpunt in een workshop met veertien van de eerder geraadpleegde experts. De verbindende lijnen en pijlen tussen de elementen van de drivers, ontwikkelingen en effecten zijn voor de workshop weggelaten omdat de discussie juist deze verbanden betrof. De activiteiten in deze fase vormen de aanzet voor stap 3 in Figuur 2.1.

De schema's bevatten geen resultaten voor wat betreft bandbreedtes, onzekerheden, ordegrootte en kantelpunten. De input van de experts was op die punten onvolledig en daarnaast zijn deze moeilijk weer te geven in de gebruikte opzet. Ze vormden wel een belangrijk discussiepunt in de hierop volgende workshop.

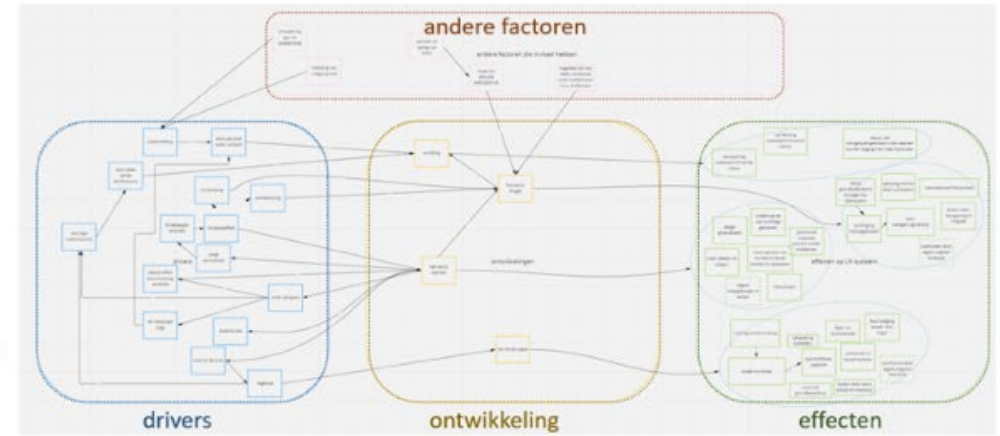
**1. Individuele vragenlijsten
(en interviews)**



2. Grafische interpretatie



**3. Geïntegreerde interpretatie
(vereenvoudiging van rijke oogst)**



Figuur 2.1 De grafische interpretaties van de door de experts ingevulde vragenlijsten zijn samengevoegd tot conceptuele modellen van de drivers, ontwikkelingen en effecten voor het landbouw-natuursysteem.

3 Samenhang tussen expertvisies op externe ontwikkelingen

3.1 Inleiding

Om te komen tot een systeembeeld hebben de onderzoekers de door de experts beschreven ontwikkelingen in de omgevingsfactoren, die het landbouwnatuursysteem zullen beïnvloeden, geanalyseerd en per thema gecombineerd. Het doel van de tweede stap (zie Figuur 1.3) was de belangrijkste verbindingen in de richting van de verwachte effecten op het landbouw-natuursysteem te identificeren. Invloeden van omgevingsontwikkelingen werken immers niet geïsoleerd maar beïnvloeden elkaar. Een aantal zal elkaar versterken, andere effecten werken elkaar juist tegen. In een workshop hebben experts samengewerkt om een gezamenlijk beeld tot stand te brengen van de belangrijkste ontwikkelingen en de verbanden daartussen en de grootste onzekerheden.

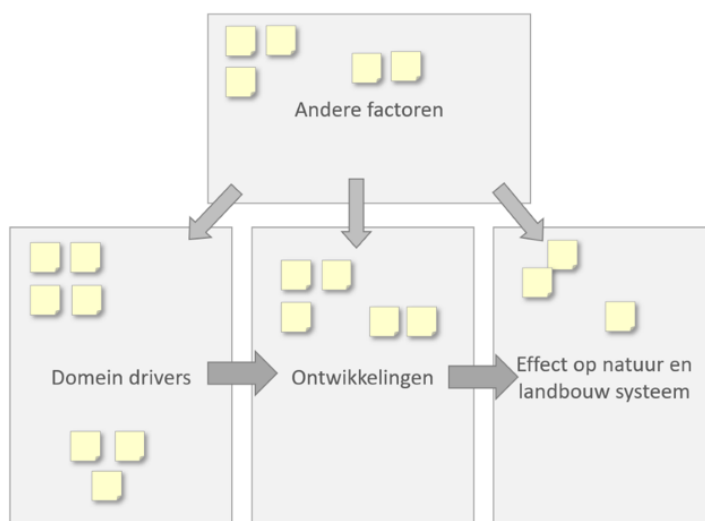
3.2 Uitvoering

Veertien van de experts hebben deelgenomen aan de workshop. De workshop met experts was verdeeld in twee sessies. In de eerste sessie hebben experts uit hetzelfde vakgebied samengewerkt aan een gemeenschappelijk verhaal voor een selectie van omgevingsfactoren vanwege de groepsgrootte, dat wil zeggen klimaatverandering, ketenpartijen, internationaal beleid en sociaal-culturele ontwikkelingen. Dit betrof meestal minimaal een expert op het gebied van landbouw en minimaal een op het gebied van natuur. Als basis hiervoor zijn de uitgewerkte diagrammen, die door het projectteam waren samengesteld, als conceptuele modellen gebruikt.

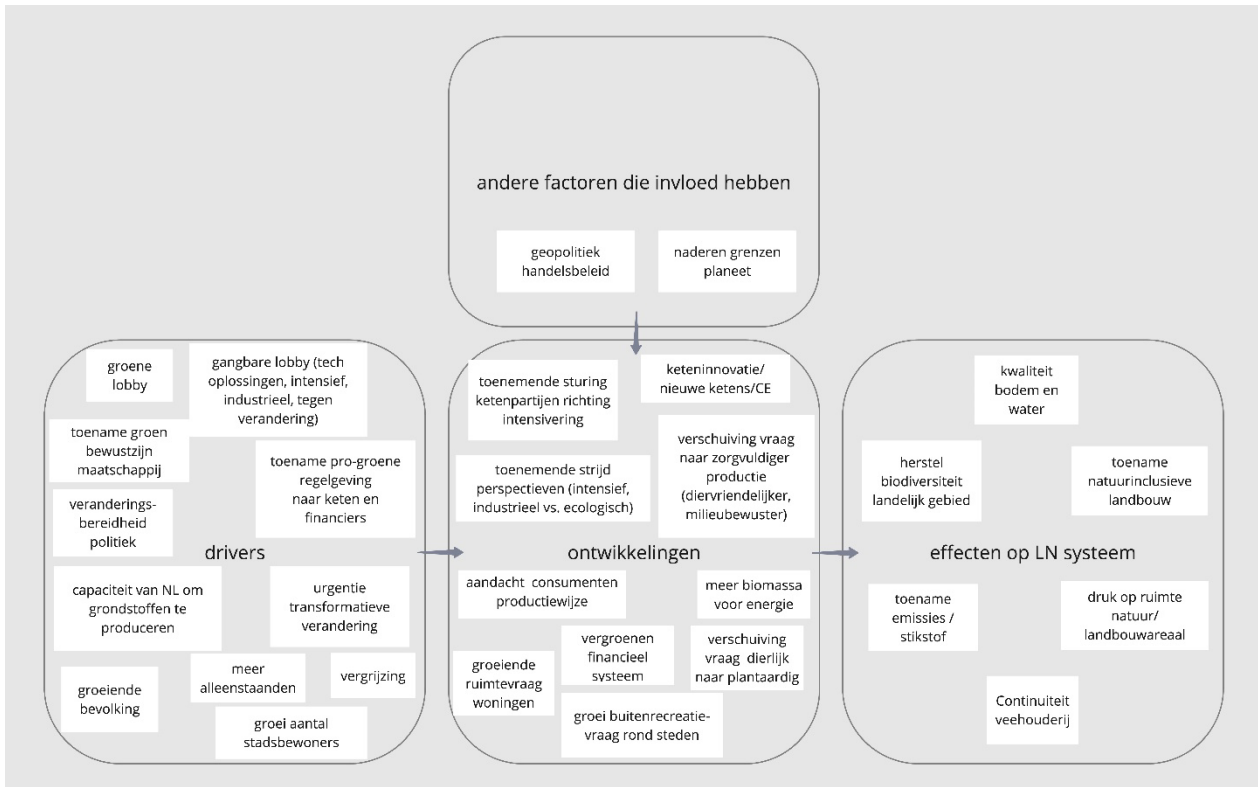
Figuur 3.1 stelt de opdracht voor sessie 1 voor. Figuur 3.2 toont een van de drie diagrammen die aan de deelnemers werden voorgelegd; zie bijlage 2 voor alle drie diagrammen.

Sessie 1 – Een verhaal per thema

- Controleer schema
 - Kloppen de begrippen?
 - Is 't compleet? (m.n. effecten)
 - Groepeer waar mogelijk
- Trek pijlen voor relaties
 - versterkend (+),
verzwakkend (-), of
onzekere (?) relatie
- Ordegrootte en tempo
- Presenteer plenair [3 min.]



Figuur 3.1 De opdracht voor sessie 1.



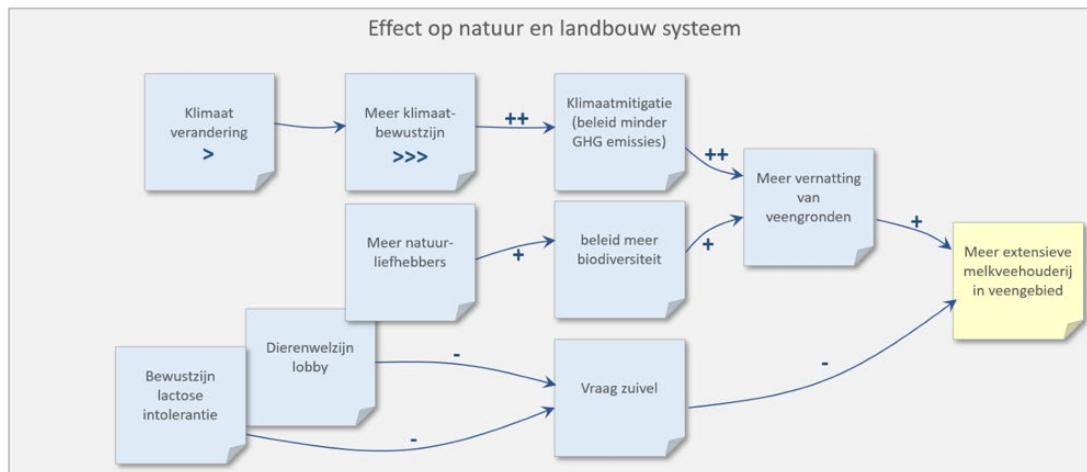
Figuur 3.2 Conceptueel model voor het thema ketenpartijen, gebaseerd op de input van de expertinterviews.

De experts hebben de conceptuele modellen geëvalueerd op basis van expertkennis, met name voor wat betreft compleetheid, ordening en interne logica. Vervolgens hebben zij (causale) relaties toegevoegd tussen de verschillende elementen. Tevens was gevraagd om, waar mogelijk, ordegraad en tempo van de ontwikkelingen te benoemen; deze zijn echter over het algemeen niet toegevoegd; de experts vonden het moeilijk om hier een onderbouwde inschatting van te maken. Daarnaast vonden ze dat ze een ordegraad alleen konden inschatten in verhouding tot andere ontwikkelingen, waarvan zij op dat moment nog geen overzicht hadden.

De eerste sessie leidde tot drie conceptuele modellen waarin relaties waren toegevoegd; een voor elk van de omgevingsfactoren. Vervolgens hebben de drie groepen hun resultaten kort aan elkaar gepresenteerd. In de tweede sessie is de deelnemers gevraagd om vanuit de eerder geïdentificeerde effecten op het landbouw-natuursysteem terug te redeneren naar oorzaken, dat wil zeggen de door hen beschreven ontwikkelingen. Vanuit alle genoemde effecten zijn de belangrijkste, in de discussie terugkerende, effecten geselecteerd om verder mee te werken. Vervolgens hebben de experts de ontwikkelingen van de verschillende thema's geïntegreerd in drie groepen, elk met een eigen thema (zie Figuur 3.3). In de discussies is veel aandacht besteed aan de samenhang tussen de ontwikkelingen en de wijze waarop zij invloed hebben, dus een versterkend of verzwakkend effect, de omvang van het effect en de tijdschaal waarop deze zich zal afspelen.

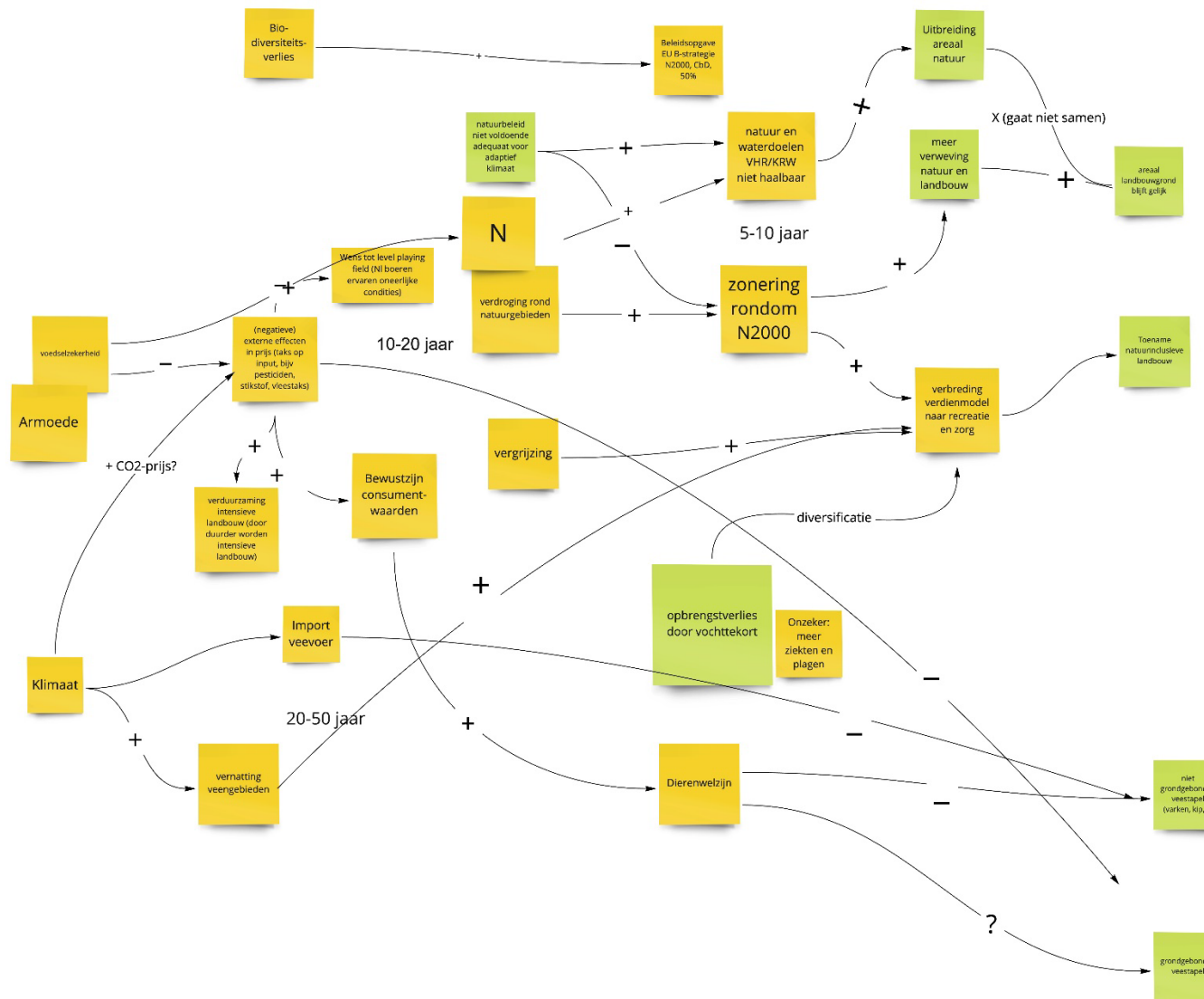
Sessie 2 – Samenhang tussen thema's

Voorbeeld



Figuur 3.3 De uitwerking van de opdracht voor sessie 2.

Deze tweede sessie heeft geresulteerd in perspectieven voor akkerbouw, melkveehouderij op veen en de gangbare veehouderij op de ontwikkelingen, weergegeven als verder uitgewerkte conceptuele modellen zoals in het voorbeeld van Figuur 3.3 hierboven. Figuur 3.4 laat een van de gedetailleerde uitwerkingen zien waarbij alle onderliggende relaties zijn weergegeven. Naast deze schetsen zijn de discussies en opmerkingen, die de redenering toelichten, vastgelegd om te kunnen bijdragen aan de volgende stappen in het proces.



Figuur 3.4 Een van de conceptuele modellen die de workshopdeelnemers hebben gemaakt van de relatie tussen de ontwikkelingen en hun gevolgen. Op de groene post-its zijn de effecten op het landbouw-natuursysteem benoemd van waaruit werd terug geredeneerd naar invloeden en oorzaken; de gele post-its.

3.3 Reflectie op proces en resultaten

De workshop heeft verschillende resultaten opgeleverd. Ten eerste hebben de deelnemers bevestigd dat alle dominante sturende omgevingsfactoren zijn benoemd en dat zij de bij aanvang geïdentificeerde omgevingsfactor 'ruimtevrage van andere sectoren' niet als zeer belangrijk beschouwen. Er werden daarnaast enkele ontwikkelingen benoemd die in de interviews en vragenlijsten niet zo duidelijk naar voren kwamen, zoals een sturing op behoud van de huidige situatie.

Hoewel de discussie gedurende de gehele dag levendig was en de deelnemers hun kennis en visie volop inbrachten, gaven enkele deelnemers aan dat zij het moeilijk vonden de verbindingen te leggen en samenhang te ontdekken tussen de ontwikkelingen. Ook merkten enkelen op dat de samenstelling van de aanwezige groep experts weinig divers was en dat zij elkaar in de discussie gemakkelijk konden vinden. De vraag werd gesteld of er daardoor eventueel andere perspectieven over het hoofd werden gezien zodat deze alsnog mee konden worden genomen in het verdere onderzoek.

3.4 Conclusies richting vervolgstap

Er is een gezamenlijk beeld ontstaan van ontwikkelingen en de samenhang daartussen, maar alleen op hoofdlijnen. Ook is een eerste overzicht gecreëerd van enkele belangrijke verbanden van de drivers via ontwikkelingen richting effecten. Er is behoefte dit gezamenlijke beeld expliciet te maken en te analyseren om begrip van het systeem en onderlinge beïnvloeding van systeemelementen te verkrijgen.

4 Interne reflectie met causale Bayesiaanse netwerken

4.1 Inleiding

Nadat een gezamenlijk beeld van ontwikkelingen in omgevingsfactoren en de verbanden daartussen is verkregen en een indruk is ontstaan van de belangrijkste verbanden tussen de elementen van de conceptuele modellen, was het doel van de derde stap om deze expliciet te maken voor drie vormen van landbouw met de bijbehorende relatie tot natuur. Het ging daarbij om grondgebonden melkveehouderij op veen, intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) en akkerbouw als belangrijkste vormen van landbouw in Nederland. Onderzoekers van het projectteam hebben kennis uit voorgaande stappen geabstraheerd en gespecificeerd voor de drie vormen van landbouw in de conceptuele modellen.

4.2 Uitvoering

Om de integratie van expertkennis, verwerkt in conceptuele modellen, over de ontwikkelingen in de omgevingsfactoren en de samenhang daartussen te formaliseren, is gekozen voor de techniek van Bayesiaanse netwerken (in het Engels Bayesian Belief Networks - BBNs). Dit zijn modellen die eruit zien als netwerken van elementen met onderlinge relaties ertussen, die rekenen op basis van waarschijnlijkheidsfuncties. Zo'n netwerk bestaat uit de onderdelen (elementen) van een natuurlijk en/of maatschappelijk systeem en de relaties daartussen. Gewichten aan deze relaties worden toegekend op basis van de kansen dat de relaties in werkelijkheid voorkomen. Dit kan worden gedaan op basis van zowel kwantitatieve als kwalitatieve, al dan niet onzekere of incomplete data. De uitkomst van een BBN is de waarschijnlijkheid dat een bepaalde gebeurtenis optreedt. Een dergelijk model is snel en eenvoudig visueel op te zetten en te gebruiken, ook door mensen zonder al te veel modelleerervaring. Daarom zijn BBNs heel geschikt om perspectieven vanuit diverse disciplines of betrokkenen te leren begrijpen (Cormont et al. 2022; Ding 2010; Penk et al. 2022).

Veel genoemde en belangrijke elementen van de conceptuele modellen uit de vorige stap zijn met elkaar in verband gebracht middels een logische volgorde van sturende omgevingsfactoren en ontwikkelingen, sociaal-maatschappelijke respons, gevolgd door voedselsysteem en natuur, uitwerking in landgebruik en effect op landbouw en natuur. Deze elementen zijn overgebracht in de eerste BBN die gemaakt is, die van intensieve veehouderij, aangevuld met enkele additionele elementen, om volgens experts logische (causale) relaties tussen de elementen te kunnen leggen.

De BBN is opgebouwd in het softwarepakket Netica (Norsys Software Corp. 2019). Hierin zijn de elementen gerepresenteerd, elk onderverdeeld in categorieën. Voorbeelden van elementen zijn de kwaliteit van de natuur, waarbij kwaliteit in de volgende categorieën is verdeeld: 'veel groter' (dan nu het geval is), 'groter', 'gelijk', 'kleiner' en 'veel kleiner' en klimaatverandering, met als bijbehorende categorieën 'plus twee graden' en 'plus vijf graden'. Daar waar een logische of causale relatie werd verondersteld tussen twee elementen (bijvoorbeeld de elementen klimaatverandering en natuurkwaliteit), werd in het softwarepakket een pijl getrokken (zie Figuur 4.1). Het gewicht van deze relatie is gekwantificeerd in een waarschijnlijkheidstabel. Deze tabel beschrijft met welke waarschijnlijkheid de elementen aan elkaar relateren, uitgedrukt voor een combinatie van alle categorieën van beide elementen. Als klimaatverandering bijvoorbeeld verloopt volgens een toename van plus twee graden, dan is er volgens de waarschijnlijkheidstabel 12% kans dat de kwaliteit van de natuur veel kleiner wordt. De kans op een veel grotere kwaliteit natuur bij een temperatuurstijging van plus twee graden is volgens de waarschijnlijkheidstabel ingeschat op slechts 2%. Indien de temperatuur met vijf graden zal stijgen, dan is volgens de waarschijnlijkheidstabel 28% kans dat de kwaliteit van de natuur veel kleiner wordt (zie Figuur 4.1b). Deze kansen zijn bepaald op basis van literatuur, rapporten, data en expertkennis. Wanneer meerdere pijlen naar één element wijzen moet het gewicht van de relaties van de betreffende pijlen voor alle combinaties van deze pijlen bepaald worden. Om de complexiteit van de

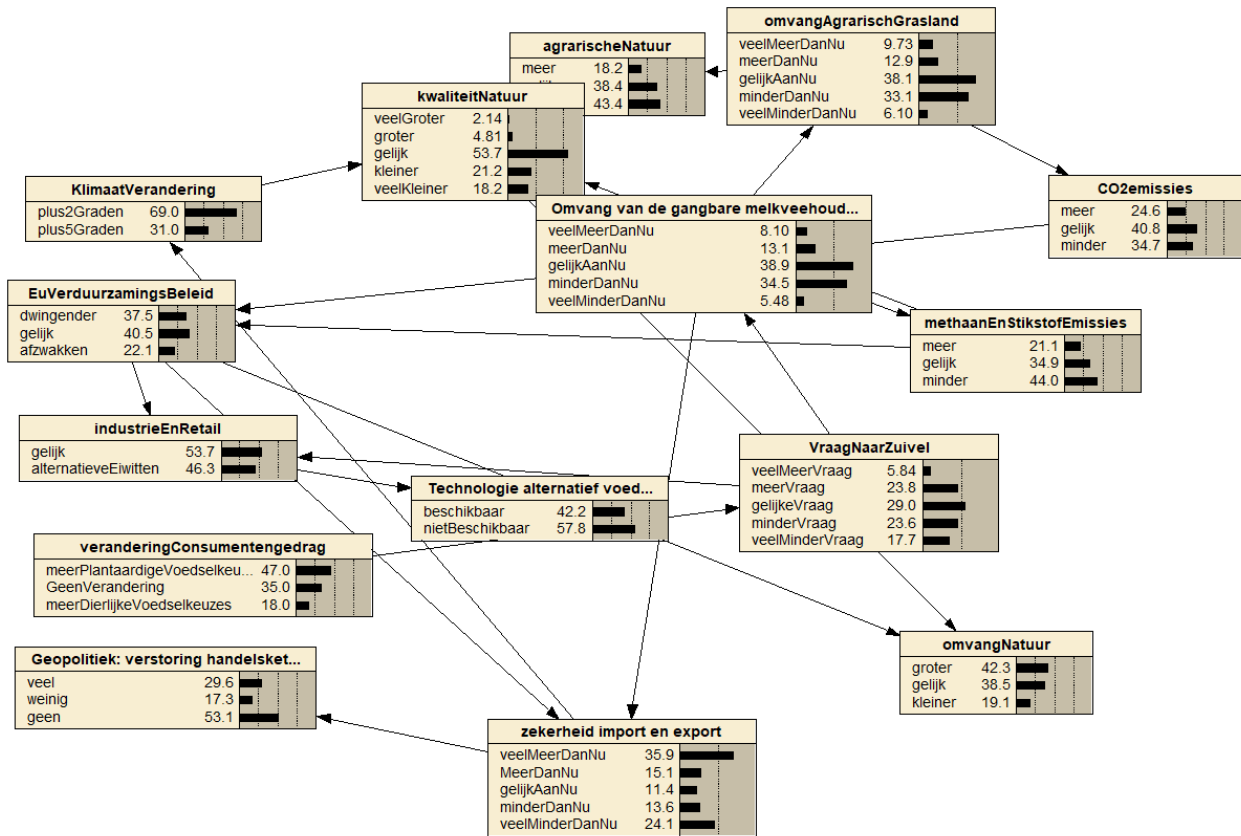
combinaties te beperken is er gestreefd naar situaties waar maximaal twee pijlen naar één element wijzen. In sommige gevallen is daarvoor een pijl omgedraaid en volgt niet de causale relatie (oorzaak-gevolg), maar de omgekeerde relatie (gevolg-oorzaak). Centraal in de BBN stonden de elementen (omgevingsfactoren) die de ontwikkelingen representeerden: klimaatverandering, EU-verduurzamingsbeleid, industrie en *retail* (ketenpartijen), consumentenbewustzijn en sociaal-culturele ontwikkeling wereldwijd. Eveneens belangrijke elementen vormden onderdelen van het landbouw-natuursysteem waar de ontwikkelingen op aangrijpen: de omvang van de intensieve veehouderij en de kwaliteit van de natuur.

Na het opbouwen van een BBN met elementen, relaties en waarschijnlijkheidstabellen (zie bijlage 3) kan het netwerk gebruikt worden voor verder onderzoek. Dit kan over het algemeen op twee manieren. Enerzijds kan er voor elke combinatie van ontwikkelingen (scenario's of toekomstbeelden) gekeken worden wat het waarschijnlijke effect is op de andere elementen, bijvoorbeeld de kwaliteit van de natuur of de omvang van de veehouderij. Andersom is het mogelijk te onderzoeken welk toekomstbeeld het meest waarschijnlijk of passend is bij optimalisatie van een of meerdere van de andere elementen, bijvoorbeeld 'veel grotere' kwaliteit natuur. Aan de hand van dit 'spelenderwijs' onderzoeken is de opbouw van de BBN iteratief enigszins bijgesteld door het leggen van andere relaties en het aanpassen van de waarschijnlijkheden.

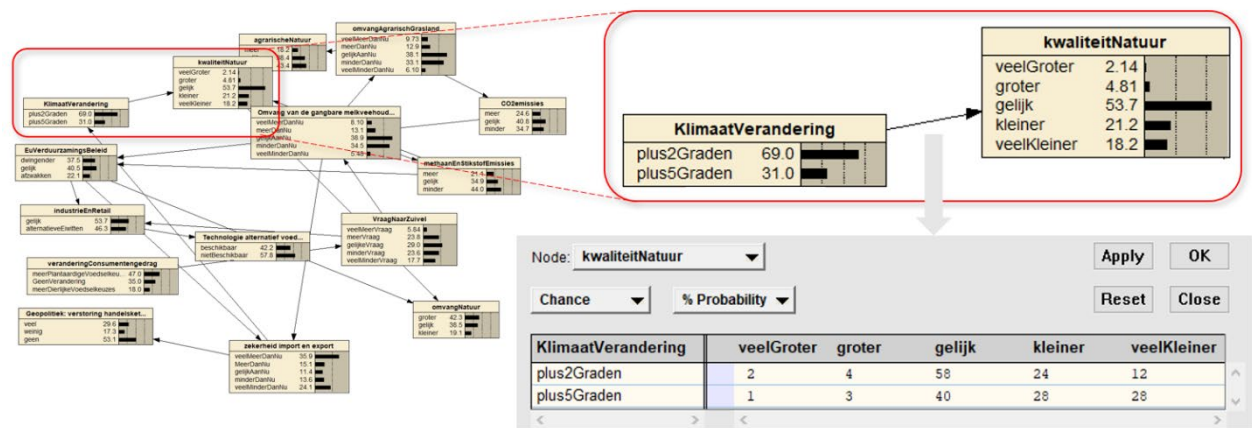
Vanuit de BBN voor intensieve veehouderij zijn de BBNs voor melkveehouderij op veen en akkerbouw gecreëerd. Waar relevant zijn elementen en bijbehorende categorieën daarbij gelijk gehouden; waar nodig zijn nieuwe elementen toegevoegd of aangepast (zie Figuur 4.1).

Onder de aanname dat ontwikkelingen in omgevingsfactoren de natuur en landbouw zullen gaan beïnvloeden, is het de vraag welke van deze ontwikkelingen het meest sturend zullen zijn. Deze vraag is onderzocht door voor een aantal combinaties van ontwikkelingen (zie ook Figuur 5.1) te kijken naar wat het waarschijnlijke effect is op de kwaliteit van de natuur, de omvang van de (melk)veehouderij/akkerbouw en - alleen voor akkerbouw - het aandeel extensieve akkerbouw. Voor de BBN melkveehouderij op veen is een volledige analyse met alle mogelijke combinaties van ontwikkelingen uitgevoerd door Biometris (WUR). Aan de hand van deze BBN is gekeken hoe de effecten te clusteren zijn. Uit deze clustering zijn de meest sturende ontwikkelingen gedestilleerd. Zie hoofdstuk 6 voor een beschrijving van deze analyse.

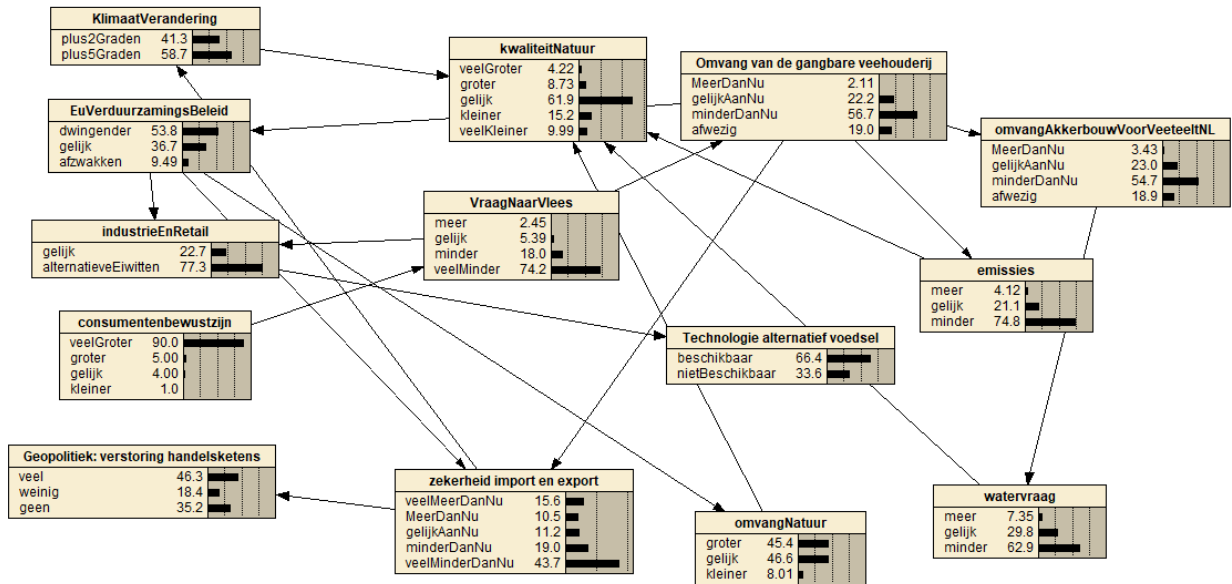
A



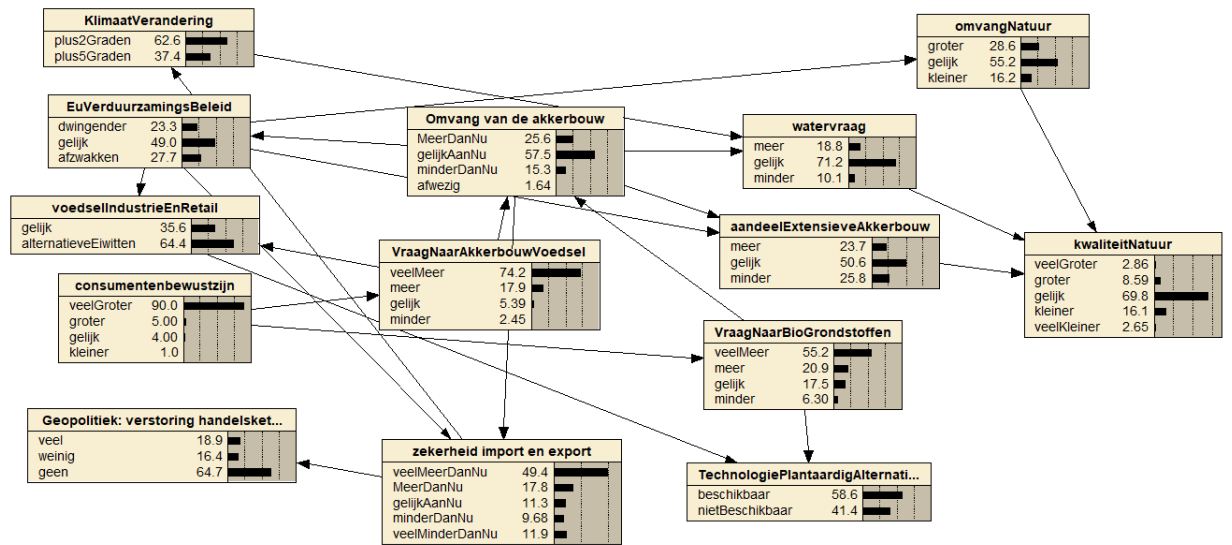
B



C



D



Figuur 4.1 Causale BBNs voor melkveehouderij op veen (a), intensieve veehouderij (c) en akkerbouw (d). Figuur b zoomt in op de relatie tussen de elementen klimaatverandering en kwaliteit natuur in de BBN voor melkveehouderij op veen, volgens een waarschijnlijkheidstabel. Noot: er is geen begin en einde aan een BBN. Ze zijn niet goed visueel in een rapportage weer te geven vanwege de vele onderlinge relaties.

4.3 Kenmerken van de resultaten

Zoals in paragraaf 4.2 beschreven is gewerkt met toekomstbeelden waarin verschillende ontwikkelingen, die de natuur en landbouw naar verwachting zullen beïnvloeden, zijn gecombineerd. De mogelijke ontwikkelingen zijn echter zeer variabel, waardoor gekozen is voor twee uiterste 'toestanden' van deze ontwikkelingen. De twee uiterste toestanden per omgevingsfactor zijn gecombineerd tot tien toekomstbeelden, zoals weergegeven in Figuur 5.1. Voor elk van deze combinaties van toestanden van ontwikkelingen is met de BBN gekeken wat het waarschijnlijke effect is op de kwaliteit van de natuur of de omvang van de veehouderij.

In toekomstbeelden waarin het klimaat relatief mild verandert (toestand = effecten klimaatverandering beperkt => twee graden temperatuurstijging) en de EU een dwingend verduurzamingsbeleid (toestand = integraal EU-duurzaamheidsbeleid voor alle thema's) zal voeren, zal de kwaliteit van de natuur naar verwachting groter zijn dan nu het geval is. Wanneer de EU juist een afzwakkend verduurzamingsbeleid zal voeren (toestand = EU-verduurzamingsbeleid kent geen juridische verplichtingen), in combinatie met ketenpartijen die niet meer plantaardige alternatieven voor eiwit zullen produceren en verkopen dan in de huidige situatie (toestand = de ketenpartij houdt vast aan huidig productiesysteem) en consumenten meer dierlijke voedselkeuzes zullen maken (toestand = duurzaamheid speelt geen rol in consumentenkeuzes), zal de omvang van de melk- en intensieve veehouderij toenemen. De omvang van de akkerbouw zal toenemen bij een groter consumentenbewustzijn en een stabiele geopolitiek. Het aandeel van de extensieve akkerbouw zal toenemen bij een afzwakkend EU-verduurzamingsbeleid in combinatie met een groter consumentenbewustzijn.

Zie bijlage 4 voor de berekening van de effecten van drie toekomstbeelden en hoofdstuk 6 voor de resultaten van de volledige analyse met alle combinaties van ontwikkelingen in de BBN voor melkveehouderij op veen.

4.4 Reflectie op proces en resultaten

Met het projectteam is, aan de hand van de bevindingen van de vorige stap (hoofdstuk 3), in enkele werksessies met het projectteam door middel van BBNs tot een gemeenschappelijk systeembegrip gekomen. Door deze samenwerking ontstond als het ware een gemeenschappelijke taal, een belangrijk hulpmiddel om het gehele systeem vanuit alle vakgebieden te bespreken, begrijpen en valideren. Het geeft een door experts gedragen overzicht van de samenhang van alle aspecten. Echter, de bevindingen zijn gestuurd door de keuzes die gemaakt zijn tijdens het proces en daarmee afhankelijk van het team van betrokkenen en de budgettaire en temporele randvoorwaarden. De onderbouwing van gekozen elementen, de relaties daartussen en de bijbehorende gewichten zijn in dit geval afkomstig uit literatuur, rapporten, data en kennis van de betrokken experts (zie hoofdstuk 3). Deze kennis is expliciet gemaakt in conceptuele modellen en BBNs en de elementen daarvan zijn overzichtelijk met elkaar verbonden. Wanneer kennis en inzichten veranderen zullen ook de gewichten, relaties en/of de elementen in de BBNs veranderen. Dit is echter inherent aan het modelleren met behulp van BBNs.

