



Handreiking voor het berekenen van een ecologische voetafdruk

Eindrapport KBIV WOt 2013

Simone Verzandvoort, Eric Arets en Mirjam Hack-ten Broeke



ALTERRA
WAGENINGEN UR

Handreiking voor het berekenen van een ecologische voetafdruk

Eindrapport KBIV WOt 2013

Simone Verzandvoort, Eric Arets en Mirjam Hack-ten Broeke

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema 'Duurzame ontwikkeling van de groenblauwe ruimte' (onderdeel voor WOT Natuur en Milieu, projectnummer KB-14-011-022)

Alterra Wageningen UR
Wageningen, maart 2014

Alterra-rapport 2554

Verzandvoort, S., E. Arets en M. Hack-ten Broeke, 2014. *Werken aan een handreiking voor het berekenen van een ecologische voetafdruk; Eindrapport KBIV WOt 2013*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2554. 92 blz.; 57 fig.; 8 tab.; 11 ref.

Alterra-onderzoekers die bijgedragen hebben met een casus, interview of commentaar: Marta Pérez-Soba, Peter Kuikman, Henk Wösten, Wim de Vries, Anouk Cormont, Jan Roelsma, Rob Jongman, Jeroen Kruit, Dirk Wascher, Eric Arets, Joop Kroes, Koen Roest, Jan-Peter Lesschen en Frank Veeneklaas

Referaat NL Dit project ontwikkelde een raamwerk voor de bepaling van een ecologische voetafdruk voor veranderingen in productie-consumptiesystemen. Het raamwerk kan worden gebruikt voor het bepalen van benodigd land- en watergebruik voor de productie van goederen en diensten, en de resulterende milieudrukken en – effecten.

Het raamwerk werd opgesteld op basis van interviews en twee werkbijeenkomsten met ca 20 Alterra-onderzoekers. Hierin werd hen gevraagd hoe zij in hun onderzoeksprojecten effecten van veranderingen in productie- en consumptiesystemen op ‘wilde natuur’ of andere typen landschappen of ecosystemen bepaalden.

Het raamwerk kan op verschillende manieren gebruikt worden. Bijvoorbeeld: om te verkennen welke onderdelen relevant zijn voor een bepaalde vraagstelling, om na te gaan welke aspecten ontbreken bij een bepaalde studie of als hulpmiddel bij het formuleren van een projectvoorstel waarbij is gevraagd om een voetafdruk als eindproduct.

Trefwoorden: ecologische voetafdruk, voorraden, gekwalificeerde natuur, landgebruik

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar ‘Alterra-rapporten’ in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2554

Foto omslag: Rozenteelt in Lake Ziway in de Central Rift Vallei in Ethiopië voor de Nederlandse/Europese markt, 2010. De rozenteelt gebeurt efficiënt met druppelirrigatie, waardoor het waterverbruik per roos minimaal is. Alleen worden er zoveel rozen geteeld dat er alles bij elkaar toch heel veel water verbruikt wordt. Foto: Eric Arets.

Inhoud

1	Inleiding en doel van het project Ecologische Voetafdruk	5
2	Enkele bestaande concepten van de ecologische voetafdruk	8
3	Werkwijze	12
4	Een raamwerk voor ecologische voetafdrukanalyses	13
	4.1 Aanvullende randvoorwaarden	13
	4.2 Introductie van het raamwerk	15
	4.3 Voorbeelden van toepassingen van het raamwerk	19
	4.4 Voldoet het raamwerk aan de randvoorwaarden?	21
	4.5 Feedback op het raamwerk van opdrachtgever en onderzoekers	24
5	Bijlage 1: Observaties uit diepte-interviews	25
6	Bijlage 2: Screening van Alterra-projecten en studies	27
7	Bijlage 3: Analyse van de casussen en aanbevelingen van onderzoekers	28
	7.1 Welke elementen komen voor in casus studies bij Alterra?	28
	7.2 Welke aanbevelingen geven de onderzoekers zelf voor ecologische voetafdruk-analyses?	29
8	Bijlage 4: verslag van de werkbijeenkomst met Alterra-onderzoekers op 24-6-2013	32
	8.1 Inleiding en doel van het project Ecologische Voetafdruk	33
	8.2 Doel van de werkbijeenkomst	35
	8.3 Casus Marta Perez-Soba (Team Earth Informatics): SENSOR, EU-LUPA and ROBIN - Land use Functions framework and ROBIN framework	35
	8.4 Casus Peter Kuikman (Team Duurzaam Bodemgebruik): Amsterdamse kringlopen in beeld	39
	8.5 Casus Rob Jongman (Team Biodiversiteit en Beleid): European contributions to global biodiversity tasks	41
	8.6 Casus Wim de Vries <i>et al.</i> (Teams Duurzaam Bodemgebruik en Environmental Systems Analysis): Effecten kringlooplandbouw in de Noordelijke Friese Wouden	44
	8.7 Casus Jan Roelsma, Anouk Cormont, Mirjam Hack <i>et al.</i> : Duurzaam landgebruik in De Peel	48
	8.8 Samenvatting van casussen	50
	8.9 Discussie	51
	8.10 Referenties	51
9	Bijlage 5: verslag van de werkbijeenkomst met Alterra-onderzoekers op 5-9-2013	53
	9.1 Inleiding en doel van het project Ecologische Voetafdruk	54
	9.2 Doel van de werkbijeenkomst	56
	9.3 Casus Joop Kroes (Team Integraal water- en stroomgebiedsmanagement): overzicht van water footprint werk	56
	9.4 Casus Henk Wösten (Team Bodemfysica en Landgebruik): beheer tropische venen gevolgen voor de verbouw van oliepalm en acacia op C-voorraad en biodiversiteit	59

9.5	Casus Eric Arets: impact op biodiversiteit en ecosysteemdiensten van Nederlandse import van landbouwproducten en hout	62
9.6	Casus Dirk Wascher en Jeroen Kruit (Teams Regionale Ontwikkeling en Ruimtegebruik en Governance): Food Chain Innovations in Metropolitan Regions (FOODMETRES) – Ecological Footprint as a Measure for Assessing the Impacts	68
9.7	Samenvatting van casussen	72
9.8	Referenties	73
Bijlage 1 Toepassing van het raamwerk op Alterra-studies		74
	Casus 1: Land use Functions framework and ROBIN framework	74
	Casus 2: ROBIN framework	76
	Casus 3: Amsterdamse kringlopen in beeld	78
	Casus 6: Pellets for Power (Jan-Peter Lesschen)	80
	Casus 10: beheer tropische venen: gevolgen voor de verbouw van oliepalm en acacia op C-voorraad en biodiversiteit	82
Bijlage 2 Feedback op het raamwerk van opdrachtgever en onderzoekers		84
	Waarom een nieuw raamwerk maken?	84
	Beschouw niet alleen consumptie, maar ook productie.	84
	Maak effecten gelijkwaardig	84
	Teveel nadruk op ruimtebeslag in de analyse van productie/consumptie naar effecten.	85
	De referentie-meeteenheid in termen van ruimtebeslag is beperkend	85
	Raamwerk is te complex om gebruikt te worden in gesprek met klanten	85
	De grondgedachte achter het raamwerk is negatief: consumptie heeft een negatief effect op natuur.	86
	Spiegel aan wat andere onderzoeksinstellingen doen	86
Bijlage 3 Overzicht van activiteiten op het gebied van de Water Footprint in Nederland		87
Referenties		90

1 Inleiding en doel van het project Ecologische Voetafdruk

Aanleiding voor het project is de vraag vanuit overheden en bedrijfsleven naar een maat om het effect van de belasting van voorraden (energie, voedsel, materialen, water) door huidige en toekomstige productie en consumptie op ecosystemen wereldwijd weer te geven. Ecologische voetafdrukanalyse is een instrument waarmee de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten door de mens kan worden weergegeven, en tegelijkertijd de capaciteit van de aarde om voorraden en ecosysteemdiensten te leveren (Borucke *et al.* 2013).

Sinds de introductie van het begrip ecologische voetafdruk door Wackernagel *et al.* (1997) zijn er verschillende definities en afgeleide begrippen ontstaan. Het begrip bleek een krachtig communicatiemiddel voor de politiek, overheden en bedrijfsleven naar consumenten. Het WWF gebruikt de ecologische voetafdruk in de toonaangevende Living Planet Reports, waarin de conditie van de aarde en de effecten van menselijk handelen op wetenschappelijke basis worden beschreven (http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/).



Figuur 1 Voorbeelden van afbeeldingen van de ecologische voetafdruk.

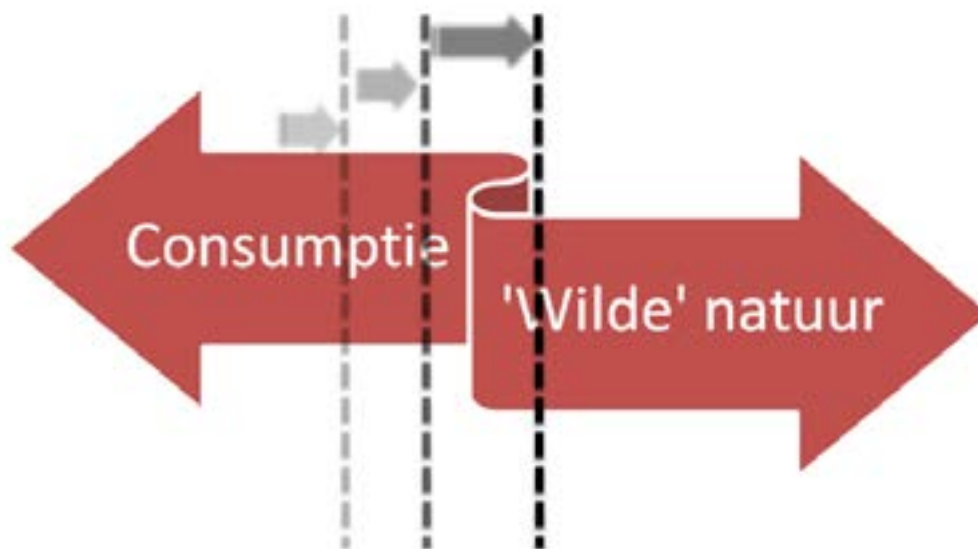
Consumptie en gekwalificeerde natuur¹ maken gebruik van dezelfde voorraden (energie, water, voedsel, ruimte, grondstoffen). Als gevolg van consumptie treden er verschuivingen op in voorraden. Een voorbeeld is het verlagen van grondwaterpeilen in landbouwgebied. Water wordt 'weggeduwd' uit een gebied dat voor voedselproductie bestemd wordt. Dit leidt tot een tekort aan voorraad water voor de natuurdoeltypen in een aangrenzend natuurgebied. We willen iets weten over de veranderingen die optreden in natuurlijke ecosystemen om implicaties van handelingsopties te kunnen inschatten. Overheden, bedrijven en instellingen **vragen Alterra in toenemende mate naar bepalingen van de ecologische voetafdruk** van hun economische en maatschappelijke activiteiten (bijvoorbeeld de

¹ Dit zijn terrestrische ecosystemen met een ITZ-waarde: internationaal, trendmatig, en zeldzaam. Voorbeeld: tropisch regenwoud op locatie X. (Frank Veeneklaas, pers. comm.).

gemeente Amsterdam, Robeco). Ecologische voetafdrukanalyse is een belangrijk onderdeel van 'sustainability rating', analyses waarin financiële markten als een instrument worden gebruikt om duurzaamheidsdoelen te bereiken, zoals het behoud van natuurlijk kapitaal. Voorbeelden van organisaties die zich bezighouden met 'sustainability rating' zijn het 'Global Initiative for Sustainability Ratings (GISR)' (ratesustainability.org) en het project 'Rate the Raters' (www.sustainability.com/projects/rate-the-raters). Een ecologische voetafdrukanalyse kan bedrijven, overheden en andere organisaties helpen hun prestaties aan te tonen voor het duurzaam gebruik van natuurlijk kapitaal. De Europese Commissie gebruikt indicatoren van 'environmental footprint' (o.a. 'carbon footprint', 'materials use footprint', 'land footprint' en 'water foot print') als gevolg van productie en consumptie van elektronica, voedingsmiddelen en kleding in het Environmental Indicator Report (EEA, 2014). De EC ontwikkelt en gebruikt deze indicatoren als onderdeel van de 'EU Roadmap on a Resource Efficient Europe' (EC, 2011), en van het 'Single Market for Green Products Initiative' (EC, 2013).

We hebben binnen Alterra echter geen gemeenschappelijke berekeningswijze of instrumentarium voor het bepalen van een ecologische voetafdruk, maar wel voor deelcomponenten, zoals voor het gebruik van voorraden water, land of nutriënten, of voor het bepalen van broeikasgasemissies en effecten van landgebruik op biodiversiteit en ecosysteemdiensten. Er is behoefte aan een generiek raamwerk om bedrijven en overheden te kunnen adviseren over een ecologische voetafdrukanalyse van hun bedrijfsvoering of beleid: wat betekent zo'n analyse, en wat is ervoor nodig?

De vraag van het WOt aan Alterra is: kunnen wij methoden bieden om de verschuiving in de status van voorraden te beschrijven, en de effecten op (of veranderingen in) gekwalificeerde natuur?



Figuur 2 Verschuivingen in voorraden en effecten op 'wilde' natuur als gevolg van consumptie. Vrij naar Peter Kuikman (Alterra).