4.5 Conclusies richting vervolgstap

Omdat de BBNs zijn gebaseerd op het door middel van expertbevraging verkregen beeld van ontwikkelingen en de samenhang daartussen, maar zijn opgebouwd door enkel het projectteam, was het gewenst de BBNs te laten verifiëren door de experts.

5 Expertbevraging ten behoeve van getrainde Bayesiaanse netwerken

5.1 Inleiding

In de laatste fase van het onderzoek zijn de resultaten van de causale BBNs uit de voorafgaande stap (hoofdstuk 4) voorgelegd aan experts. De experts zijn in twee rondes gevraagd om vragenlijsten in te vullen waaruit informatie werd verkregen over de belangrijkste effectpaden voor de drie vormen van landbouw (melkveehouderij op veen, intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) en akkerbouw) en de effecten op natuurkwaliteit. De eerste ronde vond plaats in een workshop, waarin de resultaten die de BBNs lieten zien uitgebreid werden besproken. Een tweede ronde vond later online plaats. Deze fase is de vierde en laatste stap van het in Figuur 1.3 getoonde proces en draagt bij aan inzicht in het systeem, de onderlinge beïnvloeding van de elementen van het systeem en de invloed van omgevingsfactoren.

5.2 Uitvoering

In het vorige hoofdstuk is beschreven hoe het projectteam causale BBNs heeft opgebouwd, waardoor de relatieve impact en samenhang van de externe factoren zichtbaar werden. Als bevestiging en als uitbreiding hierop hebben de betrokken externe experts input gegeven voor een zogenaamde getrainde BBN. Een training betekent dat een BBN wordt opgezet op basis van enkele bekende situaties wanneer de gewichten (waarschijnlijkheden) van de relaties tussen de elementen van het systeem bij de betrokkenen niet bekend zijn. Deze training gebeurde in twee rondes - een workshop en een online ondervraging - waarbij de experts gebruik maakten van scenario's (toekomstbeelden) en vragenlijsten. De vragenlijsten staan in bijlage 1.

Tijdens de workshop hebben we, omwille van tijd-technische redenen, de focus gelegd op één van de BBNs, namelijk die van melkveehouderij op veen. Op deze BBN is gefocust vanwege de aanwezige expertise tijdens de workshop. De centrale vragen in de workshop waren:

1. Welke van de externe factoren zijn het meest sturend voor de natuurkwaliteit en voor de omvang van de melkveehouderij (klimaat, keten, EU-beleid, maatschappelijk, geopolitiek)?
2. Welke toekomstbeelden hebben een positief effect op:
 - o natuurkwaliteit;
 - o omvang van de gangbare melkveehouderij.

Zie bijlage 5 voor een verslag van deze workshop.

Om de BBNs te trainen hebben de experts gebruik gemaakt van scenario's en vragenlijsten. De scenario's beschrijven in korte zinnen een combinatie van mogelijke toestanden van de vijf eerder geïdentificeerde belangrijke omgevingsfactoren: klimaatverandering, ruimtevraag vanuit andere sectoren, sociaal-culturele ontwikkelingen wereldwijd, internationaal en EU-beleid, technische ontwikkelingen waaronder digitalisering, consumenten, ketenpartijen en investeerders. Uit alle mogelijke combinaties zijn tien scenario's geselecteerd waarbij uiterste toestanden van de externe factoren in combinatie met elkaar voorkomen (zie Figuur 5.1). De formulering van de toestanden van de factoren is enigszins gevarieerd, zodat de beschrijving bij de experts zou leiden tot een levendig beeld van een mogelijke toekomst in plaats van een opsomming van variabelen. In de communicatie met de experts werden zij dan ook 'toekomstbeelden' genoemd. Figuur 5.1 toont de verschillende toekomstbeelden/scenario's.

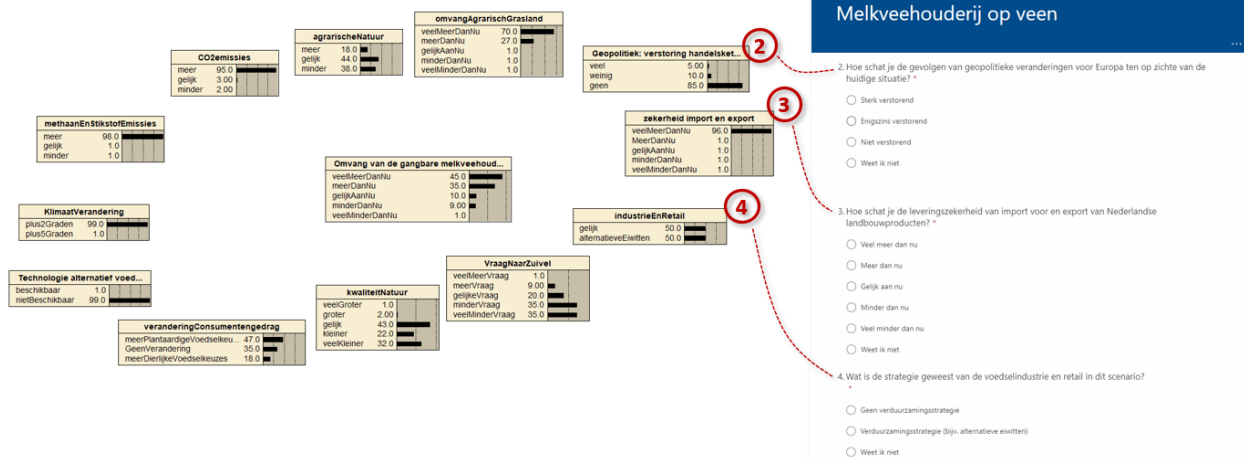
Scenario 1	2	3	4
Effecten klimaatverandering beperkt	Kantelpunten klimaat worden niet bereikt	Klimaatverandering zorgt voor frequent voorkomen van weersextremen	Klimaatverandering heeft ingrijpende gevolgen
Sterk biodiversiteit en klimaatbeleid in EU	EU-verduurzamingsbeleid kent geen juridische verplichtingen	Sterk biodiversiteit en klimaatbeleid in EU	Beperkte kracht EU-verduurzamingsbeleid
De marktpartijen zetten in op duurzame ketens	De markt ziet kansen in duurzame ketens	De marktpartijen zetten in op duurzame ketens	De markt ziet kansen in duurzame ketens
Duurzaamheid speelt geen rol in consumentenkeuzes	Consumenten maken duurzame keuzes	Consumenten geven geen prioriteit aan duurzame keuzes	Duurzaamheid is een belangrijke factor in consumentenkeuzes
Strijd tussen de mondiale machtsblokken	Door samenwerking worden mondiaal crises voorkomen	Instabiliteit door conflicten in de wereld	Mondiale stabiliteit
Geel	Blauw	Olijf	Oranje

Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
Effecten klimaatverandering beperkt	Kantelpunten klimaat worden niet bereikt	Klimaatverandering zorgt voor frequent voorkomen van weersextremen	Klimaatverandering heeft ingrijpende gevolgen
Integraal EU-duurzaamheidsbeleid voor alle thema's	Beperkte kracht van EU-verduurzamingsbeleid	Integraal EU-duurzaamheidsbeleid voor alle thema's	EU-verduurzamingsbeleid kent geen juridische verplichtingen
De ketenpartijen houden vast aan huidig productiesysteem	De marktpartijen houden vast aan hun huidige verdienmodel	De ketenpartijen houden vast aan huidig productiesysteem	De marktpartijen houden vast aan hun huidige verdienmodel
Consumenten maken duurzame keuzes	Duurzaamheid is een belangrijke factor in consumentenkeuzes	Consumenten geven geen prioriteit aan duurzame keuzes	Duurzaamheid speelt geen rol in consumentenkeuzes
Instabiliteit door conflicten in de wereld	Strijd tussen de mondiale machtsblokken	Door samenwerking worden mondiaal crises voorkomen	Door samenwerking worden mondiaal crises voorkomen
Bruin	Paars	Grijs	Roze

Scenario 9	Scenario 10
Effecten klimaatverandering beperkt	Klimaatverandering zorgt voor frequent voorkomen van weersextremen
Sterk biodiversiteit en klimaatbeleid	EU-verduurzamingsbeleid kent geen juridische verplichtingen
De marktpartijen zetten in op duurzame ketens.	De marktpartijen houden vast aan huidig productiesysteem
Consumenten maken duurzame keuzes	Duurzaamheid speelt geen rol in consumentenkeuzes
Mondiale stabiliteit	Strijd tussen de mondiale machtsblokken
Wit	Zand

Figuur 5.1 De verschillende toekomstbeelden/scenario's zoals aangereikt aan de externe experts. Per rij worden de toestanden van één van de omgevingsfactoren omschreven, waarbij twee kleuren worden gebruikt. Deze twee kleuren representeren de twee uitersten van de betreffende factor.

De deelnemers hebben per toekomstbeeld een vragenlijst ingevuld over de waarschijnlijk geachte ontwikkelingen van de toestanden in categorieën per element en hun effect op natuurkwaliteit en de omvang van de melkveehouderij in relatie tot de melkveehouderij op veen, opgesteld in Microsoft Forms (zie bijlage 6). In de opgestelde vragenlijst correspondeert elke vraag met één van de elementen van de BBN (zie Figuur 5.2). Aan elk van de experts werden zes van de tien toekomstbeelden toegewezen. Van de experts werd gevraagd de vragenlijst zes maal te doorlopen, met steeds een ander toekomstbeeld in gedachten. Voor de beantwoording konden de experts kiezen uit een set van meerkeuze-antwoorden die overeenkomen met de categorieën van de betreffende factor én de optie 'weet ik niet'. Middels een QR-code en een link hadden de experts toegang tot de vragenlijst. De antwoorden werden door Microsoft Forms automatisch verzameld in een database. Deze database is gebruikt om de BBN te trainen op het element 'kwaliteit natuur'.



Figuur 5.2 De samenhang tussen de BBN (links) en de opgestelde vragenlijst (rechts), waarbij elke vraag correspondeert met één van de elementen van de BBN.

De uitkomst van deze training zijn waarschijnlijkheidsfuncties waarmee wordt bepaald hoe alle elementen van de BBN aan elkaar relateren. Dit kunnen causale relaties zijn, maar ook directe en indirecte correlaties. Na het trainen kan het BBN gebruikt worden voor verder onderzoek. Net als bij de causale BBN (zie hoofdstuk 4), kan dit over het algemeen op twee manieren. Enerzijds kan er voor elke combinatie van ontwikkelingen (toekomstbeelden) gekeken worden wat het waarschijnlijke effect is op de andere elementen, bijvoorbeeld de kwaliteit van de natuur of de omvang van de veehouderij. Andersom is het mogelijk te onderzoeken welk toekomstbeeld het meest waarschijnlijk of passend is bij optimalisatie van een of meerdere van de andere elementen, bijvoorbeeld 'veel grotere' kwaliteit natuur. Zo stelt het in staat inzicht te krijgen in de sturing van de externe factoren voor wat betreft de natuurkwaliteit en de omvang van de melkveehouderij.

Na het invullen van de vragenlijsten werden de experts over vier groepen verdeeld en kregen zij de resultaten van de net getrainde BBN en de door het projectteam eerder gemaakte causale BBN, beide voor melkveehouderij op veen. In de groepen werden deze vergeleken en zocht men naar conclusies die men uit de resultaten kon trekken.

Bij het invullen van de vragenlijsten liepen de experts tegen een aantal zaken aan. Het commentaar betrof vooral de variatie in de beschrijvingen die eenzelfde toestand van een factor representeerden. Zo gaven de beschrijving 'Klimaatverandering zorgt voor frequent voorkomen van weersextremen' en 'Klimaatverandering heeft ingrijpende gevolgen' dezelfde toestand van de factor Klimaat aan, namelijk een temperatuurstijging van vijf graden. De deelnemers vonden deze variatie verwarrend en in sommige gevallen verschilde hun interpretatie ervan. Naar aanleiding van commentaar op de vragenlijst is de experts gevraagd een aangepaste versie van de vragenlijst nog eens in te vullen. Voor de aangepaste vragenlijst is voor elke toestand van de factoren dezelfde beschrijving gekozen. Zo is bijvoorbeeld voor de eerder genoemde factor, voor de beschrijving 'Klimaatverandering vijf graden' gekozen. Daarnaast is een korte toelichting toegevoegd. De aangepaste omschrijvingen en de bijbehorende toelichting zijn opgenomen in Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Aangepaste teksten voor de scenario's/toekomstbeelden en toelichting voor de respondenten.

Tekst in scenario	Toelichting
Klimaatverandering 5 graden	Klimaatverandering in dit scenario heeft tot dit moment (2050) het pad gevolgd van zeer sterke klimaatverandering (toename van 5 graden in 2100)
Klimaatverandering 2 graden	Klimaatverandering in dit scenario heeft tot dit moment (2050) het pad gevolgd van aanzienlijke klimaatsverandering (een toename van 2 graden in 2100)
Krachtiger EU-duurzaamheidsbeleid	EU-beleid met betrekking tot klimaat, natuur, milieu is ambitieuzer, samenhangender, omvangrijker (ook richting consumenten en ketenpartijen) en juridisch dwingender dan het huidige beleid
Zwakker EU-duurzaamheidsbeleid	EU-beleid met betrekking tot klimaat, natuur, milieu is minder ambitieus, sectorale, beperkter en vrijblijvender dan het huidige beleid. EU-verduurzamingsbeleid kent geen juridische verplichtingen
Consumenten verschuiven naar een meer plantaardiger eetpatroon	Het consumptiegedrag van afnemers van Nederlandse landbouwproducten (d.w.z. consumenten in binnen- en buitenland (vnl. Europa) is sterk veranderd naar meer plantaardige producten: consumenten gaan meer groente/fruit en plantaardige vlees-/zuivelvervangers eten.
Consumenten verschuiven naar een meer dierlijk eetpatroon	Het consumptiegedrag van afnemers van Nederlandse landbouwproducten (d.w.z. consumenten in binnen- en buitenland (vnl. Europa) verschuift naar meer dierlijke producten: consumenten gaan meer vlees en zuivel eten.
Ambitieuze verduurzamingsstrategie van de voedselindustrie en retail	Ambitieuze verduurzamingsstrategie bij de voedselindustrie en retail/horeca bijvoorbeeld doordat ketenpartijen en financiers inzetten op duurzamere ketens, meer aanbod en (investeringen in) productie van voedsel gebaseerd op 'alternatieve eiwitten'.
Beperkte/geen verduurzamingsstrategie van de voedselindustrie en retail	Geen expliciete verduurzamingsstrategie bij de voedselindustrie en retail/horeca, bijvoorbeeld geen extra inzet op duurzamere ketens. Ketenpartijen en financiers houden vast aan hun huidige verdienmodel.
Instabiele wereldhandel	Instabiele wereldhandel bijvoorbeeld door strijd tussen de mondiale machtsblokken met negatieve gevolgen voor de wereldhandel.
Stabiele wereldhandel	Stabiele wereldhandel doordat bijvoorbeeld mondiale crises door samenwerking worden voorkomen.

Het invullen vond deze keer niet in workshopverband plaats maar online. In deze ronde zijn ook vragenlijsten opgesteld voor de BBNs van intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) en akkerbouw (zie bijlage 6), zodat ook deze BBNs getraind konden worden.

Ook aan de hand van de getrainde BBN voor melkveehouderij op veen is een volledige analyse met alle combinaties van ontwikkelingen uitgevoerd door Biometris (WUR). Aan de hand van deze BBN is gekeken hoe de effecten te clusteren zijn. Uit deze clustering zijn de meest sturende ontwikkelingen gedestilleerd. Zie hoofdstuk 6 voor een beschrijving van deze analyse.

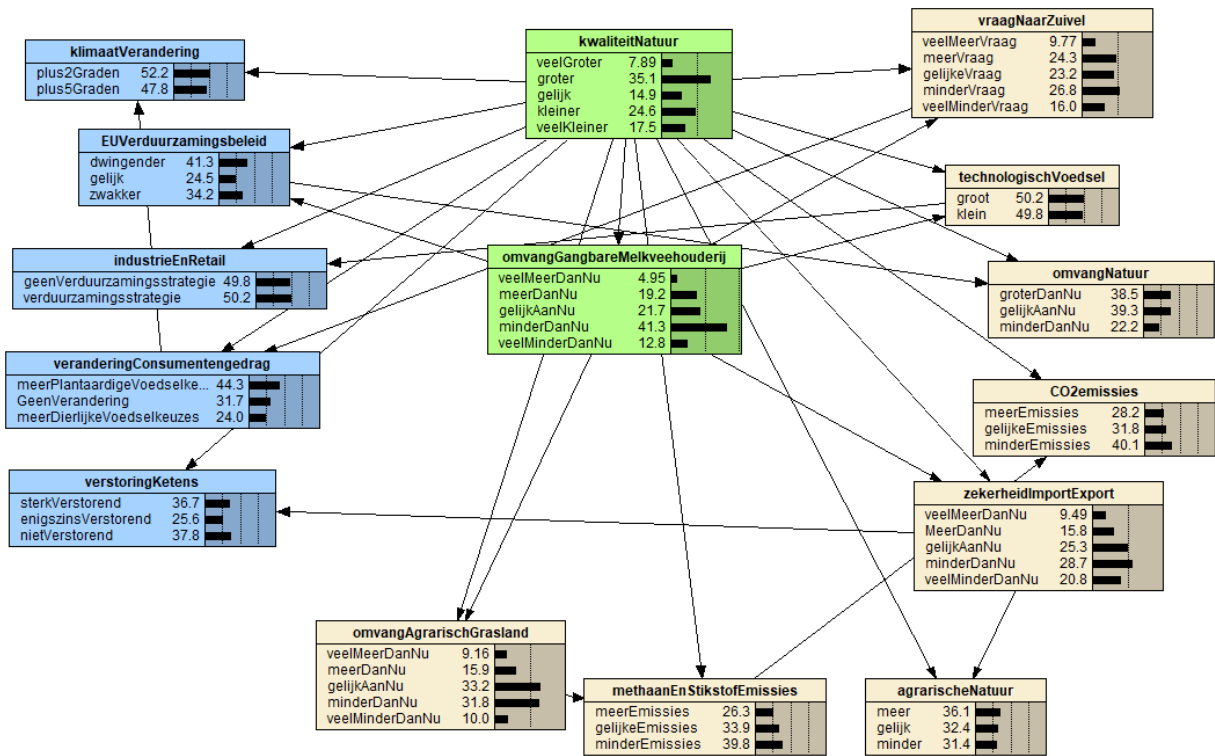
5.3 Kenmerken van de resultaten

De door training op basis van de expertkennis verkregen BBNs worden weergegeven in Figuur 5.3.

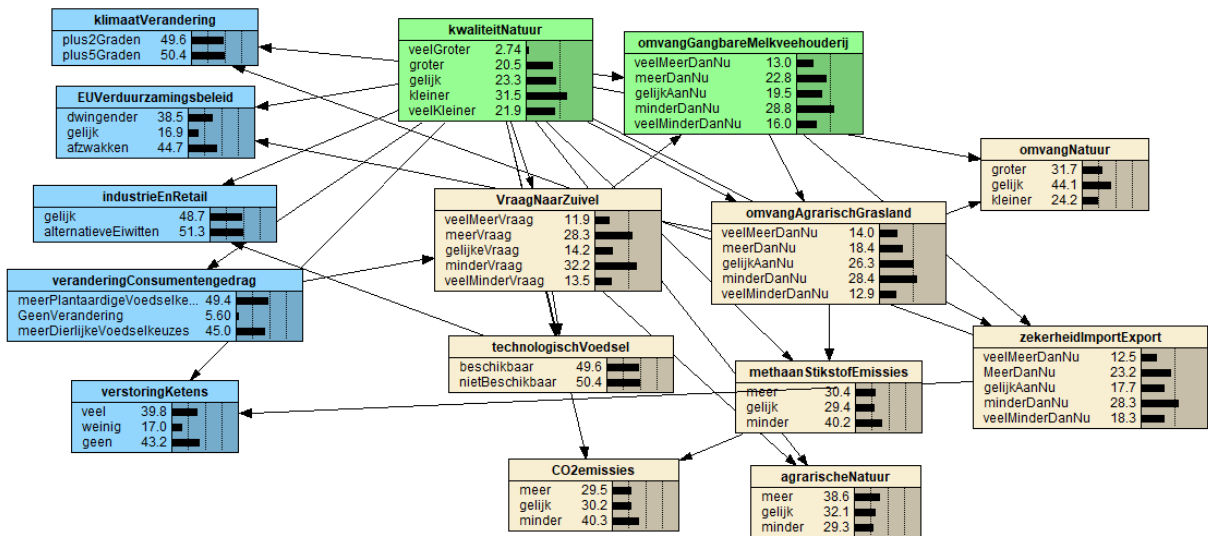
De discussie in de vier groepen leverde zeer kort samengevat de volgende hoofdconclusies op:

- EU-beleid en markt zijn sturende factoren voor de omvang van de melkveehouderij.
- EU-beleid kan dwingend zijn, maar de consument zal over het algemeen zijn eigen plan trekken voor wat betreft het maken van voedselkeuzes.
- Voor een hogere natuurkwaliteit zijn met name een beperkte klimaatverandering en een dwingend EU-verduurzamingsbeleid van belang. Duurzame ketens door marktpartijen en duurzame keuzes van consumenten zullen naar verwachting minder sturend zijn in het realiseren van een hoge natuurkwaliteit. De invloed van de geopolitiek ('verstoringketens' in Figuur 5.3a) is minder duidelijk.

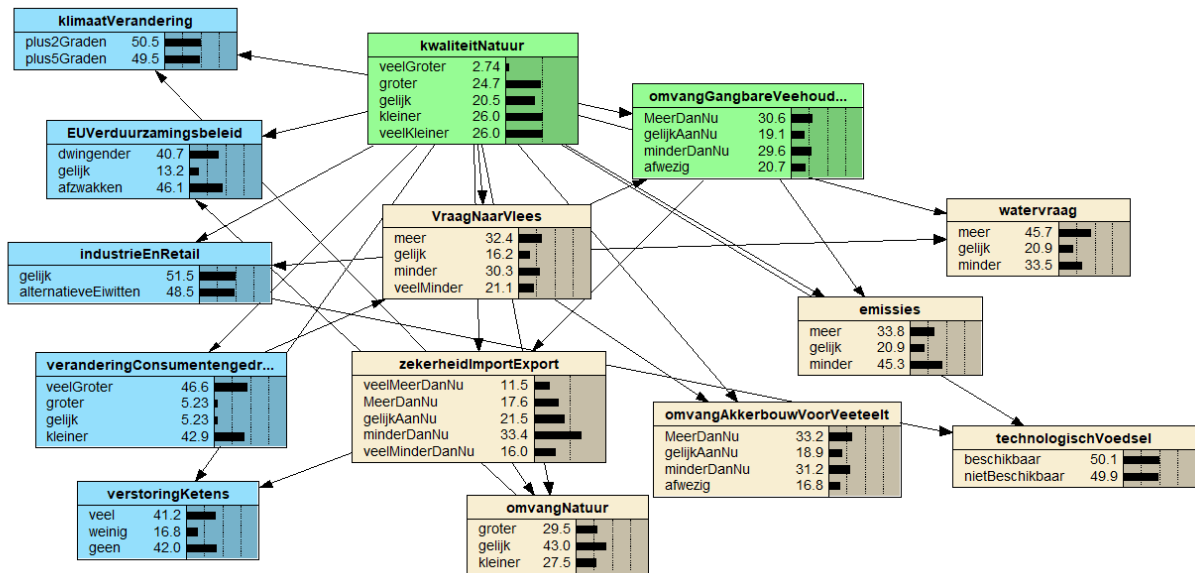
A



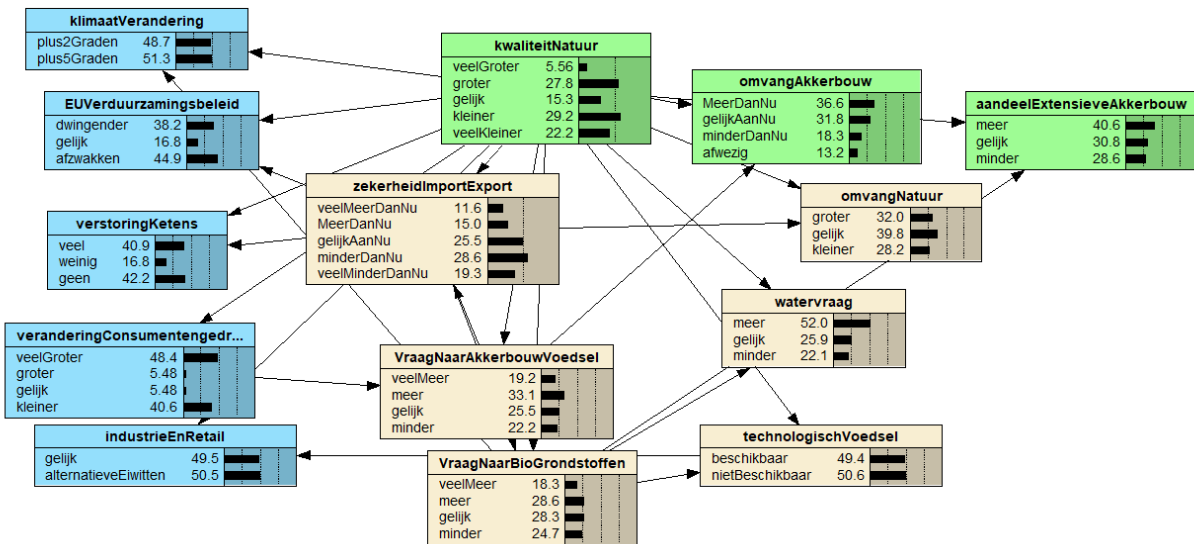
B



C



D



Figuur 5.3 Getrainde BBNs voor melkveehouderij op veen zoals gemaakt tijdens de workshop van ronde 1 (a), melkveehouderij op veen na training op basis van ronde 2 (b), intensieve veehouderij (c) en akkerbouw (d). De blauwe kleuren zijn de sturende omgevingsfactoren, de groene representeren de elementen waarop het effect bekeken werd en de overige blokjes zijn factoren die in relatie staan met eerder genoemde factoren en de effectelementen.

5.4 Reflectie op proces en resultaten

In de workshop werden opmerkingen gemaakt over de formuleringen in zowel de toekomstbeelden als vragenlijsten en over de interne logica van de toekomstbeelden. De opmerkingen zijn verwerkt in een tweede versie van de toekomstbeelden en vragenlijsten en de experts is gevraagd om de toekomstbeelden in te vullen voor alle tien scenario's, in plaats van de zes tijdens de workshop. In de beschrijving van de toekomstbeelden is ervoor gekozen om de formulering van de verschillende toestanden niet te variëren maar consistent te houden. Deze beschrijving is opgenomen in Tabel 5.1.

De nieuwe formulering van de toestanden is gebruikt voor de online ronde waarin de experts ook vragen hebben beantwoord voor de intensieve veehouderij (varkens en pluimvee) en akkerbouw.

Het bij elkaar brengen van de mogelijke toestanden van de omgevingsfactoren tot toekomstbeelden en het in beeld brengen van de omgevingsfactoren die het meest sturend zijn, diende als basis voor de discussie met de experts. In deze discussie werden conclusies uit de BBNs getrokken in de vorm van beleidsboodschappen (Van Hinsberg et al. 2024), gestoeld op de samenhang in invloeden tussen de omgevingsfactoren, zoals geformaliseerd met behulp van de BBN. Door actief aan de slag te gaan met de BBN en de toekomstbeelden (mogelijke ontwikkelingen), werd de discussie tussen de experts minder conceptueel. Men ging concreet aan de slag om convergerend tot beleidsboodschappen te komen.

Naast opmerkingen over de BBN-methode werden vragen gesteld over de samenhang tussen de interne (binnen Nederland) en externe (buiten Nederland) ontwikkelingen en andere drivers, die nu niet in deze BBN-methode zijn meegenomen. Ook voelden sommige experts zich beperkt door de vereenvoudiging van de werkelijkheid met deze methode. In de discussie zijn onderwerpen en factoren die buiten het bereik van de BBN-methode lagen, besproken.

5.5 Conclusies richting vervolgstap

Effecten van externe ontwikkelingen op de kwaliteit van natuur en de omvang van een landbouwsector in Nederland zijn bestudeerd aan de hand van twee soorten BBNs: een BBN met causale relaties tussen de elementen (hoofdstuk 4) en een door experts getrainde BBN (hoofdstuk 5). Beide BBNs zijn geanalyseerd door een aantal combinaties van extreme toestanden van omgevingsfactoren door te voeren en te kijken wat het waarschijnlijke effect is. Uit de twee BBNs komen enigszins andere resultaten en het is de vraag hoe deze te interpreteren. Een volledige analyse met alle combinaties van ontwikkelingen en een clustering van de resultaten per ontwikkeling is gewenst met beide soorten BBNs, evenals een uitspraak over de toepassing van beide soorten BBNs.

6 Statistische analyse voor inhoudelijke conclusies

6.1 Inleiding

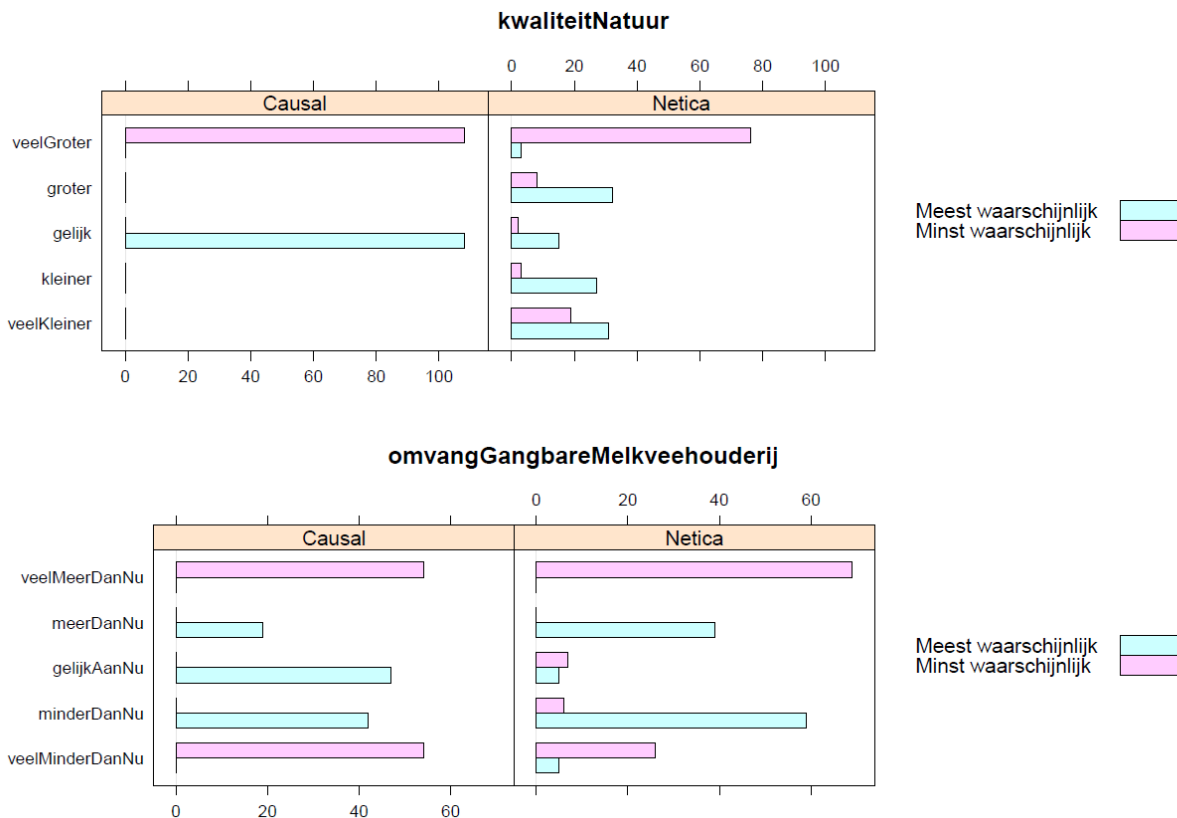
In hoofdstuk 4 en 5 zijn BBNs opgezet door het projectteam (hoofdstuk 4) en getraind door experts (hoofdstuk 5). In dit hoofdstuk (6) analyseren we hoe de effecten op natuurkwaliteit en de omvang van de veehouderij via waarschijnlijkheidsfuncties van deze BBNs op een statistisch verantwoorde manier kunnen worden doorgerekend. Vragen die daarbij aan de orde komen zijn: kunnen we de resultaten interpreteren? Wanneer is in een BBN een effect op een waarschijnlijkheidsverdeling significant verschillend van een ander effect op een waarschijnlijkheidsverdeling? En waarom verschilt de structuur van het netwerk van de getrainde BBN door Netica zozeer van het causale netwerk? Deze vragen zijn voorgelegd aan Biometris, onderdeel van de WUR, waar onderzoek gedaan wordt naar statistische en wiskundige methoden voor de kwantificering van biologische processen en processen in de leefomgeving. De volledige beschrijvingen van de methode en uitkomsten van de analyse door Biometris wordt weergegeven in bijlage 7.

6.2 Uitvoering

De statistische analyse is volledig gericht op de causale en getrainde BBN (Figuren 4.1a en 5.3b) van melkveehouderij op veen. Bij het getrainde netwerk zijn zowel de pijlen als de achterliggende tabellen getraind op basis van de expertdata die via Microsoft Forms is opgehaald. Het gaat hierbij om 68 door experts opgestelde combinaties uit de tweede ronde (online ondervraging met verbeterde vragenlijst). Hierbij zijn de vragen voor de vijftien elementen van het netwerk (zie Figuur 5.3b) zo goed mogelijk ingevuld. Om inzicht te krijgen in de statistiek en de werking van Netica 'onder de motorkap' zijn beide BBNs door Biometris overgezet in een softwarepakket en programmeertaal 'R'. Ook hier zijn de vijf omgevingsfactoren, die de externe ontwikkelingen representeren, van speciaal belang. Alle mogelijke combinaties van de twee uiterste toestanden voor deze elementen van de vijf omgevingsfactoren – en dat zijn 108 mogelijke scenario's of toekomstbeelden – zijn doorgerekend, iets dat in R relatief eenvoudig gedaan kan worden. Effecten zijn steeds bepaald voor de kwaliteit van de natuur (in vijf categorieën) en de omvang van de (melk)veehouderij (in vijf categorieën). De resultaten voor zowel het causale als het getrainde netwerk zijn op verschillende manieren samengevat, namelijk door middel van de meest waarschijnlijke uitkomsten, een hiërarchische clustering en een clustering met Self-Organizing Maps (SOM) (zie bijlage 7 voor gedetailleerde uitleg).

6.3 Kenmerken van de resultaten

Figuur 6.1 geeft voor beide BBNs de verdeling van de scenario's over de categorieën van de kwaliteit van natuur en van de omvang van de melkveehouderij aan. Hier wordt gekeken naar de meest waarschijnlijke en minst waarschijnlijke categorieën. De verschillen tussen de netwerken zijn meteen duidelijk: in de causale BBN leiden alle scenario's tot een gelijkblijvende natuurkwaliteit als meest waarschijnlijke uitkomst en is een veel grotere kwaliteit altijd het minst waarschijnlijk. In de getrainde BBN is er variatie in welke categorie het meest waarschijnlijk is. Ook daar is trouwens een veel hogere natuurkwaliteit meestal de minst waarschijnlijke uitkomst. Wat betreft de omvang van de melkveehouderij geldt dat voor zowel het causale als het getrainde netwerk de beide extremen voor de omvang van de gangbare melkveehouderij het minst waarschijnlijk zijn. Het causale netwerk geeft in de meeste scenario's een gelijkblijvende of kleinere omvang van de melkveehouderij aan; volgens het getrainde netwerk zijn er eigenlijk geen scenario's waarbij de omvang gelijk blijft, en wordt de melkveehouderij ofwel wat groter, ofwel wat kleiner.

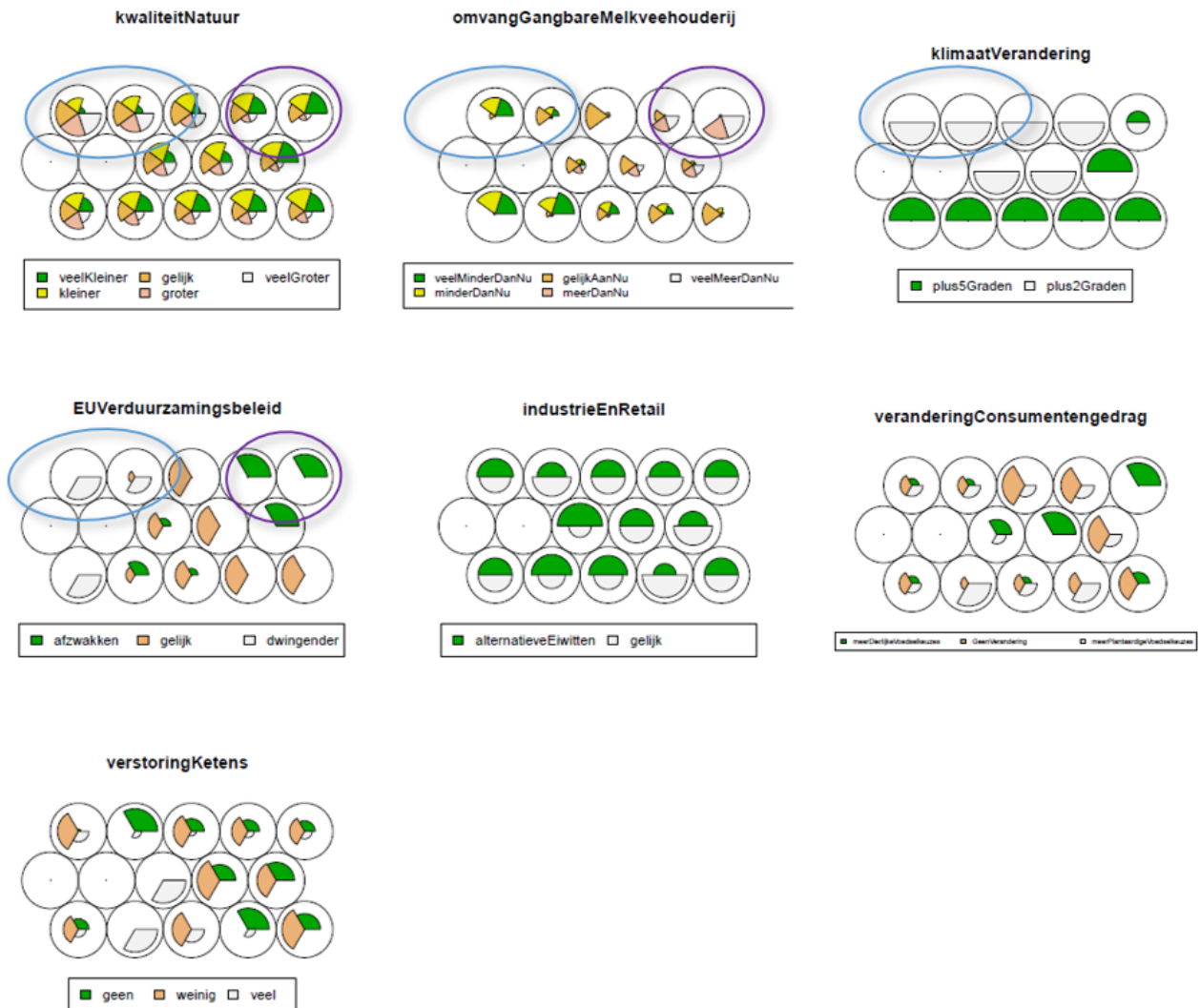


Figuur 6.1 De verdeling van de scenario's over de categorieën van de kwaliteit van natuur en de omvang van de melkveehouderij, zowel voor de causale BBN (links) als voor de getrainde BBN (rechts, 'Netica') van melkveehouderij op veen.