Doel van het project Ecologische Voetafdruk is een handreiking te maken over hoe de ecologische voetafdruk betekenisvol bepaald kan worden, in het bijzonder ten aanzien van effecten op gekwalificeerde natuur¹. De handreiking moet gebruikt kunnen worden om binnen Alterra vragen van klanten naar bepalingen van de ecologische voetafdruk meer gestructureerd te kunnen oppakken dan nu het geval is.

Randvoorwaarden bij de opdracht waren:

1. De voetafdruk moet 'betekenisvol' bepaald kunnen worden: de bepaling moet de belasting van verschillende productie- of consumptiesystemen op het ruimtebeslag in verschillende (agro-) ecosystemen in de wereld kunnen meten.
2. Effecten op gekwalificeerde natuur moeten kunnen worden uitgedrukt in meetbare aspecten van de gekwalificeerde natuur en biodiversiteit, zoals veranderingen in een relatieve soortenindex.
3. De voetafdruk wordt bij voorkeur weergegeven in een eenvoudig geaggregeerd getal (eventueel samengesteld uit meerdere indicatoren), en moet gevoelig zijn voor handelingsopties.

In aanvulling hierop werden extra randvoorwaarden gedefinieerd in gesprekken en interviews met onderzoekers van Alterra.

Dit project ontwikkelde een raamwerk voor de bepaling van een ecologische voetafdruk voor veranderingen in productie-consumptiesystemen. Het raamwerk kan worden gebruikt voor het bepalen van benodigd land- en watergebruik voor de productie van goederen en diensten, en de resulterende milieudrukken en – effecten.

Het raamwerk werd opgesteld op basis van interviews en twee werkbijeenkomsten met ca. 20 Alterra-onderzoekers. Hierin werd hen gevraagd hoe zij in hun onderzoeksprojecten effecten van veranderingen in productie- en consumptiesystemen op 'wilde natuur' of andere typen landschappen of ecosystemen bepaalden.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een achtergrond op bestaande concepten van de ecologische voetafdruk. Hoofdstuk 3 beschrijft de gevolgde werkwijze in het project. In hoofdstuk 4 wordt een raamwerk voor de bepaling van een ecologische voetafdruk gepresenteerd. Resultaten van de diepte-interviews, screening van Alterra-projecten, verslagen van de werkbijeenkomsten met Alterra-onderzoekers en de analyse van onderzoekscasussen van Alterra-onderzoekers met behulp van het raamwerk zijn opgenomen in de bijlagen.

Een literatuurstudie over ecologische voetafdrukanalyse is geen onderdeel van het rapport. Voor meer informatie over de ecologische voetafdruk en analyse daarvan verwijzen wij naar de lijst van literatuur en websites achterin dit rapport.

2 Enkele bestaande concepten van de ecologische voetafdruk

Het eerste **raamwerk voor een systematische berekening van de ecologische voetafdruk** dateert uit 1997 met het werk van Wackernagel *et al.* (1997). In 2003 werd de NGO Global Footprint Network² opgericht. Zij hanteert de volgende definitie van de ecologische voetafdruk:

'... A measure of how much area of biologically productive land and water an individual, population or activity requires to produce all the resources it consumes and to absorb the waste it generates, using prevailing technology and resource management practices.'

Deze definitie is gericht op het volledige patroon van consumptie door de individuen, populaties of activiteiten, maar kan ook van toepassing zijn op specifieke grondstoffen die onderdeel uitmaken van de consumptie.

Het Global Footprint Network introduceerde het 'National Footprint Accounts (NFA) program' om de voetafdruk van landen te berekenen. De NFA methodiek is een rekenraamwerk om de jaarlijkse levering van en vraag naar voorraden en ecosysteemdiensten te berekenen. Dit gebeurt met twee maten: de ecologische voetafdruk en de biocapaciteit. De biocapaciteit is een maat van de hoeveelheid biologisch productieve land- en zeeoppervlakte dat in staat is voorraden en ecosysteemdiensten te leveren die de mensheid gebruikt³. Biocapaciteit kan worden beschouwd als het ecologisch kapitaal van de aarde, of als het vermogen van ecosystemen om voorraden en diensten aan te vullen na gebruik (naar Borucke *et al.* 2013).

In de NFA methodiek worden de ecologische voetafdruk en de biocapaciteit beiden uitgedrukt in arealen 'global hectares' land of zee. In deze arealen zijn de verschillen tussen de biologische productiviteit van landgebruikstypen tussen gebieden in de wereld en tussen verschillende landgebruikstypen verrekend door middel van respectievelijk 'yield factors' en 'equivalence factors' (Borucke *et al.* 2013). Door het gebruik van 'global hectares' is de ecologische voetafdruk een voor consumenten, bedrijven en overheden een gemakkelijk interpreteerbare maat voor de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten van hun land ten opzichte van andere landen.

De maat 'global hectares' laat echter niet zien hoe groot de voetafdruk is door afzonderlijke productieketens (bijvoorbeeld soja), door afzonderlijke bedrijven of regio's, of hoe groot de belasting is voor afzonderlijke landgebruikstypen en ecosystemen, zoals gekwalificeerde natuurgebieden⁴. Ook geven de ecologische voetafdruk en biocapaciteit in de NFA methodiek, als gevolg van de meeteenheid 'global hectares', geen informatie over de verschillende voorraden water en energie die gebruikt worden, en niet over de effecten van de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten op klimaat en biodiversiteit (diepte van de voetafdruk⁵).

Oorspronkelijk werd de ecologische voetafdruk vooral agenderend gebruikt om de (groter wordende) discrepantie tussen bio-capaciteit en voetafdruk te tonen, o.a. door landen met elkaar te vergelijken. Tegenwoordig wordt het concept ook steeds meer gebruikt om handelingsperspectieven voor duurzame(re) productie door te rekenen en om beleid te ontwikkelen en te evalueren. Van den Bergh en Grazi (2013) geven een review van de nadelen en beperkingen van het concept ecologische voetafdruk zoals gedefinieerd door het Global Footprint Network voor dit soort toepassingen. Enkele

² www.footprint.network.org

³ De term 'gebruiken' wordt geprefereerd boven de term 'consumeren', omdat de eerste rekening houdt met de terugkeer van reststoffen in ecosystemen (van bijvoorbeeld water in industriële processen), terwijl de laatste suggereert dat voorraden of diensten worden gebruikt waarbij de voorraad definitief wordt uitgeput.

⁴ Dit zijn terrestrische ecosystemen met een ITZ-waarde: internationaal, trendmatig, en zeldzaam. Voorbeeld: tropisch regenwoud op locatie X. (Frank Veeneklaas, pers. comm.).

⁵ Zie van Oorschot *et al.*, 2012.

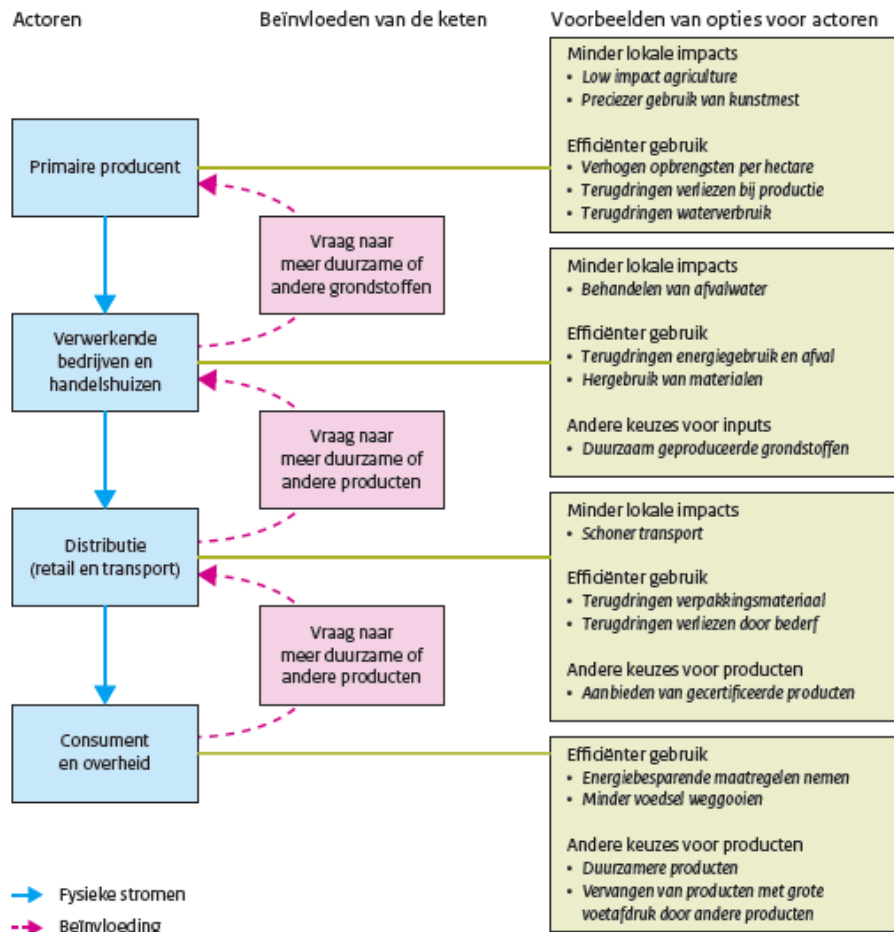
daarvan zijn relevant voor het ontwerpen van een handreiking voor ecologische voetafdrukanalyses in dit project.

Het eerstgenoemde nadeel is de suggestie van een concreet ruimtebeslag in termen van oppervlakte land en water, terwijl de EV alleen virtueel ruimtebeslag uitdrukt, en geen werkelijk ruimtebeslag. Hetzelfde geldt voor de beschikbare voorraden in termen van oppervlakte 'biocapaciteit'.

Daarnaast veronderstelt volgens Van den Bergh en Grazi (2013) de EV-benadering van het GFN dat de negatieve effecten van productie-consumptiesystemen kunnen worden gereduceerd tot één enkele productiefactor, namelijk land of water als productiemedium. Volgens de auteurs kan geen enkele productiefactor op zichzelf, of dat nu land is, energie of natuurlijke hulpbronnen, een economische waarde van een regio, ecosysteem of productieketen weergeven. Dit wordt duidelijk geïllustreerd door de opmerking dat gebruikt landoppervlak geen zinvolle proxy indicator kan zijn voor de activiteiten van industrie of dienstverlening. Het derde nadeel van de EV is volgens Van den Bergh en Grazi (2013) dat het een geaggregeerde indicator is van milieudruk, die echter geen rekening houdt met een aantal belangrijke typen milieudruk als gevolg van productie en consumptie, zoals watervervuiling, emissie van probleemstoffen (inclusief zware metalen), geluidsoverlast, verwijdering van ozon uit de atmosfeer, zure depositie, en, zoals boven al genoemd, effecten op ecosystemen in de vorm van fragmentatie door infrastructuur, en reductie van biodiversiteit. De reden hiervoor is dat het niet mogelijk is om deze typen milieudruk om te rekenen naar oppervlakte-eenheden land en water.

Als gevolg van de genoemde tekortkomingen is de ecologische voetafdruk volgens de definitie van het Global Footprint Network minder goed bruikbaar om mogelijkheden te identificeren (handelingsopties) waarmee overheden en bedrijven de ecologische voetafdruk van bestuurlijke eenheden (landen, regio's), sectoren, individuele bedrijven of productie- en handelsketens kunnen verkleinen. Het PBL noemt in haar rapport 'De voetafdruk van Nederland, hoe groot en hoe diep?' (Van Oorschot *et al.* 2012) drie handelingsopties:

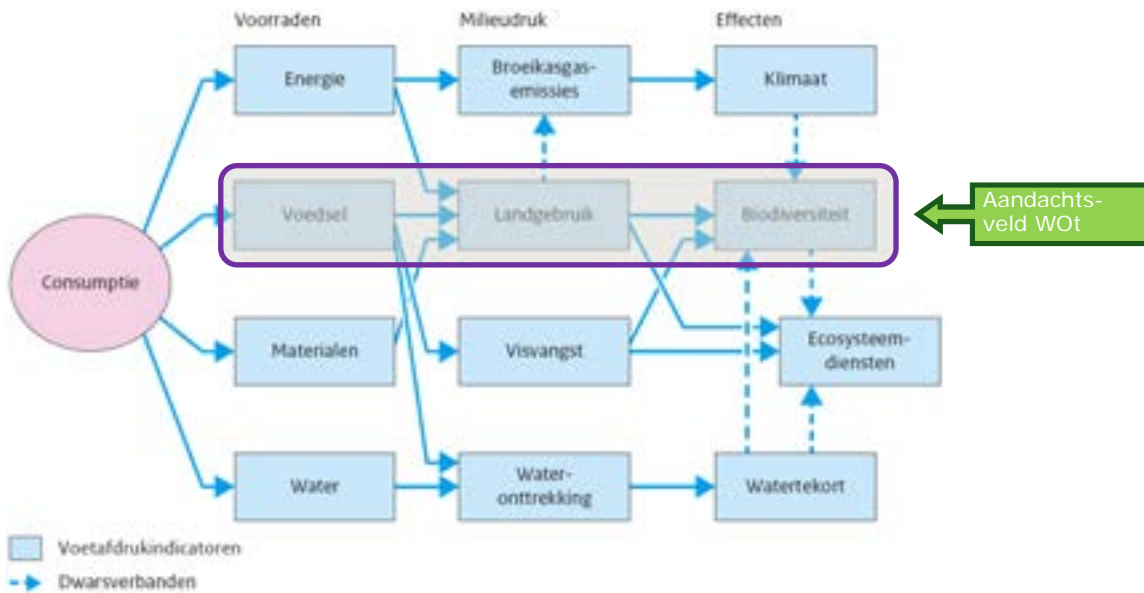
- Het verkleinen van lokale impacts van productieprocessen
- Efficiënter gebruik van grondstoffen, inputs en producten
- Andere keuzes in verbruik en consumptie van grondstoffen en producten



Figuur 3 Handelingsopties voor het verkleinen van de ecologische voetafdruk. Bron: Van Oorschot et al. (2012).