Om in iets meer detail te kijken naar de effecten van de verschillende scenario's is het goed om niet alleen naar de meest waarschijnlijke uitkomst te kijken, maar ook naar de verdeling van de uitkomsten. Een eerste aanpak is het clusteren van de kansverdelingen van alle vijftien elementen voor de 108 scenario's. Dat kan op vele manieren. Hier is gekozen voor een hiërarchische clustering van de scenario's, gebruik makend van een Euclidische afstand tussen kansverdelingen (zie bijlage 7 voor een gedetailleerde beschrijving). Als we deze dendrogrammen doorknippen op een hoogte die zes clusters oplevert (een min of meer arbitraire keuze) kunnen we kijken welke scenario's bij die clusters horen. Een andere manier om te clusteren is de SOM (Kohonen 1995; Wehrens et al. 2018). Hierbij worden de te clusteren objecten (hier: de scenario's) in een tweedimensionale *grid* geprojecteerd, waarbij op elkaar lijkende scenario's dicht bij elkaar liggen. Vervolgens is het dan mogelijk om de vijf elementen, die de externe ontwikkelingen representeren, op dezelfde map af te beelden.

Beide clusteringsmethoden geven een vergelijkbaar beeld (zie Figuren 6.1 en 6.2). De clustering in waarschijnlijkheidsverdelingen voor natuurkwaliteit lijkt vooral veroorzaakt door klimaatverandering en EU-beleid, en dan met name door de eerste. Clusters waarbij de natuurkwaliteit toeneemt, bestaan geheel uit scenario's waarbij het klimaat beperkt opwarmt. Voor het getrainde netwerk lijkt het erop dat een meer bewust consumentengedrag ook een rol speelt in het vergroten van de natuurkwaliteit.

Voor wat betreft de omvang van de gangbare melkveehouderij blijkt dat het cluster, dat overeenkomt met de grootste afname in omvang van de melkveehouderij, een veel dwingender EU-beleid laat zien. Het lijkt erop dat de omvang van de gangbare melkveehouderij vrijwel volledig door EU-beleid wordt bepaald. Klimaatverandering heeft een secundair effect. Vergeleken met het causale netwerk speelt in het getrainde netwerk het EU-beleid een kleinere rol en is voedselkeuze waarschijnlijk wat belangrijker.



Figuur 6.2 Clustering volgens Self-Organising Map voor causale BBN van melkveehouderij op veen. De cirkels zijn de 15 elementen van de BBN, de taartpunten zijn de verdeling van de waarschijnlijkheidsklassen voor het elementen over alle 108 scenario's. Scenario's met een grotere natuurkwaliteit, een kleinere melkveehouderij, een beperkte temperatuurstijging en een dwingend EU-beleid in blauw. Scenario's met een veel grotere melkveehouderij, een afgezwakt EU-beleid en een lagere natuurkwaliteit in paars.

6.4 Reflectie op proces en resultaten

Door Biometris zijn de causale en getrainde BBNs van melkveehouderij op veen met elkaar vergeleken. Wat opvalt is dat na training in vrijwel alle elementen van de getrainde BBN precies twee pijlen gaan. Dit is het gevolg van een instelling in Netica, dat traint volgens een Tree Augmented Network (TAN). Doel hierbij is om een zo goed mogelijke voorspelling te doen voor nieuwe data en is daarmee een vorm van *machine learning*. De richting van de pijlen speelt geen rol bij een TAN en de pijlen hoeven geen causale relatie te representeren; het gaat alleen om de voorspelling. Tijdens de workshop is de experts dan ook gevraagd om niet op de pijlen te letten maar op de uitkomst van de waarschijnlijkheden bij verschillende toekomstbeelden. Causale netwerken zijn daarentegen bedoeld om oorzakelijke verbanden tussen variabelen te laten zien. Dat is natuurlijk een veel moeilijker taak dan het laten zien van correlaties, maar levert ook meer inzicht in het systeem op.

Ondanks de twijfelachtige juistheid van de pijlen in het getrainde netwerk wordt wel waarde gehecht aan de tabel met expertoordeel, opgesteld na het beantwoorden van de verbeterde vragenlijst. In een extra exercitie is de causale BBN genomen, waarbij de pijlen zijn blijven staan maar de achterliggende tabellen zijn

verwijderd. Deze tabellen zijn opnieuw gevuld door ze te trainen aan de hand van de Microsoft Forms-tabel met expertoordeel. De BBN die dan ontstaat lijkt sterk op de door Netica volgens TAN getrainde BBN. Dit kan een aanwijzing zijn dat de resultaten voor de getrainde BBN wel degelijk deugdelijk zijn. Wellicht is deze laatste methode, waarbij de causale relaties in de BBN al gelegd zijn en expertinput gebruikt wordt om de achterliggende tabellen te trainen, een kansrijke techniek voor volgende studies, gericht op het verkrijgen van systeeminzicht.

Opvallend is dat in de Microsoft Forms-tabel met expertoordeel de optie 'gelijk' voor de meeste nodes niet vaak gekozen is. Dit valt wellicht te verklaren uit het feit dat gevraagd wordt naar toekomstbeelden, die – volgens velen – per definitie anders zijn dan de huidige situatie. Hierdoor zullen ook de gevolgen voor de aspecten die uitgedrukt worden in de nodes, anders zijn dan de categorie 'gelijk aan nu'.

6.5 Conclusies

Inhoudelijk kunnen op basis van de analyses met de BBNs als beschreven in dit hoofdstuk de volgende conclusies getrokken worden wat betreft de samenhang van de externe ontwikkelingen:

- Klimaatverandering en EU-beleid zijn in samenhang sterk bepalend voor de omvang van de melkveehouderij en de kwaliteit van de natuur.
- Situaties met een sterke klimaatverandering en een afzwakkend EU-beleid leiden tot een lagere natuurkwaliteit, zeker in situaties waarbij de melkveehouderij sterk toeneemt.
- Het lijkt erop dat vergeleken met het causale netwerk, de externe experts bij het invullen van de vragenlijst vonden dat het EU-beleid een kleinere rol speelt en voedselkeuze wat bepalender is.

7 Reflectie op de gebruikte methoden en technieken

In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op het gebruik van de BBNs. In de landbouw-natuurverkenning is deze techniek gebruikt om zowel de dialoog in concepten te formaliseren (conceptueel modelleren), als om inzicht te verkrijgen in de onderlinge beïnvloeding van verschillende aspecten door middel van Bayesiaanse statistiek. Conceptuele (mentale) modellen dienen om het huidige begrip van de structuur en werking van een systeem vast te leggen, zoals beschreven door Gupta et al. 2012. Deze modellen worden doorgaans ontwikkeld als een groepssoefening om belanghebbenden te betrekken, consensus te bereiken of als een eerste stap in kwantitatieve modellering (Elsawah et al. 2020; Gupta et al. 2012; Gupta et al. 2014; Voinov 2008). Ze zijn ook vaak nodig als een voorbereidende stap in processen waarbij meerdere disciplinaire experts betrokken zijn om een gemeenschappelijk begrip te ontwikkelen (Argent et al. 2016). Bayesiaanse statistiek wordt toegepast voor het modelleren van complexe situaties met veel onzekere factoren en ingezet bij beslissingsondersteuning, het beheersen van complexiteit en het beoordelen van risico's.

In dit hoofdstuk worden de sterke en zwakke punten van BBNs, zoals in de landbouw- natuurverkenning gebruikt, beschreven, evenals de kansen en risico's, middels de SWOT-aanpak (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). Het gaat hier om punten die beschreven zijn in literatuur, uitgebreid met eigen bevindingen uit de voorgaande hoofdstukken.

Sterke punten (*S, strengths*) van Bayesiaanse netwerken zijn:

1. **Systeemdefinitie:** de methodiek maakt het mogelijk om een complex systeem in begrijpelijke termen te vatten, waardoor problemen worden afgebakend en hanteerbaar gemaakt worden (Kelly et al. 2013; Sperotto et al. 2017).
2. **Verkennen van interacties:** BBNs bieden de mogelijkheid om de interacties tussen verschillende elementen in het systeem te verkennen (Sperotto et al. 2017).
3. **Verbinding tussen harde en zachte/sociaal-culturele waarden:** de methodiek maakt het mogelijk om numerieke, gemeten gegevens te koppelen aan andere soorten informatie die kwalitatiever van aard is zoals attitudes, consumentenbewustzijn en de invloed van de maatschappij.
4. **Integratie van zekere en onzekere gegevens:** de methodiek maakt het mogelijk om zowel zekere (bijvoorbeeld metingen) als onzekere gegevens (bijvoorbeeld risico-inschattingen) te combineren.
5. **Ondersteuning bij het bouwen van scenario's:** BBNs kunnen helpen bij het onderbouwen van keuzes in scenario-ontwikkeling en maken het mogelijk om plausibele verhaallijnen te toetsen.
6. **Prioritering:** BBNs maken het mogelijk de meest sturende factoren in een (gemodelleerd) systeem te herkennen. Hierop kunnen beleidsmaatregelen worden gebaseerd (Sperotto et al. 2017).
7. **Structuur:** de methodiek ondersteunt door het denken te structureren en te communiceren.
8. **Toegankelijk voor niet-programmeurs:** een BBN kan makkelijk worden opgebouwd en begrepen, ook door mensen zonder veel technische kennis en achtergrond.
9. **Co-creatie:** het creëren van een BBN faciliteert samenwerking door vertegenwoordigers (stakeholders, experts) vanuit verschillende domeinen. Dit is belangrijk bij steeds complexer en integraler wordende vraagstukken (Kaikkonen et al. 2021).
10. **Kansinschatting en communicatie:** de methodiek werkt met waarschijnlijkheden in plaats van enkelvoudige uitkomsten. Het faciliteert hiermee het communiceren van onzekerheden (Pollino et al. 2007).
11. **Trainbaarheid:** (een deel van) de waarschijnlijkheden kan/kunnen automatisch afgeleid worden op basis van data (*evidence*; dit kan ook gaan om *tacit knowledge* (kennis die niet beschreven is, maar intuïtief aangevoeld wordt). Een BBN is hiermee te trainen: waarschijnlijkheidstabellen en relaties kunnen op basis van de evidence worden ingevuld.

-
12. **Ruimtelijke koppeling:** BBNs kunnen worden gekoppeld aan ruimtelijke data, waardoor ook de uitkomsten (kansen, waarschijnlijkheden) ruimtelijk kunnen worden weergegeven (Kaikkonen et al. 2021).
 13. **Flexibiliteit en aanpasbaarheid on the fly:** BBNs zijn flexibel en kunnen gemakkelijk worden aangepast tijdens het gebruik.
 14. **Visualisatie:** BBNs bieden visuele representatie in de vorm van elementen (blokken die nodes worden genoemd), relaties (pijlen) en kansverdelingen (*probability bars*) als output.
 15. **Systeembegrip op een speelse manier:** BBNs dragen bij aan begrip van complexe systemen op een interactieve manier. Het werken met nodes, pijlen en probability bars (zie punt 14) is intuïtief te begrijpen.
 16. **Legitimiteit:** bij inzet van BBNs in een groepsproces, waarbij vertegenwoordigers vanuit verschillende kennisdomeinen deelnemen, kan de input direct gebruikt worden. Deelnemers voelen zich daardoor gehoord waardoor er een constructieve omgeving ontstaat.

Deze sterke punten dragen bij aan het begrijpen en aanpakken van complexe problemen, zoals langetermijntontwikkelingen en verkenningen.

Zwakke punten (*W*, *weaknesses*) van Bayesiaanse netwerken zijn:

1. **Beperking in werken met temporele dynamiek en feedback loops:** deze methodiek kan geen dynamiek door de tijd beschrijven (echter zie Molina et al. 2013 voor een techniek met *time slices*).
2. **Beperkte visualisatie-opties:** hoewel de visualisatie met probability bars nuttig is, kan het lastig zijn om resultaten van bijvoorbeeld twee scenario's met elkaar te vergelijken. Wanneer men wil weten in hoeverre de twee scenario's daadwerkelijk tot verschillend resultaat zullen leiden, bestaat daar momenteel geen standaard analyse- en visualisatietechniek voor binnen deze methodiek.
3. **Kwantitatieve validatie:** validatie van een BBN-model is complex bij het voorspellen van toekomstige risico's omdat observaties en ervaringen, waarmee het netwerk te valideren zou kunnen zijn, nog niet beschikbaar zijn (Sperotto et al. 2017).
4. **Onduidelijke consequenties van het aantal categorieën:** het is niet altijd op voorhand duidelijk wat de impact is van de keuze voor het aantal categorieën per node. Voor een aantal nodes zijn vijf categorieën gebruikt (bijvoorbeeld in vijf stappen van zeer groot naar zeer klein), voor andere nodes drie categorieën en weer andere nodes zijn binair (bijvoorbeeld wel of geen alternatieve zuivel). De consequenties voor deze keuzes zouden proefondervindelijk moeten worden bepaald door middel van een gevoeligheidsanalyse en het aantal categorieën één voor één te wijzigen, inclusief aanpassing van bijbehorende waarschijnlijkheidstabellen.
5. **Ontbreken van een nuloptie (0):** het is niet mogelijk om een waarschijnlijkheid van nul procent in te geven in de waarschijnlijkheidstabellen, waarmee er altijd een kans van optreden is. In theorie zal deze kans er zijn, maar in de praktijk wellicht niet. Dit kan beperkingen opleggen aan de flexibiliteit van het model.
6. **Gewichtsfactoren toekennen is lastig:** hoewel het mogelijk is om gewichten tussen factoren aan te geven door het invullen van de waarschijnlijkheidstabellen kan dit complex zijn, vooral wanneer het gewicht bekend is maar de methodiek niet specifiek hierin voorziet.
7. **Onmogelijkheid om onzekere en zekere gegevens te scheiden:** in de uiteindelijke uitkomst van het model is het onmogelijk te ontrafelen in hoeverre deze afkomstig is van onzekere of zekere gegevens. Dit bemoeilijkt de interpretatie.
8. **Fouten in invoer lastig te identificeren voor causale BBNs:** in causale BBNs zijn fouten in de invoer moeilijk op te sporen, ondanks toegang tot de invoertabellen. Foutmeldingen worden gegeven wanneer de invoer van de waarschijnlijkheden niet tot 100% sommeert. Wanneer één of meer toeleverende nodes niet wordt/worden meegewogen in de waarschijnlijkheidstabel (bijvoorbeeld wanneer pijlen later zijn toegevoegd), wordt er geen waarschuwing gegeven.

-
9. **Complexiteit bij getrainde BBNs:** wanneer een BBN getraind wordt door middel van een onder deelnemers uitgezette vragenlijst, kan de interpretatie van de resulterende BBN voor verwarring zorgen. De waarschijnlijkheidstabellen kunnen mogelijk incorrect geïnterpreteerd worden, namelijk als een representatie van de einduitslag van de vragenlijst. Dit maakt de visualisatie door middel van probability bars, die anders een kracht is, tot een zwakte. Als niet alleen de waarschijnlijkheidstabellen maar ook de relaties tussen de nodes worden getraind, kan het complex zijn om de pijlen te interpreteren.
 10. **Verwarrende statistiek en visualisatie:** de conditionele statistiek achter de BBNs werkt twee kanten op (node A beïnvloedt node B en vice versa), maar de visualisatie met pijlen die slechts één kant op wijzen suggereert dit niet, wat tot verwarring kan leiden.

Het is belangrijk om deze zwakke punten in overweging te nemen bij het gebruik van de methodiek. Er liggen ook kansen (*O, opportunities*) voor het gebruik van BBNs:

1. **Groeiende complexiteit van vraagstukken:** vraagstukken worden steeds complexer en integraler. BBNs bieden een versnelde manier om verschillende domeinen te combineren en inzichten te verwerven. Dit is vooral waardevol in vergelijking met het tijdrovende proces van het verbinden van bestaande, gecodeerde modellen.
2. **Universaliteit van BBNs:** BBNs zijn buitengewoon veelzijdig en kunnen worden toegepast op een breed scala van vraagstukken, zo niet op alle denkbare. Met name in de koppeling met ruimtelijke data, waardoor de uitkomsten (kansen, waarschijnlijkheden) ook ruimtelijk kunnen worden weergegeven, biedt de techniek mogelijkheden voor toepassing in scenariostudies en verkenningen. Vanwege het feit dat met deze techniek binnen een korte tijdspanne een inter- of transdisciplinaire analyse is uit te voeren (zie punt 1 van de kansen), biedt het mogelijkheden voor het geven van - in elk geval eerste - inschattingen. Later kunnen deze eerste inschattingen aangescherpt worden door middel van bijvoorbeeld traditionele (multi)modelanalyse.
3. **Instrument om mensen te verbinden:** BBNs fungeren niet alleen als hulpmiddel voor modellering, maar ook als een krachtig verbindingsmiddel tussen mensen, bijvoorbeeld deelnemers in een workshop. In een tijd waarin samenwerking essentieel is, maar mensen vaak niet weten hoe disciplines te verenigen, bieden BBNs een gedeeld platform voor samenwerking, waarmee een gemeenschappelijke taal ontwikkeld wordt.
4. **Onontgonnen terrein:** in het landbouw- en natuurdomein is de inzet van BBNs nog relatief ongebruikelijk. Hier kan geleerd worden uit andere sectoren waar BBNs al met succes worden ingezet zoals geneeskunde, rechtspraak en techniek. De opgedane kennis kan worden aangepast aan de behoeften binnen het landbouw- en natuurdomein.

Deze kansen tonen aan dat BBNs niet alleen een krachtig hulpmiddel zijn voor het begrijpen van complexiteit, maar ook een bron van inspiratie en samenwerking.

Er zijn enkele bedreigingen (*T, threats*) die men moet overwegen bij het gebruik van (BBNs):

1. **Geen universele oplossing:** het is belangrijk om te beseffen dat BBNs geen alomvattende oplossing zijn voor elk probleem, onder andere omdat ze een vereenvoudiging van de werkelijkheid zijn. Ze moeten weloverwogen worden ingezet om te voorkomen dat ze onnodig worden gebruikt voor problemen waarvoor andere methoden wellicht beter geschikt zijn.
2. **Onjuiste toepassing:** wanneer een BBN is opgesteld als een middel om systeembegrip te bevorderen (conceptueel model) en vervolgens wordt gebruikt voor beoordelingen of voorspellingen, kan dit leiden tot verwarring en onjuiste conclusies. Het is belangrijk om duidelijk te definiëren hoe het BBN-model wordt toegepast.
3. **Misinterpretatie van uitspraken:** zoals bij elk model kunnen uitspraken uit een BBN verkeerd worden begrepen of uit hun context worden gehaald. Het is van belang om de resultaten van het model met zorg en precisie te interpreteren en te communiceren.

-
4. **Onevenwichtige modellen:** in gevallen waar integraal werken vereist is, maar het BBN-model slechts een beperkt aantal nodes heeft voor een bepaald aspect, kan dit leiden tot een onevenwichtige representatie. Het geforceerd toevoegen of verwijderen van nodes kan afbreuk doen aan de realiteit van het systeem. Het is belangrijk om hier een evenwicht te vinden dat recht doet aan de complexiteit van het systeem.
 5. **Onoverzichtelijke netwerken:** wanneer veel nodes met veel relaties worden gecombineerd, gaat dit ten koste van het inzicht in relaties. Dit staat los van het feit dat het model wel de juiste statistische relaties kan beschrijven.

Bij het gebruik van BBNs is het van groot belang om de juiste toepassing en interpretatie ervan te waarborgen, zodat ze effectief kunnen bijdragen aan het begrijpen en aanpakken van complexe vraagstukken.

Concluderend kan worden gesteld dat BBNs een veelbelovende techniek zijn voor het modelleren en begrijpen van complexe systemen. Echter, het gebruik ervan vereist zorgvuldige begeleiding en expertise; op technisch vlak, maar met name ook op het gebied van procesfacilitatie. BBNs bieden de mogelijkheid om complexe relaties en interacties binnen systemen in kaart te brengen, waardoor ze waardevolle inzichten kunnen verschaffen. Het vermogen om onzekerheid en waarschijnlijkheid in modellen op te nemen maakt ze bijzonder geschikt voor situaties waarin de toekomstige uitkomsten niet volledig bekend zijn.

8 Nawoord

Hoewel de methode van tevoren was bedacht, is in exploratief onderzoek zoals dit enige aanpassing nodig en wenselijk gedurende het proces. Ordegrootte, kantelpunten en tijdsfactoren waren moeilijker om uitspraken over te doen en raakten in de loop van het proces meer naar de achtergrond. Echter, in hoofdlijnen is de van tevoren bedachte aanpak om experts zoveel mogelijk te bevragen en tot gezamenlijk inzicht te laten komen naar wens verlopen en succesvol uitgevoerd. Er is een geformaliseerd beeld ontstaan van de samenhang tussen de externe ontwikkelingen. Wat betreft de bevindingen heerst er een algehele consensus tussen experts en het projectteam.

Literatuur

- Argent, R., R. Sodja, C. Giupponi, B. McIntosh, A. Voinov en R. Maier 2016. *Best practices for conceptual modelling in environmental planning and management*. Environmental Modelling & Software, 80, pp 113-121.
- Cormont, A., A.L. Gerritsen, C.J. Grashof-Bokdam, R. Michels N.B.P. Polman, P.J.F.M. Verweij, R. Pouwels en A. van Hinsberg 2022. *Modelleren in samenwerkingsverband*. Landschap: tijdschrift voor landschapsecologie en milieukunde, 39(3), pp 167-174.
- Ding, J. 2010. *Probabilistic inferences in Bayesian networks*. Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust. University of Luxembourg. DOI:10.5772/46968.
- Elsawah, S., T. Filatova, A.J. Jakeman, A.J. Kettner, M.L. Zellner, I.N. Athanasiadis, S.H. Hamilton, R.L. Axtell, D.G. Brown, J.M. Gilligan, M.A. Janssen, D.T. Robinson, J. Rozenberg, I.L.T. Ullah en S.J. Lade 2020. *Eight grand challenges in socioenvironmental systems modelling*. Socio-Environmental Systems Modelling, 2, 16226. <https://doi.org/10.18174/sesmo.2020a16226>.
- Gupta, H., M. Clark, J. Vrugt, G. Abramowitz en M. Ye 2012. Water resources research, 48(8).
- Gupta, H.V. and G.S. Nearing 2014. *Debates—The Future of Hydrological Sciences: A (Common) Path Forward? Using Models and Data to Learn: A Systems Theoretic Perspective on the Future of Hydrological Science*. Water Resources Research, 50, pp 5351-5359. <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR015096>.
- Hinsberg, A. van, M. Vonk, M. Hellegers en S. van der Esch 2024 Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Kaikkonen, L., T. Parviainen, M. Rahikainen, L. Uusitalo en A. Lehikoinen 2021. *Bayesian networks in environmental risk assessment: A review*. Integrated environmental assessment and management, 17 (1), pp 62-78.
- Kelly, R.A., A.J. Jakeman, O. Barreteau, M.E. Borsuk, S. ElSawah, S.H. Hamilton, H.J. Henriksen, S. Kuikka, H.R. Maier en A.E. Rizzoli 2013. *Selecting among five common modelling approaches for integrated environmental assessment and management*. Environ. Model. Softw., 47, pp. 159-181.
- Kohonen, T. 1995. *Self-Organizing Maps*. Springer-Verlag, Berlin.
- Molina, J.L., D. Pulido-Velázquez, J.L. García-Aróstegui, en M. Pulido-Velázquez 2013. *Dynamic Bayesian networks as a decision support tool for assessing climate change impacts on highly stressed groundwater systems*. J. Hydrol., 479 (2013), pp. 113-129.
- Norsys Software Corp. 2019. www.norsys.com/index.html (geraadpleegd op 12 mei 2023).
- Penk, M. R., M. Bruen, C.K. Feld, J.J. Piggott, M. Christie, C. Bullock en M. Kelly-Quinn 2022. *Using weighted expert judgement and nonlinear data analysis to improve Bayesian belief network models for riverine ecosystem services*. Science of the Total Environment, 851, 158065.
- Pollino, C.A., O. Woodberry, A. Nicholson, K. Korb en B.T. Hart 2007. *Parameterisation and evaluation of a Bayesian network for use in an ecological risk assessment*. Environ. Model. Softw., 22 (2007), pp. 1140-1152.
- Sperotto, A., J.L. Molina, S. Torresan, A. Critto en A. Marcomini 2017. *Reviewing Bayesian Networks potentials for climate change impacts assessment and management: A multi-risk perspective*. Journal of environmental management, 202, pp 320-331.
- Voinov, A. en E.J.B. Gaddis 2008. *Lessons for successful participatory watershed modelling: a perspective from modelling practitioners*, Ecological Modelling, 216, pp. 197-207.
- Wehrens, R. en J. Kruisselbrink 2018. *Flexible self-organizing maps in kohonen 3.0*. Journal of Statistical Software, 87, pp 1-18. doi: 10.18637/jss.v087.i07.

Verantwoording

WOT-technical report: 267

BAPS-projectnummer: WOT-04-011-044.01

Dit project werd begeleid door Rogier Pouwels (WOT Natuur & Milieu) en Arjen van Hinsberg (PBL). De werkwijze werd afgestemd in gemeenschappelijk overleg tussen PBL en WENR.

De auteurs bedanken alle externe experts voor hun bijdrage aan het tot stand komen van dit onderzoek.

Akkoord Extern contactpersoon

functie: projectleider 'Ecologische modellen en graadmeters'

naam: Arjen van Hinsberg

datum: 27-11-2024

Akkoord Intern contactpersoon

naam: Marlies Sanders

datum: 4-9-2024

Bijlage 1 Vragenlijst individuele expertperspectieven op externe ontwikkelingen

Expertbevraging: ontwikkelingen wat betreft het landbouw-natuursysteem

Vragenlijst versie 29 maart 2022

Inhoud

Inleiding	1
Gegevens	2
1 Introductie tot het thema: korte schets	2
2 Inventarisatie ontwikkelingen	2
3 Verdieping per ontwikkeling	2
A. Schets ontwikkeling	2
B. Effecten op het landbouw-natuursysteem	3
C. Anticiperen op ontwikkelingen en effecten daarvan op het landbouw-natuursysteem	3
4 Samenvatting in tabelvorm	4
5 Referenties	5
Bijlage 1: Schets landbouw-natuursysteem	6
Bijlage 2: Invulformulier - Verdieping per ontwikkeling	7
A. Schets ontwikkeling	7
B. Effecten op het landbouw-natuursysteem	8
C. Anticiperen op ontwikkelingen en effecten daarvan op het landbouw-natuursysteem	9

Inleiding

Deze vragenlijst maakt deel uit van het PBL-project 'Landbouw-natuurverkenning'. Onderdeel hiervan is het verzamelen van expertkennis omtrent ontwikkelingen die op het landbouw-natuursysteem in Nederland afkomen. Deze kennisbouwstenen gaan we de komende jaren voor diverse producten gebruiken. Eén hiervan is een beleidsrapport over de betekenis van de ontwikkelingen voor de toekomstbestendigheid van het landbouw-natuursysteem en de mogelijkheden voor het anticiperen op deze ontwikkelingen. Daarnaast maken we de resultaten hanteerbaar in een model, bijvoorbeeld in een Bayesiaans netwerk. We werken in dit project samen met de WOt en Wageningen Research.

Kennisverzameling met experts vindt in dit project plaats door middel van workshops, gesprekken en een *vragenlijst*. Het voorliggende document is deze vragenlijst. We willen je vragen de ontwikkelingen zo kernachtig mogelijk te duiden door deze vragen te beantwoorden, indien mogelijk ondersteund met cijfers, grafieken en referenties.

Graag zien we je ingevulde vragenlijst (eerst op hoofdlijnen) terug na ongeveer 2 weken. We zullen vervolgens met je in gesprek gaan naar aanleiding van je antwoorden. Tijdens dat overleg zullen we je vragen een aantal antwoorden verder uit te werken of te specificeren.

Gegevens

Naam:

Expertise - vanuit welk thema en welke kennis ga je de vragen beantwoorden:

- Klimaatverandering:
- Ruimte vraag vanuit andere sectoren:
- Sociaal-culturele veranderingen wereldwijd:
- Internationaal en EU-beleid:
- Technische ontwikkelingen en digitalisering:
- Gebruikers, ketenpartijen en investeerders:

1 Introductie tot het thema: korte schets

Beschrijf het thema waar vanuit jij de ontwikkelingen gaat benoemen. Welke elementen zijn belangrijk binnen dit thema in relatie tot het landbouw-natuursysteem tot 2050?

(max. halve pagina)

.....

2 Inventarisatie ontwikkelingen

Wat zie je, gezien jouw kennis, als mogelijke belangrijke externe ontwikkelingen die het landbouw-natuursysteem in Nederland richting 2050 zullen beïnvloeden? Benoem de ontwikkelingen kort (bijv. in een lijst, als bullets).

- ...
- ...
- ...
- ...

3 Verdieping per ontwikkeling

Vul onderstaande deelvragen A t/m C in per ontwikkeling. Hieronder zijn de vragen weergegeven. De formulieren voor de beantwoording vind je achteraan dit document (Bijlage 2). Kopieer deze voor elke ontwikkeling.

A. Schets ontwikkeling

Geef een nadere uitleg van de ontwikkeling. Beschrijf (indien mogelijk):

1. wat de ontwikkeling inhoudt
2. waar de ontwikkeling uit voortkomt
3. wat de trend in de ontwikkeling is geweest de afgelopen jaren
4. wat de toekomstige verwachting is wat betreft de richting van de ontwikkeling
5. wat de orde grootte van de ontwikkeling is
6. waar de ontwikkeling plaatsvindt (locatie)
7. wat belangrijke factoren zijn die de ontwikkeling beïnvloeden of (bij)sturen
8. hoe deze factoren de ontwikkeling kunnen sturen
9. wat onzekerheden zijn die de ontwikkelingen beïnvloeden

Geef argumentatie en waar mogelijk voorbeelden en referenties. Liefst met een of meerdere figuren (bijvoorbeeld van de trend van de afgelopen jaren en de toekomstige verwachtingen). Geef daarbij waar mogelijk kwantitatieve informatie.

B. Effecten op het landbouw-natuursysteem

Benoem concrete effecten van de ontwikkelingen op het landbouw-natuur systeem. Beschrijf per ontwikkeling:

1. **waar deze effect heeft op het landbouw-natuursysteem** (*onderdeel van het systeem, te benoemen aan de hand van de systeemschets van de drie domeinen – zie figuur/bijlage*)
2. **op welke manier de ontwikkeling aangrijpt op het landbouw-natuursysteem** (*versterkend of verzwakkend effect op onderdeel van het landbouw-natuursysteem*)
3. **de orde grootte van het effect op het landbouw-natuursysteem** (*verwaarloosbaar, gering, matig, ingrijpend, ernstig*)
4. **de onzekerheden over de omvang en richting van dit effect en eventuele onomkeerbaarheid**
5. **welke risico's voor het landbouw-natuursysteem je ziet**
6. **welke kansen voor het landbouw-natuursysteem je ziet**
7. **andere factoren die mogelijk ook dit effect/deze effecten hebben**

Geef ook hier weer een argumentatie en waar mogelijk voorbeelden en referenties. Liefst met een of meerdere figuren. Geef daarbij waar mogelijk kwantitatieve informatie.

C. Anticiperen op ontwikkelingen en effecten daarvan op het landbouw-natuursysteem

Welke mogelijkheden zijn er om te anticiperen op de ontwikkelingen? En welke mogelijkheden zijn er om mogelijk negatieve effecten op te vangen?

4 Samenvatting in tabelvorm

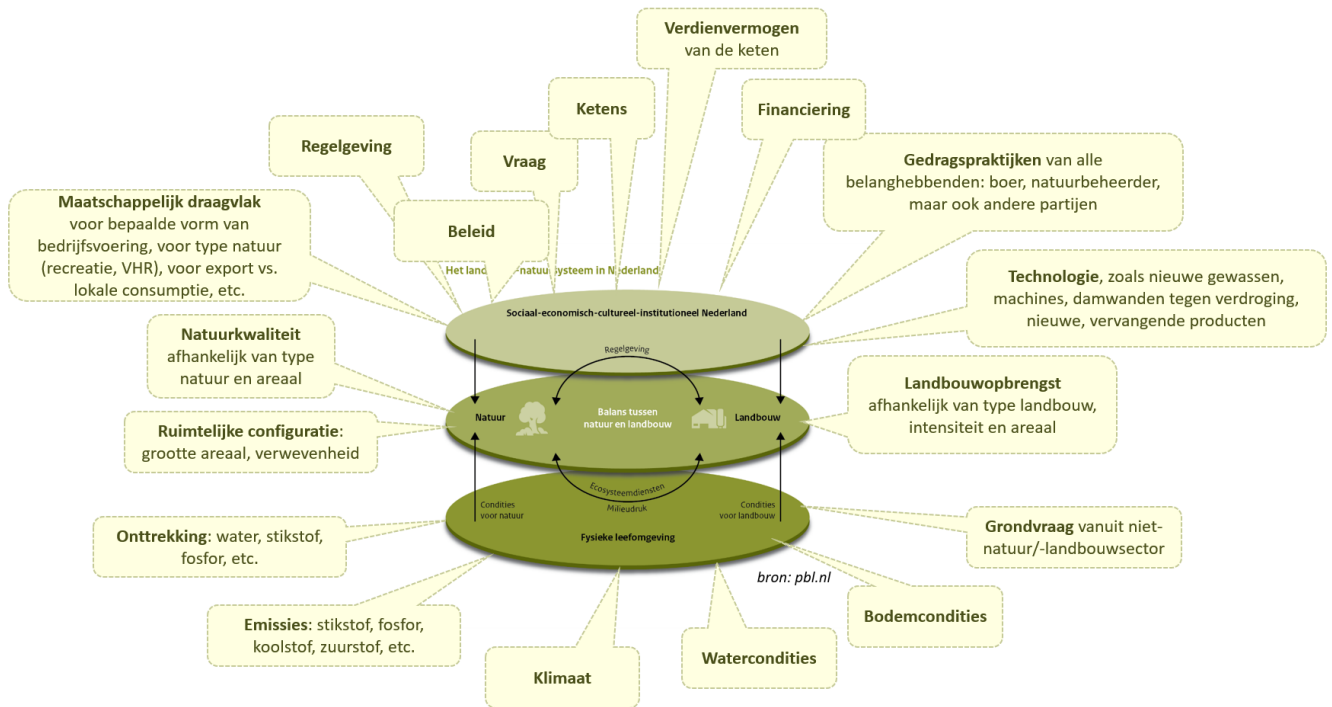
Voor verdere verwerking willen we je vragen je antwoorden op een aantal vragen samen te vatten in onderstaande tabel, per ontwikkeling en effect:

2	3A.6	3A.7	3A.8	3B.1	3B.2	3B.3	3B.4	3B.7
<i>Ontwikkeling</i>	<i>Locatie ontwikkeling</i>	<i>Welke factoren de ontwikkeling sturen</i>	<i>Hoe de factoren de ontwikkeling sturen</i>	<i>Waar effect op het landbouw-natuursysteem</i>	<i>Hoe effect op het landbouw-natuursysteem (versterkend, verzwakkend)</i>	<i>Orde grootte effect (verwaarloosbaar, gering, matig, ingrijpend, ernstig)</i>	<i>Onzekerheid wat betreft vraag 3B.2 en 3B.3</i>	<i>Andere factoren die mogelijk ook dit effect hebben</i>

5 Referenties

Geef een overzicht van relevante literatuur en bronnen, plus eventueel namen experts/organisaties om te benaderen.

Bijlage 1: Schets landbouw-natuursysteem



Bijlage 2: Invulformulier - Verdieping per ontwikkeling

Vul onderstaande deelvragen A t/m C in per ontwikkeling. Kopieer dit formulier voor elke ontwikkeling.

Tip: kopieer het formulier steeds vóórdat je het gaat invullen, zodat je een leeg formulier hebt voor de volgende ontwikkeling.

Geef argumentatie en waar mogelijk voorbeelden en referenties. Liefst met een of meerdere figuren (bijvoorbeeld van de trend van de afgelopen jaren en de toekomstige verwachtingen). Geef daarbij waar mogelijk kwantitatieve informatie.

A. Schets ontwikkeling

Geef een nadere uitleg van de ontwikkeling. Beschrijf (indien mogelijk):

1. wat de ontwikkeling inhoudt

....

2. waar de ontwikkeling uit voortkomt

....

3. wat de trend in de ontwikkeling is geweest de afgelopen jaren

....

4. wat de toekomstige verwachting is wat betreft de richting van de ontwikkeling

....

5. wat de orde grootte van de ontwikkeling is

....

6. waar de ontwikkeling plaatsvindt (locatie)

....

7. wat belangrijke factoren zijn die de ontwikkeling beïnvloeden of (bij)sturen

....

8. hoe deze factoren de ontwikkeling kunnen sturen

....

9. wat onzekerheden zijn die de ontwikkelingen beïnvloeden

....

B. Effecten op het landbouw-natuursysteem

Benoem concrete effecten van de ontwikkelingen op het landbouw-natuur systeem. Beschrijf per ontwikkeling:

1. waar deze effect heeft op het landbouw-natuursysteem (*onderdeel van het systeem, te benoemen aan de hand van de systeemschets van de drie domeinen – zie figuur/bijlage*)

....

2. op welke manier de ontwikkeling aangrijpt op het landbouw-natuursysteem (*versterkend of verzwakkend effect op onderdeel van het landbouw-natuursysteem*)

....

3. de orde grootte van het effect op het landbouw-natuursysteem (*verwaarloosbaar, gering, matig, ingrijpend, ernstig*)

...

4. de onzekerheden over de omvang en richting van dit effect en eventuele onomkeerbaarheid

....

5. welke risico's voor het landbouw-natuursysteem je ziet

....

6. welke kansen voor het landbouw-natuursysteem je ziet

....

7. andere factoren die mogelijk ook dit effect/deze effecten hebben

....