In respons op de tekortkomingen van het rekenraamwerk van de NFA ontwikkelde het PBL een raamwerk voor de ecologische voetafdruk van consumptie bestaand uit 12 indicatoren in drie categorieën: voorraden, milieudruk en effecten (Van Oorschot et al. 2012) (Figuur 4). De indicator-set is bedoeld om zowel de omvang ('hoe groot': oppervlakte, ruimtebeslag) als de effecten van de voetafdruk weer te geven ('hoe diep'). Daarbij wordt gekeken naar het gebruik van mondiale voorraden (uit natuurlijke hulpbronnen) en daarbij ontstane milieudruk, en naar ecologische effecten. De scope van dit project in het raamwerk van het PBL (Figuur 4) is beperkt tot de keten van 'consumptie – voorraden met een effect op land en watergebruik – land- en watergebruik – biodiversiteit'. Deze keuze is gemaakt omdat voor effecten van consumptie op klimaat, ecosysteemdiensten en watertekort al een groot aantal studies en rekenmethoden beschikbaar is⁶, maar er nog geen transparante en kwantitatieve methoden zijn voor het berekenen van effecten van consumptie op gekwalificeerde natuur en biodiversiteit.

⁶ Voorbeelden: GCM's voor effecten op klimaat, een groeiend aantal instrumenten voor berekeningen aan effecten op ecosysteemdiensten (www.es-partnership.org/esp/79008/5/0/50) en modellen en indices voor water scarcity en stress, zoals gebruikt door het World Water Assessment Programme.



Figuur 4 Raamwerk van het PBL voor de ecologische voetafdruk (Van Oorschot et al. 2012). De paarse balk geeft het aandachtsveld van het WOt voor dit project. 'Landgebruik' staat voor meerdere typen milieu-druk, bijvoorbeeld habitatconversie, vermesting, vervuiling, verdroging, fragmentatie en verstoring.

3 Werkwijze

Tijdens twee werkbijeenkomsten zijn we samen met enkele Alterra-onderzoekers nagegaan of het mogelijk is om een praktische en concrete werkwijze af te spreken over hoe de ecologische voetafdruk en de verandering daarin (omvang en diepte) kan worden bepaald voor studies op verschillende schaalniveaus, waarbij landgebruik, biodiversiteit en effecten van milieumaatregelen centraal staan. De te ontwikkelen methodiek zou op een transparante manier ruimte toewijzen aan specifieke producten of productiewijzen, met uitleg over aannames en rekenregels.

De Alterra-onderzoekers hebben voorbeelden van studies of projecten gepresenteerd waarin veranderingen van productie- of consumptiesystemen ten aanzien van de belasting op voorraden voedsel-, biomassaproductie, materialen of water, het ruimtebeslag van die belasting, en effecten daarvan op klimaat, biodiversiteit, ecosysteemdiensten, beschikbaar water, of andere aspecten van de leefomgeving werden onderzocht.

Daarnaast werden diepte-interviews gehouden met drie onderzoekers, en werden enkele andere Alterra-studies gescreend op bepalingen van (onderdelen van) de ecologische voetafdruk. Observaties uit de diepte-interviews zijn beschreven in Bijlage 1, de resultaten van de screening van Alterra-studies in Bijlage 2.

Op basis van de werkbijeenkomsten, diepte-interviews en de screening van Alterra-studies werd een raamwerk ontwikkeld voor de bepaling van een ecologische voetafdruk voor veranderingen in productie-consumptiesystemen.

4 Een raamwerk voor ecologische voetafdrukanalyses

Op basis van de casussen, interviews en aanbevelingen werden aanvullende randvoorwaarden gesteld voor een bepaling van de ecologische voetafdruk. Op basis hiervan werd een raamwerk ontwikkeld, waarin elementen van het raamwerk van het PBL zijn gebruikt, en waarbij rekening gehouden werd met de nadelen van de ecologische voetafdruk-benadering zoals beschreven in hoofdstuk 1.

4.1 Aanvullende randvoorwaarden

Ecologische voetafdruk geeft zowel belasting als capaciteit aan

- Capaciteit heeft hierbij niet alleen betrekking op de capaciteit van de huidige productie-eenheden (bijv. agro-ecosystemen, regio's, steden), maar ook op de toegevoegde waarde aan de productie-eenheid als gevolg van de productie zelf. Zo wordt de economische waarde van een natuurgebied groter als er recreanten worden toegelaten (voorbeeld: Dwingelderveld),
- Van 'biologisch' productief land en water (inclusief het mariene domein),
- Belasting van voorraden: energie, materialen, water conform PBL. Voedsel is een merkwaardige, omdat dat niet als voorraad bestaat, maar juist geproduceerd wordt in een productieketen. Voor ons raamwerk zullen daarom natuurlijke hulpbronnen en grondstoffen die gebruikt kunnen worden om materialen (bijv. hout, papier), voedsel en energie te produceren het uitgangspunt zijn,
- Atmosfeer wordt vaak vergeten als voorraad. We gebruiken o.a. ruimte, zuurstof, CO₂, warmte en water uit de atmosfeer. De atmosfeer wordt in het raamwerk wel meegenomen als onderdeel van de leefomgeving waarop productie en consumptie effecten hebben (bijvoorbeeld in de vorm van een 'carbon footprint' of 'global warming potential').

Indirecte effecten moeten beschreven kunnen worden

- De ecologische voetafdruk moet ook indirecte effecten van veranderingen in productie- en consumptiesystemen kunnen meten. Bijvoorbeeld stikstofdepositie zal over een ander en waarschijnlijk groter areaal een effect op ecosystemen hebben dan de directe effecten als gevolg van landgebruiksverandering of intensivering van het landgebruik. Ook indirecte hydrologische effecten kunnen op een andere schaal en andere arealen spelen dan de directe effecten van landgebruik waar veelal de focus op ligt.

Componenten omvang (areaal) en diepte moeten in handreiking voorkomen

- Het gaat om het areaal land of water dat gebruikt wordt voor productie met als doel om te gebruiken door de mens⁷ en om reststoffen te absorberen,
- Areaal, maar ook volume. Volume speelt bv een rol bij grondwater, of volume aan ruimte voor hoogbouw (teelt of wateropvang in gelaagde systemen, stadslandbouw op daken),
- Ecologische voetafdruk moet ruimtebeslag (oppervlakte of volume) kunnen meten die voor de vraagstelling relevant is,
- De ecologische voetafdruk heeft betrekking op natuurlijke hulpbronnen, die niet alleen bestaan uit arealen land en zee belast of gebruikt, maar ook het functioneren van land en ecosystemen omvatten. Dit kan worden geïnterpreteerd als de 'diepte' van de EV, zoals geïntroduceerd door het PBL (Van Oorschot *et al.* 2012) en kan worden uitgedrukt in voor de vraagstelling relevante effectmaten. Hiervoor is het belangrijk dat een relatie kan worden gelegd tussen de intensiteit van het land- of watergebruik en de effecten op de effectmaat waar naar gekeken wordt.

⁷ Liever de term 'gebruik' dan 'consumptie', omdat gebruik reststoffen kan hebben, en consumptie vaak leidt tot het 'opgebruiken' van voorraden (bv fossiele brandstoffen).

Relaties met landgebruik, biodiversiteit en klimaat moeten voorkomen

- Landgebruik zit in de kolom 'milieudruk'; 'klimaat' en 'biodiversiteit' in kolom 'effecten',
- Ook infrastructuur is een belangrijke ruimtesbeslagnemer met effecten die afhankelijk zijn van de afstand tot de infrastructuur. En afstandsafhankelijke effecten van infrastructuur zoals bijvoorbeeld al in GLOBIO worden meegenomen (Benítez-López *et al.* 2010),
- Effecten op natuur en biodiversiteit moeten meetbaar zijn, bijvoorbeeld met behulp van 'essential biodiversity variables', waarin gegevens over ecosystemen en biodiversiteit geaggregeerd zijn. Onderzoekers blijken echter te worstelen met het vertalen van het gebruik van voorraden of ecosystemen in een effect op biodiversiteit of natuurwaarde van het ecosysteem. Momenteel worden effecten op biodiversiteit of natuurwaarde op verschillende manieren berekend: kwalitatief als score op een indicator, kwantitatief bv als verandering in koolstofvoorraad of als verandering in indicatoren van biodiversiteit, ecosysteemstructuur en ecosysteemfunctie. Wel moeten indicatoren van biodiversiteit herkenbaar zijn voor stakeholders,
- Het monitoren van effecten van drivers op globale, nationale en regionale schaal op het sociaal-economische en ecologische systeem (demografische veranderingen, beleid, technologie of economische ontwikkeling) is net zo belangrijk als het monitoren van biodiversiteit zelf. In een voetafdrukanalyse moeten we dan ook veranderingen in drivers ruimtelijk kunnen uitdrukken,
- Belangrijke ecosystemen ten aanzien van voorraden (bijvoorbeeld tropische venen) moeten geanalyseerd kunnen worden. Dit vraagt om een indeling van landgebruikstypen en ecosystemen die bruikbaar is voor voetafdrukanalyse (niet iedere indeling geeft voldoende informatie; zie ook verslag casus Rob Jongman, werkbijeenkomst 24-6-2013). De volgende indelingen lijken geschikt om te hanteren in een berekeningswijze voor de EV (ieder op een ander schaalniveau) :
 - GEnS (Metzger *et al.* 2013): 'a novel global spatial framework for the integration and analysis of ecological and environmental data' , voor biodiversiteitsonderzoek en -monitoring
 - GLOBIO3 (Alkemade *Et al.*, 2009) <http://www.globio.info/>): the Global Biodiversity model for policy support; GLOBIO is a tool to assess past, present and future impacts of human activities on biodiversity
 - General Habitat Category systeem in combinatie met de FAO-LCCS land cover classificatie, gebaseerd op land cover en habitat informatie.

Verschillende aggregatieniveaus, schalen en meeteenheden

- Mede op basis van de geanalyseerde casussen zou een voetafdruk beschreven moeten kunnen worden voor de volgende aggregatieniveaus:
 - Productieketens (bv soja, hout, cacao)
 - Bedrijven
 - Regio's (bv stadsregio's in NL), ook andere schaalniveaus (welke?)
 - Specifieke landgebruikstypen of ecosystemen met ITZ-waarde (bijvoorbeeld op basis van de GSS stratificatie)
 - Het gebruik van voorraden,
- Ontwerp van een berekeningswijze voor verschillende schalen vraagt wel om de mogelijkheid om uitkomsten van modellen en observaties te vergelijken op verschillende schalen. Niet iedere dataset of model leent zich voor toepassing op alle genoemde schaalniveaus,
- Veranderingen zijn vaak belangrijker dan de status van de EV op een gegeven moment: de EV moet veranderingen in de tijd kunnen meten.

Verschillende klantgroepen bedienen

- Analyse moet eenvoudig kunnen worden afgestemd op wensen klant,
- Bedrijven,
- Specifieke (bv fosfor) en algemene aspecten (bv effecten van het productiesysteem van een bedrijf).

Vragen over actuele thema's kunnen beantwoorden

- Horizon2020: resource use efficiency, productive farming,
- Andere grote internationale thema's zijn creative industry, green economic growth, steden, grondstoffenschaarste, watergebruik en sanitatie, 'emergent pollutants', 'climate smart agriculture', food security,
- Effecten in alle duurzaamheidspijlers ('planet'- 'people'- 'profit') moeten kunnen worden beschouwd.

Eenvoudig getal: enkelvoudige indicator?

Geaggregeerde getallen zijn vaak moeilijk te interpreteren, omdat de dimensie of het bereik geen referentie hebben, of omdat niet zichtbaar is wat allemaal verdisconteerd is in het ene getal. Witmer en Cleij (2012) adviseren in hun review van de waterfootprint-benadering om juist zichtbaar te maken wat de progressie is op deelcomponenten van de voetafdruk, in plaats van een rapportage van een overall footprint indicator. De kracht van een dergelijke benadering is dat consumenten op afstand, producenten, handelaren en investeerders naast belanghebbenden en overheden betrokken zouden raken bij het adresseren van problemen als gevolg van de voetafdruk in hotspot-gebieden. Dit vraagt om een meervoudige indicator, zoals ook weergegeven in het PBL-raamwerk, afgestemd op de vraag en het systeem dat onderzocht wordt.

Gegevens en tools

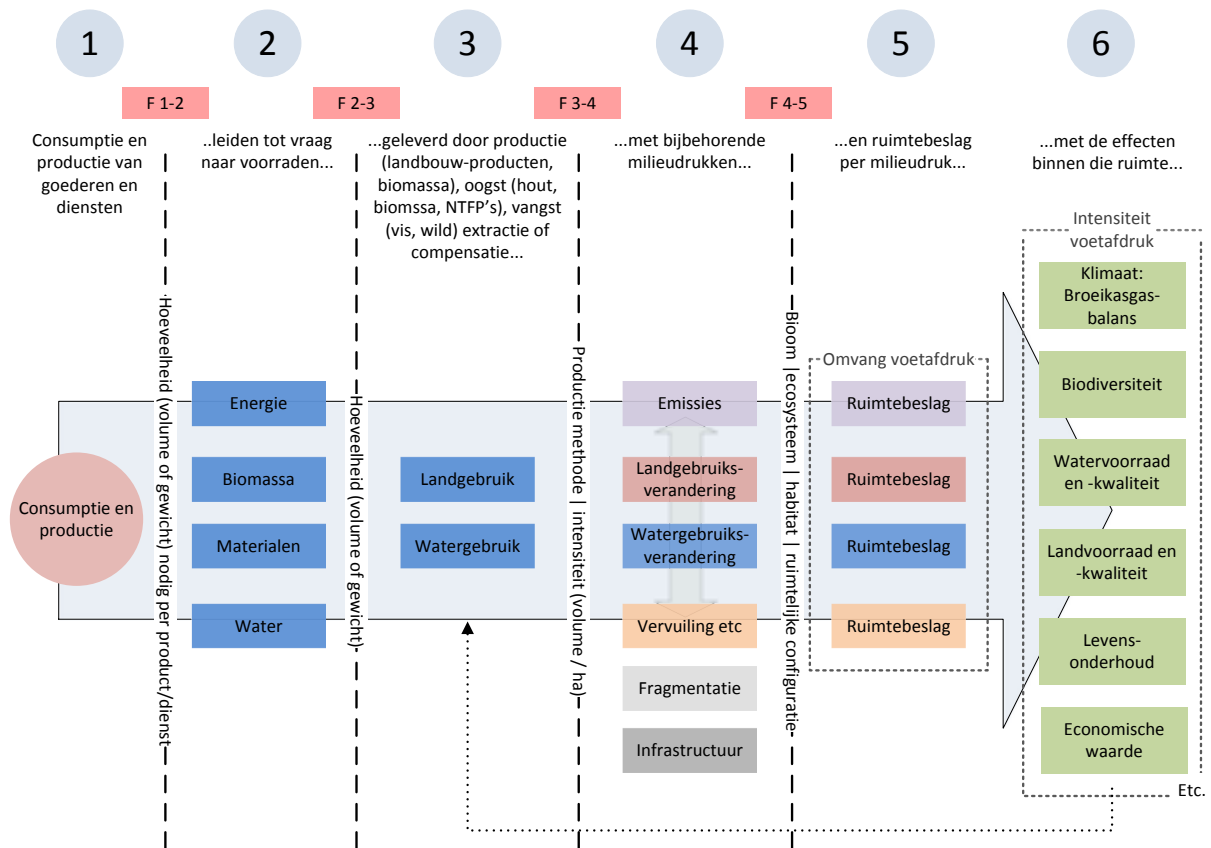
Uit de analyse van de casussen en de aanbevelingen van onderzoekers volgen de volgende randvoorwaarden voor het gebruik van gegevens en tools in voetafdrukanalyses:

- Onderzoekers ervaren gebrek aan data om specifieke relaties te leggen tussen drukfactor en effectmaat en om de uitkomsten van modellen te toetsen. Vaak worden ad hoc analyses gedaan op datasets van individuele onderzoekers of worden specifieke meta-analyses uitgevoerd. Dit vraagt om een beheersplan voor datasets die beschikbaar zijn binnen de organisatie, en om een actieve benadering van internationale datasets die toegankelijk zijn (zie ook de ingezonden brief in het tijdschrift Nature van Wageningse onderzoekers over dit onderwerp)⁸,
- Gegevens gebruikt bij Alterra in voetafdrukanalyses moeten compatibel zijn met gegevens van opdrachtgevers (zoals het PBL),
- Gegevens moeten gemakkelijk gepubliceerd en gedeeld kunnen worden binnen de organisatie, en met klanten of partners, indien mogelijk op grond van privacy, auteursrechten en intellectuele eigendomsrechten,
- Gebruik van open source software ondersteunt voetafdrukanalyses waarin Alterra met verschillende partijen samenwerkt. Er zijn diverse instrumenten beschikbaar om veranderingen in ruimtebeslag te berekenen (deels bij andere WUR partners), maar deze zijn alleen toegankelijk onder licentie, en vragen specifieke expertise (CAPRI, CLUE, WaterWise, MAGNET).
- Geef inzicht in de mogelijkheden van het gebruik van internationale, vrij beschikbare datasets, zoals van de EEA Natural Resources Data Service of de EFSA database van voedselconsumptie in EU. Soms zijn deze datasets niet in beeld bij onderzoekers,
- Nieuwe satellietssystemen bieden mogelijkheden voor brongegevens over verschillende onderdelen in voetafdrukanalyses (voorkomen en status van landgebruik en ecosystemen, milieueffecten),
- Alterra beschikt over een groot aantal studies waarin dosis-responsrelaties beschreven worden tussen veranderingen in productie-consumptiesystemen (bijvoorbeeld intensiever landgebruik door bemesting en irrigatie) en de respons van gewas, ecosysteem, bodem of waterlichaam.

4.2 Introductie van het raamwerk

Het door ons voorgestelde raamwerk voor ecologische voetafdrukanalyse is gericht op het bepalen van benodigd land- en watergebruik voor de productie van goederen en diensten in antwoord op een vraag van consumenten, en de daaruit resulterende milieudrukken en – effecten. Het raamwerk bestaat uit ‘vakken’ waarin de status of verandering van omgevingsvariabelen beschreven wordt, en filters waardoor informatie gedetailleerd of gedifferentieerd wordt bij de conversie van materialen en stromen van het ene vak naar het andere (Figuur 5). In ieder vak en iedere filter stelt de onderzoeker vragen over de casus. Hieronder worden de vakken en filters in het raamwerk toegelicht, met de bijbehorende vragen.

⁸ Vency Goudiaby, Pieter Zuidema and Frits Mohren, 2014. Overcome hurdles to global databases. NATURE | VOL 511 | 24 JULY 2014.



Figuur 5. Raamwerk voor analyse van ecologische voetafdruk.

Vak 1 – Productie en consumptie

De vraag van mensen naar producten voor consumptie⁹ (meubels, vlees, schoenen, voeding, verzorging en ontspanning, etc.) (vak 1) leidt tot een vraag naar voorraden van energie, biomassa, materialen en/of water (vak 2). Het type consumptie wordt bepaald door het onderwerp van de voetafdrukanalyse, bijvoorbeeld voeding of verzorging. De consumptie vraagt om één of meerdere (a)biotische grondstoffen voor een product. Het raamwerk geeft als handreiking te berekenen hoeveel voorraad (in volume of gewicht) nodig is voor het produceren van een eenheid product of dienst.

Voorbeeld: hoeveel water is nodig om een kilo gebrande koffiebonen te produceren?

In filter F1-2 wordt bepaald hoeveel van een voorraad (in volume, gewicht of andere maateenheid) nodig is per eenheid product. Zo vraagt de productie van palmolie om voorraden biomassa uit olie en aardappelen, zout en verpakking als materialen, energie voor productieproces en transport, en water in het productieproces. Het raamwerk moet het mogelijk maken alleen de voorraden van belang voor de vraagstelling van de analyse te beschouwen. Dat kunnen er meerdere zijn, maar de voetafdrukanalyse hoeft niet per se het gebruik van alle voorraden mee te nemen, zoals in een volledige Life Cycle Analysis. Het zal in veel gevallen gaan om de voorraden waarvan het gebruik implicaties heeft voor landgebruik en watergebruik. Voorbeeld: bij chips zou de voorraad de biomassa uit de aardappelen kunnen zijn, maar ook die uit oliepalm, plus het water en mogelijk ook de energie. Het raamwerk moet voldoende flexibel zijn om hierin keuzes te kunnen maken.

Vak 1 – Productie en consumptie

- Kijk je naar één product, of bestaat het uit meerdere deelproducten of ingrediënten?
- Zo mogelijk/wenselijk per deelproduct/ingrediënt/input het raamwerk doorlopen.

⁹ Het begrip 'consumptie' omvat ook niet-consumptief gebruik, d.w.z. gebruik waarbij het product (vaak in veranderde vorm) weer terugkeert in de omgeving, zoals water voor huishoudelijk gebruik.

Vak 2 - Voorraden

De vraag naar voorraad wordt geleverd door de productie, oogst, vangst, extractie of compensatie vanuit voorraden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van productiefactoren, waarvan land en water de centrale factoren zijn in het raamwerk. Productiefactoren als arbeid, kennis en kapitaal kunnen worden meegenomen, maar de handreiking voor Alterra-onderzoek richt zich vooral op gebruik van land en water. Het raamwerk geeft als handreiking te berekenen hoeveel land (areaal, volume) en/of water (areaal, volume) nodig is voor de productie van een eenheid voorraad, zoals landbouwproducten, biomassa, hout of vis. In deze berekening moet onderscheid gemaakt worden tussen verschillende productiemethoden (bijvoorbeeld intensieve versus extensieve veehouderij) en intensiteit van land- en watergebruik (bijvoorbeeld grootschalige versus kleinschalige teelt van oliepalm).

Vak 2 –Voorraden

- Welke voorraden en natuurlijke hulpbronnen zijn daar dan voor nodig?
- Hoeveel heb je er van nodig?
- Waar haal je die dan vandaan?

Vak 3 – Land- en watergebruik en productiemethode

In vak 3 worden hoeveelheden benodigd land en water (in areaal of volume) berekend die nodig zijn om de benodigde voorraden voor productie te leveren (via filter 2-3). Naast land en water zijn ook andere productiefactoren nodig voor de benutting van voorraden (bijvoorbeeld arbeid, kapitaal en governance). In dit concept voor een berekeningswijze van de EV wordt de nadruk gelegd op land- en watergebruik, omdat deze productiefactoren centraal staan in het onderzoek bij Alterra. Het raamwerk is echter uit te breiden om ook andere productiefactoren te kunnen analyseren.

Voorraden worden geleverd door verschillende mechanismen: productie (in de vorm van bijvoorbeeld landbouwproducten en biomassa), oogst (van bijvoorbeeld hout, biomassa, of NTFP¹⁰), vangst (vis, wild), extractie (mineralen) of compensatie (bijv. aanplant van bomen om emissies te compenseren) (vak 3).

Producten kunnen op verschillende manieren gemaakt worden, door gebruik van verschillende methoden, en met verschillende intensiteit. Dit vraagt om een verschillend gebruik van land en water, zowel in termen van hoeveelheden als van configuraties. Zo kan oliepalm op intensieve en extensieve wijze geteeld worden in respectievelijk plantages (grote, aaneengesloten arealen) en small-holder farms (kleinere, verspreide arealen). Rioolwater afkomstig van huishoudelijk gebruik uit steden kan na reiniging dichtbij de bron worden hergebruikt voor andere doeleinden (voorbeeld industriecomplex Terneuzen, waar water drie keer gerecycled wordt). Meubels kunnen gemaakt worden uit grenenhout uit nabij gelegen gebieden of uit hardhout uit veraf gelegen gebieden, waarvoor transport en opslag nodig zijn. De differentiatie van land- en watergebruik naar intensiteit en productiemethode gebeurt in filter F3-4.

Vak 3 – Land- en watergebruik en productiemethode

- Wat zijn alternatieve manieren om voorraden te produceren?
- Is er elders nog meer land/water nodig?
- Zijn er mogelijkheden voor in-/ extensiveren?

Vak 4 - Milieudruk

Het gebruik van land en water voor de productie vanuit voorraden leidt tot verschillende typen milieudrukken, zoals emissies, vervuiling, verdroging, bodemerosie. Vaak is er een directe invloed op landgebruik en watergebruik, bijvoorbeeld door het kappen van bos voor sojateelt, grondwateronttrekking voor druiventeelt in Chili, of het produceren van energie uit zonlicht met behulp van PV panelen op grote akkers in Duitsland. Maar milieudruk kan ook optreden in de vorm van emissies van probleemstoffen naar de atmosfeer, biosfeer, water of ondergrond, of door

¹⁰ NTFP: non-timber forest products (Producten die het bos levert, anders dan hout)

verdroging. De verandering van land- en watergebruik zelf wordt in het raamwerk ook beschouwd als een milieudruk. Het raamwerk geeft als handreiking mogelijke milieudrukken te benoemen en zo mogelijk te kwantificeren.

Gebruik van land en water leidt vaak ook tot bijproducten, zoals de biomassa uit de vruchtentrossen van oliepalm. Hierdoor moeten we effecten van milieudrukken niet alleen toekennen aan het product onder beschouwing, maar ook verdisconteren met bijproducten, bijvoorbeeld in de afweging van de economische waarde van de productie ten opzichte van de veroorzaakte milieudruk.

De typen milieudruk hebben een verschillend effect afhankelijk van het (eco-)systeem of landschap waar de druk op ligt. Zo zal het uitmaken of maaiveld daling door drainage ten behoeve van landbouwkundige productie plaatsvindt in een laagveengebied in Nederland of in een tropisch veenmoeras. De milieudruk verschilt niet alleen tussen biomen of ecosystemen als functie van hun klimaat en samenstelling, maar ook door verschil in ruimtelijke configuratie van het landschap dat gebruikt wordt voor de productie (bijvoorbeeld koffiestruiken in kleinschalige agroforestry-systemen ten opzichte van grootschalige plantages). Het raamwerk geeft als handreiking de milieudrukken te kwantificeren voor verschillende typen biomen, ecosystemen, habitats of landschap. De differentiatie van milieudruk naar boom, ecosysteem of type landschap en configuratie vindt plaats in filter F4-5.