C. Anticiperen op ontwikkelingen en effecten daarvan op het landbouw-
natuursysteem

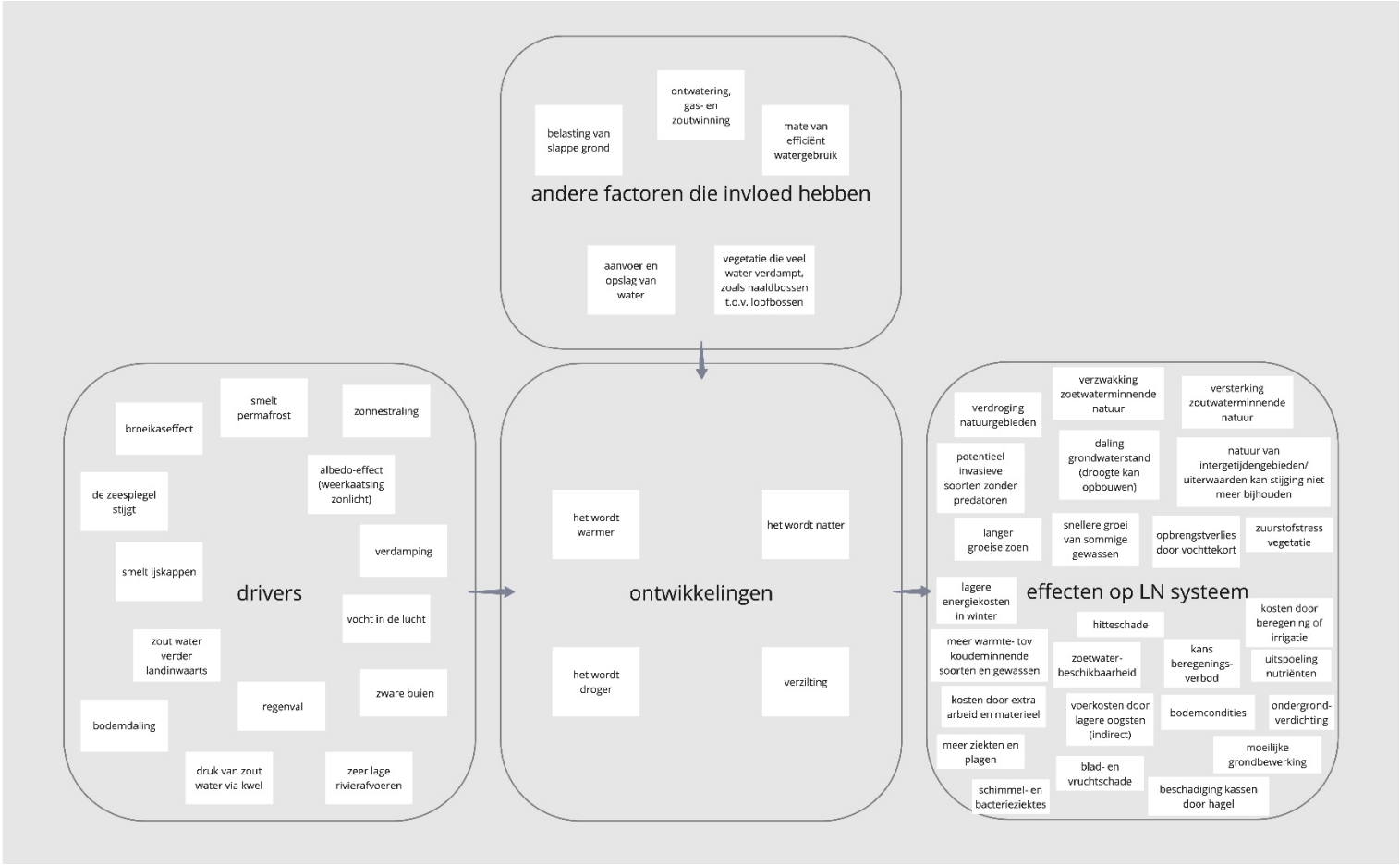
Welke mogelijkheden zijn er om te anticiperen op de ontwikkelingen?

....

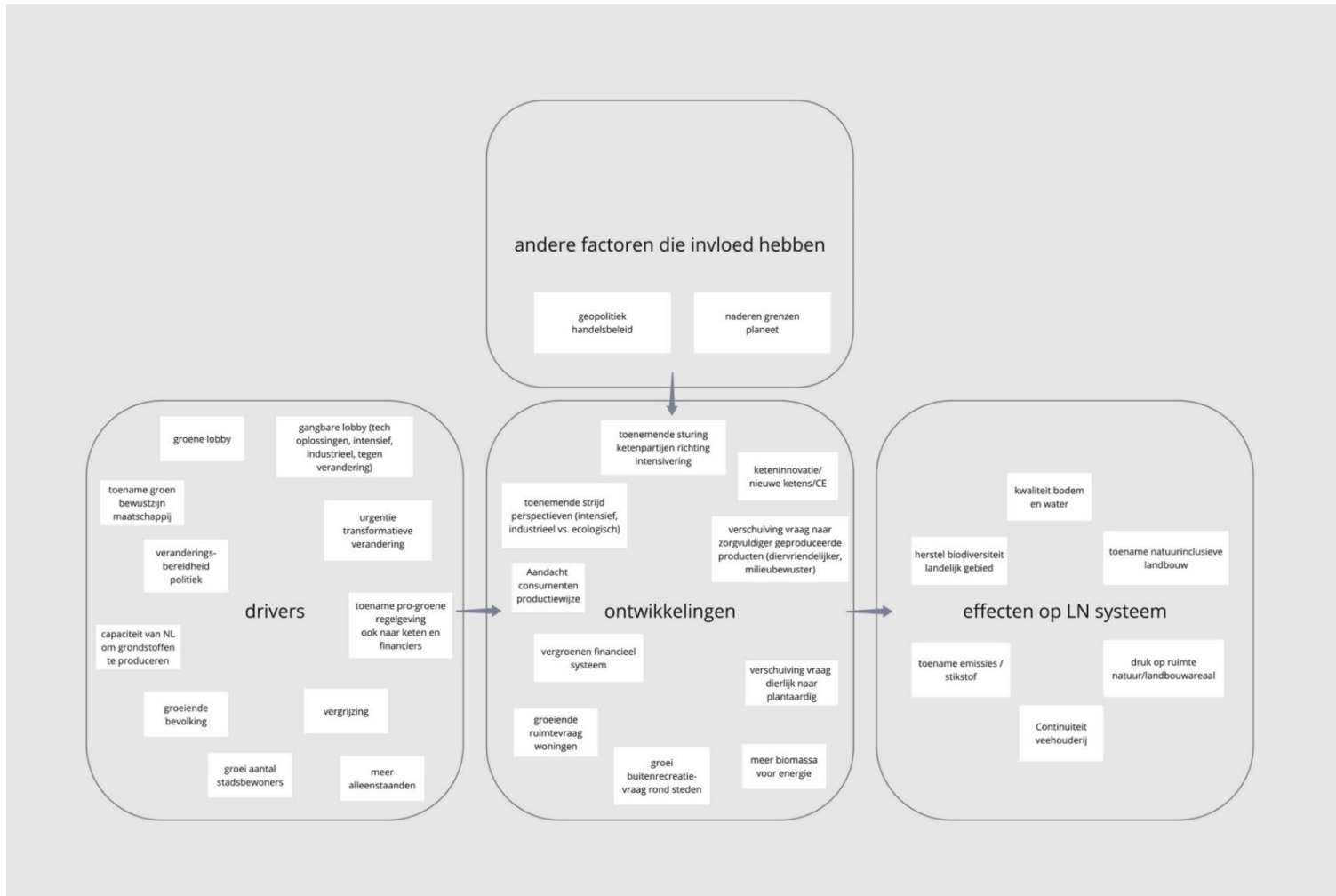
En welke mogelijkheden zijn er om mogelijk negatieve effecten op te vangen?

....

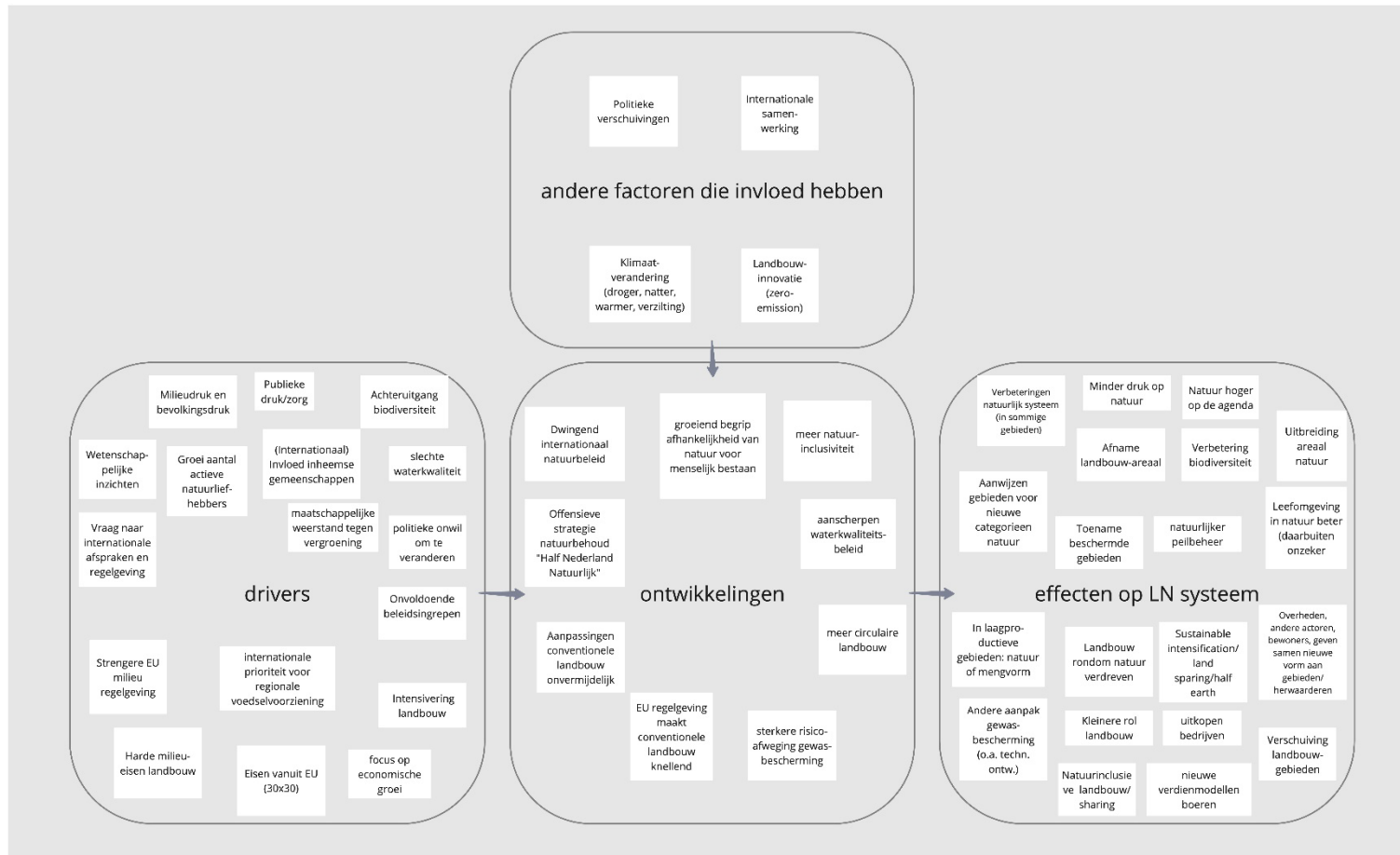
Bijlage 2 Conceptueel model per thema, gebaseerd op de input van de experts



Conceptueel model voor het thema klimaatverandering, gebaseerd op de input van de expertinterviews.



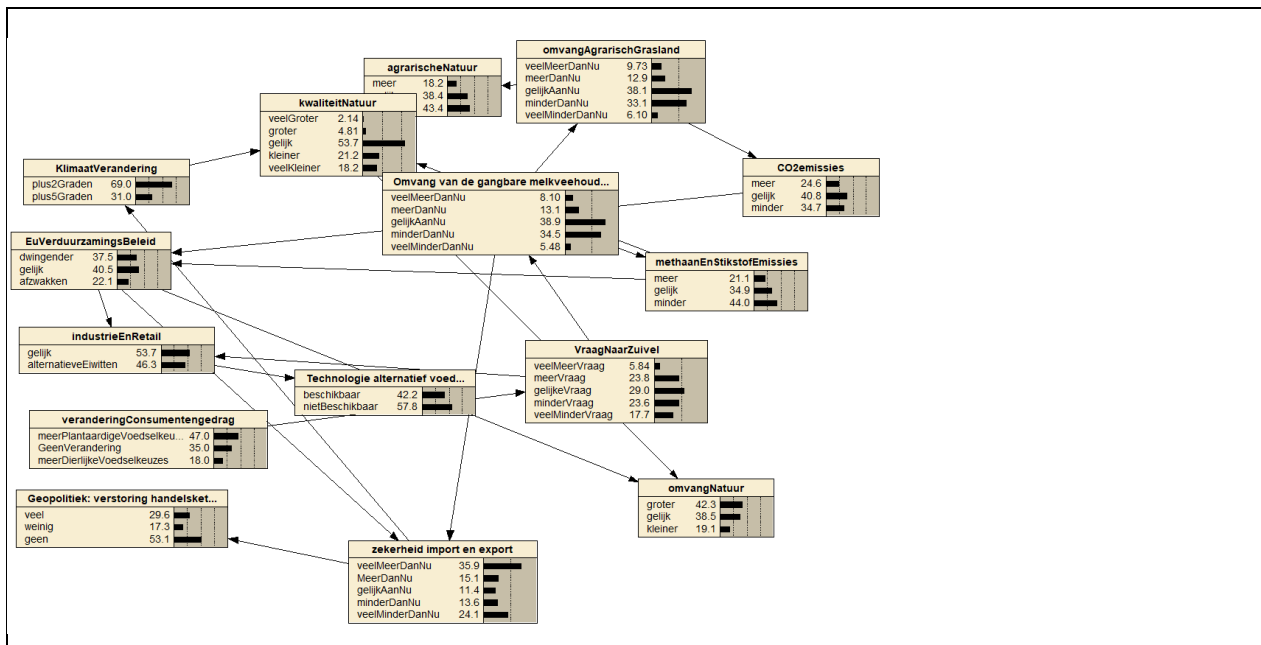
Conceptueel model voor het thema ketenpartijen, gebaseerd op de input van de expertinterviews.



Conceptueel model voor het thema internationaal beleid en sociaal-culturele ontwikkelingen, gebaseerd op de input van de expertinterviews.

Bijlage 3 Onderliggende redenering bij waarschijnlijkheidstabellen causale BBNs

Causale BBN voor melkveehouderij op veen



Node en betrokken relaties met andere nodes*	Waarschijnlijkheidstabel	Redenering
Klimaatverandering: • zekerheid import en export	A	Bij gematigde klimaatverandering is het waarschijnlijker dat de leveringszekerheid (import- en exportproducten) groter is dan bij een sterke klimaatverandering. Bij 2 graden temperatuurstijging is er minder verstoring in de wereld door klimaatverandering in de voedselvoorziening dan bij 5 graden. Bij 5 graden is normale voedselvoorziening niet meer goed mogelijk. Het gaat hier om voedselvoorziening in het algemeen, niet alleen voor dieren.
EU verduurzamingsbeleid: • methaan en stikstofemissies • CO ₂ -emissies	B	Bij een dwingend EU-verduurzamingsbeleid is het waarschijnlijker dat de uitstoot (emissie van methaan, stikstof en CO ₂) lager is dan bij een afgezwakt EU-verduurzamingsbeleid. Onder EU-verduurzamingsbeleid verstaan we de combinatie van het handelsbeleid, het natuurbeleid, het milieubeleid, het ketenbeleid en het klimaatbeleid, waarbij ook het resultaat van lobbypartijen is meegenomen.
Industrie en retail: • EU verduurzamingsbeleid • vraag naar zuivel	C	Bij een grotere productie en verkoop van alternatieve, niet-dierlijke zuivelproducten is het waarschijnlijker dat er een dwingend EU-verduurzamingsbeleid heerst en dat de vraag naar dierlijke zuivel klein is. Hierbij past ook dwingend klimaatbeleid richting keten om voetafdrukken ketenpartijen te laten dalen, als onderdeel van het EU verduurzamingsbeleid.
Verandering consumentengedrag: -	D	Bij een groeiende vraag naar plantaardig voedsel past een verminderde vraag naar melk. Inge vulde relaties zijn gebaseerd op rapport 'have you reduced/are you willing to reduce red meat consumption due to environmental reasons?' https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733676/EPRS_BRI(2022)733676_EN.pdf
Geopolitiek - verstoring handelsketens: • zekerheid import en export	E	Bij een grotere verstoring van de handelsketens als gevolg van geopolitieke verhoudingen is het waarschijnlijker dat de leveringszekerheid (import- en exportproducten) kleiner is. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om verstoringen i.v.m. sancties over andere handelsbeperkingen.
Technologie alternatief voedsel: • industrie en retail	F	Bij een grotere technologische ontwikkeling in alternatief, niet-dierlijk voedsel is het waarschijnlijker dat de productie en verkoop van alternatieve, niet-dierlijke zuivelproducten groter is.

Zekerheid import en export: • EU verduurzamingsbeleid • omvang van de gangbare melkveehouderij	G	Het is waarschijnlijker dat bij een grote leveringszekerheid het EU-beleid duurzamer is en de omvang van de gangbare melkveehouderij groot is.
Vraag naar zuivel: • verandering consumentengedrag	H	Bij een grotere vraag naar zuivel is het waarschijnlijker dat consumenten meer voedselkeuzes maken voor meer dierlijke producten.
Kwaliteit natuur: • klimaatverandering • methaan en stikstofemissies	I	Bij een grotere kwaliteit van de natuur is het waarschijnlijker dat we te maken hebben met een gematigde klimaatverandering en lagere methaan- en stikstofemissies. Bij gelijke emissies is de input van de waarschijnlijkheidstabel analoog gesteld aan berekening MNP-model voor klimaatverandering. Daarnaast aangenomen dat ca 15% van de soorten in agrarisch gebied ook voorkomen in natuur (bijv. bij boerenland broedvogels ca 27 van de 196).
Agrarische natuur (omvang): • kwaliteit natuur • omvang agrarisch grasland	J	Bij een grotere omvang van de agrarische natuur (bijv. meer agrarisch natuurbeheer met een groot aantal weidevogels en landschapselementen) is het waarschijnlijker dat de kwaliteit van de natuur groter is en dat het areaal (intensief) agrarisch grasland kleiner is. Als proxy gebruiken we de huidige/historische trend in het aantal vlinders of boerenlandvogels. Gebaseerd op trend van de afgelopen 10 jaar van de soorten. CLO indicator 1580, percentage soorten met trend, alle soorten: https://www.clo.nl/indicatoren/nl158006-trend-fauna-agrarisch
Omvang agrarisch grasland: • omvang van de gangbare melkveehouderij	K	Bij een groter areaal agrarisch grasland is het waarschijnlijker dat de omvang van de gangbare melkveehouderij groter is.
Omvang van de gangbare melkveehouderij: • vraag naar zuivel	L	Bij een grotere omvang van de gangbare melkveehouderij is het waarschijnlijker dat de vraag naar zuivel groter is.
CO ₂ -emissies: • omvang agrarisch grasland	M	Bij een grotere uitstoot van CO ₂ is het waarschijnlijker dat het areaal agrarisch grasland groter is, vanwege de uitstoot bij oxidatie van veen.
Methaan- en stikstofemissies: • omvang van de gangbare melkveehouderij	N	Bij een grotere uitstoot van methaan en stikstof is het waarschijnlijker dat de omvang van de gangbare melkveehouderij groter is.
Omvang natuur: • EU verduurzamingsbeleid • kwaliteit natuur	O	Bij een groter areaal natuur is het waarschijnlijker dat er een dwingend EU-verduurzamingsbeleid heerst en dat de kwaliteit van de natuur groot is. De kans op een groter areaal is het meest logisch bij stringenter EU-verduurzamingsbeleid en een hoge kwaliteit van de natuur. En het kleinst onder de voorwaarde van een afgezwakt EU-verduurzamingsbeleid met kleinere natuurkwaliteit. Als het EU-verduurzamingsbeleid dwingend wordt, zal de omvang van de natuur naar verwachting toenemen. De kwaliteit van de natuur hangt eerder van andere zaken af. Andersom geredeneerd, geldt dat bij een grotere oppervlakte natuur de kwaliteit ook zal toenemen, maar die relatie is minder sterk dan dat het areaal zal toenemen als gevolg van een dwingend EU-verduurzamingsbeleid. Als het EU-verduurzamingsbeleid afgezwakt wordt, is de verwachting dat het natuurareaal nog gelijk blijft.

* Nodes hebben alleen waarschijnlijkheidstabellen bij voedende relaties (pijlen die naar de node toewijzen). Soms zijn de pijlen omgekeerd waardoor het lijkt alsof de causale relatie andersom loop. Dit is echter een technische oplossing om het vullen van de tabellen te vergemakkelijken.

Waarschijnlijkheidstabellen:

A (klimaatverandering)

zekerheid import en export	plus2Grad...	plus5Grad...
veelMeerDanNu	99	1
MeerDanNu	90	10
gelijkAanNu	85	15
minderDanNu	40	60
veelMinderDanNu	20	80

B (EU verduurzamingsbeleid)

methaanEn StikstofEmissies	CO2emissies	dwingen...	gelijk	afzwakken
meer	meer	1	9	90
meer	gelijk	5	35	60
meer	minder	5	90	5
gelijk	meer	5	35	60
gelijk	gelijk	5	90	5
gelijk	minder	60	35	5
minder	meer	5	90	5
minder	gelijk	60	35	5
minder	minder	90	9	1

C (industrie en retail)

EuVerduurzamingsBeleid	VraagNaarZuivel	gelijk	alternatieveEiwitten
dwingender	veelMeerVraag	50	50
dwingender	meerVraag	40	60
dwingender	gelijkeVraag	30	70
dwingender	minderVraag	20	80
dwingender	veelMinderVraag	1	99
gelijk	veelMeerVraag	90	10
gelijk	meerVraag	80	20
gelijk	gelijkeVraag	70	30
gelijk	minderVraag	60	40
gelijk	veelMinderVraag	50	50
afzwakken	veelMeerVraag	99	1
afzwakken	meerVraag	90	10
afzwakken	gelijkeVraag	80	20
afzwakken	minderVraag	70	30
afzwakken	veelMinderVraag	60	40

D (verandering consumentengedrag)

meerPlantaardigeVoedselkeu...	GeenVerandering	meerDierlijkeVoedselkeuzes
47	35	18

E (geopolitiek – verstoring handelsketens)

zekerheid import en export	veel	weinig	geen
veelMeerDanNu	5	10	85
MeerDanNu	10	20	70
gelijkAanNu	15	25	60
minderDanNu	30	40	30
veelMinderDanNu	85	10	5

F (technologie alternatief voedsel)

industrieEnRetail	beschikbaar	nietBeschikbaar
gelijk	1	99
alternatieveEiwitten	90	10

G (zekerheid import en export)

EuVerduurzamingsBeleid	Omvang van de gangbare melk...	veelMeerDanNu	MeerDanNu	gelijkAanNu	minderDanNu	veelMinderDa...
dwingender	veelMeerDanNu	96	1	1	1	1
dwingender	meerDanNu	90	5	3	1	1
dwingender	gelijkAanNu	80	8	5	5	2
dwingender	minderDanNu	2	8	10	25	55
dwingender	veelMinderDanNu	2	3	10	20	65
gelijk	veelMeerDanNu	85	9	4	1	1
gelijk	meerDanNu	75	10	10	3	2
gelijk	gelijkAanNu	45	25	15	10	5
gelijk	minderDanNu	5	10	15	25	45
gelijk	veelMinderDanNu	2	3	10	10	75
afzakken	veelMeerDanNu	70	14	11	3	2
afzakken	meerDanNu	65	20	10	3	2
afzakken	gelijkAanNu	55	25	10	8	2
afzakken	minderDanNu	2	5	5	8	80
afzakken	veelMinderDanNu	1	1	3	5	90

H (vraag naar zuivel)

veranderingConsumentengedrag	veelMeerVraag	meerVraag	gelijkeVraag	minderVraag	veelMinderVra...
meerPlantaardigeVoedselkeuzes	1	9	20	35	35
GeenVerandering	3	20	54	20	3
meerDierlijkeVoedselkeuzes	24	70	4	1	1

I (kwaliteit natuur)

KlimaatVerandering	methaanEnStikstofEmissies	veelGroter	groter	gelijk	kleiner	veelKleiner
plus2Graden	meer	1	2	43	22	32
plus2Graden	gelijk	2	4	58	24	12
plus2Graden	minder	4	8	64	16	8
plus5Graden	meer	1	2	43	20	34
plus5Graden	gelijk	1	3	40	28	28
plus5Graden	minder	2	6	52	20	20

J (Agrarische natuur – omvang)

kwaliteitNatuur	omvangAgrarischGrasland	meer	gelijk	minder
veelGroter	veelMeerDanNu	18	44	38
veelGroter	meerDanNu	25	50	25
veelGroter	gelijkAanNu	50	40	10
veelGroter	minderDanNu	60	30	10
veelGroter	veelMinderDanNu	70	20	10
groter	veelMeerDanNu	13	37	50
groter	meerDanNu	18	44	38
groter	gelijkAanNu	25	50	25
groter	minderDanNu	50	40	10
groter	veelMinderDanNu	60	30	10
gelijk	veelMeerDanNu	5	25	70
gelijk	meerDanNu	13	37	50
gelijk	gelijkAanNu	18	44	38
gelijk	minderDanNu	25	50	25
gelijk	veelMinderDanNu	50	40	10
kleiner	veelMeerDanNu	3	17	80
kleiner	meerDanNu	5	25	70
kleiner	gelijkAanNu	13	37	50
kleiner	minderDanNu	18	44	38
kleiner	veelMinderDanNu	25	50	25
veelKleiner	veelMeerDanNu	2	8	90
veelKleiner	meerDanNu	3	17	80
veelKleiner	gelijkAanNu	5	25	70
veelKleiner	minderDanNu	13	37	50
veelKleiner	veelMinderDanNu	18	44	38

K (omvang agrarisch grasland)

Omvang van de gangbare melk...	veelMeerDanNu	meerDanNu	gelijkAanNu	minderDanNu	veelMinderDa...
veelMeerDanNu	70	27	1	1	1
meerDanNu	25	70	3	1	1
gelijkAanNu	1	3	94	1	1
minderDanNu	1	1	3	94	1
veelMinderDanNu	1	1	1	3	94

L (omvang van de gangbare melkveehouderij)

VraagNaarZuivel	veelMeerDanNu	meerDanNu	gelijkAanNu	minderDanNu	veelMinderDa...
veelMeerVraag	45	35	10	9	1
meerVraag	20	40	25	14	1
gelijkeVraag	1	3	75	20	1
minderVraag	1	2	35	60	2
veelMinderVraag	1	1	13	60	25

M (CO₂-emissies)

omvangAgrarischGrasland	meer	gelijk	minder
veelMeerDanNu	95	3	2
meerDanNu	90	8	2
gelijkAanNu	5	90	5
minderDanNu	5	15	80
veelMinderDanNu	2	3	95

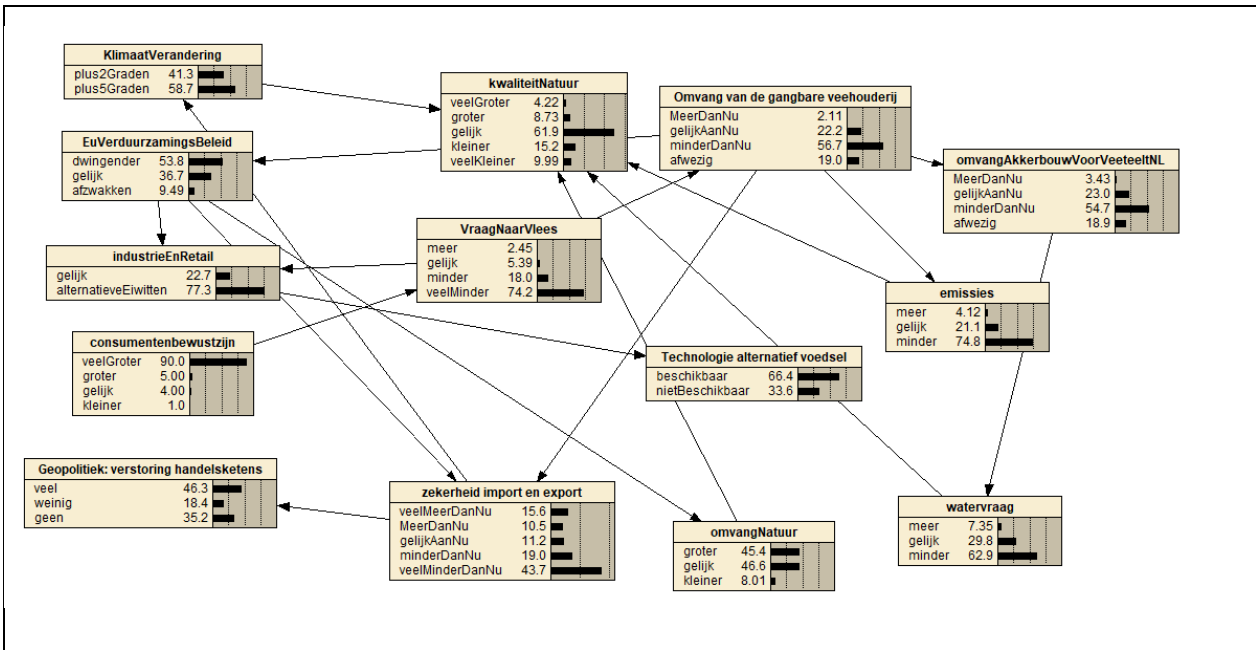
N (methaan- en stikstofemissies)

Omvang van de gangbare melk...	meer	gelijk	minder
veelMeerDanNu	98	1	1
meerDanNu	80	15	5
gelijkAanNu	5	80	15
minderDanNu	2	5	93
veelMinderDanNu	1	1	98

O (omvang natuur)

EuVerduurzamingsBeleid	kwaliteitNatuur	groter	gelijk	kleiner
dwingender	veelGroter	90	8	2
dwingender	groter	81	15	4
dwingender	gelijk	63	27	10
dwingender	kleiner	51	35	14
dwingender	veelKleiner	40	42	18
gelijk	veelGroter	65	25	10
gelijk	groter	54	32	14
gelijk	gelijk	43	37	20
gelijk	kleiner	26	52	22
gelijk	veelKleiner	48	27	25
afzwakken	veelGroter	39	37	24
afzwakken	groter	38	37	25
afzwakken	gelijk	22	48	30
afzwakken	kleiner	14	58	28
afzwakken	veelKleiner	6	64	30

Causale BBN voor gangbare veehouderij



Node en betrokken relaties met andere nodes*	Waarschijnlijkheidstabel	Redenering
Klimaatverandering: • zekerheid import en export	A	Bij gematigde klimaatverandering is het waarschijnlijker dat de leveringszekerheid (import- en exportproducten) groter is dan bij een sterke klimaatverandering. Bij 2 graden temperatuurstijging is er minder verstoring in de wereld door klimaatverandering in de voedselvoorziening dan bij 5 graden. Bij 5 graden is normale voedselvoorziening niet meer goed mogelijk. Het gaat hier om voedselvoorziening in het algemeen, niet alleen voor dieren.
EU verduurzamingsbeleid: • omvang van de gangbare veehouderij	B	Bij een dwingender EU-verduurzamingsbeleid is het waarschijnlijker dat de omvang van de gangbare veehouderij kleiner is dan bij een afgezwakt EU-verduurzamingsbeleid. Onder EU-verduurzamingsbeleid verstaan we de combinatie van het handelsbeleid, het natuurbeleid, het milieubeleid, het ketenbeleid en het klimaatbeleid, waarbij ook het resultaat van lobbypartijen is meegenomen.
Industrie en retail: • vraag naar vlees • EU verduurzamingsbeleid	C	Bij een grotere productie en verkoop van alternatieve, niet-dierlijke vleesvervangers is het waarschijnlijker dat er een dwingender EU-verduurzamingsbeleid heerst en dat de vraag naar vlees klein is.
Consumentenbewustzijn: -	D	Gebaseerd op rapport 'have you reduced/are you willing to reduce red meat consumption due to environmental reasons?' https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733676/EPRS_BRI(2022)733676_EN.pdf Bevat bewustzijn, actiebereidheid, gedragsverandering, desinteresse.
Geopolitiek - verstoring handelsketens: • zekerheid import en export	E	Bij een grotere verstoring van de handelsketens als gevolg van geopolitieke verhoudingen is het waarschijnlijker dat de leveringszekerheid (import- en exportproducten) kleiner is.
Technologie alternatief voedsel: • industrie en retail	F	Bij een grotere technologische ontwikkeling in alternatief, niet-dierlijk voedsel is het waarschijnlijker dat de productie en verkoop van alternatieve, niet-dierlijke producten groter is.
Zekerheid import en export: • EU verduurzamingsbeleid • omvang van de gangbare veehouderij	G	Bij een grotere leveringszekerheid (import- en exportproducten) is het waarschijnlijker dat er een dwingender EU-verduurzamingsbeleid heerst en dat de omvang van de gangbare veehouderij groot is. Overigens loopt er ook een relatie tussen EU verduurzamingsbeleid en de omvang van de gangbare veehouderij (zie B).
Vraag naar vlees: • consumentenbewustzijn	H	Bij een grotere vraag naar vlees is het waarschijnlijker dat consumenten meer voedselkeuzes maken voor meer dierlijke producten. We gaan uit van de huidige afzetmarkt van met name EU-consumenten.
Kwaliteit natuur: • omvang natuur • watervraag • emissies • klimaatverandering	I	Bij een grotere kwaliteit van de natuur is het waarschijnlijker dat we te maken hebben met een gematigde klimaatverandering, lagere emissies, een lagere watervraag uit de landbouw en een groter areaal natuur. We hebben hier te maken met vier factoren die de kwaliteit van de natuur beïnvloeden. Een verslechtering en een verbetering ten opzichte van de huidige situatie laten we in principe even zwaar meewegen, echter een negatief effect zal naar verwachting iets groter zijn, omdat verbetering meer tijd vergt.

Omvang akkerbouw voor veeteelt: • omvang van de gangbare veehouderij	J	Bij een groter areaal van de akkerbouw voor veeteelt is het waarschijnlijker dat de omvang van de gangbare veehouderij ook groter is.
Omvang van de gangbare veehouderij: • vraag naar vlees	K	Bij een grotere omvang van de gangbare veehouderij is het waarschijnlijker dat de vraag naar vlees groter is. Het gaat hierbij niet alleen om de omvang, maar ook om de intensiteit.
Emissies: • omvang van de gangbare veehouderij	L	Bij een grotere uitstoot van methaan, stikstof en CO ₂ is het waarschijnlijker dat de omvang van de gangbare veehouderij groter is.
Watervraag: • omvang akkerbouw voor veeteelt	M	Bij een grotere watervraag is het waarschijnlijker dat de omvang van de akkerbouw voor gangbare veehouderij groter is.
Omvang natuur: • EU verduurzamingsbeleid	N	Bij een groter areaal natuur is het waarschijnlijker dat er een dwingender EU-verduurzamingsbeleid heerst. Bij een dwingender EU-verduurzamingsbeleid gaan we ervan uit dat de natuur in elk geval niet kleiner wordt. Verduurzamingsbeleid zal wellicht invloed hebben op de oppervlakte natuur, bijv. via Half earth, EU biodiversiteitsstrategie. Bij gelijk blijvend EU-verduurzamingsbeleid is het niet ondenkbaar dat de oppervlakte natuur door alle tegenkrachten kleiner wordt. Met name de landschapselementen zullen verdwijnen. Bij een afzwakkend EU-verduurzamingsbeleid is de verwachting dat alleen het N2000-areaal gelijk blijft. Dat is de helft van het natuuroppervlak. De rest kan veranderen. Dan komen we op 40%.

* Nodes hebben alleen waarschijnlijkheidstabellen bij voedende relaties (pijlen die naar de node toewijzen). Soms zijn de pijlen omgekeerd waardoor het lijkt alsof de causale relatie andersom loop. Dit is echter een technische oplossing om het vullen van de tabellen te vergemakkelijken.