Vak 4 – Milieudruk

- Hoe groot is de milieudruk per oppervlakte-eenheid?
- Zijn er co-benefits of bij-producten? Dan effecten naar rato verdelen.

Vak 5 – Ruimtebeslag per milieudruk

De milieudrukken die geïdentificeerd worden in vak 4 kunnen ieder leiden tot een ander ruimtebeslag in vak 5 met bijbehorende effecten in vak 6. Door de productie, en de intensiteit van de productie, wordt direct of indirect beslag gelegd op een hoeveelheid ruimte in de leefomgeving. Dit kan ruimte zijn in de vorm van arealen land en water, zoals in het concept van de ecologische voetafdruk van het Global Footprint Network, maar het kan ook gaan om direct ruimtebeslag in de ondergrond (bijvoorbeeld gebruik van grondwaterlichamen voor waterwinning, mijnbouw). Het ruimtebeslag kan direct zijn, op de plaats waar de productie plaatsvindt, maar ook indirect, zoals bij de verminderde wolkenvorming en neerslag door veranderd landgebruik in semi-aride gebieden, of het gebied dat via winderosie beïnvloed wordt door depositie van bestrijdingsmiddelen uit de atmosfeer (voorbeeld: PhD-studie naar transportwijzen van glyphosate¹¹).

In het raamwerk is het effectgebied een boom, ecosysteem of stuk gekwalificeerde natuur. De omvang van het ruimtebeslag gekwantificeerd per type milieudruk (kleurcodering in vakken 4 en 5). Voor sommige typen milieudruk is het ruimtebeslag moeilijker te kwantificeren dan voor andere, omdat de invloedssfeer (effectgebied) van de milieudruk minder duidelijk begrensd is. Dit geldt bijvoorbeeld voor het bepalen van de arealen waarop emissies van broeikasgassen of ammoniak uit veehouderij naar de atmosfeer effect hebben.

Het ruimtebeslag en de uiteindelijk omvang van de effecten die bekeken worden hangen naast de mate van milieudruk ook af van het oorspronkelijk ecosysteem (of biomen, of geconfigureerde landschappen, die ook agrarisch of industrieel kunnen zijn) waar de milieudruk een effect op heeft. Een bepaalde mate van stikstofdepositie zal voor het ene systeem een ander effect hebben dan op een ander systeem. De teelt van druiven voor de productie van wijn in Atacama-provincie in Chili vraagt bijvoorbeeld weinig ruimtebeslag in termen van landoppervlak, omdat het water voor de druiven onttrokken wordt aan een grondwaterlichaam dat alleen onder de bedding van de rivier voorkomt; de rivier zelf staat droog. Het ruimtebeslag in termen van grondwateroppervlak en de milieudruk zijn echter groot (vak 5), omdat de onttrekking vele malen groter is dan de grondwateraanvulling vanuit

¹¹ Celia Martins-Bento: Glyphosate transport processes in the environment in the loess Pampa of Córdoba Province, Argentina. Wageningen University, in prep.

de neerslag. Hierdoor ontstaan watertekorten voor landbouw en steden verder stroomafwaarts van het grondwaterlichaam en de rivier (Alterra-studie in EU-project COROADO¹²) (effecten, vak 6).

Vak 5 – Ruimtebeslag per milieudruk

- Hoeveel ruimte in de leefomgeving wordt beïnvloed door een specifieke milieudruk?
- In welk soort biotoom of geconfigureerd landschap vindt die beïnvloeding plaats?

Vak 6 – Effecten

Binnen de door de verschillende typen milieudruk beïnvloede ruimte (het ruimtebeslag uit vak 5) zijn er effecten op diverse componenten of aspecten van maatschappij en leefomgeving. Deze effecten zijn direct en op dit moment, of indirect, of in de toekomst, relevant voor het maatschappelijk welzijn van mensen en voor het in stand houden van productie en consumptie. De effecten zijn onder te verdelen in effecten op de duurzaamheidsaspecten 'process', 'people', 'planet' en 'profit' (Vreke *et al.* 2010). Het gaat in de studies van Alterra om effecten op bijvoorbeeld klimaat, economie, ecosysteemdiensten, en maatschappelijk welzijn. Hier kunnen aspecten van maatschappij en leefomgeving worden opgenomen, zoals die bijvoorbeeld ook worden geadresseerd in het door Alterra en partners in internationale studies ontwikkelde 'Land Use Functions Framework' (Perez-Soba *et al.*, 20xx), zoals werkgelegenheid, gezondheid en recreatie, cultuur, niet-grondgebonden productie, grondgebonden productie, transport, behoud van ecosysteemprocessen, levering van abiotische grondstoffen en ondersteuning en levering van biotische grondstoffen.

De grootte van effecten op de aspecten die specifiek betrekking hebben op gekwalificeerde natuur (namelijk behoud van ecosysteemprocessen en ondersteuning en levering van biotische grondstoffen) en sociaal-economische consequenties daarvan geven de 'diepte' van de ecologische voetafdruk weer. Deze kunnen op basis van observaties of door het toepassen van modellen voor verschillende ecologische en sociaal-economische aspecten op een andere manier kunnen worden uitgedrukt. Met behulp van bijvoorbeeld MCA of het eerder genoemde 'Land-use Functions Framework' kunnen interacties en trade-offs tussen de verschillende aspecten worden bepaald.

De effecten op aspecten kunnen breed beschouwd worden, waardoor het raamwerk gebruikt kan worden om ook andere typen voetafdruk te bepalen, zoals een watervoetafdruk of nutriëntenvoetafdruk.

Een voorbeeld van een effectenbepaling voor een ecologische voetafdrukanalyse is de Alterra-studie van Henk Wösten en Klaas Metselaar over het dichtslibben van een baai op het eiland Bonaire (Wösten, 2013). Dit heeft als gevolg een afnemende biodiversiteit in de kustzone door overbegrazing en bodemerosie bovenstrooms. Het effectgebied is de baai waarin de biodiversiteit afneemt. Het raamwerk geeft als handreiking de omvang van het effectgebied te kwantificeren en te relateren aan kenmerken van het brongebied (in het voorbeeld x ha baai beïnvloed voor productie van y € of kg vlees van graasdieren in een gebied van z ha). Het effect van de toevoer van vervuild slib aan de baai is een afname van de biodiversiteit in het koraalrif. Deze is te kwantificeren in een soortenindex of andere maat voor biodiversiteit.

4.3 Voorbeelden van toepassingen van het raamwerk

Voor enkele Alterra-studies werd nagegaan of de stappen (vakken en filters) in het raamwerk konden worden getraceerd in de werkwijze of resultaten van de studie. Hierbij werd voor iedere stap beschreven of de vraagstellingen behorend bij een vak of filter aan de orde kwamen. Er werd onderscheid gemaakt tussen de situatie dat het doorlopen van een vak of filter behoort tot de

¹² www.coroado-project.eu

standaardprocedure van de methode gebruikt in een studie, of dat dit mogelijk zou zijn (geweest) in de studie, gegeven het concept van de studie en de beschikbare tools en gegevens.

Het resultaat van de analyse is gegeven in Figuur 6 en Figuur 7. Vakken 2 (Vraag naar voorraden) en 4 (Milieudrukken) komen het vaakst voor als standaard in de studies, en vak 5 (Ruimtebeslag per milieudruk, ofwel omvang van de voetafdruk) het minst. In geen van de casussen worden alle analysevakken doorlopen. Filters F1-2 (Hoeveelheid voorraad per unit product of dienst) en F3-4 (Productiemethoden en intensiteit van land- en watergebruik) komen het meest als standaard voor in de casussen; F2-3 het minst. Het gaat hier om de berekening van de benodigde hoeveelheid (areaal of volume) land- en watergebruik per unit product of dienst. De oorzaak is waarschijnlijk dat onze berekeningen vaak niet uitkomen bij eindproducten of diensten, maar tussenstappen daarin (zoals de opbrengst van oliepalm per ha, maar niet de doorvertaling van ha oliepalm naar unit palmolie).

Casus	Naam	Vak uit raamwerk voorkomend in casus					
		1	2	3	4	5	6
1	Land Use Functions Framework	■		■	■		■
2	ROBIN Framework			■	■	■	■
3	P-kringloop	■	■	■	■		■
4	Kringlooplandbouw	■	■		■		■
5	Water footprint	■	■	■	■	■	
6	Pellets for Power	■	■	■	■	■	
7	Biomass Impacts	■	■	■	■	■	
8	Metropolitan Food Clusters	■	■	■	■		
9	Waterallocatie Nijlstromgebied	■	■	■	■	■	■
10	Oliepalmteelt in tropische venen		■	■	■	■	■
11	Handelsketens en biodiversiteit	■	■	■	■	■	■
12	MKBA verduurzaming handelsketens ESS	■	■	■	■	■	■

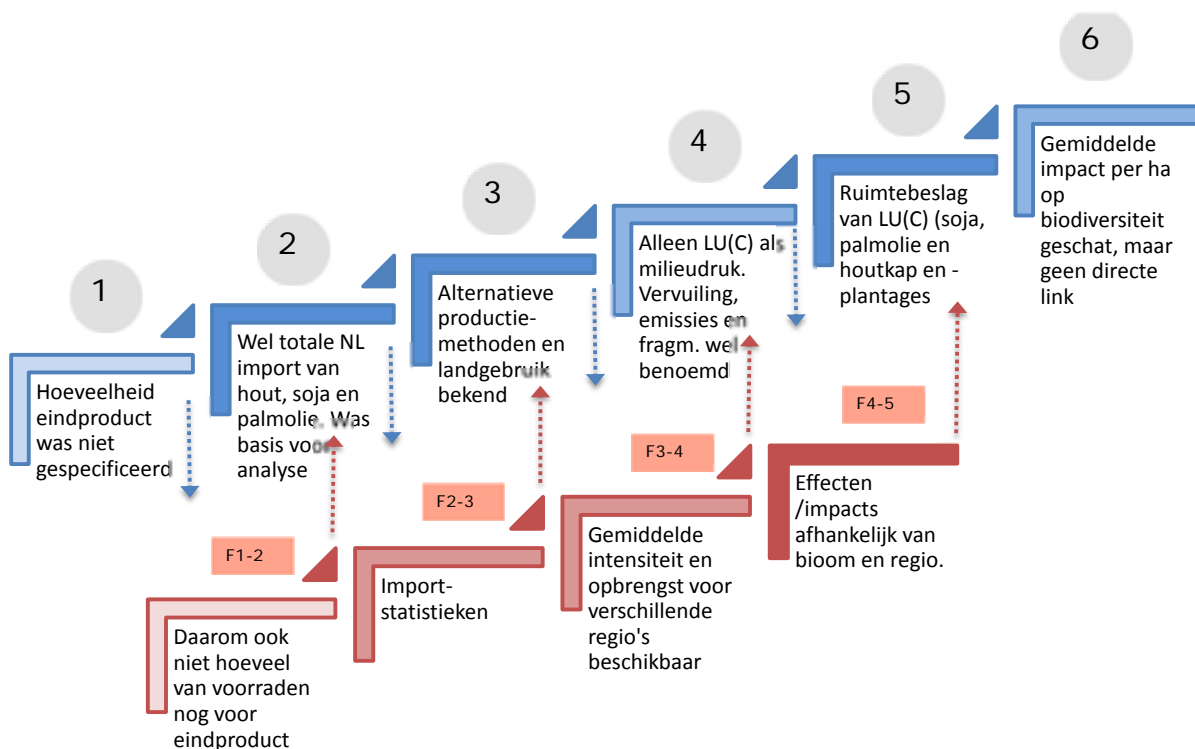
□	niet mogelijk, of komt niet voor in casus
■	mogelijk, maar niet standaard in casus
■	standaard in casus

Figuur 6. Voorkomen van vakken uit het raamwerk voor een ecologische voetafdruk in Alterra-studies.

Casus	Naam	Filter uit raamwerk voorkomend in casus			
		F1-2	F2-3	F3-4	F4-5
1	Land Use Functions Framework		■	■	■
2	ROBIN Framework			■	■
3	P-kringloop	■		■	
4	Kringlooplandbouw	■		■	■
5	Water footprint	■	■	■	
6	Pellets for Power	■		■	
7	Biomass Impacts	■	■	■	■
8	Metropolitan Food Clusters	■	■	■	■
9	Waterallocatie Nijlstromgebied	■	■	■	■
10	Oliepalmteelt in tropische venen		■	■	■
11	Handelsketens en biodiversiteit	■	■	■	■
12	MKBA verduurzaming handelsketens ESS	■	■	■	■

Figuur 7. Voorkomen van filters uit het raamwerk voor een ecologische voetafdruk in Alterra-studies.

Een voorbeelduitwerking van het raamwerk in één van de onderzochte studies is gegeven in Figuur 9. Het gaat om de studie 'Handelsketens en biodiversiteit' van Kamphuis *et al.* 2011 (nr 11 in Figuur 6 en Figuur 7). Uitwerkingen van andere studies zijn gegeven in Bijlage 10.











Figuur 8 Toepassing van het raamwerk voor ecologische voetafdrukbeoordeling op de studie 'Handelsketens en biodiversiteit'. Bron: Kamphuis *et al.* 2011.

4.4 Voldoet het raamwerk aan de randvoorwaarden?

In paragraaf 4.1 werden aanvullende randvoorwaarden gesteld voor het raamwerk. Onderstaande Tabel geeft inzicht in hoeverre het ontwikkelde raamwerk hieraan voldoet. Het raamwerk blijkt aan de meeste voorwaarden te voldoen, maar niet aan het idee om de ecologische voetafdruk in de vorm van

een enkelvoudige indicator te presenteren, zoals het raamwerk van het Global Footprint Network doet in de vorm van 'global hectares'. Dit zien wij niet als een nadeel, omdat een naar verschillende milieudrukken en ecosystemen gedifferentieerde voetafdruk meer informatie geeft over effecten op maatschappij en leefomgeving dan één geaggregeerd getal. Dezelfde conclusie werd getrokken door Witmer en Cleij (2012) in hun analyse van het nut van de 'water footprint' voor duurzaam economisch beleid voor Nederland. De opdrachtgever voegde in een reactie toe dat niet gevraagd werd om een enkelvoudig getal als resultaat van de bepalingsmethode, maar om te achterhalen of het betekenisvol zou zijn de voetafdruk in een enkel getal te presenteren. Het antwoord is dus 'nee'.

Ook geeft het raamwerk geen inzicht in de capaciteit van ecosystemen of landschappen om te voorzien in voorraden ten behoeve van productie en consumptie. Dit wordt wel gezien als een nadeel, en was ook één van de kritiekpunten op het raamwerk door de betrokken onderzoekers (zie ook paragraaf 4.5). Hierdoor geeft het raamwerk de indruk alleen geschikt te zijn voor analyses over negatieve ontwikkelingen, met naar verwachting negatieve uitkomsten voor aspecten van maatschappij en leefomgeving.

Randvoorwaarde		Voldoet het raamwerk aan randvoorwaarde?
Belasting van voorraden door verschillende productie- of consumptiesystemen kunnen meten		Ja, door benodigde hoeveelheid voorraden per eenheid product
Ruimtebeslag in en effecten op verschillende agro-ecosystemen in de wereld kunnen meten		Ja, door bepaling van ruimtebeslag per type milieudruk voor verschillende typen biomen en ecosystemen
Effecten op gekwalificeerde natuur moeten kunnen worden uitgedrukt in meetbare aspecten van de gekwalificeerde natuur en biodiversiteit, zoals veranderingen in een relatieve soortenindex		Ja, door gebruik van indicatoren van biodiversiteit, zoals de relatieve soortenindex, of 'essential biodiversity variables'
Eenvoudig getal: enkelvoudige indicator?		Nee, want ruimtebeslag per milieudruk (=omvang voetafdruk) wordt gedifferentieerd naar verschillende biomen, ecosystemen of landschappen, en de diepte van de voetafdruk wordt uitgedrukt als de grootte van meerdere milieueffecten
Ecologische voetafdruk geeft zowel belasting als capaciteit aan		Nee; het voorgestelde raamwerk geeft alleen belasting, geen capaciteit
Indirecte effecten moeten beschreven kunnen worden		Ja, mogelijk door beschrijven van milieudruk als veranderingen in land- en watergebruik op andere plaatsen dan de plaats waar productie plaatsvindt. Ook meerdere effectgebieden beschreven worden.
Componenten omvang (areaal) en diepte moeten in handreiking voorkomen		Ja, in de vorm van ruimtebeslag per milieudruk (omvang) en grootte van milieueffecten (diepte).
Relaties met landgebruik, biodiversiteit en klimaat moeten voorkomen		Ja: relaties met landgebruik in de beschrijving van productie uit voorraden (oogst, extractie enz.), en van milieudruk in de vorm van wijzigingen in land- en watergebruik. Biodiversiteit en klimaat behoren tot de milieueffecten die het raamwerk vraagt te kwantificeren.

Randvoorwaarde		Voldoet het raamwerk aan randvoorwaarde?
<p>Verschillende aggregatieniveaus, schalen en meeteenheden moeten in het raamwerk gebruikt kunnen worden</p>		<p>Het beschouwde productiesysteem in het onderzoek bepaalt het ruimtelijke schaalniveau waarop voorraden, veranderingen in land- en watergebruik, ruimtebeslag bekeken worden, en ook de grootte van effectgebieden die in beschouwing genomen moeten worden.</p> <p>Als een bedrijf of productielijn als systeem wordt gekozen, kunnen productiegebieden op verschillende plaatsen liggen en van verschillende omvang zijn. Dit geldt ook voor de effectgebieden met 'wilde natuur'.</p> <p>Als het productiesysteem de productie van een commodity uit een specifiek gebied is, zoals een stuk regenwoud dat voor sojateelt gebruikt gaat worden, dan bepaalt de omvang van het gebied het ruimtelijk schaalniveau van de analyse van voorraden. Het ruimtebeslag van de milieudrukken (effectgebieden) is gerelateerd aan de omvang van het brongebied (productie in x ha van boom y veroorzaakt effecten i, j en k van grootte ii, jj, kk).</p> <p>Verschillende meeteenheden gebruiken is mogelijk, en afhankelijk van de gekozen meeteenheden voor producten, land- en watergebruik, intensiteit van land- en watergebruik, voor het kwantificeren van milieudruk (bv erosie in x ton/ha.jaar-1), van het ruimtebeslag per milieudruk (bv x ha vervuilde grond) en de milieueffecten (bv global warming potential in eq CO2 per ha effectgebied).</p>
<p>Verschillende klantgroepen bedienen</p>		<p>Ja; allerlei partijen die 'gaan over' productie- en consumptiesystemen kunnen gewenste informatie ontlenen aan de verschillende bouwstenen van het raamwerk, variërend van producenten, leveranciers van voorraden tot partijen die milieudruk en/of milieueffecten ondergaan, en overheden die met milieubeleid milieudruk willen tegengaan en effecten willen verminderen.</p>
<p>Vragen over actuele thema's kunnen beantwoorden</p>		<p>Ja, denk aan vragen tbv climate smart agriculture, vragen over het bepalen van duurzaam produceren, vragen over effecten van groeiende steden op wilde natuur, vragen tbv green economic growth, tbv water economy.</p>

4.5 Feedback op het raamwerk van opdrachtgever en onderzoekers

In een bijeenkomst werd het raamwerk gepresenteerd aan de opdrachtgever en de onderzoekers die betrokken zijn geweest in de interviews of werkbijeenkomsten. De commentaren en vragen zijn vermeld in Figuur 9, en met de respons van het projectteam via hyperlinks benaderbaar in Bijlage 7.

- Waarom een nieuw raamwerk maken?
- Beschouw niet alleen consumptie, maar ook productie.
- Maak effecten gelijkwaardig
- Teveel nadruk op ruimtebeslag in de analyse van productie/consumptie naar effecten.
- De referentie-meeteenheid in termen van ruimtebeslag is beperkend
- Raamwerk is te complex om gebruikt te worden in gesprek met klanten
- De grondgedachte achter het raamwerk is negatief: consumptie heeft een negatief effect op natuur.
- Spiegel aan wat andere onderzoeksinstellingen doen

Figuur 9 *Commentaar en vragen van opdrachtgever en onderzoekers in reactie op presentatie van het raamwerk voor een ecologische voetafdrukbeoordeling (december 2014). Antwoorden in Bijlage 7.*

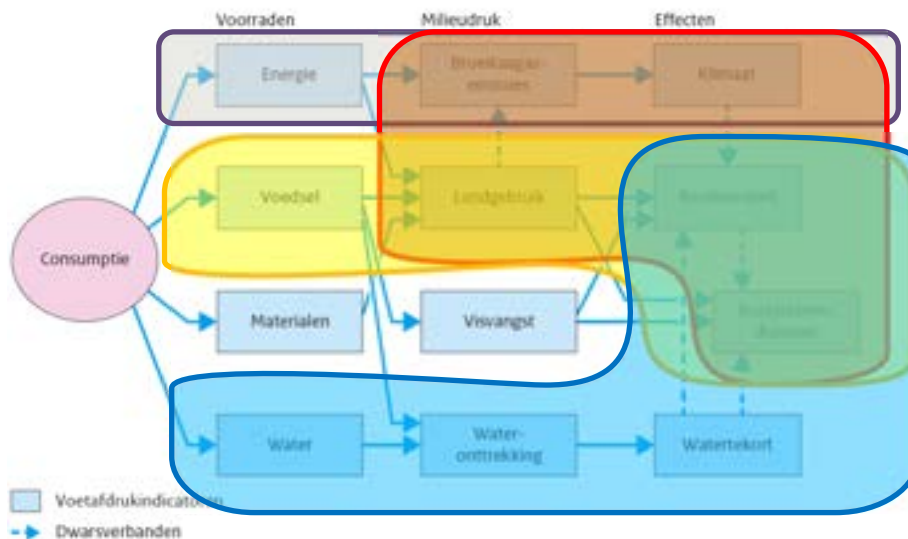
5 Bijlage 1: Observaties uit diepte-interviews

Korte interviews gevoerd met Jan-Peter Lesschen, Marta Perez Soba en Koen Roest, onderzoekers bij Alterra die betrokken zijn/waaren bij studies waarin veranderingen in ruimtebeslag van productie- en consumptiesystemen bestudeerd werden, en milieueffecten daarvan in voetafdrukachtige indicatoren. De volgende vragen werden hen gesteld:

1. In welke projecten/studies was je betrokken, waarin de ecologische voetafdruk of een variant daarvan berekend werd?
2. Welke veranderingen in productie- en/of consumptiesystemen werden in die projecten/studies beschouwd?
3. Kun je beschrijven welke methoden gebruikt werden om de verandering in ruimtebeslag van natuurgebieden te berekenen, als gevolg van de veranderingen in de productie- en consumptiesystemen?
4. Idem voor het berekenen van effecten op natuur en biodiversiteit.
5. Kun je aangeven welke knelpunten optraden bij het berekenen van de veranderingen in ruimtebeslag, en van de effecten op natuur en biodiversiteit? Welke inzichten werden verkregen?
6. Alterra streeft naar een uniforme methodiek voor het berekenen van een ecologische voetafdruk. Heb je aanbevelingen voor zo'n methodiek?

Geplaatst in het raamwerk van het PBL hadden de studies waarin de geïnterviewde onderzoekers werkzaam waren betrekking op de volgende series van voetafdrukindicatoren:

- energie > broeikasgasemissies > klimaat (biomassa en bio-energieprojecten Jan-Peter Lesschen)
- broeikasgasemissies en landgebruik > klimaat, biodiversiteit en ecosysteemdiensten (ROBIN project Marta Perez)
- voedsel > landgebruik > biodiversiteit en ecosysteemdiensten (FRAGARIA project Marta Perez)
- water > wateronttrekking > watertekort, ecosysteemdiensten en biodiversiteit (waterallocatieprojecten Koen Roest).



Figuur 10 Onderdelen van raamwerk PBL voorkomend in studies van Alterra-onderzoekers (diepte-interviews).

Enkele observaties uit de interviews:

- de genoemde studies berekenen verschillende series uit de set van voetafdrukindicatoren uit de indicator-set van het PBL voor de ecologische voetafdruk,
- de beschouwde productie- en consumptiesystemen hebben vaak betrekking op voedsel- en energieproductie

-
- er zijn diverse instrumenten beschikbaar om veranderingen in ruimtebeslag te berekenen (deels bij andere WUR partners) (CAPRI, CLUE, WaterWise, MAGNET),
 - effecten op 'gekwalficeerde natuur' worden niet in alle studies beschouwd, maar vaak zou het met het gebruikte instrumentarium wel mogelijk zijn deze te berekenen,
 - het blijkt echter lastig effecten van veranderingen in ruimtebeslag op ecosystemen te kwantificeren in termen van biodiversiteit of veranderde natuurwaarde. Dit wordt op verschillende manieren gedaan (kwalitatief als score op een indicator, kwantitatief bv als verandering in koolstofvoorraad of als verandering in indicatoren van biodiversiteit, ecosysteemstructuur en ecosysteemfunctie),
 - knelpunten die onderzoekers tegenkomen omvatten o.a.:
 - gebrek aan data om uitkomsten van modellen te toetsen
 - herkenbaarheid van indicatoren van biodiversiteit voor stakeholders
 - aggregatie/vergelijking van uitkomsten van modellen of veldexperimenten op verschillende schalen
 - vertalen van de intensiteit van het gebruik van ecosystemen (voorraden) in een effect op de biodiversiteit of natuurwaarde van het ecosysteem (bijv. bosgebruik).

6 Bijlage 2: Screening van Alterra-projecten en studies

Een aantal projecten en studies van Alterra-onderzoekers werd gescreend op het voorkomen van onderdelen van een ecologische voetafdrukbeoordeling. Deze onderdelen waren de verandering in ruimtebeslag als gevolg van productie en consumptie, en de methodieken die gebruikt werden voor het analyseren van de effecten op (gekwalficeerde) natuur en biodiversiteit. Daarnaast werden knelpunten geïdentificeerd bij het berekenen van veranderingen in ruimtebeslag en van effecten op natuur en biodiversiteit.