Waarschijnlijkheidstabellen:

A (klimaatverandering)

zekerheid import en export	plus2Grad...	plus5Grad...
veelMeerDanNu	80	20
MeerDanNu	60	40
gelijkAanNu	55	45
minderDanNu	40	60
veelMinderDanNu	20	80

B (EU verduurzamingsbeleid)

Omvang van de gangbare veeh...	dwingen...	gelijk	afzwakken
MeerDanNu	5	35	60
gelijkAanNu	20	60	20
minderDanNu	60	35	5
afwezig	80	15	5

C (industrie en retail)

VraagNaarVlees	EuVerduurzamingsBeleid	gelijk	alternatieveEiwitten
meer	dwingender	60	40
meer	gelijk	80	20
meer	afzwakken	90	10
gelijk	dwingender	35	65
gelijk	gelijk	55	45
gelijk	afzwakken	85	15
minder	dwingender	20	80
minder	gelijk	35	65
minder	afzwakken	90	10
veelMinder	dwingender	10	90
veelMinder	gelijk	20	80
veelMinder	afzwakken	40	60

D (consumentenbewustzijn)

veelGroter	groter	gelijk	kleiner
90	5	4	1

E (geopolitiek – verstoring handelsketens)

zekerheid import en export	veel	weinig	geen
veelMeerDanNu	5	10	85
MeerDanNu	10	20	70
gelijkAanNu	15	25	60
minderDanNu	30	40	30
veelMinderDanNu	85	10	5

F (technologie alternatief voedsel)

industrieEnRetail	beschikbaar	nietBeschikbaar
gelijk	20	80
alternatieveEiwitten	80	20

G (zekerheid import en export)

EuVerdu...	Omvang ...	veelMe...	MeerDa...	gelijkA...	minder...	veelMin...
dwingender	MeerDanNu	90	5	3	1	1
dwingender	gelijkAanNu	80	8	5	5	2
dwingender	minderDa...	2	8	10	25	55
dwingender	afwezig	2	3	10	20	65
gelijk	MeerDanNu	75	10	10	3	2
gelijk	gelijkAanNu	45	25	15	10	5
gelijk	minderDa...	5	10	15	25	45
gelijk	afwezig	2	3	10	10	75
afzwakken	MeerDanNu	65	20	10	3	2
afzwakken	gelijkAanNu	55	25	10	8	2
afzwakken	minderDa...	2	5	5	8	80
afzwakken	afwezig	1	1	3	5	90

H (vraag naar vlees)

consume...	meer	gelijk	minder	veelMin...
veelGroter	1	4	15	80
groter	5	15	40	40
gelijk	15	20	60	5
kleiner	70	24	5	1

I (kwaliteit natuur)

omvangNatuur	emissies	watervraag	KlimaatVerandering	veelGroter	groter	gelijk	kleiner	veelKleiner
groter	meer	meer	plus2Graden	1	3	72	22	2
groter	meer	meer	plus5Graden	1	1	35	32	31
groter	meer	gelijk	plus2Graden	1	3	72	22	2
groter	meer	gelijk	plus5Graden	1	1	35	32	31
groter	meer	minder	plus2Graden	5	13	72	8	2
groter	meer	minder	plus5Graden	3	3	62	19	13
groter	gelijk	meer	plus2Graden	1	3	72	22	2
groter	gelijk	meer	plus5Graden	1	1	35	32	31
groter	gelijk	gelijk	plus2Graden	5	15	74	5	1
groter	gelijk	gelijk	plus5Graden	3	5	67	15	10
groter	gelijk	minder	plus2Graden	9	25	64	1	1
groter	gelijk	minder	plus5Graden	5	7	85	2	1
groter	minder	meer	plus2Graden	5	13	72	8	2
groter	minder	meer	plus5Graden	3	3	62	19	13
groter	minder	gelijk	plus2Graden	9	25	64	1	1
groter	minder	gelijk	plus5Graden	5	7	85	2	1
groter	minder	minder	plus2Graden	13	35	50	1	1
groter	minder	minder	plus5Graden	7	9	82	1	1
gelijk	meer	meer	plus2Graden	1	3	72	22	2
gelijk	meer	meer	plus5Graden	1	1	35	32	31
gelijk	meer	gelijk	plus2Graden	1	3	68	23	5
gelijk	meer	gelijk	plus5Graden	1	1	23	40	35
gelijk	meer	minder	plus2Graden	1	3	72	22	2
gelijk	meer	minder	plus5Graden	1	1	35	32	31
gelijk	gelijk	meer	plus2Graden	1	3	68	23	5
gelijk	gelijk	meer	plus5Graden	1	1	23	40	35
gelijk	gelijk	gelijk	plus2Graden	1	5	74	19	1
gelijk	gelijk	gelijk	plus5Graden	1	3	40	28	28
gelijk	gelijk	minder	plus2Graden	5	15	74	5	1
gelijk	gelijk	minder	plus5Graden	3	5	67	15	10
gelijk	minder	meer	plus2Graden	1	3	72	22	2
gelijk	minder	meer	plus5Graden	1	1	35	32	31
gelijk	minder	gelijk	plus2Graden	5	15	74	5	1
gelijk	minder	gelijk	plus5Graden	3	5	67	15	10
gelijk	minder	minder	plus2Graden	1	3	72	22	2
gelijk	minder	minder	plus5Graden	1	1	35	32	31
kleiner	meer	meer	plus2Graden	1	1	54	31	13
kleiner	meer	meer	plus5Graden	1	1	1	48	49
kleiner	meer	gelijk	plus2Graden	1	1	62	27	9
kleiner	meer	gelijk	plus5Graden	1	1	6	52	40
kleiner	meer	minder	plus2Graden	1	5	70	20	4
kleiner	meer	minder	plus5Graden	1	3	28	36	32
kleiner	gelijk	meer	plus2Graden	1	1	62	27	9
kleiner	gelijk	meer	plus5Graden	1	1	6	52	40
kleiner	gelijk	gelijk	plus2Graden	1	3	68	23	5
kleiner	gelijk	gelijk	plus5Graden	1	1	23	40	35
kleiner	gelijk	minder	plus2Graden	1	3	72	22	2
kleiner	gelijk	minder	plus5Graden	1	1	35	32	31
kleiner	minder	meer	plus2Graden	1	1	66	26	6
kleiner	minder	meer	plus5Graden	1	1	16	44	38
kleiner	minder	gelijk	plus2Graden	1	3	72	22	2
kleiner	minder	gelijk	plus5Graden	1	1	35	32	31
kleiner	minder	minder	plus2Graden	1	3	72	22	2
kleiner	minder	minder	plus5Graden	1	1	35	32	31

J (omvang akkerbouw voor veeteelt)

Omvang van de gangbare veeh...	MeerDanNu	gelijkAanNu	minderDa...	afwezig
MeerDanNu	95	3	1	1
gelijkAanNu	3	95	1	1
minderDanNu	1	3	95	1
afwezig	1	1	3	95

K (omvang van de gangbare veehouderij)

VraagNaarVlees	MeerDanNu	gelijkAanNu	minderDa...	afwezig
meer	25	60	14	1
gelijk	4	75	20	1
minder	3	35	60	2
veelMinder	1	14	60	25

L (emissies)

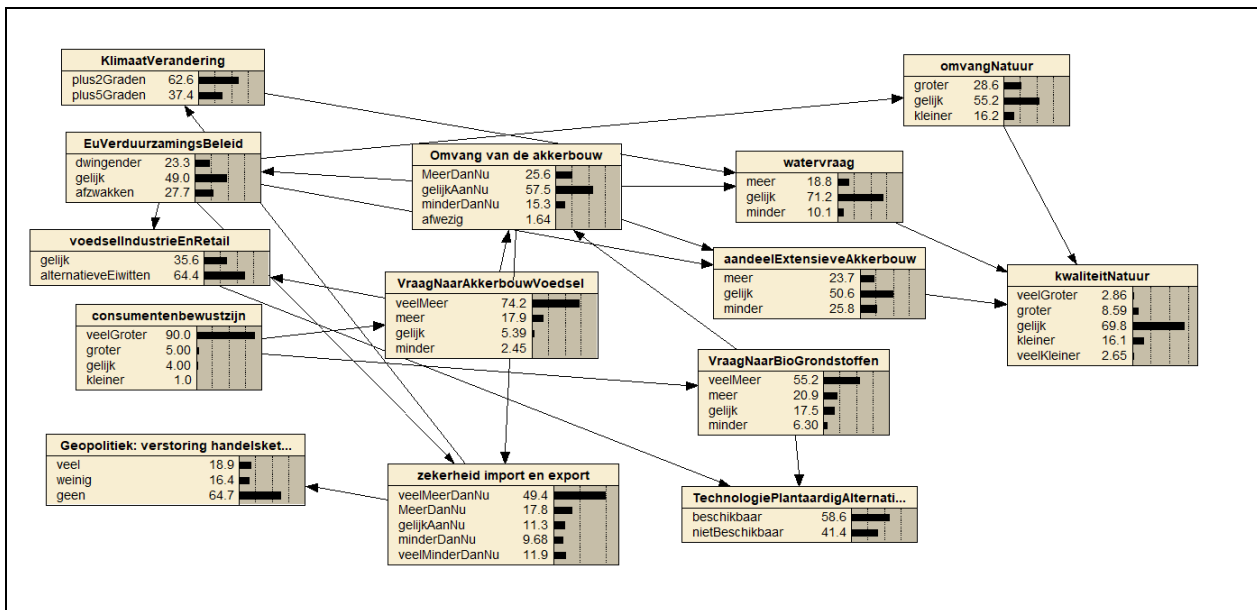
Omvang van de gangbare veeh...	meer	gelijk	minder
MeerDanNu	80	15	5
gelijkAanNu	5	80	15
minderDanNu	2	5	93
afwezig	1	1	98

M (watervraag)

omvangAkkerbouwVoorVeeteel...	meer	gelijk	minder
MeerDanNu	90	8	2
gelijkAanNu	5	90	5
minderDanNu	5	15	80
afwezig	2	3	95

N (omvang natuur)

EuVerduurzamingsBeleid	groter	gelijk	kleiner
dwingender	69	30	1
gelijk	20	70	10
afzwakken	10	50	40



Node en betrokken relaties met andere nodes*	Waarschijnlijkheidstabel	Redenering
Klimaatverandering: • zekerheid import en export	A	Bij gematigde klimaatverandering is het waarschijnlijker dat de leveringszekerheid (import- en exportproducten) groter is dan bij een sterke klimaatverandering. Bij 2 graden temperatuurstijging is er minder verstoring in de wereld door klimaatverandering in de voedselvoorziening dan bij 5 graden. Bij 5 graden is er nergens meer normale voedselvoorziening meer mogelijk. Het gaat hier om voedselvoorziening in het algemeen, niet alleen voor dieren. Granen en ander voedsel worden wellicht geproduceerd in Scandinavië? De potentie is daar groter, in elk geval bij het 2 graden-scenario. Bij 5 graden stijgt de verdamping sterk, waardoor er veel verdroging optreedt. Grondgebonden landbouw voor veevoer is lastig. Insecten als veevoer: wellicht is hier een efficiëncyslag in te maken. Wellicht worden reststromen van landbouw en afval meer circulair gebruikt.
EU verduurzamingsbeleid: • omvang van de akkerbouw	B	Bij een dwingend EU-verduurzamingsbeleid is het waarschijnlijker dat de omvang van de akkerbouw groter is dan bij een afgezwakt EU-verduurzamingsbeleid. Onder EU-verduurzamingsbeleid verstaan we de combinatie van het handelsbeleid, het natuurbeleid, het milieubeleid, het ketenbeleid en het klimaatbeleid, waarbij ook het resultaat van lobbypartijen is meegenomen.
Voedselindustrie en retail: • vraag naar akkerbouwvoedsel • EU verduurzamingsbeleid	C	Bij een grotere productie en verkoop van alternatieve, niet-dierlijke producten (plantaardige zuivel en vleesvervangers) is het waarschijnlijker dat er een dwingend EU-verduurzamingsbeleid heerst en dat de vraag naar akkerbouwproducten voor menselijke consumptie groot is.
Consumentenbewustzijn: -	D	Gebaseerd op rapport 'have you reduced/are you willing to reduce red meat consumption due to environmental reasons?' https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2022/733676/EPRS_BRI(2022)733676_EN.pdf Bevat bewustzijn, actiebereidheid, gedragsverandering, desinteresse.
Geopolitiek - verstoring handelsketens: • zekerheid import en export	E	Bij een grotere verstoring van de handelsketens agv geopolitieke verhoudingen is het waarschijnlijker dat de leveringszekerheid (import- en exportproducten) kleiner is.
Technologie plantaardig alternatief: • voedselindustrie en retail • vraag naar biograndstoffen	F	Bij een grotere technologische ontwikkeling in alternatief, niet-dierlijk voedsel is het waarschijnlijker dat de productie en verkoop van alternatieve, niet-dierlijke producten groter is en dat de vraag naar biograndstoffen groter is.
Zekerheid import en export: • EU verduurzamingsbeleid • omvang van de akkerbouw	G	Bij een grotere leveringszekerheid (import- en exportproducten) is het waarschijnlijker dat er een dwingend EU-verduurzamingsbeleid heerst en dat de omvang van de akkerbouw groot is.
Vraag naar akkerbouwvoedsel: • consumentenbewustzijn	H	Bij een grotere vraag naar akkerbouwproducten voor menselijke consumptie is het waarschijnlijker dat consumenten meer voedselkeuzes maken voor alternatieve producten. We gaan uit van de huidige afzetmarkt van met name EU-consumenten.

Kwaliteit natuur: • omvang natuur • aandeel extensieve akkerbouw • watervraag • klimaatverandering	I	Bij een grotere kwaliteit van de natuur is het waarschijnlijker dat we te maken hebben met een lagere watervraag, een hoger aandeel extensieve akkerbouw, een groter areaal natuur en een gematigde klimaatverandering.
Aandeel extensieve akkerbouw: • EU verduurzamingsbeleid • consumentenbewustzijn	J	Bij een groter aandeel extensieve akkerbouw is het waarschijnlijker dat er een dwingend EU-verduurzamingsbeleid heerst en dat consumenten meer voedselkeuzes maken voor meer alternatieve producten.
Omvang van de akkerbouw: • vraag naar akkerbouwvoedsel • vraag naar biograndstoffen	K	Bij een grotere omvang van de akkerbouw is het waarschijnlijker dat de vraag naar akkerbouwproducten voor menselijke consumptie groter is en de vraag naar biograndstoffen groter is.
Vraag naar biograndstoffen: • consumentenbewustzijn	L	Bij een grotere vraag naar biograndstoffen is het waarschijnlijker dat consumenten meer voedselkeuzes maken voor meer alternatieve producten.
Watervraag: • omvang van de akkerbouw • klimaatverandering	M	Bij een grotere watervraag is het waarschijnlijker dat de omvang van de akkerbouw groter is en dat we te maken hebben met een sterke klimaatverandering. Meer dan nu = 25% areaal erbij, minder dan nu = 25% areaal eraf, afwezig = 70% areaal eraf.
Omvang natuur: • EU verduurzamingsbeleid	N	Bij een groter areaal natuur is het waarschijnlijker dat er een dwingend EU-verduurzamingsbeleid heerst. Bij een dwingend EU-verduurzamingsbeleid gaan we ervan uit dat de natuur in elk geval niet kleiner wordt. Verduurzamingsbeleid zal wellicht invloed hebben op de oppervlakte natuur, bijv. via Half earth, EU biodiversiteitsstrategie. Bij gelijk blijvend EU-verduurzamingsbeleid is het niet ondenkbaar dat de oppervlakte natuur door alle tegenkrachten kleiner wordt. Met name de landschapselementen zullen verdwijnen. Bij een afzwakend EU-verduurzamingsbeleid is de verwachting dat alleen het N2000-areaal gelijk blijft. Dat is de helft van het natuuroppervlak. De rest kan veranderen. Dan komen we op 40%.

* Nodes hebben alleen waarschijnlijkheidstabellen bij voedende relaties (pijlen die naar de node toewijzen). Soms zijn de pijlen omgekeerd waardoor het lijkt alsof de causale relatie andersom loop. Dit is echter een technische oplossing om het vullen van de tabellen te vergemakkelijken.

Waarschijnlijkheidstabellen:

A (klimaatverandering)

zekerheid import en export	plus2Grad...	plus5Grad...
veelMeerDanNu	80	20
MeerDanNu	60	40
gelijkAanNu	55	45
minderDanNu	40	60
veelMinderDanNu	20	80

B (EU verduurzamingsbeleid)

Omvang van de akkerbouw	dwingen...	gelijk	afzakken
MeerDanNu	60	35	5
gelijkAanNu	20	60	20
minderDanNu	5	35	60
afwezig	5	15	80

C (voedselindustrie en retail)

VraagNaarAkkerbouwVoedsel	EuVerduurzamingsBeleid	gelijk	alternatieveEiwitten
veelMeer	dwingender	20	80
veelMeer	gelijk	30	70
veelMeer	afzwakken	40	60
meer	dwingender	30	70
meer	gelijk	40	60
meer	afzwakken	50	50
gelijk	dwingender	60	40
gelijk	gelijk	70	30
gelijk	afzwakken	80	20
minder	dwingender	70	30
minder	gelijk	80	20
minder	afzwakken	95	5

D (consumentenbewustzijn)

veelGroter	groter	gelijk	kleiner
90	5	4	1

E (geopolitiek – verstoring handelsketens)

zekerheid import en export	veel	weinig	geen
veelMeerDanNu	5	10	85
MeerDanNu	10	20	70
gelijkAanNu	15	25	60
minderDanNu	30	40	30
veelMinderDanNu	85	10	5

F (technologie plantaardig alternatief)

voedselIndustrieEnRetail	VraagNaarBioGrondstoffen	beschikbaar	nietBeschikbaar
gelijk	veelMeer	40	60
gelijk	meer	30	70
gelijk	gelijk	20	80
gelijk	minder	10	90
alternatieveEiwitten	veelMeer	90	10
alternatieveEiwitten	meer	80	20
alternatieveEiwitten	gelijk	70	30
alternatieveEiwitten	minder	60	40

G (zekerheid import en export)

EuVerduurzamingsBeleid	Omvang van de akkerbouw	veelMeerDanNu	MeerDanNu	gelijkAanNu	minderDanNu	veelMinderDa...
dwingender	MeerDanNu	90	5	3	1	1
dwingender	gelijkAanNu	80	8	5	5	2
dwingender	minderDanNu	2	8	10	25	55
dwingender	afwezig	2	3	10	20	65
gelijk	MeerDanNu	75	10	10	3	2
gelijk	gelijkAanNu	45	25	15	10	5
gelijk	minderDanNu	5	10	15	25	45
gelijk	afwezig	2	3	10	10	75
afzwakken	MeerDanNu	65	20	10	3	2
afzwakken	gelijkAanNu	55	25	10	8	2
afzwakken	minderDanNu	2	5	5	8	80
afzwakken	afwezig	1	1	3	5	90

H (vraag naar akkerbouwvoedsel)

consumentenbewustzijn	veel	Meer	meer	gelijk	minder
veelGroter	80	15	4	1	
groter	40	40	15	5	
gelijk	5	60	20	15	
kleiner	1	5	24	70	

I (kwaliteit natuur)

omvangNatuur	aandeelExtensieveAkkerbouw	watervraag	veelGroter	groter	gelijk	kleiner	veelKleiner
groter	meer	meer	1	3	72	22	2
groter	meer	gelijk	1	3	72	22	2
groter	meer	minder	5	13	72	8	2
groter	gelijk	meer	1	3	72	22	2
groter	gelijk	gelijk	5	15	74	5	1
groter	gelijk	minder	9	25	64	1	1
groter	minder	meer	5	13	72	8	2
groter	minder	gelijk	9	25	64	1	1
groter	minder	minder	13	35	50	1	1
gelijk	meer	meer	1	3	72	22	2
gelijk	meer	gelijk	1	3	68	23	5
gelijk	meer	minder	1	3	72	22	2
gelijk	gelijk	meer	1	3	68	23	5
gelijk	gelijk	gelijk	1	5	74	19	1
gelijk	gelijk	minder	5	15	74	5	1
gelijk	minder	meer	1	3	72	22	2
gelijk	minder	gelijk	5	15	74	5	1
gelijk	minder	minder	1	3	72	22	2
kleiner	meer	meer	1	1	54	31	13
kleiner	meer	gelijk	1	1	62	27	9
kleiner	meer	minder	1	5	70	20	4
kleiner	gelijk	meer	1	1	62	27	9
kleiner	gelijk	gelijk	1	3	68	23	5
kleiner	gelijk	minder	1	3	72	22	2
kleiner	minder	meer	1	1	66	26	6
kleiner	minder	gelijk	1	3	72	22	2
kleiner	minder	minder	1	3	72	22	2

omvangNatuur	aandeelExtensieveAkkerbouw	watervraag	KlimaatVerandering	veelGroter	groter	gelijk	kleiner	veelKleiner
groter	meer	meer	plus2Graden	1	3	72	22	2
groter	meer	meer	plus5Graden	1	1	35	32	31
groter	meer	gelijk	plus2Graden	1	3	72	22	2
groter	meer	gelijk	plus5Graden	1	1	35	32	31
groter	meer	minder	plus2Graden	5	13	72	8	2
groter	meer	minder	plus5Graden	3	3	62	19	13
groter	gelijk	meer	plus2Graden	1	3	72	22	2
groter	gelijk	meer	plus5Graden	1	1	35	32	31
groter	gelijk	gelijk	plus2Graden	5	15	74	5	1
groter	gelijk	gelijk	plus5Graden	3	5	67	15	10
groter	gelijk	minder	plus2Graden	9	25	64	1	1
groter	gelijk	minder	plus5Graden	5	7	85	2	1
groter	minder	meer	plus2Graden	5	13	72	8	2
groter	minder	meer	plus5Graden	3	3	62	19	13
groter	minder	gelijk	plus2Graden	9	25	64	1	1
groter	minder	gelijk	plus5Graden	5	7	85	2	1
groter	minder	minder	plus2Graden	13	35	50	1	1
groter	minder	minder	plus5Graden	7	9	82	1	1
gelijk	meer	meer	plus2Graden	1	3	72	22	2
gelijk	meer	meer	plus5Graden	1	1	35	32	31
gelijk	meer	gelijk	plus2Graden	1	3	68	23	5
gelijk	meer	gelijk	plus5Graden	1	1	23	40	35
gelijk	meer	minder	plus2Graden	1	3	72	22	2
gelijk	meer	minder	plus5Graden	1	1	35	32	31
gelijk	gelijk	meer	plus2Graden	1	3	68	23	5
gelijk	gelijk	meer	plus5Graden	1	1	23	40	35
gelijk	gelijk	gelijk	plus2Graden	1	5	74	19	1
gelijk	gelijk	gelijk	plus5Graden	1	3	40	28	28
gelijk	gelijk	minder	plus2Graden	5	15	74	5	1
gelijk	gelijk	minder	plus5Graden	3	5	67	15	10
gelijk	minder	meer	plus2Graden	1	3	72	22	2
gelijk	minder	meer	plus5Graden	1	1	35	32	31
gelijk	minder	gelijk	plus2Graden	5	15	74	5	1
gelijk	minder	minder	plus5Graden	1	1	35	32	31
kleiner	meer	meer	plus2Graden	1	1	54	31	13
kleiner	meer	meer	plus5Graden	1	1	1	48	49
kleiner	meer	gelijk	plus2Graden	1	1	62	27	9
kleiner	meer	gelijk	plus5Graden	1	1	4	52	42
kleiner	meer	minder	plus2Graden	1	5	70	20	4
kleiner	meer	minder	plus5Graden	1	3	28	36	32
kleiner	gelijk	meer	plus2Graden	1	1	62	27	9
kleiner	gelijk	meer	plus5Graden	1	1	4	52	42
kleiner	gelijk	gelijk	plus2Graden	1	3	68	23	5
kleiner	gelijk	gelijk	plus5Graden	1	1	23	40	35
kleiner	gelijk	minder	plus2Graden	1	3	72	22	2
kleiner	gelijk	minder	plus5Graden	1	1	35	32	31
kleiner	minder	meer	plus2Graden	1	1	66	26	6
kleiner	minder	meer	plus5Graden	1	1	16	44	38
kleiner	minder	gelijk	plus2Graden	1	3	72	22	2
kleiner	minder	gelijk	plus5Graden	1	1	35	32	31
kleiner	minder	minder	plus2Graden	1	3	72	22	2
kleiner	minder	minder	plus5Graden	1	1	35	32	31

J (aandeel extensieve akkerbouw)

EuVerduurzamingsBeleid	consumentenbewustzijn	meer	gelijk	minder
dwingender	veelGroter	90	8	2
dwingender	groter	80	15	5
dwingender	gelijk	70	20	10
dwingender	kleiner	60	25	15
gelijk	veelGroter	70	20	10
gelijk	groter	50	42	8
gelijk	gelijk	20	60	20
gelijk	kleiner	8	42	50
afzwakken	veelGroter	15	25	60
afzwakken	groter	10	20	70
afzwakken	gelijk	5	15	80
afzwakken	kleiner	2	8	90

K (omvang van de akkerbouw)

VraagNaarAkkerbouwVoedsel	VraagNaarBioGrondstoffen	MeerDanNu	gelijkAanNu	minderDa...	afwezig
veelMeer	veelMeer	35	54	10	1
veelMeer	meer	30	57	12	1
veelMeer	gelijk	25	60	14	1
veelMeer	minder	20	63	16	1
meer	veelMeer	14	75	10	1
meer	meer	9	75	15	1
meer	gelijk	4	75	20	1
meer	minder	1	78	20	1
gelijk	veelMeer	8	40	50	2
gelijk	meer	6	37	55	2
gelijk	gelijk	3	35	60	2
gelijk	minder	1	32	65	2
minder	veelMeer	3	22	50	25
minder	meer	2	18	55	25
minder	gelijk	1	14	60	25
minder	minder	1	9	65	25

L (vraag naar biograndstoffen)

consumentenbewustzijn	veelMeer	meer	gelijk	minder
veelGroter	60	20	15	5
groter	20	50	20	10
gelijk	5	10	70	15
kleiner	1	5	24	70

M (watervraag)

Omvang van de akkerbouw	KlimaatVerandering	meer	gelijk	minder
MeerDanNu	plus2Graden	70	20	10
MeerDanNu	plus5Graden	80	15	5
gelijkAanNu	plus2Graden	60	30	10
gelijkAanNu	plus5Graden	70	25	5
minderDanNu	plus2Graden	30	50	20
minderDanNu	plus5Graden	45	45	10
afwezig	plus2Graden	2	8	90
afwezig	plus5Graden	5	10	85

N (omvang natuur)

EuVerduurzamingsBeleid	groter	gelijk	kleiner
dwingender	69	30	1
gelijk	20	70	10
afzwakken	10	50	40

Bijlage 4 Berekening effecten van drie toekomstbeelden, zoals beschreven in PBL-rapportage

		veel minder	minder	gelijk	meer	veel meer	veel minder; weegfactor -2	minder; weegfactor -1	gelijk; weegfactor 0	meer; weegfactor 1	veel meer; weegfactor 2	som	verschil som tov som uitgangssituatie	effect
uitgangssituatie	Klimaat verandering	0	0	0	69	31	0	0	0	69	62	131		
	Geo-politieke verstoring handelsketen	0	53.1	17.3	29.6	0	0	-53.1	0	29.6	0	-23.5		
	EU-verduurzamingsbeleid	0	22.1	40.5	37.5	0	0	-22.1	0	37.5	0	15.4		
	Verduurzaming industrie en retail	0	0	53.7	46.3	0	0	0	0	46.3	0	46.3		
	Verduurzaming consumentengedrag	0	18	35	47	0	0	-18	0	47	0	29		
	Omvang agrarische natuur	0	43.4	38.4	18.2	0	0	-43.4	0	18.2	0	-25.2		
	Zekerheid import en export	24.1	13.6	11.4	15.1	35.9	-48.2	-13.6	0	15.1	71.8	25.1		
	Emissies CH4 en N	0	44	34.9	21.1	0	0	-44	0	21.1	0	-22.9		
	Technologische alternatieve voeding	0	57.8	0	42.2	0	0	-57.8	0	42.2	0	-15.6		
	Emissies CO2	0	34.7	40.8	24.6	0	0	-34.7	0	24.6	0	-10.1		
	Vraag naar zuivel	17.7	23.6	29	23.8	5.84	-35.4	-23.6	0	23.8	11.68	-23.52		
	Kwaliteit natuur	18.2	21.2	53.7	4.81	2.14	-36.4	-21.2	0	4.81	4.28	-48.51		
	Omvang natuur	0	19.1	38.5	42.3	0	0	-19.1	0	42.3	0	23.2		
	Omvang agrarisch grasland	6.1	33.1	38.1	12.9	9.73	-12.2	-33.1	0	12.9	19.46	-12.94		
	Omvang agrarische natuur	0	43.4	38.4	18.2	0	0	-43.4	0	18.2	0	-25.2		
Met klimaatverandering	Klimaat verandering	0	0	0	0	100	0	0	0	0	200	200	69	⊙
	Geo-politieke verstoring handelsketen	0	18.7	19.2	62.2	0	0	-18.7	0	62.2	0	43.5	67	>>>
	EU-verduurzamingsbeleid	0	7.79	29.2	63	0	0	-7.79	0	63	0	55.21	39.81	>>
	Verduurzaming industrie en retail	0	0	35.7	64.3	0	0	0	0	64.3	0	64.3	18	>>
	Verduurzaming consumentengedrag	0	9.65	29.5	60.7	0	0	-9.65	0	60.7	0	51.05	22.05	>
	Omvang agrarische natuur	0	35.7	41.9	22.3	0	0	-35.7	0	22.3	0	-13.4	11.8	>
	Zekerheid import en export	62.3	26.2	5.51	4.85	1.16	-124.6	-26.2	0	4.85	2.32	-143.63	-168.73	<<<
	Emissies CH4 en N	0	75.7	18	6.36	0	0	-75.7	0	6.36	0	-69.34	-46.44	<<
	Technologische alternatieve voeding	0	41.6	0	58.2	0	0	-41.6	0	58.2	0	16.6	32.2	>>
	Emissies CO2	0	63	26.7	10.3	0	0	-63	0	10.3	0	-52.7	-42.6	<<
	Vraag naar zuivel	31.1	32.2	21.5	12.8	2.43	-62.2	-32.2	0	12.8	4.86	-76.74	-53.22	<<
	Kwaliteit natuur	22.3	21.4	49.3	5.21	1.76	-44.6	-21.4	0	5.21	3.52	-57.27	-8.76	<
	Omvang natuur	0	16	34.5	49.5	0	0	-16	0	49.5	0	33.5	10.3	>
	Omvang agrarisch grasland	11.8	63.3	18.1	3.83	2.89	-23.6	-63.3	0	3.83	5.78	-77.29	-64.35	<<
	Omvang agrarische natuur	0	35.7	41.9	22.3	0	0	-35.7	0	22.3	0	-13.4	11.8	>
Best case	Klimaat verandering	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	100	-31	⊙
	Geo-politieke verstoring handelsketen	0	100	0	0	0	0	-100	0	0	0	-100	-76.5	⊙
	EU-verduurzamingsbeleid	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	100	84.6	⊙
	Verduurzaming industrie en retail	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	100	53.7	⊙
	Verduurzaming consumentengedrag	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	100	71	⊙
	Omvang agrarische natuur	0	31.3	43.6	25.1	0	0	-31.3	0	25.1	0	-6.2	19	>
	Zekerheid import en export	2.51	12.9	23.5	21.6	39.4	-5.02	-12.9	0	21.6	78.8	82.48	57.38	>>
	Emissies CH4 en N	0	81.5	17.3	1.24	0	0	-81.5	0	1.24	0	-80.26	-57.36	<<<
	Technologische alternatieve voeding	0	10	0	90	0	0	-10	0	90	0	80	95.6	>>>
	Emissies CO2	0	66	32.2	1.85	0	0	-66	0	1.85	0	-64.15	-54.05	<<<
	Vraag naar zuivel	42.7	35.7	17.8	3.55	0.21	-85.4	-35.7	0	3.55	0.42	-117.13	-93.61	<<
	Kwaliteit natuur	8.99	17.5	62.7	7.24	3.62	-17.98	-17.5	0	7.24	7.24	-21	27.51	>>
	Omvang natuur	0	10.7	28.2	61.1	0	0	-10.7	0	61.1	0	50.4	27.2	>>
	Omvang agrarisch grasland	12	53.3	33	1.2	0.57	-24	-53.3	0	1.2	1.14	-74.96	-62.02	<<
	Omvang agrarische natuur	0	31.3	43.6	25.1	0	0	-31.3	0	25.1	0	-6.2	19	>
Worst case	Klimaat verandering	0	0	0	0	100	0	0	0	0	200	200	69	⊙
	Geo-politieke verstoring handelsketen	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	100	123.5	⊙
	EU-verduurzamingsbeleid	0	100	0	0	0	0	-100	0	0	0	-100	-115.4	⊙
	Verduurzaming industrie en retail	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	-46.3	⊙
	Verduurzaming consumentengedrag	0	100	0	0	0	0	-100	0	0	0	-100	-129	⊙
	Omvang agrarische natuur	0	63.9	27.1	8.95	0	0	-63.9	0	8.95	0	-54.95	-29.75	<<
	Zekerheid import en export	62.8	21.3	8.4	6.36	1.19	-125.6	-21.3	0	6.36	2.38	-138.16	-163.26	<<<
	Emissies CH4 en N	0	10.7	11.3	78.1	0	0	-10.7	0	78.1	0	67.4	90.3	>>>
	Technologische alternatieve voeding	0	99	0	1	0	0	-99	0	1	0	-98	-82.4	<<<
	Emissies CO2	0	5.94	12.9	81.1	0	0	-5.94	0	81.1	0	75.16	85.26	>>>
	Vraag naar zuivel	0.55	0.58	1.59	67.1	30.1	-1.1	-0.58	0	67.1	60.2	125.62	149.14	>>>
	Kwaliteit natuur	31.8	20.9	43.6	2.54	1.11	-63.6	-20.9	0	2.54	2.22	-79.74	-31.23	<<
	Omvang natuur	0	29.4	54.8	15.8	0	0	-29.4	0	15.8	0	-13.6	-36.8	<<
	Omvang agrarisch grasland	0.81	12.1	6.89	42.9	37.3	-1.62	-12.1	0	42.9	74.6	103.78	116.72	>>>
	Omvang agrarische natuur	0	63.9	27.1	8.95	0	0	-63.9	0	8.95	0	-54.95	-29.75	<<

Bijlage 5 Verslag Workshop Landbouw- en Natuurverkenning 15 februari 2023

Op woensdag 15 februari heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in samenwerking met WOT-WENR de expert-workshop 'Natuur & Landbouw in een onzekere buitenwereld' georganiseerd. Een workshop in het kader van de voorbereiding op de *Natuur en Landbouw Verkenning*. Aanwezig waren de experts die in 2022 in dit project bevraagd waren om de toekomstige ontwikkelingen van externe drivers op natuur en landbouw te beschrijven. In de concept rapportage over 'Natuur & Landbouw in een onzekere buitenwereld' is deze informatie gebruikt.

Het doel van de workshop was de samenhang tussen en consequenties van de toekomstige externe ontwikkelingen op de Nederlandse natuur en landbouw te verkennen en een stap te zetten naar type beleidsboodschappen die je met de beschikbare informatie zou kunnen trekken. Dit als voorbereiding voor het schrijven van een samenvattend hoofdstuk in de uiteindelijke PBL-rapportage.

De workshop werd begeleid door Joep Dirx van WOT Natuur & Milieu. Een lijst met deelnemers is opgenomen aan het einde van dit verslag. De workshop bestaat uit een aantal presentaties en een aantal klussen.

Het programma van de dag (zie ook bijgevoegde presentatie)

- Welkom en toelichting doel (Joep Dirx)
 - Landbouw Natuurverkenning: waar staan we (Arjen van Hinsberg)
 - Methodiek van samenhang in externe factoren (Anouk Cormont)
- Aan het werk (1):
 - Effecten van scenario's/toekomstbeelden doordenken
- Lunch
- Presentatie van getrainde BBN
- Aan het werk in groepen (2): de samenhang in beeld krijgen
 - Terugmelding belangrijkste bevinding
- Aan het werk in groepen (3): wat betekent dit voor beleid?
 - Terugmelding belangrijkste bevinding
- Afsluiting

Hoofdvragen van deze workshop waren:

1. Welke van de externe factoren is/zijn het meest sturend voor de natuurkwaliteit en voor de omvang van de melkveehouderij? (klimaat, keten, EU beleid, maatschappelijk, geopolitiek)
2. In welke toekomst heb je de wind mee, voor:
 - natuurkwaliteit?
 - gangbare melkveehouderij?

In een korte presentatie legt Arjen van Hinsberg uit wat de Landbouw Natuur Verkenning ook al waar is en waar het project staat. Daarnaast schetst hij kort wat de aanwezige expert zien als belangrijkste ontwikkelingen op het gebied van klimaatsverandering, EU-beleid, sociaal-maatschappelijke denken over natuur & landbouw, Voedsel & ketens en geopolitiek (zie ppt in bijlage 2 van dit verslag).

Vervolgens gaat Anouk Cormont in op de methodiek dit in het project is gebruikt om de invloeden van de gezamenlijke ontwikkelingen in beeld te brengen.

Methodiek

De gebruikte methodiek is Bayesian Belief Networks als modelleertechniek. BBN opzetten kan op twee manieren:

1. Wij hebben idee van de causale relaties tussen de nodes
 - Op basis van expert interviews en workshop: elementen en relaties ertussen
 - Drie uitwerkingen
 - Melkveehouderij op veen
 - Gangbare veehouderij
 - Akkerbouw

-
2. Wij hebben nog geen idee van de precieze relaties
 - o Trainen op basis van casussen met gebruik van Bayesiaanse statistiek
 - o Gebruiken we om met (1) te vergelijken

In de workshop gaan we aan de gang met deze 2^e aanpak, waarbij Anouk uitlegt hoe we dat gaan doen (zie bijlage 2 in de ppt)

Na de presentaties worden de vragen en opmerkingen verzameld. Belangrijke opmerkingen die naar voren kwamen waren:

- Waar in de verkenningen krijgen interne/nationale keuzes een plek? Arjen: in principe kijken we in dit deelproject alleen naar externe ontwikkelingen. Effecten in natuur en landbouw zijn natuurlijk ook afhankelijk van de interne keuzes en ontwikkelingen. E.e.a. zou een plaats moeten krijgen bij de confrontatie tussen interne en externe ontwikkelingen.
- In het verhaal worden soms drivers gemist; hoe wordt daar van daar mee omgegaan en wanneer te melden? Arjen: goed om dat aan te geven gedurende de dag wanneer dat aan de orde is.
- Waar en hoe leggen jullie in het verhaal een knip tussen interne ontwikkelingen/keuzes en externe factoren? Marijke: een externe ontwikkeling hebben wij gedefinieerd als een ontwikkeling waar de Nederlandse overheid weinig/geen invloed op heeft. Dat is natuurlijk niet zwart-wit. Zo wordt ook het Europese beleid mede beïnvloed door de Nederlandse overheid.
- Naar welke casussen kijken jullie? Hoe kijken jullie overkoepelend? Arjen: in de eerdere workshop die we met jullie gehad hebben, werd aangegeven te focussen op verschillende landbouwsystemen (melkveehouderij op veen, intensieve niet grondgeboden landbouw, akkerbouw). Dat hebben we gedaan. Daarnaast is de focus op landbouw & natuur. Daarmee kijken we echter niet naar alle natuur (bijv. marien) en ook niet naar alle landbouw (glastuinbouw).

Daarna volgt een sessie waarbij alle experts online vragen invullen over een set van scenario's/toekomstbeelden. Vervolgens wordt besproken hoe het invullen verliep.

Vragen en opmerkingen na het invullen van de vragenlijsten:

- Soms was onduidelijk wat de precieze richting van de ontwikkeling/verstoring was, er werd dan gezegd dat er iets verandert/verstoort, maar niet in welke richting. De respondent moet dan zelf bedenken welke richting iets op gaat, dat was niet duidelijk in de vraag. Sommigen geven aan "gehinderd te zijn door kennis" en zelf invullingen gaan geven, waarbij het de vraag is of de experts dan wel antwoord geven op de vraag die eigenlijk voorlag. Vraagstelling moet soms duidelijker; was de woordkeuze goed genoeg voor het verkrijgen van een antwoord? Arjen geeft aan dat het projectteam zal kijken hoe vragen aangescherpt kunnen worden.
- Bij de vragen over de veranderingen in de markt was het onduidelijk of het ging over binnen of buiten de EU. Arjen geeft aan dat het projectteam zal kijken hoe vragen aangescherpt kunnen worden.
- Niet iedereen had even veel tijd nodig voor het invullen van de vraaglijsten. Vraag is wat dat betekent.
- De mogelijke antwoorden zijn soms wel "erg binair". Antwoorden zouden meer gradueel kunnen zijn.
- In de scenario's en de bekeken factoren is de complexe werkelijkheid soms wel erg versimpeld. Daarbij zijn er zorgen hoe de resultaten gebruikt zullen worden.
- Arjen geeft aan dat deze vereenvoudiging bedoeld is om de methode behapbaar te maken. Later op de dag zal bediscussieerd worden wat deze methodische beperking betekent voor het type beleidsboodschappen.

Peter Verweij laat zien hoe de resultatentabel van de expertbevraging er uit ziet en hoe deze on-the-fly kan worden omgezet is een BBN.

Hierna wordt door de experts gereflecteerd op de methode.