Enkele observaties op basis van de screening van de projecten en studies:

- De onderzochte veranderingen in ruimtebeslag hebben in alle gevallen betrekking op landbouwgebieden (als bron of bestemming voor landgebruiksverandering). Het zijn vaak omzettingen van agrarisch gebied in (semi-)natuur of bos of andersom, het verlaten van agrarische gebieden, uitbreiding van stedelijk gebied in landbouwgebied, inzet van agrarisch gebied voor biomassateelt, intensivering of extensivering van landbouw in bestaande landbouwgebieden,
- Projecties van veranderingen in ruimtebeslag mbv landgebruiksmodellen blijkt lastig te valideren door de hiaten in bestaande actuele en historische 'land cover' datasets,
- De gebruikte datasets voor het weergeven van veranderingen in ruimtebeslag hebben vaak een onvoldoende specifieke indeling (bv weergave van natuurlijke habitattypen) om effecten op biodiversiteit of andere natuurwaarden te modelleren,
- Effecten van veranderingen in ruimtebeslag op biodiversiteit of op de waarde van gekwalificeerde natuur blijken lastig te kwantificeren, omdat gebruikte indicatoren (zoals MSA) tekortkomingen hebben, of omdat effecten van sommige processen of omgevingsfactoren op biodiversiteit onvoldoende of onvolledig bekend zijn of niet in het bestaande instrumentarium kunnen worden meegenomen (e.g. depositie van organische stikstof, ozon, effecten van verbindingzones in ecologische netwerken op biodiversiteit).

7 Bijlage 3: Analyse van de casussen en aanbevelingen van onderzoekers

7.1 Welke elementen komen voor in casus studies bij Alterra?

Onderstaande Tabel geeft een overzicht van de elementen uit de onderzochte casussen die onderdeel zouden kunnen zijn van een ecologische voetafdruk-analyse. De volgende vragen werden gesteld aan de onderzoekers om de elementen te ordenen:

- Welke productie-consumptiesystemen worden beschouwd in de casus?
- Welke veranderingen in ruimtebeslag worden berekend in de casus, en hoe worden deze berekend?
- Welke aspecten van milieudruk worden beschouwd, en hoe worden deze gekwantificeerd?
- Welke milieueffecten worden beschouwd, en hoe worden deze gekwantificeerd?

Een gedetailleerde beschrijving van de casussen is gegeven in de verslagen van de twee werkbijeenkomsten (bijlagen 4 en 5).

Tabel 1

Overzicht van elementen voor een ecologische voetafdruk-analyse uit de eerste werkbijeenkomst (24 juni 2013).

Kenmerken	In de casussen	Gebruikte methoden
Productie- of consumptiesystemen met veranderingen	Land- en bosbouw Natuurbeheer en ecotoerisme Bebouwing, transport, toerisme, energie-opwekking en –transport Globale en nationale drivers: demografie, beleid, technologie, economische ontwikkeling Winning en gebruik van voorraden energie, water, afval, voedsel en fosfor op stadsniveau (Amsterdam) Kringlooplandbouw Toename van teelt van krachtvoedergewassen op regionale schaal	Land Use Functions Framework (LUF) (met indicatoren) Bestaande indicator-datasets Raamwerk ontwikkeld voor het ROBIN-project Analyse van deelkringlopen (o.a. P) met duurzaamheidsindicatoren LCA en regionaal milieumodel Duurzaamheidsprestaties op basis van regio-specifieke indicatoren, ASG voerscenarioekentool
Verandering in ruimtebeslag	Veranderingen in ruimtegebruik Veranderingen in landgebruik, ecosysteemomvang en habitats	LUF, STONE; ASG voerscenarioekentool, Waterwise GEO BON (IBOS) + GlobSS
Milieu-druk	Landgebruik* Broeikasgasemissies Emissies van N en P naar lucht, grond- en oppervlaktewater	GEO BON (IBOS) + GlobSS LCA+indicatoren, regionaal milieumodel+indicatoren; STONE
Milieu-effecten	Biodiversiteit (verschillende aspecten) Ecosysteemstructuren, biotische bronnen en ecosystemendiensten Klimaat Waterkwaliteit	Tools voor effectbepaling ontwikkeld in het ROBIN-project; GEO BON (IBOS), EBV Geen van de casussen berekent directe effecten op klimaat STONE

* inclusief habitatconversie, vermesting, vervuiling, verdroging, fragmentatie, verstoring.

Tabel 2

Overzicht van elementen voor een ecologische voetafdruk-analyse uit de tweede werkbijeenkomst (5 september 2013).

Kenmerken	In de casussen	Gebruikte methoden
Productie- of consumptiesystemen met veranderingen	Meer of minder watergebruik in geïrrigeerde landbouw	Gegevens van land- en watergebruik
	Gebruik van tropische venen voor de productie van oliepalm en andere handelsgewassen	Gegevens landareaal en waterbeheer
	Sojateelt en houtkap in gebied met tropisch bos	Analyse van import- en exportdata
	Voedselproductie in en om grote steden	Analyse consumptiegegevens steden
Verandering in ruimtebeslag	Uitbreiding geïrrigeerd gebied Uitbreiding areaal oliepalm Uitbreiding areaal sojateelt/houtkap	<niet beschreven> Landgebruiksgegevens Landgebruiksgegevens, simulatie landgebruik (CLUE)
	Innovaties in voedselketens	Benodigd landoppervlak voor voedselproductie, 'voedselkilometers'
Milieu-druk	Wateronttrekking Landgebruik, broeikasgasemissies Landgebruik, broeikasgasemissies	Water footprint-analyses Emissie uit maaiveld daling, hydrologische modellering Opbrengstgegevens, analyses van benodigd areaal
	Alle bovengenoemde en visvangst	<niet beschreven>
Milieu-effecten	Watertekort	<niet beschreven>
	Klimaat, biodiversiteit & ecosysteemdiensten	Ecohydrologische modellen voor impact hydr regime op plantengemeenschappen
	Biodiversiteit & ecosysteemdiensten	Indicatoren van biodiversiteit, kosten-batenanalyses
	Klimaat, watertekort	<niet beschreven>

7.2 Welke aanbevelingen geven de onderzoekers zelf voor ecologische voetafdruk-analyses?

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

Marta Pérez-Soba

- De ecologische voetafdruk moet naast de belasting en het gebruik van natuurlijke hulpbronnen ook in beschouwing nemen wat we toevoegen (aan waarde bijvoorbeeld, red.)
- De ecologische voetafdruk moet ook indirecte effecten van veranderingen in productie- en consumptiesystemen kunnen meten.
- De ecologische voetafdruk heeft betrekking op natuurlijke hulpbronnen, die niet alleen bestaan uit arealen land en zee belast of gebruikt, maar ook het functioneren van land en ecosystemen omvatten (dit gebeurt ook in het raamwerk van het PBL door de 'diepte' van de voetafdruk te meten; in het NFA Raamwerk wordt het functioneren van het areaal uitgedrukt in een biocapaciteit, red.)
- Welke schalen en meeteenheden?
- Het meten van de verandering in de ecologische voetafdruk is belangrijker dan de status op een gegeven moment in de tijd.
- Het mariene domein moet worden meegenomen in de analyse.
- Adviseert om het LUF Raamwerk te gebruiken in combinatie met MCA, maar gefocussed op het gebruik van natuurlijke hulpbronnen per landgebruikstype.
- Maak gebruik van de EEA Natural Resources Data Service.

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

Peter Kuikman

- Het is mogelijk een voetafdruk voor P te berekenen. Hiervoor bestaan al systemen, bijvoorbeeld toegepast op Parijs en Londen.
- Veranderingen worden belangrijk. Handelingsopties liggen vooral in zinvolle activiteiten in de groene cirkels in de kringloop: bij de onderdelen lozing (inzameling) en behandeling in de kringlopen van voorraden die je in beschouwing neemt (in dit geval P).

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

Rob Jongman

- Het is belangrijk om alle data te aggregeren tot 'essential biodiversity variables'
- Gegevens compatible met anderen, open software, publiceren en sharen
- Geen Europese kaart; de landen doen de monitoring zelf, willen niet overdragen aan Europa. Maar als je de conversie kunt maken met nieuwe satelliet data
- Bij vormgeving van voetafdruk gebruik maken van deze data
- De invulling die je geeft aan de voetafdruk is afhankelijk van het type klant.

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

Wim de Vries

- Werkwijze om de ecologische voetafdruk te bepalen hangt af van onderwerp.
- Interessant om na te gaan of we niet tot een vergelijkbare aanpak kunnen komen qua:
 - Conceptueel raamwerk,
 - Milieu indicatoren
 - Rekenmethodieken (bv LCA)

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

Joop Kroes – water footprint

- (Water)voetafdrukanalyses zouden geschikt zijn om verdelingen van water over gewassen, bodem en atmosfeer te bestuderen, en voor het bepalen van de efficiëntie van irrigatie.
- Daarnaast zou het een krachtig instrument zijn in analyses van landgebruiksveranderingen, bijvoorbeeld door het manipuleren van gewasgroeistadia, of landgebruiksveranderingen als gevolg van klimaatverandering.
- Het concept van de voetafdruk is geschikt voor communicatie.

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

Henk Wösten

- De tropische venen zijn één van de belangrijke grote ecosystemen op aarde met grote voorraden water, koolstof en biodiversiteit
- Een voetafdruk maat zou gebruikt kunnen worden om handelingsopties te onderzoeken (bijv. REDD, PES en reforestation en rehabilitation).
- Alterra heeft expertise voor het monitoren van goederen en diensten uit tropische bosecosystemen. Hierin zijn waardevolle elementen voor een voetafdrukanalyse:
 - Analyses van koolstofvastlegging (bv met CO2 fix model)
 - Analyses van broeikasgasemissies door maaiveldhoogtebepalingen
 - Indicatoren van biodiversiteit
 - Analyses van hydrologische regimes, ook om aan te tonen bij welk hydrologisch regime welke plantengemeenschap hoort

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

Dirk Wascher en Jeroen Kruit

- Bekijk de mogelijkheid om de EFSA database te gebruiken voor het bepalen van een ecologische voetafdruk van voedselconsumptie in de EU.
- Er is behoefte aan recentere gegevens over voedselconsumptie in NL (echt waar? Heeft NL niet een heel goede statistische database? Red.).
- Behoeft aan het uitwisselen van kennis over het analyseren van voedselketens voor specifieke producten t.b.v. een voetafdrukanalyse.

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

Eric Arets

- Gebruik dosis-responsfuncties om effecten van veranderingen in productie-consumptiesystemen op ecosystemen of gekwalificeerde natuur te analyseren.
- Breng de kennis over deze dosis-responsfuncties bij elkaar in een informatiesysteem, dat door onderzoekers binnen Alterra geraadpleegd kan worden. Vaak worden ad hoc meta analyses gedaan op basis van beschikbare literatuur. Een informatiesysteem met de verzamelde kennis maakt het mogelijk voor vragen naar voetafdrukanalyses sneller en meer gestructureerd te kunnen putten uit bestaande kennis. Het informatiesysteem kan kennis en data over dosis-responsfuncties bevatten op verschillende expertisevelden binnen Alterra, zoals landgebruik, hydrologie, ecologie en governance.

8 Bijlage 4: verslag van de werkbijeenkomst met Alterra-onderzoekers op 24-6-2013

Werken aan een handreiking voor het berekenen van een ecologische voetafdruk

Werkbijeenkomst voor KBIV WOt

Alterra, 24-6-2013



Deelnemers: Mirjam Hack (projectteam), Peter Kuikman (projectteam en casus), Gert-Jan Noij (projectteam), Marta Pérez-Soba (casus), Rob Jongman (casus), Wim de Vries (casus), Jan Roelsma en Anouk Cormont (casus), Simone Verzandvoort (projectteam, rapporteur)

8.1 Inleiding en doel van het project Ecologische Voetafdruk

Aanleiding voor het project is de vraag vanuit overheden en bedrijfsleven naar een maat om het effect van de belasting van voorraden (energie, voedsel, materialen, water) door huidige en toekomstige productie en consumptie weer te geven op 'wilde natuur' wereldwijd. De ecologische voetafdruk is een instrument waarmee de capaciteit van de aarde om voorraden en ecosysteemdiensten te leveren kan worden gemeten, en tegelijkertijd de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten door de mens (Borucke *et al.* 2013).

Er zijn veel verschillende **definities van de ecologische voetafdruk**. In dit project hanteren we de definitie van het Footprint Network (www.footprint.network.org):

'... A measure of how much area of biologically productive land and water an individual, population or activity requires to produce all the resources it consumes and to absorb the waste it generates, using prevailing technology and resource management practices.'

Het eerste **raamwerk voor een systematische berekening van de ecologische voetafdruk** dateert uit 1997 met het werk van Wackernagel *et al.* (1997). In 2003 introduceerde het Global Footprint Network het 'National Footprint Accounts (NFA) program'. De NFA methodiek is een rekenraamwerk om de jaarlijkse levering van en vraag naar voorraden en ecosysteemdiensten te berekenen. Dit gebeurt met twee maten: de ecologische voetafdruk en de biocapaciteit. De biocapaciteit is een maat van de hoeveelheid biologisch productieve land- en zeeoppervlakte dat in staat is voorraden en ecosysteemdiensten te leveren die de mensheid gebruikt¹³. Biocapaciteit kan worden beschouwd als het ecologisch kapitaal van de aarde, of als het vermogen van ecosystemen om voorraden en diensten aan te vullen na gebruik (naar Borucke *et al.* 2013).

In de NFA methodiek worden de ecologische voetafdruk en de biocapaciteit beiden uitgedrukt in arealen 'global hectares' land of zee. In deze arealen zijn de verschillen tussen de biologische productiviteit van landgebruikstypen tussen gebieden in de wereld en tussen verschillende landgebruikstypen verrekend door middel van respectievelijk 'yield factors' en 'equivalence factors' (Borucke *et al.* 2013). Door het gebruik van 'global hectares' is de ecologische voetafdruk een voor consumenten, bedrijven en overheden een gemakkelijk interpreteerbare maat voor de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten van hun land ten opzichte van andere landen.