Gemist werden factoren als:

- De integrale samenhang: nu zijn met name in de getrainde BBN de verschillende drivers te veel los komen te staan. Bij de training staat maar 1 aspect centraal en het ziet minder de causaliteit tussen verschillende drivers. Peter: dat klopt, het projectteam kijkt daarom ook naar een causaal BBN. In de middag willen we ook naar beide resultaten kijken.
- De focus ligt nu alleen op het veenweidegebied. Arjen: klopt. In het gehele project kijken we ook naar andere landbouw en natuur. Idee van ons was om het vandaag behapbaar te houden door de focus op

alleen veenweiden. Wens is om ook getrainde BBNs te krijgen van de andere systemen. Dit zal later op de dag besproken worden.

- De afname van biodiversiteit is een driver voor EU-beleid of consumentengedrag, dat zit er nu niet in. Idem: Mate van klimaatadaptatie als reactie op klimaatsverandering. Arjen: In die aanpak van de DPSIR-keten zou een effect van een verandering in een driver (D) verkleind worden door de reactie (Respons); vraag is echter of je dat in beeld wilt brengen.
- De effecten zullen verschillen in de ruimte (uitstraling). Waar gebeuren de veranderingen en waar vinden effecten plaats? In bestaande ruimtelijke modellen zou je daar wel naar kunnen kijken. In de aanpak nu is daar geen plaats voor. Arjen: klopt. Gekozen is voor een grovere analyse (regio's, type landbouw) en niet voor een ruimtelijk specifieke modellering. Anouk: In principe zijn er ook mogelijkheden om de BBN ruimtelijk expliciet te maken, maar daar is nu niet voor gekozen.
- De rol van de burger gemist. De burger stuurt het beleid, maar heeft ook een eigen rol. Arjen: klopt. Burger zit er alleen in als consument en verstopt als beïnvloeder van EU-beleid.

Algemene opmerkingen over de methode:

- In de huidige aanpak is er weinig ruimte voor nieuwe ontwikkelingen. Er wordt maar gekeken naar een aantal vaste factoren. Alle verrassende elementen (doorkruisende gebeurtenissen) zijn weg.
- Bij het invullen stond soms 'weet ik niet'. Sommige experts hebben dat gebruikt om aan te geven dat ontwikkelingen verschillend kunnen uitpakken, anderen omdat experts het antwoord op de vraag niet wisten. Vraag is wat dat betekent voor de methode?
- Vraag is hoe goed deze modellen nu zijn. Hoeveel variatie verklaart het model? Wat is de gevoeligheid. Peter: er zijn methoden om hierover inderdaad iets te zeggen, maar dit hebben wij nu niet laten zien. Arjen: wij gebruiken dit getrainde BBN naast een meer causaal BBN om gevoel te krijgen van de robuustheid van resultaten. Hier gaan we vanmiddag verder mee aan de slag.
- We hebben 19 respondenten en heel veel variabelen: Dat baart zorgen. Peter: werken met meer respondenten zou in principe mooi zijn, net als het verder terugbrengen van het aantal variabelen. Het is daarbij zoeken naar een werkbaar optimum. Arjen: Dit model en zijn uitkomsten zijn niet bedoeld voor kwantitatieve uitspraken maar meer als "tool" om over te praten.
- De aanpak moet niet te veel gebruikt worden voor absolute getallen.
- Klopt de vraagstelling bij de extreme klimaatsverandering wel. 5 graden is heel veel. Is er dan nog een melkveehouderij? Marijke: Het gaat om de situatie in 2050 waarbij klimaatverandering het pad volgt van 5 graden in 2100.
- Goed opletten dat we focussen op de plausibele zaken. Arjen: klopt, daarom straks goed kijken naar uitkomsten en deze goed vergelijken met de resultaten van de causale BBN.

Input/ commentaar n.a.v. presentatie van de resultaten

- Experts geven aan binnen sommige scenario's inconsistentie te zien. Zo zou bij duurzame burgers een duurzame keten en een duurzaam beleid passen. Peter: Niet alle scenario's zijn of lijken wellicht niet even inconsistent. Deze set van scenario's is gekozen om de volledige bandbreedte in de trainingsset van het BBN te krijgen.
- In de op 'landbouw intensiteit' getrainde BBN zitten gekke effecten: bij 5 graden- scenario kan natuurkwaliteit/ biodiversiteit nooit omhoog gaan. Al bij 2 graden is er sprake van een veel lagere natuurkwaliteit. Komt dat door de training op landbouw intensiteit of door onduidelijke vraagstelling?

Na de lunch leggen Peter en Anouk uit hoe de resultaten van de analyses worden weergegeven en hoe deze in groepjes zullen worden besproken. De experts worden over 4 groepen verdeeld en krijgen allen een set van resultaten van de net getrainde BBN en de door het projectteam eerder gemaakte causale BBN. In groepjes worden deze vergeleken en wordt gezocht naar conclusies die getrokken kunnen worden.

Resultaten/ conclusies van BBN en de Beleidsboodschappen uit de groepen

Groep Landbouw – 1: Resultaten/ conclusies BBN

Getrokken conclusie: EU-beleid en markt zijn sturende factoren voor intensiteit melkveehouderij.

- Methodisch: t.a.v. Geopolitiek: dit is te complex en de gestelde vragen waren te abstract geformuleerd. Beter zou zijn de vraagstelling aan te passen met over welke deel factoren het concreet gaat en de vragen nogmaals voor te leggen.
- Aanpak voor opstelling van resultaten: de groep heeft gekeken naar de effecten van twee uitersten: veel minder melkveehouderij vs. veel meer melkveehouderij.
- De causale BBN geeft een consistent beeld: EU-beleid en de markt sturend. Rest was minder logisch.
- Getrainde BBN: ook bij 'veel minder' melkveehouderij is EU-beleid en de markt sturend. Maar bij 'veel meer' melkveehouderij is alleen het effect van consumentengedrag logische. De groep vindt dat verrassend en niet herkenbaar.

Beleidsboodschappen

Beleidsboodschap: "Dwarse overheid verspilt 25 miljard" (omdat het Nederlandse beleid in kader van NPLG niet in lijn is met EU-beleid)

- Voor goede natuurkwaliteit is beperkte klimaatverandering een randvoorwaarde. Er moet nationaal worden ingezet op sterker klimaatbeleid.
- Verduurzaming van landbouw en het in stand houden van de natuur vereisen een aanpak van verschillende actoren: EU beleid- nationaal beleid én de markt.
- Er is 25 miljard beschikbaar voor verduurzaming, maar dat kan alleen efficiënt worden gebruikt als het in lijn is met EU-beleid.

Groep Landbouw – 2: Resultaten/ conclusies BBN

Conclusie: getraind BBN: EU-beleid dwingend maar consument trekt zich daar niks van aan

- Methodisch: Er zijn meer iteraties nodig om goede relaties te krijgen. Voorstel is de aanpak verder te verbeteren. Wat betreft de vraagstelling: men kan een andere frame geven aan de vragen.
- Methodiek: verbeter de scenariobeschrijving. hoe interpreteer je de begrippen? Dwingend beleid, milieubeleid, klimaatbeleid etc. worden door de invullers zelf geïnterpreteerd. Dit zou beter in de vraagstelling/ scenario's moeten staan door het feitelijk te maken. **En apart voedselbeleid benoemen. Dit is een belangrijk dossier!**
- Inhoudelijk: Consument is bepalend. Dit komt wel uit de BBN (als dat klopt...) -> **Dwingend voedselbeleid is nodig, niet alleen klimaatbeleid.**

Beleidsboodschappen

Beleidsboodschap: "Maak Nederland weerbaar" en ook "De burger krijgt het meer voor het zeggen"

- Beleid zou ervoor moeten zorgen dat Nederland weerbaar is tegen externe factoren, (adaptatie, plantsystemen in landbouw etc.). Zorg ook voor financiële prikkels i.p.v. 'dwingend' beleid.
- We moeten (veel) meer richting de burger.
- Goede communicatie en echte betrokkenheid mogelijk maken. Nu hoort burger veel over klimaatdoelstellingen/niet consistent/moet betalen/beleid wordt zonder invloed burgers gemaakt, burger wordt tegenstander van klimaatbeleid. Ombuigen naar meer positief verhaal. In bredere zin wordt dat een essentieel thema (gaat niet alleen over stikstof). Minder technocratisch denken.

Groep Natuur -3: Resultaten/ conclusies BBN

De groep heeft gezocht naar de gemene deler bij de uitkomsten van de scenario's

Betrokken conclusie: Voor natuurkwaliteit zijn 4 punten in samenhang belangrijk:

- Klimaat < 2°C
- Sterk EU biodiversiteits- en klimaatbeleid, dwingend
- Duurzame ketens voor marktpartijen
- Duurzame keuzes consumenten

Minder duidelijk is de invloed van de geopolitiek. Maar dat kan ook aan de vraagstelling liggen.

De groep ziet ontbrekende factoren die niet in de BBN zitten:

- Financiële sector (speelt op achtergrond een rol)
- Nederlands beleid
- Maatschappelijke waardering van natuur
- Woud van regelgeving

Beleidsboodschappen

Beleidsboodschap: "Nederlands landbouwbeleid is wolf in schaapskleren"

- Coherent geïntegreerd landbouw en natuurbeleid nodig.
- Uitvoerbaarheid is stroef, weerbarstig.
- Methodisch: Tot welk specifiek beleidsniveau wil je beleidsuitspraken doen? Bijv. voor vee op veen? Want anders blijft het te hoog-over.

Groep Natuur – 4 Resultaten/ conclusies BBN

Getrokken hoofdconclusie: verduurzamingsbeleid en beperkte klimaatsverandering zijn belangrijk voor realiseren van een hoge natuurkwaliteit

- In het scenario 'zand' is de situatie voor natuurkwaliteit het meest ongunstig. Dat lijkt een logische conclusie.
- Slecht voor natuur scoren paars, roze en zand. Hierin zitten geen gemeenschappelijke punten.
- Scenario's 1,5 en 9 scoren zowel in de getrainde als de causale BBN hetzelfde wat betreft een relatieve toename. Ook deze verandering wordt logisch gevonden.
- Geel-bruin-wit scoren goed voor natuur. Gemeenschappelijk is daarbij het verduurzamingbeleid van de EU en het 2-graden pad.
- In het causale-BBN lijkt klimaatsverandering (5°C) een groter negatief effect te hebben dan bij de getrainde BBN. Een groot effect lijkt logisch. Mogelijk zijn de vragen bij de training niet allemaal even scherp gesteld.
- Het grijze scenario slaat weinig uit: wat kunnen we daaruit concluderen?
- Methodisch: Verduurzaming van markt hangt in de praktijk samen met duurzaam consumentengedrag. In de scenario's lijkt dat los van elkaar te staan. Vraag: zit deze relatie ook zo in de causale BBN?
- Methodisch: EU kan ook sturen op markt en consument. Zit dat ook in de Causale BBN?

Beleidsboodschappen

Beleidsboodschap: "Zonder dwingend EU-beleid raken we op den duur de natuur kwijt/alles kwijt"

- Integraal beleid is nodig.
- Dwingend beleid is nodig; maar flexibel in de gebieden.
- NLP: er gebeurt al veel maar er wordt geen rekening gehouden met klimaatadaptatie en met nog komend EU-beleid.
- In regio's zit de organisatiekracht.
- Opmerking: gebiedsprocessen kennen verschillende lagen.

Input uit de groep:

- Dwingend EU-beleid EN integraal is een moeilijke combinatie.
- Het kan wel, in de Green Deal, F2F is er bijvoorbeeld wel al sprake van. Je ontkomt niet aan afspraken op deelterreinen. EU-biodiversiteitsbeleid: targets op verschillende domeinen.
- Ervaring: integraliteit valt tegen. Een probleem zijn ook blokkades vanuit de lidstaten.
- En er wordt niet gesproken over geld. In 2050 pilaren in subsidiesysteem afschaffen.

- Welke factoren gaan echt veranderen? Wat nu nog klein is kan heel groot worden. En dat zijn de echte veranderingen! Nu houd je je bij de 'bekende weg'.

Arjen sluit de workshop. Hij bedankt de experts voor hun inzet en doorzettingsvermogen. Hij vindt het mooi dat we de hele aanpak van dataverwerking tot het trekken van beleidsconclusies hebben kunnen maken. Hij geeft aan dat hij van meerdere mensen heeft gehoord dat ze het een mooie methode vinden om op deze manier in gesprek te zijn. De BBN en expert-resultaten geven een basis om een goed gesprek te hebben. Tegelijkertijd is hij blij met de kritische opmerkingen en de aanbevelingen voor verbetering. Ook is hij blij dat

verschillende mensen al hebben aangegeven mee te willen werken aan een online bevraging voor de andere systemen (akkerbouw, intensieve veehouderij). Hij geeft aan hoe hij het vervolg ziet.

Vervolg

- Het projectteam zal aan de slag gaan met het verbeteren van de vragenlijsten en de scenariobeschrijvingen n.a.v. de gegeven input en ervaringen.
- Daarnaast zal het projectteam ook een online bevraging gaan doen over de andere landbouwsystemen. En ook de verbeterde vragenlijst van de melkveehouderij opnieuw uitzetten. De aanwezigen zal worden gevraagd deze in te vullen.
- De resultaten van die BBNs zullen, met de lessen van vandaag, opnieuw bekeken worden door het projectteam. De resultaten/conclusies zoals vandaag geoefend zullen opgenomen worden in het laatste hoofdstuk van het rapport. Experts zullen gevraagd worden deze te reviewen.

Bijlage 6 Vragenlijst over de effecten van de toekomstbeelden ten behoeve van de training van de BBNs, opgesteld in Microsoft Forms

Melkveehouderij op veen – vragenlijst Workshop 15 februari 2023

* Required

1. Voor welk scenario vul je deze lijst in? *

Scenario 1 – Geel; Scenario 2 – Blauw; Scenario 3 – Olijf; Scenario 4 – Oranje; Scenario 5 – Bruin;
Scenario 6 – Paars; Scenario 7 – Grijs; Scenario 8 – Roze; Scenario 9 – Wit; Scenario 10 - Zand

2. Hoe schat je de gevolgen van geopolitieke veranderingen voor Europa ten opzichte van de huidige situatie? *

Sterk verstorend
Enigszins verstorend
Niet verstorend
Weet ik niet.

3. Hoe schat je de leveringszekerheid van import voor en export van Nederlandse landbouwproducten? *

Veel meer dan nu
Meer dan nu
Gelijk aan nu
Minder dan nu
Veel minder dan nu
Weet ik niet

4. Wat is de strategie geweest van de voedselindustrie en retail in dit scenario? *

Geen verduurzamingsstrategie
Verduurzamingsstrategie (bijv. alternatieve eiwitten)
Weet ik niet

5. Hoe schat je de kans op technologische doorbraken voor voedselalternatieven? *

Groot
Klein
Weet ik niet

6. Hoe schat je in dat klimaatverandering zich heeft ontwikkeld? *

Plus 2 graden
Plus 5 graden
Weet ik niet

7. Hoe is het consumptiegedrag veranderd voor afnemers van Nederlandse producten? *

Meer plantaardige voedselkeuzes
Geen verandering
Meer dierlijke voedselkeuzes
Weet ik niet.

8. In hoeverre is de vraag naar Nederlandse zuivel veranderd? *

Veel meer vraag
Meer vraag
Gelijke vraag
Minder vraag
Veel minder vraag
Weet ik niet

9. Hoe denk je dat in dit scenario het EU-verduurzamingsbeleid is ten op zichte van nu? *

Dwingender
Gelijk
Zwakker
Weet ik niet

10. Hoe schat je de omvang van de gangbare melkveehouderij op veen in (aantal koeien)? *

Veel meer dan nu
Meer dan nu
Gelijk aan nu
Minder dan nu
Veel minder dan nu
Weet ik niet

11. Hoe schat je het areaal van agrarisch grasland in? *

Veel meer dan nu
Meer dan nu
Gelijk aan nu
Minder dan nu
Veel minder dan nu
Weet ik niet.

12. Hoe schat je het areaal agrarische natuur in? *

- Meer
- Gelijk
- Minder
- Weet ik niet

13. Hoe schat je het areaal van natuurgebieden in? *

- Groter dan nu
- Gelijk dan nu
- Minder dan nu
- Weet ik niet

14. Hoe zullen de CO₂ emissies uit de veengebieden veranderd zijn? *

- Meer emissies
- Gelijke emissies
- Minder emissies
- Weet ik niet

15. Hoe zullen de methaan- en stikstofemissies van de Nederlandse melkveehouderij veranderd zijn? *

- Meer emissies
- Gelijke emissies
- Minder emissies
- Weet ik niet

16. In dit scenario, wat is de kwaliteit van de natuur, in vergelijking met nu? *

- Veel groter
- Groter
- Gelijk
- Kleiner
- Veel kleiner
- Weet ik niet

Melkveehouderij op veen - online vragenlijst maart 2023

* Required

1. Voor welk toekomstbeeld vul je deze lijst in?

Toekomstbeeld 1 – Geel; Toekomstbeeld 2 – Blauw; Toekomstbeeld 3 – Olijf; Toekomstbeeld 4 – Oranje;
Toekomstbeeld 5 – Bruin; Toekomstbeeld 6 – Paars; Toekomstbeeld 7 – Grijs; Toekomstbeeld 8 – Roze;
Toekomstbeeld 9 – Wit; Toekomstbeeld 10 – Beige; Toekomstbeeld 11 – Lila; Toekomstbeeld 12 – Magenta

2. De wereldhandel is in dit toekomstbeeld:

Instabiel
Stabiel

3. De leveringszekerheid van import en export van Nederlandse landbouwproducten is in dit toekomstbeeld:

Veel groter dan nu
Groter dan nu
Gelijk aan nu
Kleiner dan nu
Veel kleiner dan nu
Weet ik niet

4. De verduurzamingsstrategie van de voedselindustrie en retail is in dit toekomstbeeld:

Beperkt
Sterk

5. De kans op technologische doorbraken van duurzame voedselinnovaties in dit toekomstbeeld is:

Groot
Klein
Weet ik niet

6. Klimaatverandering volgt in dit toekomstbeeld het pad naar een toename van:

2 graden in 2100 (aanzienlijke klimaatverandering)
5 graden in 2100 (zeer sterke klimaatverandering)

7. Consumenten van Nederlandse landbouwproducten maken in dit toekomstbeeld:

Meer plantaardige voedselkeuzes
Meer dierlijke voedselkeuzes

8. De vraag naar Nederlandse zuivel is in dit toekomstbeeld:

- Veel groter dan nu
- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

9. Het EU-verduurzamingsbeleid is in dit toekomstbeeld:

- Krachtiger dan het huidige beleid
- Zwakker dan het huidige beleid

10. Het aantal melkkoeien in Nederland is in dit toekomstbeeld:

- Veel groter dan nu
- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

11. Het areaal van agrarisch grasland voor melkvee is in dit toekomstbeeld:

- Veel groter dan nu
- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

12. Het aandeel agrarisch grasland met extensief, natuurlijk beheer is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Weet ik niet

13. Het areaal aan natuurgebieden in Nederland is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Weet ik niet

14. De CO₂-emissies uit veengebieden zijn in dit toekomstbeeld

- Gestegen
- Onveranderd gebleven
- Gedaald
- Weet ik niet

15. De methaan- en stikstofemissies van de Nederlandse melkveehouderij op veen zijn in dit toekomstbeeld:

- Gestegen
- Onveranderd gebleven
- Gedaald
- Weet ik niet

16. De kwaliteit van de natuur (aanwezigheid plant- en diersoorten) is in dit toekomstbeeld:

- Veel groter dan nu
- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

17. Kunnen alle externe factoren in de toestand zoals ze in de scenariobeschrijving beschreven zijn, logischerwijs in samenhang voorkomen? Antwoord op deze vraag is niet verplicht

- Ja
- Nee

18. En waarom? Antwoord op deze vraag is niet verplicht.

Gangbare veehouderij - online vragenlijst maart 2023

* Required

1. Voor welk toekomstbeeld vul je deze lijst in?

Toekomstbeeld 1 – Geel; Toekomstbeeld 2 – Blauw; Toekomstbeeld 3 – Olijf; Toekomstbeeld 4 – Oranje;
Toekomstbeeld 5 – Bruin; Toekomstbeeld 6 – Paars; Toekomstbeeld 7 – Grijs; Toekomstbeeld 8 – Roze;
Toekomstbeeld 9 – Wit; Toekomstbeeld 10 – Beige; Toekomstbeeld 11 – Lila; Toekomstbeeld 12 – Magenta

2. De wereldhandel is in dit toekomstbeeld:

Instabiel
Stabiel

3. De leveringszekerheid van import en export van Nederlandse landbouwproducten is in dit toekomstbeeld:

Veel groter dan nu
Groter dan nu
Gelijk aan nu
Kleiner dan nu
Veel kleiner dan nu
Weet ik niet

4. De verduurzamingsstrategie van de voedselindustrie en retail is in dit toekomstbeeld:

Beperkt
Sterk

5. De kans op technologische doorbraken van duurzame voedselinnovaties in dit toekomstbeeld is:

Groot
Klein
Weet ik niet

6. Klimaatverandering volgt in dit toekomstbeeld het pad naar een toename van:

2 graden in 2100 (aanzienlijke klimaatverandering)
5 graden in 2100 (zeer sterke klimaatverandering)

7. Consumenten van Nederlandse landbouwproducten maken in dit toekomstbeeld:

Meer plantaardige voedselkeuzes
Meer dierlijke voedselkeuzes

8. De vraag naar gangbaar geproduceerd vlees uit Nederland is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

9. Het EU-verduurzamingsbeleid is in dit toekomstbeeld:

- Krachtiger dan het huidige beleid
- Zwakker dan het huidige beleid

10. Het aantal varkens en de hoeveelheid pluimvee in Nederland is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

11. Het areaal van akkerland voor veevoer voor varkens en pluimvee is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

12. De watervraag van de Nederlandse akkerbouw voor gangbare veehouderij is in dit toekomstbeeld:

- Gestegen
- Onveranderd gebleven
- Gedaald
- Weet ik niet

13. De stikstof- en CO₂-emissies van de Nederlandse gangbare veehouderij zijn in dit toekomstbeeld

- Gestegen
- Onveranderd gebleven
- Gedaald
- Weet ik niet

14. Het areaal aan natuurgebieden in Nederland is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Weet ik niet

15. De kwaliteit van de natuur (aanwezigheid plant- en diersoorten) is in dit toekomstbeeld:

- Veel groter dan nu
- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

16. Kunnen alle externe factoren in de toestand zoals ze in de scenariobeschrijving beschreven zijn, logischerwijs in samenhang voorkomen? Antwoord op deze vraag is niet verplicht

- Ja
- Nee

17. En waarom? Antwoord op deze vraag is niet verplicht

Akkerbouw -online vragenlijst maart 2023

* Required

1. Voor welk toekomstbeeld vul je deze lijst in?

Toekomstbeeld 1 – Geel; Toekomstbeeld 2 – Blauw; Toekomstbeeld 3 – Olijf; Toekomstbeeld 4 – Oranje;
Toekomstbeeld 5 – Bruin; Toekomstbeeld 6 – Paars; Toekomstbeeld 7 – Grijs; Toekomstbeeld 8 – Roze;
Toekomstbeeld 9 – Wit; Toekomstbeeld 10 – Beige; Toekomstbeeld 11 – Lila; Toekomstbeeld 12 – Magenta

2. De wereldhandel is in dit toekomstbeeld:

Instabiel
Stabiel

3. De leveringszekerheid van import en export van Nederlandse landbouwproducten is in dit toekomstbeeld:

Veel groter dan nu
Groter dan nu
Gelijk aan nu
Kleiner dan nu
Veel kleiner dan nu
Weet ik niet

4. De verduurzamingsstrategie van de voedselindustrie en retail is in dit toekomstbeeld:

Beperkt
Sterk

5. De kans op technologische doorbraken van duurzame, plantaardige voedselinnovaties in dit toekomstbeeld is:

Groot
Klein
Weet ik niet

6. Klimaatverandering volgt in dit toekomstbeeld het pad naar een toename van:

2 graden in 2100 (aanzienlijke klimaatverandering)
5 graden in 2100 (zeer sterke klimaatverandering)

7. Consumenten van Nederlandse landbouwproducten maken in dit toekomstbeeld:

Meer plantaardige voedselkeuzes
Meer dierlijke voedselkeuzes

8. De vraag naar Nederlandse akkerbouwproducten voor consumptie is in dit toekomstbeeld:

- Veel groter dan nu
- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Weet ik niet

9. De vraag naar Nederlandse akkerbouwproducten voor gebruik als biograndstoffen (voor de bouw, biochemie, etc.) is in dit toekomstbeeld:

- Veel groter dan nu
- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Weet ik niet

10. Het EU-verduurzamingsbeleid is in dit toekomstbeeld:

- Krachtiger dan het huidige beleid
- Zwakker dan het huidige beleid

11. Het areaal akkerland in Nederland is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

12. Het aandeel natuurinclusief of duurzaam gebruikt akkerland is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Weet ik niet

13. Het areaal aan natuurgebieden in Nederland is in dit toekomstbeeld:

- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Weet ik niet

14. De kwaliteit van de natuur (aanwezigheid plant- en diersoorten) is in dit toekomstbeeld:

- Veel groter dan nu
- Groter dan nu
- Gelijk aan nu
- Kleiner dan nu
- Veel kleiner dan nu
- Weet ik niet

15. De watervraag van de Nederlandse akkerbouw is in dit toekomstbeeld:

- Gestegen
- Onveranderd gebleven
- Gedaald
- Weet ik niet

16. Kunnen alle externe factoren in de toestand zoals ze in de scenariobeschrijving beschreven zijn, logischerwijs in samenhang voorkomen? Antwoord op deze vraag is niet verplicht

- Ja
- Nee

17. En waarom? Antwoord op deze vraag is niet verplicht

Bijlage 7 Beschrijvingen van de methode en uitkomsten van de statistische analyse

Bayesian Belief Networks voor Landbouw-Natuurverkenning

Ron Wehrens

31 mei 2023

1 Introductie

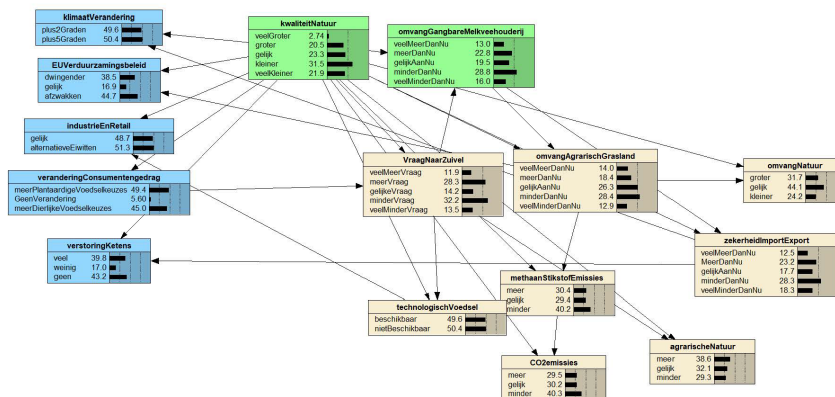
Met behulp van Netic software hebben Mirre en Anouk Bayesiaanse netwerken gebouwd die de meningen van experts samenvatten over de samenhang tussen verschillende factoren gerelateerd aan globale issues (zoals klimaatverandering, consumentengedrag), de melkveehouderij (factoren als CO₂ emissies) en de kwaliteit van natuur. Het netwerk – weergegeven in Figuur 1 – bevat 15 nodes en 27 edges.

Dit model biedt veel mogelijkheden tot het doen van “what-if” experimenten, en geeft inzicht in de samenhang tussen al deze factoren, maar de vraag van Anouk en Mirre is wat de betrouwbaarheid van dit netwerk, en daarmee die van de getrokken conclusies, nu precies is. Deze vraag kun je in een aantal deelvragen ontleden:

1. in hoeverre is er onzekerheid in de structuur van het netwerk? Of, anders gezegd: zouden de pijlen ook anders kunnen liggen?
2. in hoeverre is er onzekerheid in de onderliggende probabilities?
3. in hoeverre zijn deze conclusies stabiel bij kleine veranderingen van de netwerkstructuur of netwerkparameters?

Het kan zijn dat er gedurende het onderzoek meer deelvragen bijkomen, of deelvragen verdwijnen.

De aanpak is gebaseerd op netwerken in R [R Core Team, 2022], omdat daarin relatief eenvoudig geëxperimenteerd kan worden met andere trainingsmethoden, en grote hoeveelheden scenario’s kunnen worden doorgerekend. We gebruiken de R pakketten **bnlearn** [Scutari, 2010] en **gRain** [Højsgaard, 2012]. Het laatste pakket is voornamelijk bedoeld om een bestaand netwerk te analyseren, terwijl het eerste pakket een breed scala aan mogelijkheden heeft om de netwerken te bouwen op grond van data – in beide pakketten is het mogelijk de structuur van een netwerk handmatig te construeren.



Figuur 1: Netwerk verkregen met Netica. Doelvariabele is “kwaliteitNatuur”.

2 Het opstellen van het netwerk

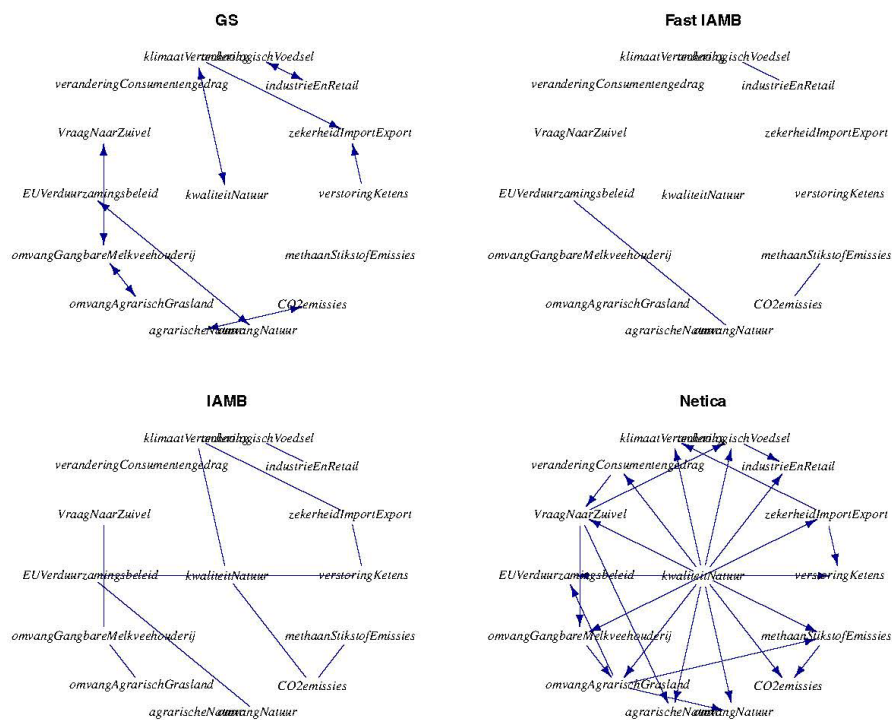
Eerst onderzoeken we of het toepassen van de functies in **bnlearn** een netwerkstructuur zoals die van Netica oplevert, wanneer we gebruik maken van de gegevens ingevuld door de experts. Dit inputbestand bevat 68 records met waarden voor de 15 variabelen in het netwerk, waarbij 14 waarden ontbreken (missing values, weergegeven als vraagtekens in de invoerdata).

2.1 Netwerk structuur

Het **bnlearn** pakket heeft in totaal zes methoden om de structuur van een netwerk te leren uit een data set. Vijf daarvan horen tot de zogenaamde “constraint-based” leer-algoritmes, en een tot de “score-based” leer-algoritmes. Helaas lijkt het niet mogelijk de netwerkstructuur uit Netica rechtstreeks in te lezen, maar door middel van het exporteren van de lijst van conditional probability tables voor elk van de nodes (zie later) kunnen we het Netica netwerk toch in R reconstrueren, zodat we eenvoudig daarmee kunnen vergelijken. Zoals ook al uit Figuur 1 blijkt heeft de doelvariabele, *kwaliteitNatuur*, links naar alle andere variabelen – bovendien heeft vrijwel elke andere variabele nog een ouder (een variabele die ernaar verwijst). De uitzondering is *veranderingConsumentengedrag*, waarnaar alleen verwezen wordt vanuit *kwaliteitNatuur*.

De gevonden netwerken zijn weergegeven in Figuur 2. Drie van de vijf methoden (IAMB, inter.IAMB, MMPC) geven hetzelfde netwerk; de andere twee methoden geven andere netwerken. Merk op dat alleen GS een aantal directed edges (met pijlen) oplevert.

Het is duidelijk dat deze methoden niet alleen onderling verschillende netwerken opleveren, maar ook dat geen enkel van deze netwerken in de buurt komt van het Netica netwerk, in Figuur 2 rechtsonder weergegeven. Het lijkt er op dat Netica een netwerkstructuur “leert” waarin alle variabelen behalve de doelvariabele twee inputs krijgen –

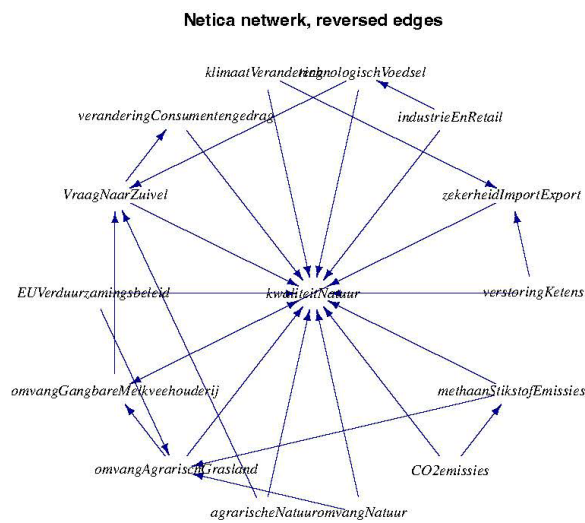


Figuur 2: Networkstructuren (drie stuks) verkregen door verschillende trainingmethoden in **bnlearn**. Rechtsonder de structuur van het Netica netwerk.

niet een wetmatigheid waarvan je meteen zou denken dat die altijd opgaat. Wat in het Netica netwerk verder opvalt is de richting van de pijlen: die wijzen *van kwaliteitNatuur af*. Normaliter wordt dat als volgt geïnterpreteerd: “als kwaliteitNatuur verandert, dan heeft dat een effect op”, en dan volgen bijvoorbeeld EUVerduurzamingsbeleid, veranderingConsumentengedrag – dat is misschien wel het geval, maar de omgekeerde verbanden zijn waarschijnlijk vele malen sterker. Het netwerk waarin de richting van alle edges is omgedraaid is te zien in Figuur 3.

3 Netwerk parameters

In **bnlearn** wordt het ophelderen van de structuur van het netwerk gescheiden van het leren van de parameters – dat is in dit geval gunstig, want nu kunnen we met de beschikbare leer-algoritmes de parameters van het gereconstrueerde Netica netwerk schatten. Ook hier



Figuur 3: Netica netwerk met omgedraaide edges, toewijzend naar kwaliteitNatuur.

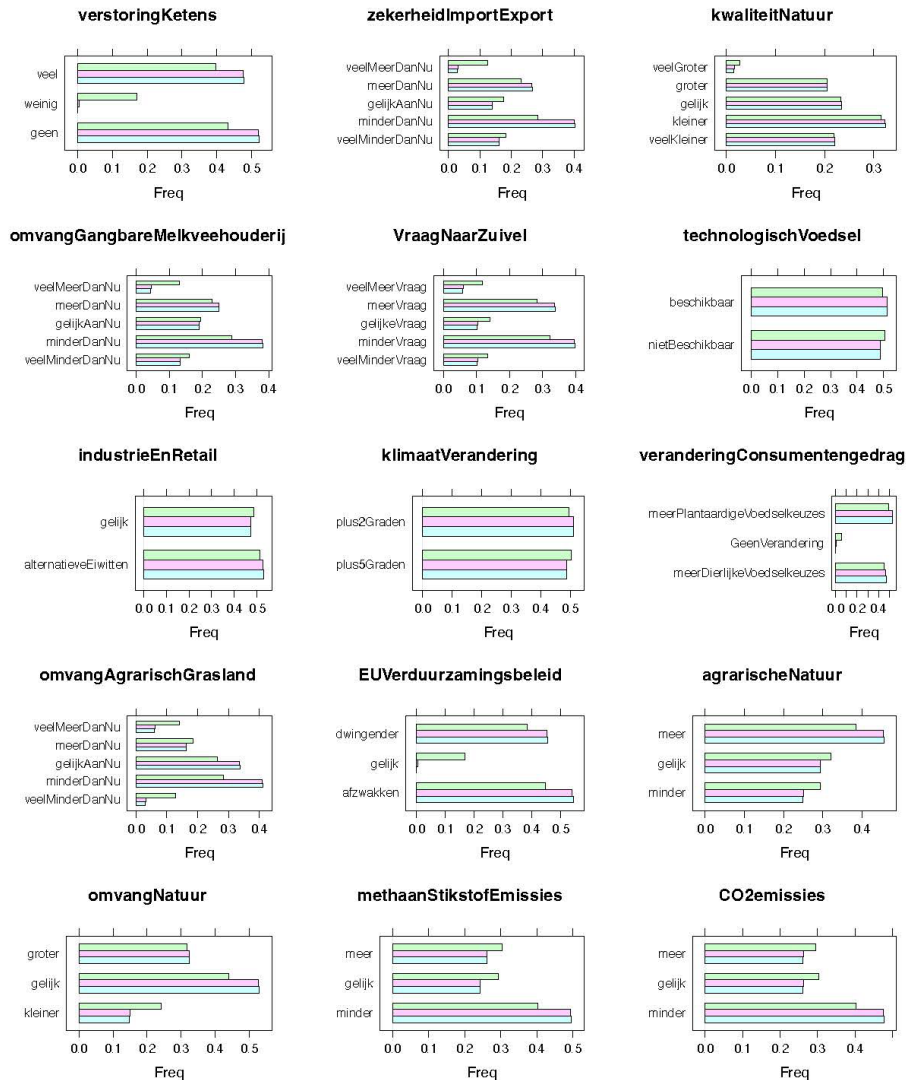
weer geldt dat het mogelijk is dat verschillende algoritmes andere parameterwaardes opleveren, net zoals in de vorige paragraaf de structuur van het gevonden netwerk bleek af te hangen van de gebruikte methode. In dit geval zijn er weer verschillende manieren beschikbaar om de parameters te schatten: een maximum-likelihood method (“mle”) en een Bayesiaanse methode (“bayes”). Helaas lijkt het niet mogelijk om het Netica netwerk te exporteren naar een format dat direct door een van de R pakketten kan worden ingelezen: wel kunnen de zogenaamde “conditional probability tables” (CPTs) naar een leesbare vorm worden weggeschreven. Met wat kunst- en vliegwerk is daarmee het Netica netwerk helemaal te reconstrueren in R.

Figuur 4 laat voor alle variabelen de zogenaamde “marginal distributions” zien, dezelfde kansen (gewichten, hoe je het ook wil noemen) die ook in de Netica figuur afgebeeld zijn. De twee methoden om de conditional probability tables uit de data te berekenen geven, zoals uit de roze en lichtblauwe balken in deze figuur blijkt, zeer gelijke resultaten. In de meeste gevallen komen de getallen ook redelijk overeen met de resultaten van Netica: enkele opvallende verschillen zijn *verstoringKetens*, *veranderingConsumentengedrag*, en *EUVerduurzamingsbeleid*, waar de middelste categorie in de Netica oplossing meer gewicht krijgt. Het blijkt dat in de expertgegevens deze middelste categorieën niet worden gekozen, dus de lage waarden voor de R fits zijn begrijpelijk. Andere verschillen zijn te zien in *omvangAgrarischGrasland* en *omvangNatuur*, waar de meest waarschijnlijke categorie in Netica weliswaar dezelfde is als in de R modellen, maar toch een lager gewicht heeft. De eigenlijke reden lijkt te liggen in de tegenovergestelde observatie: ook in deze

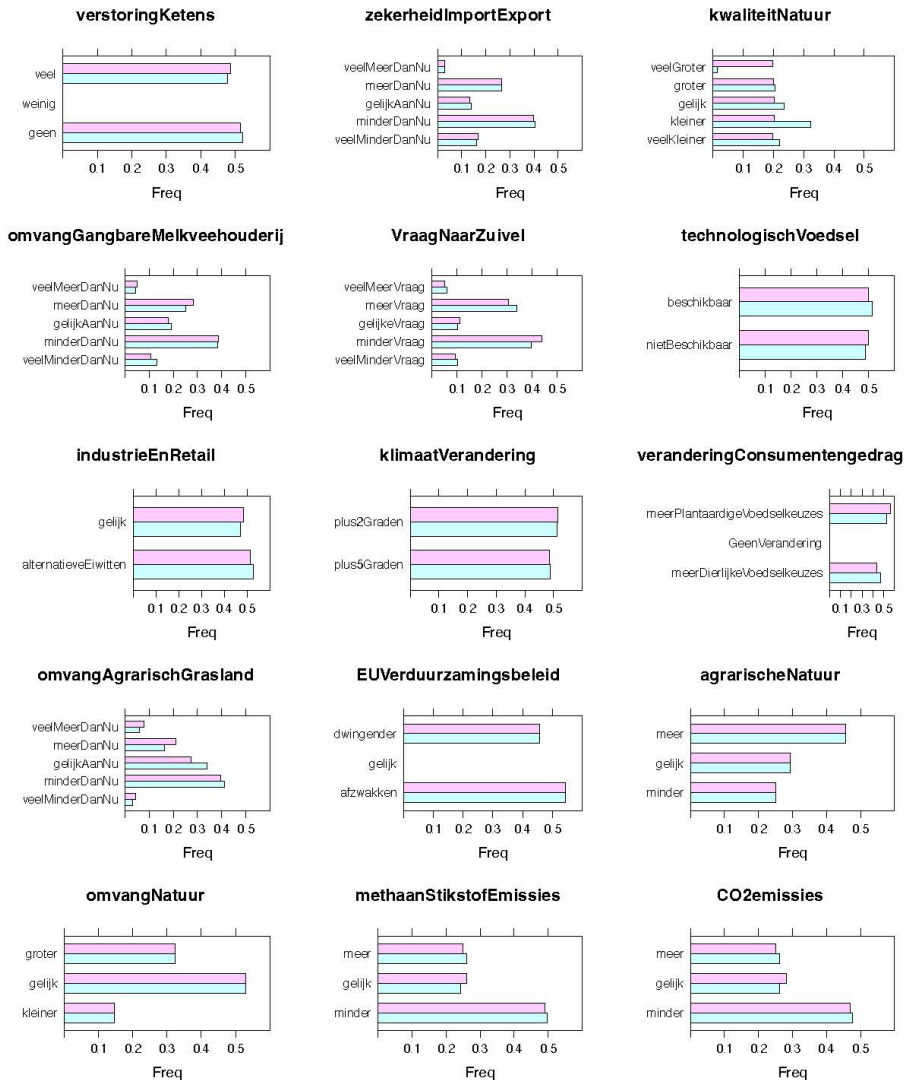
gevallen komen een of meer niveaus vrijwel niet voor in de expert data, en Netica geeft die gevallen dan een grotere waarde dan de data-gebaseerde schattingen: het gevolg is een lagere waarde voor die gevallen die wel veel voorkomen in de expert data.

Samenvattend lijkt het er op dat gegeven een netwerk structuur, Netica netwerkparameters vindt dit goed overeenkomen met de waarden gevonden in R met uitzondering van gevallen die door experts bijna nooit worden genoemd. Daar lijkt Netica een wat gematigder resultaat te leveren dan de R procedures, iets dat ook door een leer-parameter (“soften”?) kan worden bereikt.

Voor het Netica netwerk met omgedraaide pijlrichtingen zijn de marginal probabilities voor alle variabelen, zoals geschat met maximum likelihood in R, weergegeven in Figuur 5. Opvallend is dat er voor veel variabelen vrij weinig verschil is – de uitzondering is de variabele waar het allemaal om draait, **kwaliteitNatuur**. In het “omgedraaide” netwerk lijken alle vijf categorieën even waarschijnlijk. Dit kan het gevolg zijn van de nogal ongestructureerde lijst met edges; elke variabele heeft directe invloed op de doelvariabele, wat (misschien) tot een algehele situatie van non-informatie leidt.



Figuur 4: Marginal probabilities voor elke knoop in het netwerk. In roze de resultaten van Bayesiaanse training, in lichtblauw de resultaten van de MLE training, en in lichtgroen de Netica parameters. Deze laatste komen overeen met de waarden weergegeven in Figuur 1. De resultaten zijn in veel gevallen in goede overeenstemming.



Figuur 5: Marginal probabilities voor elke knoop in het netwerk (gebaseerd op MLE) vergelijkbaar met Figuur 4: in lichtblauw de resultaten van het originele Netica netwerk, in roze de resultaten van het netwerk met omgekeerde edges. Het enige grote verschil is te zien in *kwaliteitNatuur* – niet geheel verrassend.

4 En nu...

- ik probeer te achterhalen hoe Netica een netwerkstructuur definieert, uitgaande van data zoals hier
- ik probeer me de namen te herinneren van anderen (bij WFSR en WFBR) die met Bayesiaanse netwerken werken
- ik zal, uitgaande van het “causale” netwerk, door experts gedefinieerd, alle mogelijke combinaties van scenario-variabelen (in blauw in Figuur 1 doorrekenen, en het resultaat (in termen van marginal probabilities voor `kwaliteitNatuur`) grafisch weergeven (evt na clustering).

Referenties

- Søren Højsgaard. Graphical independence networks with the gRain package for R. *Journal of Statistical Software*, 46(10):1–26, 2012. doi: 10.18637/jss.v046.i10. URL <https://www.jstatsoft.org/v46/i10/>.
- R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. URL <https://www.R-project.org/>.
- Marco Scutari. Learning Bayesian networks with the bnlearn R package. *Journal of Statistical Software*, 35(3):1–22, 2010. doi: 10.18637/jss.v035.i03.

Technical details

```
R version 4.2.1 (2022-06-23)
Platform: x86_64-pc-linux-gnu (64-bit)
Running under: Ubuntu 22.04.2 LTS

Matrix products: default
BLAS:   /usr/lib/x86_64-linux-gnu/openblas-pthread/libblas.so.3
LAPACK: /usr/lib/x86_64-linux-gnu/openblas-pthread/libopenblas-p-r0.3.20.so

locale:
 [1] LC_CTYPE=en_GB.UTF-8      LC_NUMERIC=C
 [3] LC_TIME=nl_NL.UTF-8      LC_COLLATE=en_GB.UTF-8
 [5] LC_MONETARY=nl_NL.UTF-8  LC_MESSAGES=en_GB.UTF-8
 [7] LC_PAPER=nl_NL.UTF-8     LC_NAME=C
 [9] LC_ADDRESS=C             LC_TELEPHONE=C
[11] LC_MEASUREMENT=nl_NL.UTF-8 LC_IDENTIFICATION=C

attached base packages:
[1] tools      stats      graphics  grDevices  utils      datasets  methods
[8] base

other attached packages:
 [1] igraph_1.3.5      reshape2_1.4.4    gRain_1.3.13
 [4] gRbase_1.8.9      RColorBrewer_1.1-3 gridExtra_2.3
 [7] latticeExtra_0.6-30 lattice_0.20-45   knitr_1.41
[10] bnlearn_4.8.3

loaded via a namespace (and not attached):
 [1] Rcpp_1.0.10      plyr_1.8.8        pillar_1.8.1
 [4] compiler_4.2.1  BiocManager_1.30.20 tibble_3.1.8
 [7] evaluate_0.20   lifecycle_1.0.3   gtable_0.3.1
[10] pkgconfig_2.0.3  png_0.1-8         rlang_1.0.6
[13] Matrix_1.5-3    graph_1.76.0      DBI_1.1.3
[16] cli_3.6.0       Rgraphviz_2.42.0  parallel_4.2.1
[19] xfun_0.36       interp_1.1-3      stringr_1.5.0
[22] dplyr_1.0.10    generics_0.1.3    vctrs_0.5.2
[25] tidysselect_1.2.0 stats4_4.2.1      grid_4.2.1
[28] glue_1.6.2      R6_2.5.1          jpeg_0.1-10
[31] fansi_1.0.4     RBGL_1.74.0       tidyr_1.2.1
[34] purrr_1.0.1     deldir_1.0-6     magrittr_2.0.3
[37] backports_1.4.1 BiocGenerics_0.44.0 assertthat_0.2.1
[40] utf8_1.2.2      stringi_1.7.12    broom_1.0.2
```

Bayesian Belief Networks voor Landbouw-Natuurverkenning

Vervolg

Ron Wehrens

21 juni 2023

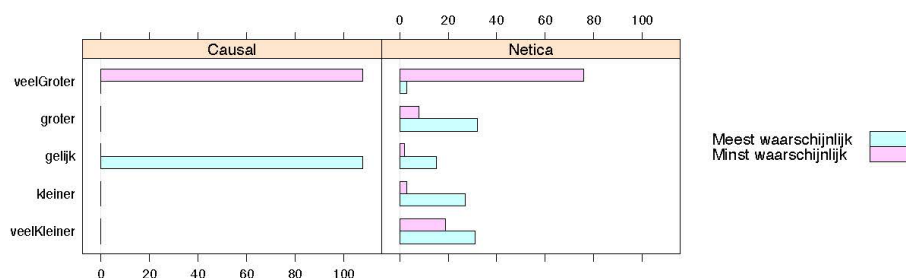
1 Introductie

- ik probeer te achterhalen hoe Netica een netwerkstructuur definieert, uitgaande van data zoals hier
- ik zal alle mogelijke combinaties van scenario-variabelen doorrekenen, en het resultaat (in termen van marginal probabilities voor `kwaliteitNatuur`) grafisch weergeven (evt na clustering).

2 Netwerk structuur in Netica

Waarom verschilt de structuur van het netwerk gevonden door Netica zozeer van de causale netwerken gevonden in R? Het antwoord is vrij eenvoudig, en staat min of meer expliciet in de software documentatie: Netica beoogt helemaal geen causaal netwerk te bouwen, maar levert in plaats daarvan een TAN, een Tree Augmented Network [Friedman et al., 1997]. Dat is een model dat er uit ziet als een causaal netwerk, en ook dezelfde rekenregels hanteert, maar een fundamenteel andere insteek heeft. Het doel is heel specifiek een model te trainen op grond van aanwezige data om zo goed mogelijke voorspelling te doen voor nieuwe data, en valt dus in de klasse van Machine Learning. Ook het R pakket `bnlearn` heeft een functie om TAN netwerken te trainen (`tree.bayes()`, nog niet gebruikt). Interpreteerbaarheid (aan- of afwezigheid van edges, richtingen van edges) is geen doel van een TAN netwerk – het draait alleen maar om de voorspellingen. Dat is overigens ook zoals Anouk het heeft gepresenteerd aan de stakeholders (en aan mij).

Daarentegen zijn causale netwerken bedoeld om oorzakelijke verbanden tussen variabelen te laten zien. Dat is natuurlijk een veel moeilijker taak dan het laten zien van correlaties, maar levert (indien succesvol) ook veel meer informatie op. De structuur van een causaal netwerk kan geleerd worden uit gegevens (wanneer die in voldoende mate beschikbaar zijn) – een alternatief is ze handmatig te construeren. In dat laatste geval representeren ze “expert opinion”. Voor de melkvee data is ook een dergelijk netwerk



Figuur 2: Verdeling over de vijf niveaus van de doelvariabele, `kwaliteitNatuur`, van de scenario's: de meest en minst waarschijnlijke uitkomsten zijn weergegeven.

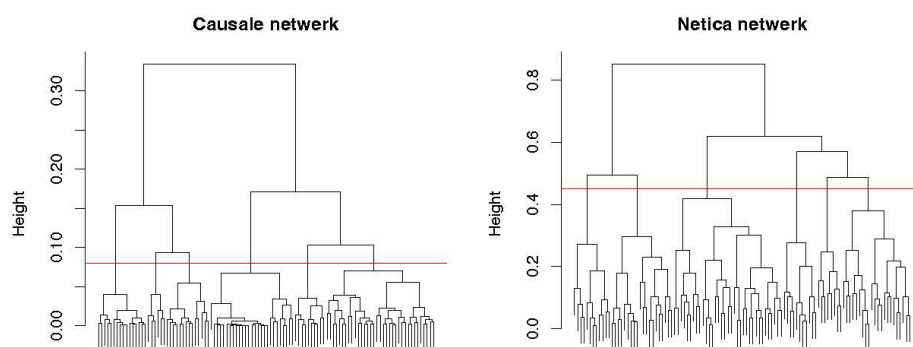
3.1 Meest waarschijnlijke uitkomsten

Figuur 2 geeft voor beide netwerken de verdeling van de scenario's over de niveaus van `kwaliteitNatuur` aan. Hier wordt gekeken naar de meest waarschijnlijke en minst waarschijnlijke waarden. De verschillen tussen de netwerken zijn meteen duidelijk: in het causale netwerk leiden alle scenario's tot een gelijk blijvende natuurkwaliteit als meest waarschijnlijke uitkomst, en is een veel grotere kwaliteit altijd het minst waarschijnlijk – in het Netica netwerk is er variatie in welk niveau het meest waarschijnlijk is. Ook daar is trouwens een veel hogere kwaliteit meestal de minst waarschijnlijke uitkomst. Ondanks het feit dat het causale netwerk tot alles-of-niets antwoorden lijkt te leiden is er wel degelijk variatie in de kansverdelingen – zie volgende paragraaf.

3.2 Uitkomstverdelingen: hierarchische clustering

Om in iets meer detail te kijken naar de effecten van de verschillende scenario's is het goed om niet alleen naar de meest waarschijnlijke uitkomst te kijken, maar ook naar de verdeling van de uitkomsten. Een eerste aanpak is het clusteren van de kansverdelingen voor de 108 scenario's. Dat kan op vele manieren: Figuur 3 laat de hierarchische clusteringen zien voor beide netwerkresultaten, gebruik makend van een Euclidische afstand tussen kansverdelingen. We zien in beide gevallen een structuur met meerdere groepen. Als we de dendrogrammen doorknippen op een hoogte die zes clusters oplevert (een min of meer arbitraire keuze) kunnen we kijken welke inputlevels bij die clusters horen.

Welke inputvariabelen bijdragen tot welke clusters wordt getoond in Figuur 4 voor het causale netwerk. De bovenste regel geeft aan hoe de verdeling over de categorieën binnen `kwaliteitNatuur` is: in alle gevallen is `gelijk` de meest waarschijnlijke categorie. Toch zien we wat verschillen: clusters 3, 5 en 6 leiden tot relatief lage waarden voor `veelKleiner`, terwijl cluster 1 daarvoor juist een relatief hoge waarde vindt. Dat lijkt vooral veroorzaakt door de eerste twee inputs: `klimaatVerandering`



Figuur 3: Dendrogrammen van de hierarchische clusteringen van de scenario-uitkomsten voor de twee netwerken. De horizontale lijnen geven aan waar de dendrogrammen zijn “geknipt” om tot zes clusters te komen.

en EUverduurzaming, en dan met name door de eerste. Cluster 1 bestaat geheel uit scenario’s waarbij het klimaat met 5 graden opwarmt; clusters 3, 5 en 6 uit scenario’s waarbij de opwarming beperkt blijft. Clusters 5 en 6 onderscheiden zich het meest door het verschil in EU beleid; cluster 3 verschilt vooral van cluster 5 door consumentengedrag. Al deze effecten lijken secundair, vergeleken met klimaateffecten.

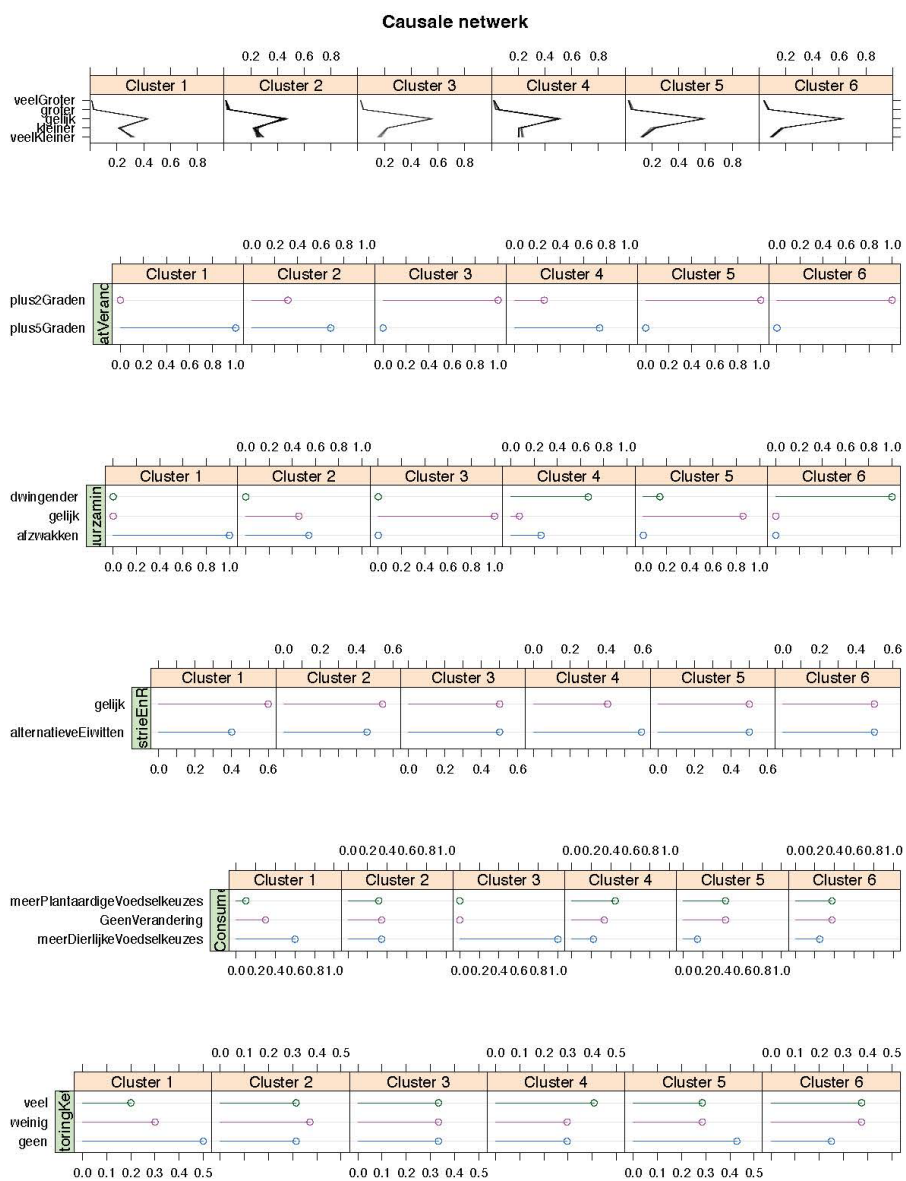
Voor het Netica netwerk vinden we meer expliciete verschillen in de doelvariabele: Cluster 1 komt overeen met een sterke verslechtering, terwijl clusters 3 en 6 nog het meest hoopgevend zijn. De scenario’s in cluster 1 zijn geen verrassing: grote opwarming, geen duurzaamheidsbeleid, geen verandering in consumentengedrag, etc. Cluster 6 heeft de hoogste fractie scenario’s waarbij de kwaliteit van de natuur er maximaal op vooruit gaat, en correspondeert verrassend genoeg met middle-of-the-road scenario’s waarbij er niet veel verandert. Een van de voorbeelden die met Anouk besproken zijn om te checken of de R berekeningen overeenkomen met die binnen Netica behelste ook een dergelijk scenario. Waarschijnlijk zijn dit scenario’s die niet goed gecovered zijn in de expert-data (ik kan me voorstellen dat je daar juist extremen opzoekt). Cluster 3 lijkt redelijker: daarin zitten vooral scenario’s met een beperkte opwarming, een redelijk sturende EU, en meer bewust consumentengedrag.

In Figuren 4 en 5 is het bovenste paneel een weergave van de absolute uitkomsten van de vijf niveaus van de doelvariabele – voor elke regel is de som van de vijf niveaus gelijk aan 1. Er is ook nog een andere weergave mogelijk, waarbij we per niveau schalen (een simpele normalisatie naar gemiddelde nul en standaard-deviatie een). Die plots laten zien in welk cluster de hoogste en laagste waarden voor een bepaald kwaliteitsniveau gevonden worden. Figuur 6 laat voor de twee netwerken de resultaten zien.

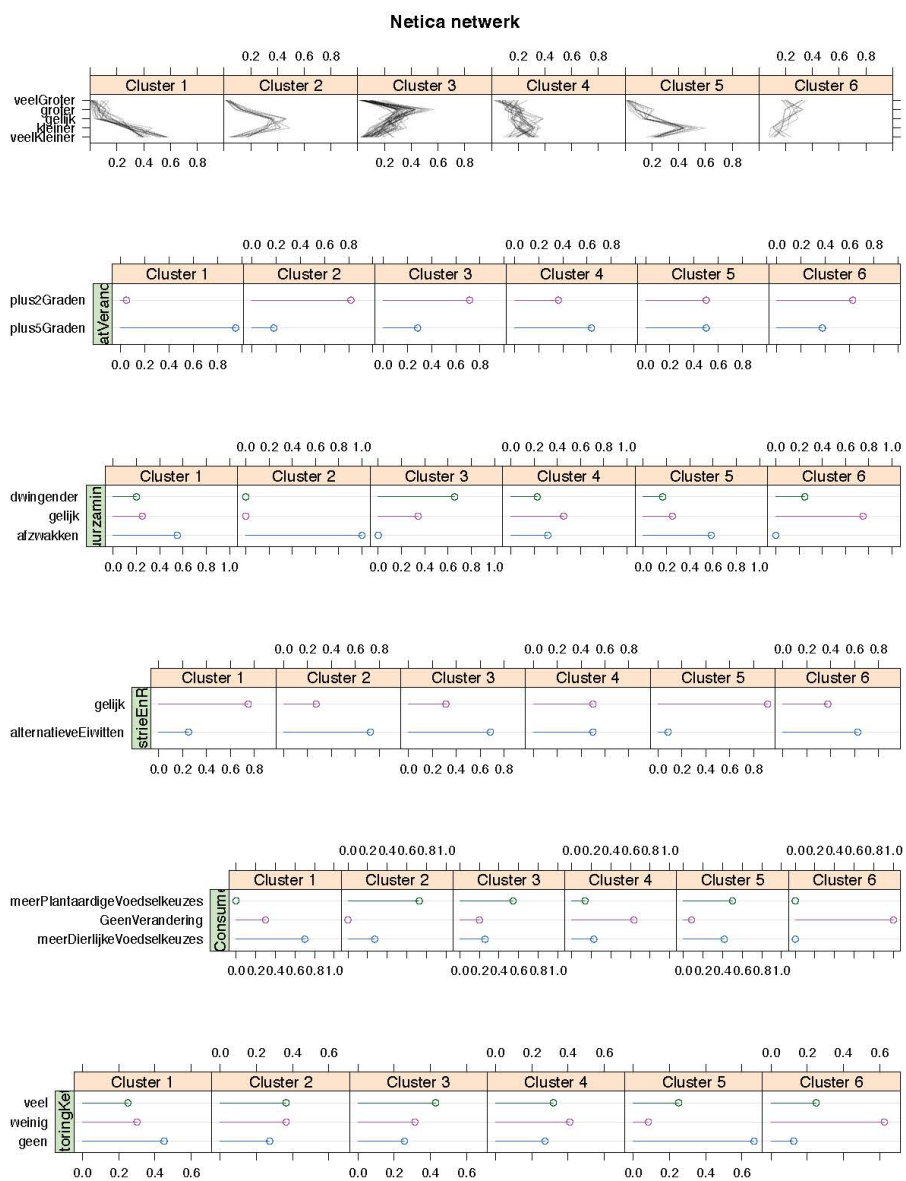
Met name voor het causale netwerk wordt de interpretatie een stuk eenvoudiger. Waar Figuur 4 wordt gedomineerd door de overheersende uitkomst van **gelijk** en de

verschillen in de andere toestanden moeilijk te zien zijn in die figuur, zien we hier dat cluster 1 overeenkomt met een aanzienlijke verslechtering, en cluster 6 met de grootste verbetering. Om preciezer te zijn in de formulering: de hoogste waarden voor **veelGroter** zijn vooral te vinden in cluster 6, en de hoogste waarden voor **veelKleiner** in cluster 1.

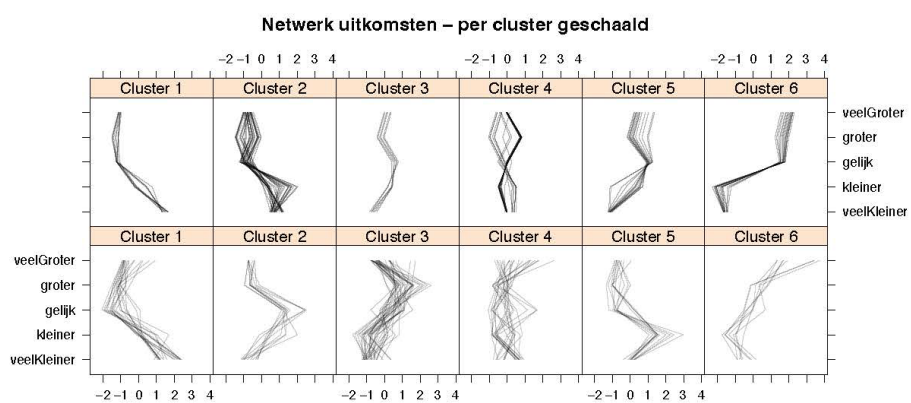
Toevallig zien we hetzelfde in de geschaalde Netica resultaten – toevallig, want de clusters zijn onafhankelijk van elkaar bepaald en twee aparte dendrogrammen zijn doorgeknipt. Voor de Netica resultaten is het verschil met Figuur 5 echter veel kleiner.



Figuur 4: Samenstelling van de clusters gevonden in de scenario's door het causale netwerk. Figuur kan nog verbeterd worden.



Figuur 5: Samenstelling van de clusters gevonden in de scenario's door het Netica netwerk. Figuur kan nog verbeterd worden.



Figuur 6: Weergave van de per kwaliteitsniveau geschaalde uitkomsten van de scenario's in de twee netwerken: het causale netwerk staat in de bovenste rij, het Netica netwerk in de onderste.

3.3 Uitkomstverdelingen: self-organising maps

Er zijn vele manieren om data te clusteren, en de hiërarchische clustering uit de vorige paragraaf is een van de bekendste. Een andere, die in deze context misschien een meer natuurlijke visualisatie biedt is de zogenaamde self-organising map (SOM, Kohonen [1995], Wehrens and Kruisselbrink [2018]). Hierbij worden de te clusteren objecten (hier: de scenario's) in een 2-dimensionaal grid geprojecteerd, waarbij op elkaar lijkende scenario's dicht bij elkaar liggen. Vervolgens is het dan mogelijk om de onderliggende variabelen (hier: de vijf inputs) op dezelfde map af te beelden. In de huidige versie is gebruik gemaakt van een Euclidische afstand tussen de verdelingen over de categorieën – een eerdere versie gebruikte een Tanimoto afstand die beter geschikt is voor discrete factoren.

Het een en ander wordt waarschijnlijk duidelijker als we de resultaten bespreken. Figuur 7 laat de resultaten van de afbeelding van de 108 scenario's zien op een SOM van 15 units – dat zou je kunnen beschouwen als 15 afzonderlijke clusters, geordend op zo'n manier dat naast elkaar gelegen clusters op elkaar lijken. Zo kun je door van de ene unit naar de andere te hopen een reis door de map maken, en steeds een kleine verandering zien. De tweede en derde units van de onderste rij zijn leeg: dat betekent dat die units wel gedefinieerd zijn, maar dat er geen scenario's op mappen – in zekere zin bestaan die units alleen om een geleidelijke overgang tussen aangrenzende units mogelijk te maken.

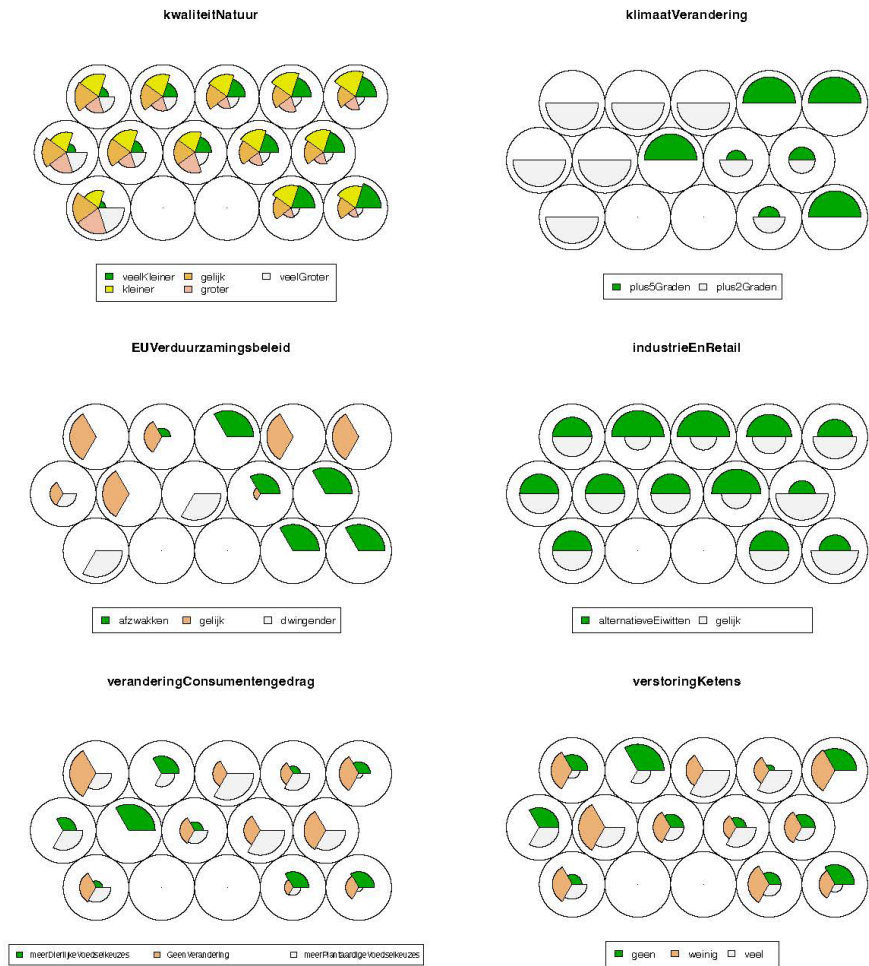
Linksboven in de figuur staat **kwaliteitNatuur** weergegeven. De gekleurde segmenten geven de (relatieve) bezettingsgraad per unit (cirkel) weer voor ieder niveau: aan de rechterkant van de map zie je vooral scenario's die tot een veel kleinere natuurkwaliteit leiden (hier toevallig groen gekleurd), en linksonder in de map scenario's met een (relatief) hogere waarde voor grotere of veel grotere natuurkwaliteit. Met "relatief" bedoel ik dat een groot segment voor **veelGroter** niet betekent dat daar alle scenario's tot een veel grotere natuurkwaliteit leiden, maar dat daar simpelweg de hoogste waarden voor die categorie gevonden worden. De absolute waarden (waarschijnlijkheden) zijn daar nog steeds laag. In die zin zijn deze weergaven dus te vergelijken met de weergaven van Figuur 6.

Het mooie van SOM's is dat ook de andere variabelen, de inputs, op dezelfde manier kunnen worden weergegeven, en dat de units van de map in alle gevallen met elkaar overeenstemmen. Voor de meest rechtse units (met vooral een veel kleinere natuurkwaliteit) zie je dat die overeenkomen met een groter temperatuurstijging, en een afgezwakt EU verduurzamingsbeleid; de effecten van de overige drie inputs zijn wat meer gemengd. Omgekeerd kun je ook kijken naar de units waarbij het relatief wat beter gaat: die komen grotendeels overeen met een dwingend EU beleid en een beperkte temperatuurstijging.

Een dergelijke interpretatie kunnen we ook maken voor het Netica netwerk – zie Figuur 8. Daar zien we de grootste neergang in natuurkwaliteit links(boven) in de map, overeenkomend met een opwarming van de aarde, een afgezwakt natuurbeleid, en geen verandering in consumentengedrag en ketens.

Uiteraard zijn deze conclusies in overeenkomst met die uit de vorige paragraaf – we kijken immers naar dezelfde data. Het verschil is dat SOM's je toestaan meer "door je ooghaars" te kijken, en je niet al te strak vast te leggen op een keuze voor een bepaald

aantal clusters: we zijn als mens heel goed in staat patronen in de SOM plaatjes te zien die ertoe leiden enkele units als één groep te beschouwen, wat de interpretatie weer kan vereenvoudigen.



Figuur 7: Geschatte prototypes van de SOM clusters gebaseerd op het causale netwerk.



Figuur 8: Geschatte prototypes van de SOM clusters gebaseerd op het Netica netwerk.

Referenties

- N. Friedman, D. Geiger, and M. Goldszmidt. Bayesian network classifiers. *Machine Learning*, 29:131–163, 1997.
- T. Kohonen. *Self-Organizing Maps*. Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- R. Wehrens and J. Kruisselbrink. Flexible self-organising maps in kohonen v3.0. *Journal of Statistical Software*, 87, 2018. doi: 10.18637/jss.v087.i07.

Technical details

```
R version 4.2.1 (2022-06-23)
Platform: x86_64-pc-linux-gnu (64-bit)
Running under: Ubuntu 22.04.2 LTS

Matrix products: default
BLAS:   /usr/lib/x86_64-linux-gnu/openblas-pthread/libblas.so.3
LAPACK: /usr/lib/x86_64-linux-gnu/openblas-pthread/libopenblas-p-r0.3.20.so

locale:
 [1] LC_CTYPE=en_GB.UTF-8      LC_NUMERIC=C
 [3] LC_TIME=nl_NL.UTF-8      LC_COLLATE=en_GB.UTF-8
 [5] LC_MONETARY=nl_NL.UTF-8  LC_MESSAGES=en_GB.UTF-8
 [7] LC_PAPER=nl_NL.UTF-8     LC_NAME=C
 [9] LC_ADDRESS=C             LC_TELEPHONE=C
[11] LC_MEASUREMENT=nl_NL.UTF-8 LC_IDENTIFICATION=C

attached base packages:
[1] tools      stats      graphics  grDevices  utils      datasets  methods
[8] base

other attached packages:
 [1] kohonen_3.0.12      igraph_1.3.5      reshape2_1.4.4
 [4] gRain_1.3.13       gRbase_1.8.9      bnlearn_4.8.3
 [7] RColorBrewer_1.1-3 gridExtra_2.3     latticeExtra_0.6-30
[10] lattice_0.20-45    knitr_1.41

loaded via a namespace (and not attached):
 [1] Rcpp_1.0.10      plyr_1.8.8      pillar_1.8.1
 [4] compiler_4.2.1  BiocManager_1.30.20 tibble_3.1.8
 [7] evaluate_0.20   lifecycle_1.0.3  gtable_0.3.1
[10] pkgconfig_2.0.3  png_0.1-8       rlang_1.0.6
[13] Matrix_1.5-3    graph_1.76.0    DBI_1.1.3
[16] cli_3.6.0       Rgraphviz_2.42.0 parallel_4.2.1
[19] xfun_0.36       interp_1.1-3    stringr_1.5.0
[22] dplyr_1.0.10    generics_0.1.3  vctrs_0.5.2
[25] tidysselect_1.2.0 stats4_4.2.1    grid_4.2.1
[28] glue_1.6.2      R6_2.5.1       jpeg_0.1-10
[31] fansi_1.0.4     RBGL_1.74.0    tidyr_1.2.1
[34] purrr_1.0.1     deldir_1.0-6   magrittr_2.0.3
[37] backports_1.4.1 BiocGenerics_0.44.0 assertthat_0.2.1
[40] utf8_1.2.2      stringi_1.7.12 broom_1.0.2
```

Bayesian Belief Networks voor Landbouw-Natuurverkenning, deel 3 Analyse van omvangGangbareMelkveehouderij

Ron Wehrens

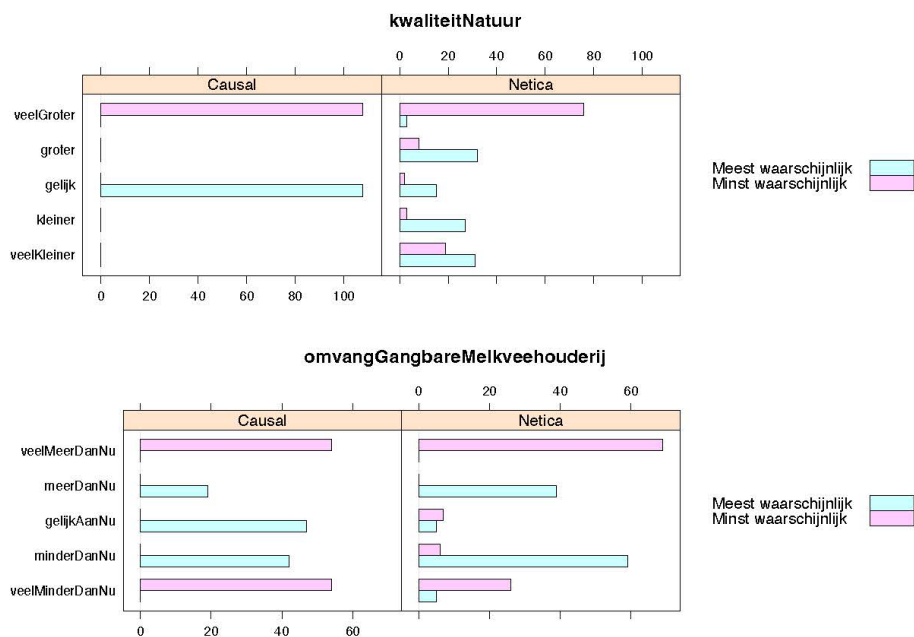
21 juni 2023

1 Introductie

In dit derde deel van de analyse van de Bayesiaanse netwerken kijken we naar de tweede doelvariabele, `omvangGangbareMelkveehouderij` (de eerste is `kwaliteitNatuur`). Hierbij wordt dezelfde aanpak gevolgd, kort samengevat door:

- het reconstrueren van het Netica netwerk en het causale netwerk in R;
- het doorrekenen van alle 108 mogelijke scenario's, wat "kansverdelingen" oplevert voor de doelvariabele(n);
- het clusteren van deze kansverdelingen en het visualiseren hiervan.

Voor wat betreft het laatste onderdeel worden zowel hierarchische clustering als self-organising maps gebruikt. Behalve het simpelweg herhalen van de eerdere exercitie voor een nieuwe doelvariabele kunnen we bovendien nog iets extra's doen: we kunnen kijken naar het effect van de 108 scenario's op beide doelvariabelen gezamenlijk. Ook dat leidt weer tot clustering resultaten die gevisualiseerd kunnen worden.

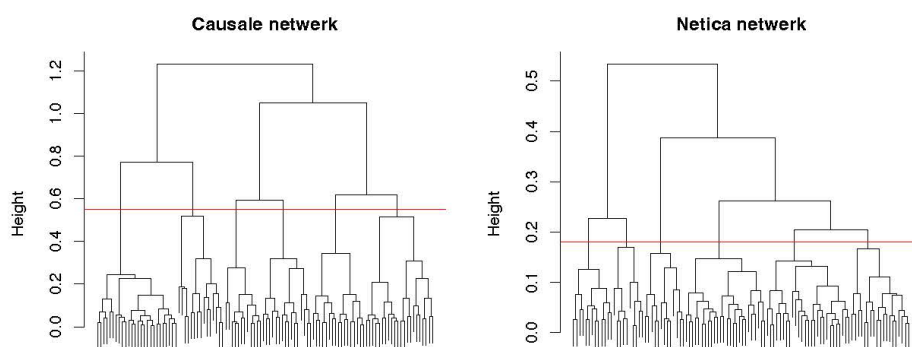


Figuur 1: Verdeling over de niveaus van beide doelvariabelen over alle 108 scenario's: de meest en minst waarschijnlijke uitkomsten zijn weergegeven.

2 Individuele analyse van omvangGangbareMelkveehouderij

2.1 Meest waarschijnlijke uitkomsten

Figuur 1 geeft voor beide netwerken de verdeling van de scenario's over de niveaus van omvangGangbareMelkveehouderij aan – ter vergelijking zijn in het bovenste paneel de resultaten van kwaliteitNatuur, in het vorige rapport ook al weergegeven, herhaald. Duidelijk is dat voor zowel het causale als het Netica netwerk de beide extremen voor omvangGangbareMelkveehouderij het minst waarschijnlijk zijn. Het causale netwerk geeft in de meeste scenario's een gelijk blijvende of kleinere omvang van de melkveebedrijven aan; volgens het Netica netwerk zijn er eigenlijk geen scenario's waarbij de omvang gelijk blijft, en worden de bedrijven ofwel wat groter, ofwel wat kleiner.



Figuur 2: Dendrogrammen van de hierarchische clusteringen van de scenario-uitkomsten voor de twee netwerken. De horizontale lijnen geven aan waar de dendrogrammen zijn “geknipt” om tot zes clusters te komen.

2.2 Uitkomstverdelingen: hierarchische clustering

Figuur 2 laat voor `omvangGangbareMelkveehouderij` de hierarchische clusteringen zien. We knippen, net als bij `kwaliteitNatuur`, de dendrogrammen op een dusdanige hoogte door dat we zes clusters krijgen.

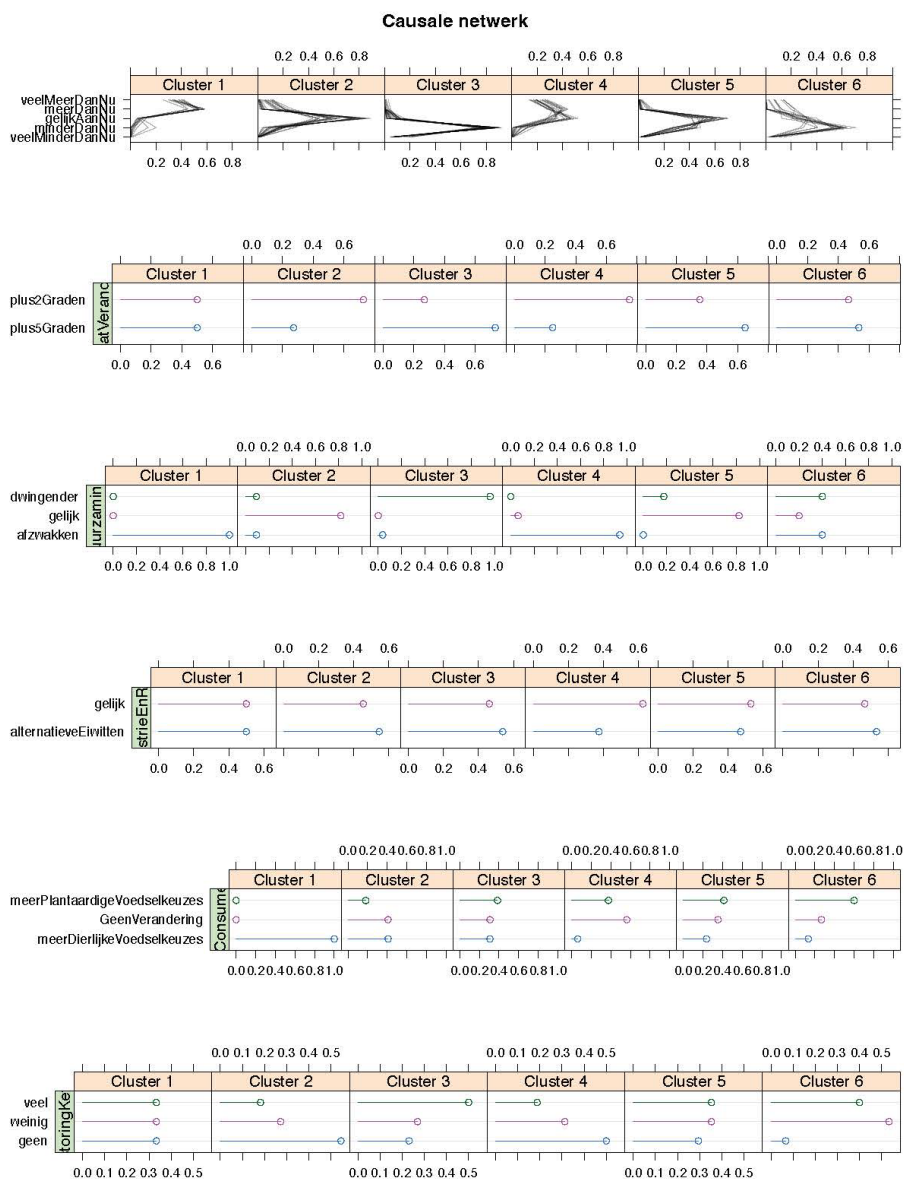
Welke inputvariabelen bijdragen tot welke clusters wordt getoond in Figuur 3 voor het causale netwerk. De bovenste regel geeft aan hoe de verdeling over de categorieën binnen `omvangGangbareMelkveehouderij` is. Cluster 1 en, in iets mindere mate, 4, lijken overeen te komen met grotere melkveebedrijven; clusters 3 en 6 met kleinere (in vergelijking met nu). Clusters 2 en 5: weinig verandering – die laatste komen overeen met gelijkblijvend EU beleid. Een veel dwingender EU beleid zien we in cluster 3, die ook met de grootste afname in bedrijfsgrootte overeenkomt. Niet al te verrassend is dat clusters 1 en 4 met een afgezwakt EU beleid overeenkomen: het lijkt er sterk op dat deze doelvariabele vrijwel volledig door EU beleid wordt bepaald. De drie clusterparen die hetzelfde effect lijken te hebben op de bedrijfsomvang verschillen onderling dan nog in de opwarmingsvariabele, die daarmee een secundair effect lijkt te beschrijven.

Voor het Netica netwerk vinden we eigenlijk ook die drie clusterparen: 1 en 3 komen overeen met grotere bedrijven (weinig veranderend EU beleid, en een sterke opwarming); 5 en 6 met kleinere bedrijven (beperkte opwarming – cluster 5 komt overeen met een afgezwakt EU beleid en cluster 6 met een aangescherpt EU beleid), en 2 en 4 laten een vlak profiel zien. Wel aardig is dat clusters 5 en 6 heel sterk samenhangen met meer plantaardige voedselkeuzes, en 1 met meer dierlijke voedselkeuzes. Het lijkt er op dat vergeleken met het causale netwerk de EU een kleinere rol speelt, en voedselkeuze misschien wat belangrijker is.

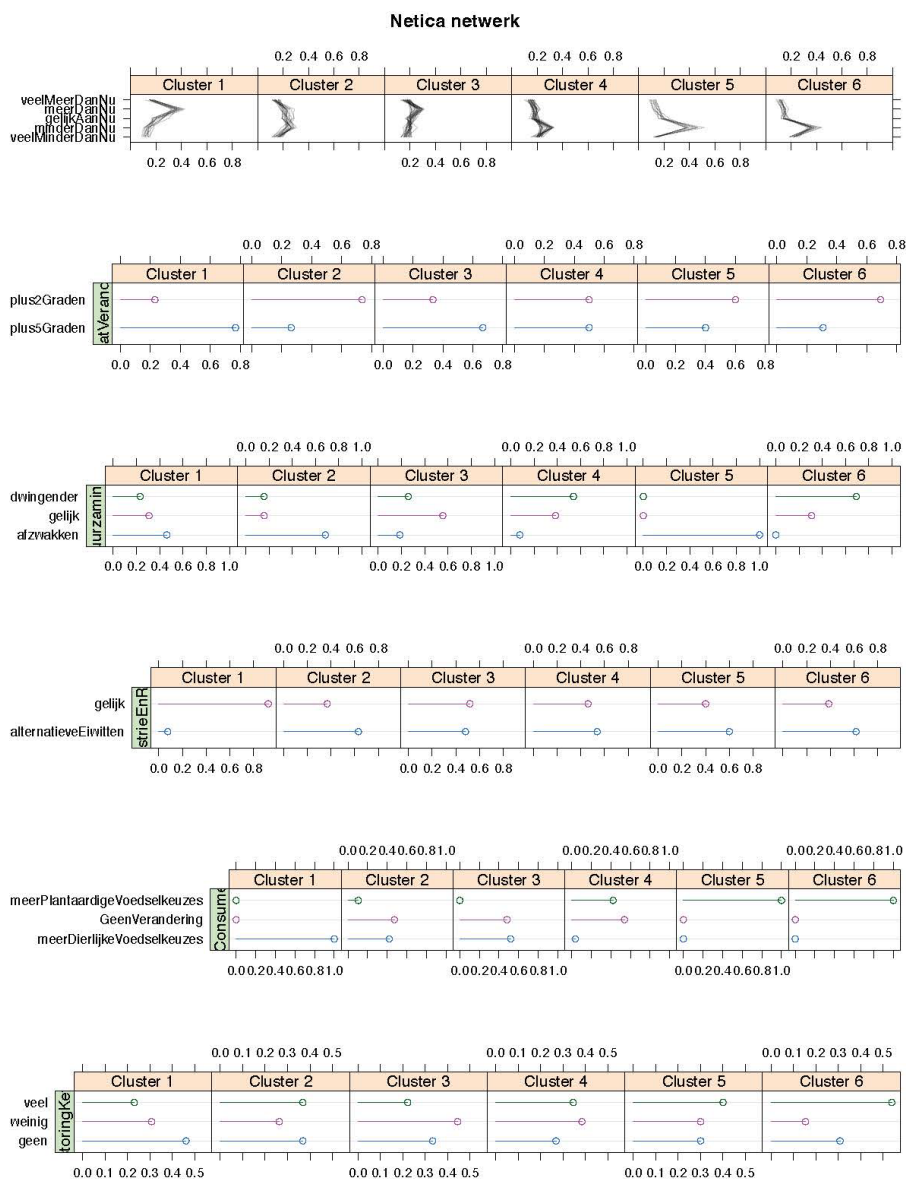
In Figuren 3 en 4 is het bovenste paneel een weergave van de absolute uitkomsten van

de vijf niveaus van de doelvariabele – voor elke regel is de som van de vijf niveaus gelijk aan 1. Er is ook nog een andere weergave mogelijk, waarbij we per niveau schalen (een simpele normalisatie naar gemiddelde nul en standaard-deviatie een). Die plots laten zien in welk cluster de hoogste en laagste waarden voor een bepaald kwaliteitsniveau gevonden worden. Figuur 5 laat voor de twee netwerken de resultaten zien.

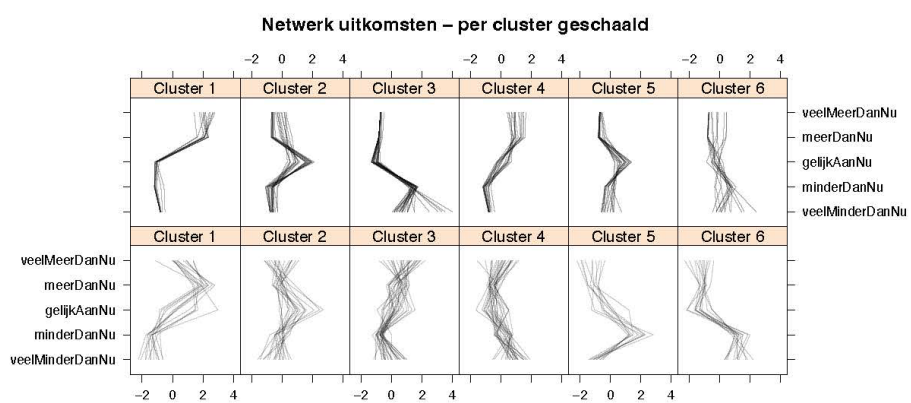
In dit geval is er niet veel verschil tussen de geschaalde profielen en de eerder getoonde profielen, dit met name omdat er al wat meer differentiatie tussen de clusters te zien is, ook zonder schaling.



Figuur 3: Samenstelling van de clusters gevonden in de scenario's door het causale netwerk – doelvariabele omvangGangbareMelkveehouderij.



Figuur 4: Samenstelling van de clusters gevonden in de scenario's door het Netica netwerk – doelvariabele omvangGangbareMelkveehouderij.



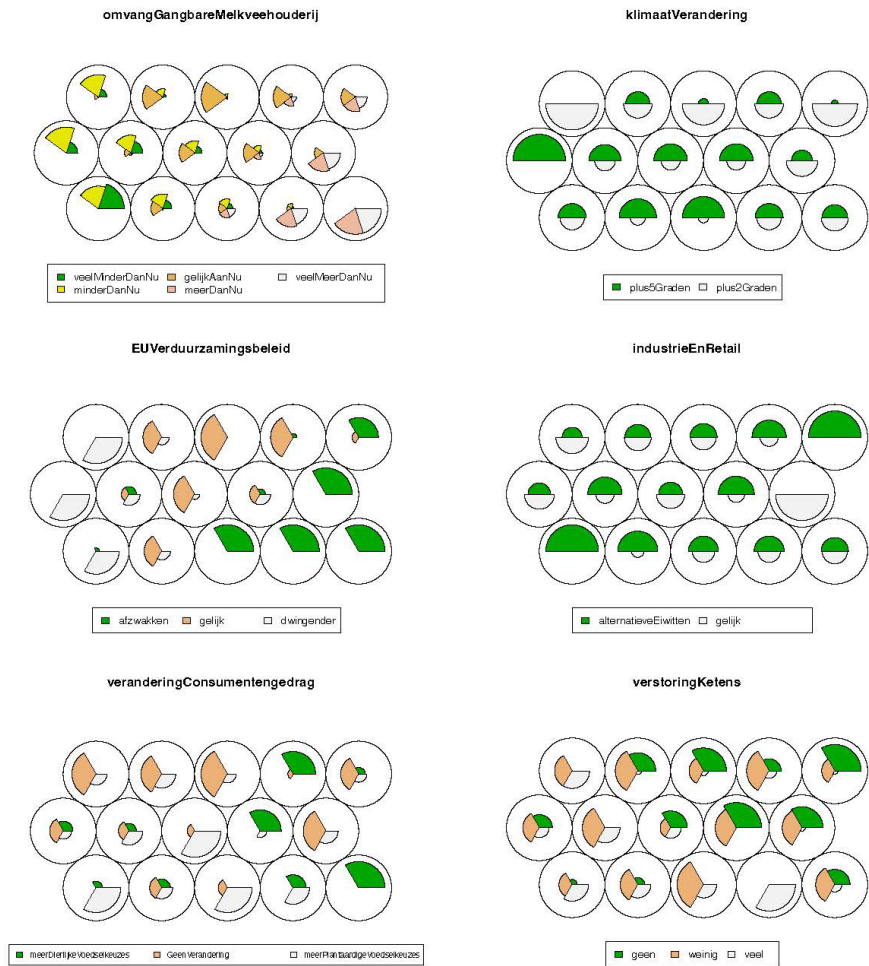
Figuur 5: Weergave van de per kwaliteitsniveau geschaalde uitkomsten van de scenario's in de twee netwerken: het causale netwerk staat in de bovenste rij, het Netica netwerk in de onderste.

2.3 Uitkomstverdelingen: self-organising maps

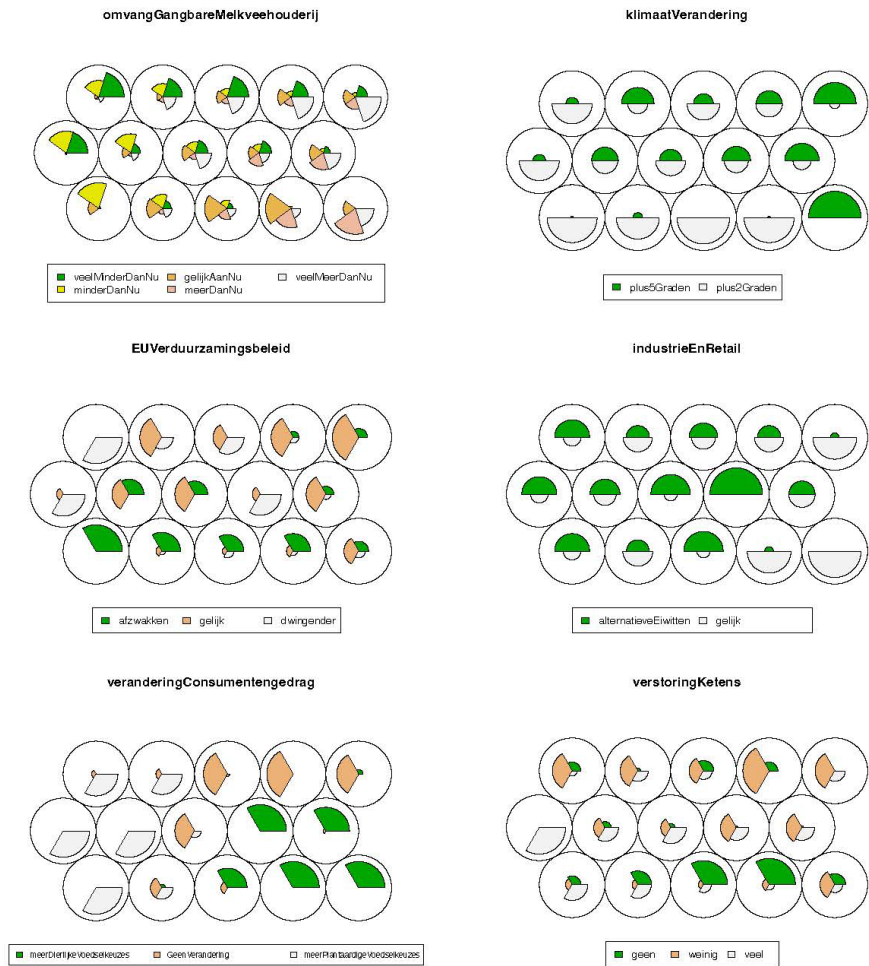
Een andere manier om te clusteren is de self-organising map (SOM, Kohonen [1995], Wehrens and Kruisselbrink [2018]). Hierbij worden de te clusteren objecten (hier: de scenario's) in een 2-dimensionaal grid geprojecteerd, waarbij op elkaar lijkende scenario's dicht bij elkaar liggen. Vervolgens is het dan mogelijk om de onderliggende variabelen (hier: de vijf inputs) op dezelfde map af te beelden.

Figuur 6 laat, net als in het vorige rapport, de resultaten van de afbeelding van de 108 scenario's zien op een SOM van 15 units. Linksboven in de figuur staat weer de doelvariabele, hier `omvangGangbareMelkveehouderij`, weergegeven. De gekleurde segmenten geven de (relatieve) bezettingsgraad per unit (cirkel) weer voor ieder niveau: linkers(onder) in de map zie je vooral scenario's die overeenkomen met (veel) kleinere bedrijven, en rechts(onder) de scenario's waarbij bedrijven (veel) groter zijn. De overige plots in deze figuur worden op de gebruikelijke wijze gelinkt: zo staat de drie meest linkse units voor een dwingend EU beleid, en wordt daarbinnen onderscheid gemaakt door met name `veranderingConsumentengedrag` en `klimaatVerandering`.

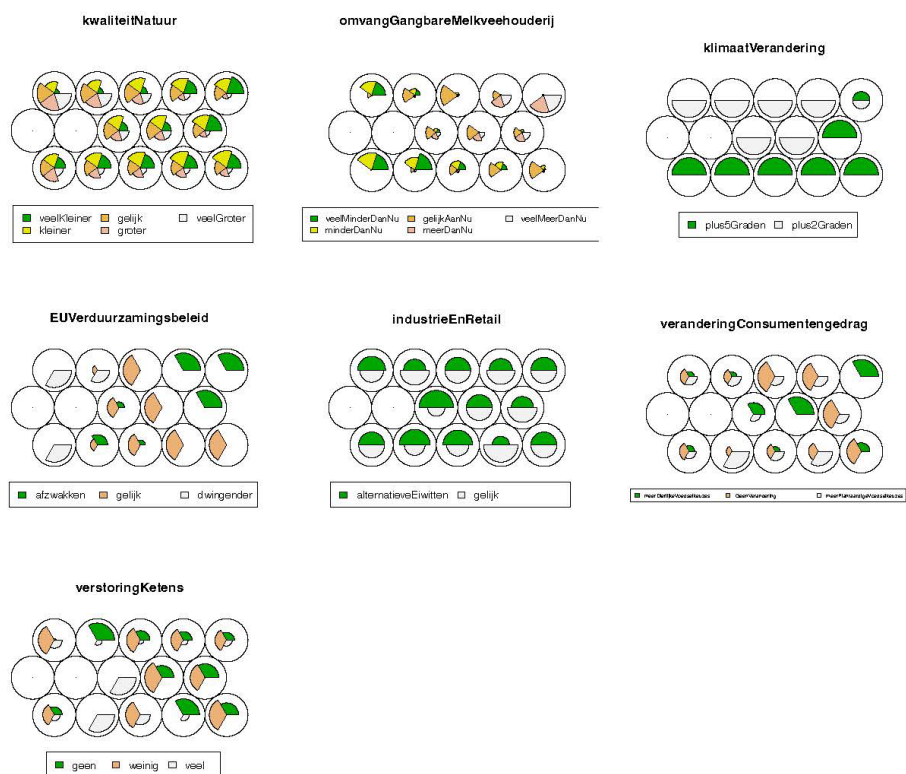
Een dergelijke interpretatie kunnen we ook maken voor het Netica netwerk – zie Figuur 7. De unit rechtsonder bevat scenario's waarin met (veel) grotere bedrijven gevonden worden, er een grotere opwarming van de aarde is, meer dierlijke eiwitten worden gegeten, en `IndustrieEnRetail` en `verstoringKetens` niet veranderen.



Figuur 6: Geschatte prototypes van de SOM clusters gebaseerd op het causale netwerk – doelvariabele omvangGangbareMelkveehouderij.



Figuur 7: Geschatte prototypes van de SOM clusters gebaseerd op het netica netwerk – doelvariabele omvangGangbareMelkveehouderij.

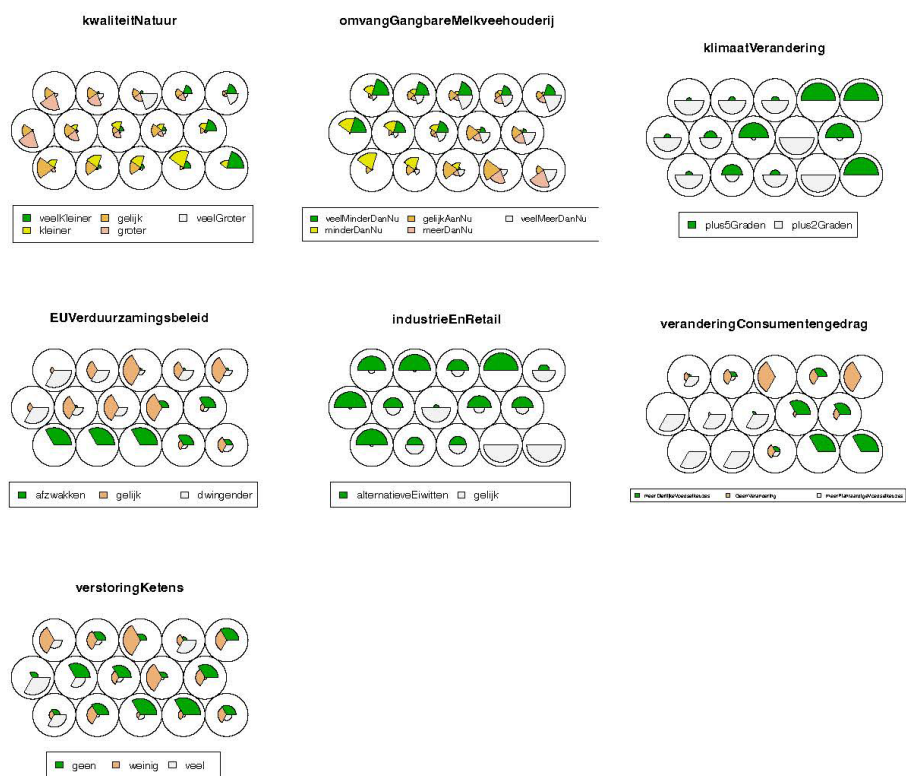


Figuur 8: Geschatte prototypes van de SOM clusters gebaseerd op het causale netwerk – clustering op grond van beide doelvariabelen.

2.4 Gezamenlijke clustering van doelvariabelen: SOM's

In de vorige paragrafen hebben we de twee doelvariabelen afzonderlijk bekeken – we kunnen ook clusteren op beide variabelen tegelijk, waardoor ieder cluster scenario's bevat die voor beide doelvariabelen op elkaar lijken. (Overigens was het in de vorige paragraaf natuurlijk ook mogelijk te laten zien hoe de verdeling van *kwaliteitNatuur* was in de clustering gebaseerd op *omvangGangbareMelkveehouderij*, net zoals die laatste in het rapport over *kwaliteitNatuur* getoond had kunnen zijn.) Om het eenvoudig te houden presenteren we hier alleen de resultaten van de SOM's (maar ook die van de hiërarchische clustering kunnen makkelijk gegenereerd worden).

Figuur 8 laat het resultaat van het causale netwerk zien. We zien weer twee lege units, aangevend dat er geen scenario's op die units afgebeeld worden. Het is duidelijk



Figuur 9: Geschatte prototypes van de SOM clusters gebaseerd op het netica netwerk – clustering op grond van beide doelvariabelen.

dat scenario's met een grotere natuurkwaliteit (linksboven in de map) overeenkomen met kleinere melkveebedrijven, een beperkte temperatuurstijging, en een dwingender EU beleid. De andere inputvariabelen geven een minder duidelijk beeld. Scenario's waarbij bedrijven veel groter worden en het EU beleid afzwakt leiden in het algemeen tot een lagere natuurkwaliteit.

Tot slot de resultaten van het Netica netwerk, geclusterd op beide doelvariabelen: de resultaten zijn te zien in Figuur 9. De resultaten komen behoorlijk overeen (op een “door-de-oogharen” niveau) met die van het causale netwerk. Niet zo vreemd, omdat beide netwerken natuurlijk zijn gebaseerd op dezelfde set cases (door de experts opgesteld).

Referenties

T. Kohonen. *Self-Organizing Maps*. Springer-Verlag, Berlin, 1995.

R. Wehrens and J. Kruisselbrink. Flexible self-organising maps in kohonen v3.0. *Journal of Statistical Software*, 87, 2018. doi: 10.18637/jss.v087.i07.

Technical details

```
R version 4.2.1 (2022-06-23)
Platform: x86_64-pc-linux-gnu (64-bit)
Running under: Ubuntu 22.04.2 LTS

Matrix products: default
BLAS:   /usr/lib/x86_64-linux-gnu/openblas-pthread/libblas.so.3
LAPACK: /usr/lib/x86_64-linux-gnu/openblas-pthread/libopenblas-p-r0.3.20.so

locale:
 [1] LC_CTYPE=en_GB.UTF-8      LC_NUMERIC=C
 [3] LC_TIME=nl_NL.UTF-8      LC_COLLATE=en_GB.UTF-8
 [5] LC_MONETARY=nl_NL.UTF-8  LC_MESSAGES=en_GB.UTF-8
 [7] LC_PAPER=nl_NL.UTF-8     LC_NAME=C
 [9] LC_ADDRESS=C             LC_TELEPHONE=C
[11] LC_MEASUREMENT=nl_NL.UTF-8 LC_IDENTIFICATION=C

attached base packages:
[1] tools      stats      graphics  grDevices  utils      datasets  methods
[8] base

other attached packages:
 [1] kohonen_3.0.12      igraph_1.3.5      reshape2_1.4.4
 [4] gRain_1.3.13       gRbase_1.8.9      bnlearn_4.8.3
 [7] RColorBrewer_1.1-3  gridExtra_2.3     latticeExtra_0.6-30
[10] lattice_0.20-45     knitr_1.41

loaded via a namespace (and not attached):
 [1] Rcpp_1.0.10        plyr_1.8.8        pillar_1.8.1
 [4] compiler_4.2.1     BiocManager_1.30.20 tibble_3.1.8
 [7] evaluate_0.20      lifecycle_1.0.3    gtable_0.3.1
[10] pkgconfig_2.0.3    png_0.1-8         rlang_1.0.6
[13] Matrix_1.5-3       graph_1.76.0      DBI_1.1.3
[16] cli_3.6.0          Rgraphviz_2.42.0  parallel_4.2.1
[19] xfun_0.36          interp_1.1-3      stringr_1.5.0
[22] dplyr_1.0.10       generics_0.1.3    vctrs_0.5.2
[25] tidysselect_1.2.0  stats4_4.2.1      grid_4.2.1
[28] glue_1.6.2         R6_2.5.1          jpeg_0.1-10
[31] fansi_1.0.4        RBGL_1.74.0       tidyr_1.2.1
[34] purrr_1.0.1        deldir_1.0-6      magrittr_2.0.3
[37] backports_1.4.1    BiocGenerics_0.44.0 assertthat_0.2.1
[40] utf8_1.2.2         stringi_1.7.12    broom_1.0.2
```

Recent verschenen WOT-technical reports

237	Houtkamp, J.M. (2023). <i>Visualisatietechnieken voor kennisintegratie; Het gebruik van verschillende soorten kennis in de context van beleidsvraagstukken.</i>	247	Bouwma, I.M. & J. Frissel. (2023). <i>Analyse eerste tranche provinciale programma's Uitvoeringsprogramma Natuur.</i>
238	Arets, E.J.M.M., S.A. van Baren, C.M.J. Hendriks, H. Kramer, J.P. Lesschen & M.J. Schelhaas (2023). <i>Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2023.</i>	248	Delft, S.P.J. van, G.J. Maas (2023). <i>Landschappelijke Bodemkartering (LBK); Achtergronden, toepassingen en technische documentatie.</i>
239	Schalkwijk, L. van, E.T. Schotanus, M.J.L. Kik, A. Gröne & L.L. IJsseldijk (2023). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2022; Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>	249	Grashof-Bokdam, C.J., J.M. Houtkamp, B. de Knegt (2023). <i>Concept-denkmodel Basiskwaliteit Natuur; Discussiestuk Wageningen Environmental Research & Planbureau voor de Leefomgeving.</i>
240	Langers, F. (2023). <i>Recreatie in groenblauwe gebieden; Actualisatie van CLO-indicator 1258 op basis van data van het Continu Vrijtijdsonderzoek uit 2018.</i>	250	Houtkamp, J.M., J. Sitters, J.B. Visser, A.M. Schmidt, N.A.C. Smits, R. Pouwels, S.W.M. Poppeliers (2023). <i>Toelichting op de monitoring- en beoordelingssystematiek van de Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn; Ten behoeve van de evaluatie van het Programma Stikstofreductie en Natuurverbetering.</i>
241	Schmidt, A.M., P.J.H. Mathijssen, R.H. Jongbloed, J.E. Tamis, A.B. Goutbeek, R. Reinartz, R. Vogel, M.E. Sanders, J.T. van der Wal en I. Woltjer (2023). <i>Advies over de Nederlandse pledges voor de Europese Biodiversiteitsstrategie 2030; Toelichting op het advies van Wageningen Research en Sovon Vogelonderzoek aan het ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit.</i>	251	Los, S., C. van Haren, A. Cormont (2023). <i>Rapportage Modelinventarisatie voor klimaat-effecten en adaptatie.</i>
242	Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, L.A. Lagerwerf, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof en T.C. van der Zee (2023). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021.</i>	252	Roebeling, P.C., R. Michels, N.B.P. Polman, H. Chouchane (2023). <i>Derde lerende evaluatie natuurpact: Reflectie en projectie voortgang ontwikkelingsopgaven natuur; Lessen voor de Derde Lerende Evaluatie Natuurpact (LEN3).</i>
243	Lerink, B.J.W., M.J. Schelhaas, F. Dolstra, J. Oldenburger, S. Teeuwen & A.P.P.M. Clercx (2023). <i>Veldinstructie Achtste Nederlandse Bosinventarisatie (2022-2026); Versie 1.0.</i>	253	Pouwels R., I. Woltjer, B. de Knegt, H.D. Roelofsens & L. Biersteker (2023). <i>Achtergrondrapportage modelanalyses biodiversiteit en ecosysteemdiensten ten behoeve van de Ruimtelijke Verkenning.</i>
244	Kruijne, R. en D.W.G. van Kraalingen (2023). <i>Overdracht van meetresultaten van provincies naar de Grondwateratlas voor bestrijdingsmiddelen, versie 2022.</i>	254	Groot, G.A. de, W. van 't Westende, D.R. Lammertsma, F. Warmer, H.A.H. Jansman & M. Laar (2023). <i>Status van de Nederlandse otterpopulatie in 2022: nieuwe inzichten in genetische uitwisseling, mortaliteit en verkeerssterfte.</i>
245	Riel, M.C. van, R.C.M. Verdonschot, P.F.M. Verdonschot (2023). <i>Natuurherstel en klimaatbuffers in beekdalen; Een verkenning van de mogelijkheden tot integratie van wateropgaven in beekdalen.</i>	255	Baren, S.A. van, E.J.M.M. Arets, C.M.J. Hendriks, H. Kramer, J.P. Lesschen & M.J. Schelhaas (2024). <i>Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands; Methodological background, update 2024.</i>
246	Sanders, M.E., H.J. Agricola, J.H. Faber, D.A. Kamphorst, F.H. Kistenkas, F. Langers, T. Selnes, M.J.M. Smits, G.B. Woltjer (2023). <i>De bijdrage en potentiële bijdrage van verschillende partijen aan de veranderingen in het natuur-, landbouw- en voedselsysteem; Achtergrondinformatie voor de Balans van de Leefomgeving 2023.</i>	256	Mathijssen P.J.H. en R.H. Jongbloed (2024). <i>Standaardlijsten drukfactoren en maatregelen; Voorstel voor een Nederlandse standaardlijst van drukfactoren en herstelmaatregelen en vertalingen naar de Europese codelijsten.</i>
		257	Geelhoed, S.C.V., M.J. van den Heuvel-Greve, C.J.A.F. Kwadijk & M.J.J. Kotterman (2024). <i>Contaminantenonderzoek en vliegtuigtellingen van bruinvissen (Phocoena phocoena) in Nederland, 2023.</i>
		258	Roo, N. de, S. Kristiaan, S.E.H. van Liere, B.C. Breman (2024). <i>Transitie of optimaliseren van het bestaande? Beleidsanalyse NPLG en WBS vanuit transitieperspectieven.</i>

259	Schalkwijk, L. van, A. Gröne & L.L. IJsseldijk (2024). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2023; Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>
260	Henkens, R.J.H.G., Cormont, A., Van Swaay, C.A.M., Wamelink, G.W.W. en F.G.W.A. Ottburg (2024). <i>Risico's en kansen van klimaatverandering voor de Nederlandse natuur; Invloed van temperatuurstijging, extreme droogte of natheid, zeespiegelstijging en verzilting op de doelen voor VHR, KRW, ecosysteemdiensten en algemene biodiversiteit.</i>
261	Glorius, S.T. & A. Meijboom (2024). <i>Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee; Periode 1995 tot en met 2022.</i>
262	Escaravage, V.L., M.J. Baptist, S. Wijnhoven (2024). <i>Indicatoren en maatlatten voor de beoordeling van structuur en functie van mariene habitattypen voor Natura 2000.</i>
263	Rooijen, N.M. van, S.M. Hennekens, M.E. Sanders, J. Holtland, G.W.W. Wamelink & W.A. Ozinga (2024). <i>Planten als indicatoren pH en GVG II; Een vergelijking van het ITERATIO- en Wamelink-indicatorsysteem voor pH en GVG vanuit ecologisch perspectief.</i>
264	Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof en T.C. van der Zee (2024). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2022.</i>
265	Aalbers, C.B.E.M. (2024). <i>Verkenning historisch verstedelijkingsbeleid in Nederland en haar doorwerking op groen in lage-inkomenswijken.</i>
266	Glorius, S.T., A. Meijboom, C. Sonneveld en B van der Weide 2024. <i>Ontwikkeling van de bodemdiergemeenschap in de geulen van referentiegebied Rottum; Tussenrapportage 18 jaar na sluiting (situatie tot en met het jaar 2023).</i>
267	Cormont, A., J.M. Houtkamp, C. van Haren, P.J.F.M. Verweij en R. Pouwels (2024). <i>Methoden en technieken gebruikt bij de PBL-studie 'Verkenning van de lange termijn externe invloeden op landbouw en natuur in Nederland'; Inventarisatie van de omgevingsontwikkelingen.</i>



Thema Periodieke Verkenning Natuurbeleid

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 54 71
E info.wnm@wur.nl
wur.nl/wotnatuurenmilieu

ISSN 2352-2739



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.