De maat 'global hectares' laat echter niet zien hoe groot de belasting van de biocapaciteit is door afzonderlijke productieketens (bijvoorbeeld soja), door afzonderlijke bedrijven of regio's, of hoe groot de belasting is van afzonderlijke landgebruikstypen, zoals gekwalificeerde natuurgebieden¹⁴. Ook geven de ecologische voetafdruk en biocapaciteit in de NFA methodiek, als gevolg van de meeteenheid 'global hectares', geen informatie over de verschillende voorraden water en energie die gebruikt worden, en niet over de effecten van de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten op klimaat en biodiversiteit. Hierdoor is de ecologische voetafdruk minder goed bruikbaar om mogelijkheden te identificeren (handelingsopties) waarmee overheden en bedrijven de ecologische voetafdruk van bestuurlijke eenheden (landen, regio's), sectoren, individuele bedrijven of productie- en handelsketens

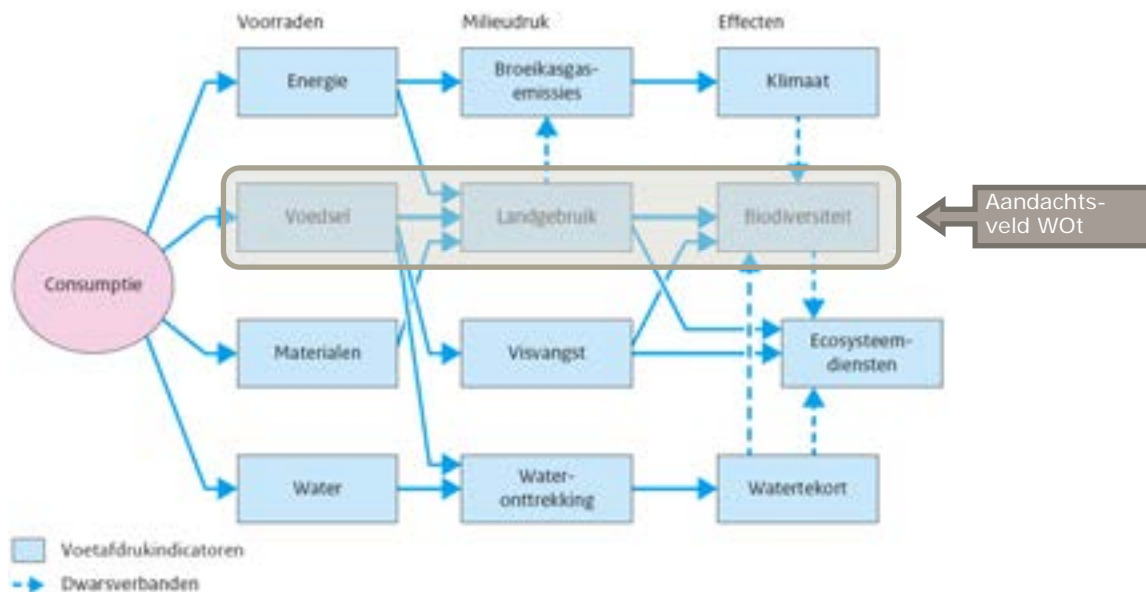
¹³ De term 'gebruiken' wordt geprefereerd boven de term 'consumeren', omdat de eerste rekening houdt met de terugkeer van reststoffen in ecosystemen (van bijvoorbeeld water in industriële processen), terwijl de laatste suggereert dat voorraden of diensten worden gebruikt waarbij de voorraad definitief wordt uitgeput.

¹⁴ Dit zijn terrestrische ecosystemen met een ITZ-waarde: internationaal, trendmatig, en zeldzaam. Voorbeeld: tropisch regenwoud op locatie X. (Frank Veeneklaas, pers. comm.).

kunnen verkleinen. Het PBL noemt in haar rapport 'De voetafdruk van Nederland, hoe groot en hoe diep?' (Van Oorschot *et al.* 2012) drie handelingsopties:

- Het verkleinen van lokale impacts van productieprocessen
- Efficiënter gebruik van grondstoffen, inputs en producten
- Andere keuzes in verbruik en consumptie van grondstoffen en producten

In respons op de tekortkomingen van het rekenraamwerk van de NFA ontwikkelde het PBL een raamwerk voor de ecologische voetafdruk van consumptie bestaand uit 12 indicatoren in drie categorieën: voorraden, milieudruk en effecten (Van Oorschot *et al.* 2012) (Figuur 4). De indicator-set is bedoeld om zowel de omvang ('hoe groot': oppervlakte, ruimtebeslag) als de effecten van de voetafdruk weer te geven ('hoe diep'). Daarbij wordt gekeken naar het gebruik van mondiale voorraden (uit natuurlijke hulpbronnen) en daarbij ontstane milieudruk, en naar ecologische effecten.



Figuur 11 Raamwerk van het PBL voor de ecologische voetafdruk (Van Oorschot *et al.* 2012). De paarse balk geeft het aandachtsveld van het WOt voor dit project. 'Landgebruik' staat voor meerdere typen milieu-druk, bijvoorbeeld habitatconversie, vermesting, vervuiling, verdroging, fragmentatie en verstoring.

Overheden, bedrijven en instellingen **vragen Alterra in toenemende mate naar bepalingen van de ecologische voetafdruk** van hun economische en maatschappelijke activiteiten (bijvoorbeeld de gemeente Amsterdam, Robeco). We hebben binnen Alterra echter geen gemeenschappelijke berekeningswijze of instrumentarium voor de ecologische voetafdruk, maar wel voor deelcomponenten, zoals voor het gebruik van voorraden water ('water footprint' benaderingen van team CALM), land ('land use services' en 'land use functions' benaderingen van team Earth Informatics) of nutriënten ('nutriënt use efficiency' benaderingen van teams ESA en Duurzaam Bodemgebruik), of voor het bepalen van broeikasgasemissies (broeikasgasemissiemodellen van team Duurzaam Bodemgebruik) en effecten van landgebruik op biodiversiteit (instrumentarium van team VBE).

De vraag van Frank Veeneklaas met deze WOt opdracht was: het PBL heeft een raamwerk gemaakt om de ecologische voetafdruk te kwantificeren (Figuur '2). Stel dat vragen over de reeks Consumptie (Productie) -> Voedsel -> Landgebruik -> Biodiversiteit aan Alterra gesteld worden, hoe beantwoorden we die dan?

Doel van het project Ecologische Voetafdruk is een handreiking te maken over hoe de ecologische voetafdruk betekenisvol bepaald kan worden, in het bijzonder ten aanzien van effecten op gekwalificeerde natuur⁴. Hiermee is de scope van het project in het raamwerk van het PBL (Figuur 4) beperkt tot de keten van 'consumptie – voedsel – landgebruik – biodiversiteit'. In andere woorden: tot de belasting van de biocapaciteit wereldwijd voor de productie van biomassa, de milieudruk daarvan uitgedrukt in landgebruik, en de effecten daarvan op gekwalificeerde natuur en biodiversiteit.

Dat de voetafdruk 'betekenisvol' bepaald moet kunnen worden wil zeggen dat de bepaling de belasting van verschillende productie- of consumptiesystemen op het ruimtebeslag in verschillende agro-ecosystemen in de wereld moet kunnen meten, en dat de effecten op gekwalificeerde natuur worden uitgedrukt in meetbare aspecten van de gekwalificeerde natuur en biodiversiteit, zoals veranderingen in een relatieve soortenindex.

Daarnaast moet de voetafdruk in de nieuwe berekeningsmethodiek kunnen worden weergegeven in een eenvoudig geaggregeerd getal (eventueel samengesteld uit meerdere indicatoren), en moet de voetafdruk gevoelig zijn voor handelingsopties zoals boven gedefinieerd.

8.2 Doel van de werkbijeenkomst

Deze werkbijeenkomst werd georganiseerd voor het project Ecologische Voetafdruk als eerste van twee werkbijeenkomsten. Doel van de werkbijeenkomsten is om samen met enkele Alterra-onderzoekers na te gaan of het mogelijk is om een praktische en concrete werkwijze af te spreken over hoe de ecologische voetafdruk en de verandering daarin (omvang en diepte) kan worden bepaald voor studies op verschillende schaalniveaus, waarbij landgebruik, biodiversiteit en effecten van milieumaatregelen centraal staan. De te ontwikkelen methodiek zou op een transparante manier ruimte toewijzen aan specifieke producten of productiewijzen, met uitleg over aannames en rekenregels.

Tien Alterra-onderzoekers werd gevraagd studies of projecten te presenteren waarin veranderingen van productie- of consumptiesystemen werden onderzocht ten aanzien van de belasting van voorraden voedsel-, biomassa-productie, materialen of water, het ruimtebeslag van die belasting, en effecten daarvan op klimaat, biodiversiteit, ecosysteemdiensten, beschikbaar water, of andere aspecten van de leefomgeving.

Hieronder volgt een weergave van de presentatie van het werk van zes onderzoekers, en de discussie over de mogelijkheid om elementen uit de studies te gebruiken voor de ontwikkeling van een nieuwe bepaling van de ecologische voetafdruk zoals boven omschreven. De resultaten van de werkbijeenkomst met de andere vier onderzoekers worden gepresenteerd na afloop van de werkbijeenkomst, te houden op 5 september 2013.

8.3 Casus Marta Perez-Soba (Team Earth Informatics): SENSOR, EU-LUPA and ROBIN - Land use Functions framework and ROBIN framework

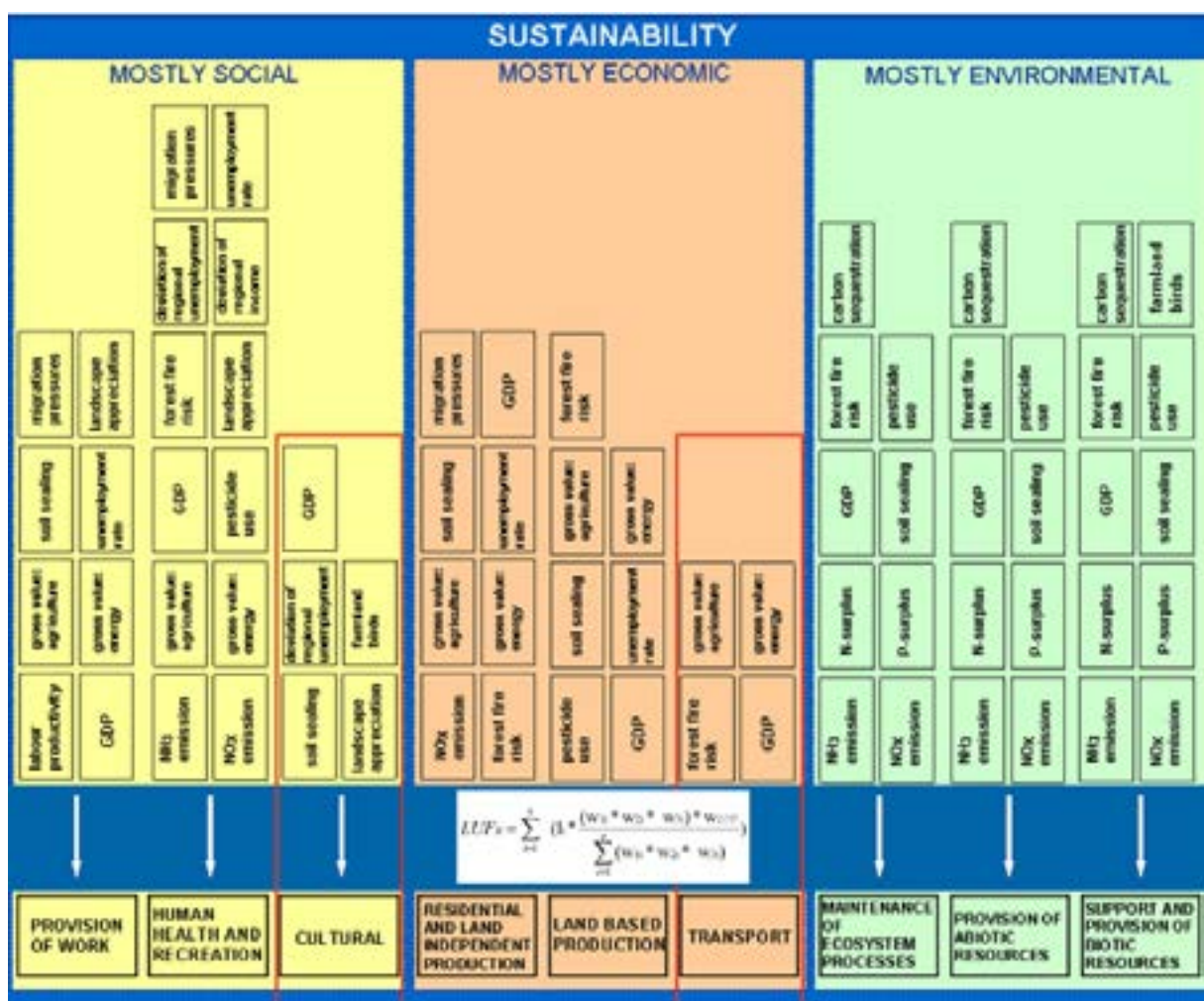
Het **Land use functions framework** is een instrument om te bepalen hoe landgebruiksveranderingen duurzaamheid beïnvloeden (ten aanzien van economie, omgeving en sociale aspecten) met behulp van multi-criteria analyse. Het raamwerk is ontwikkeld voor Europese condities als onderdeel van het FP6 SENSOR project (2004-2009). Het werd verbeterd in het ESPON EU-LUPA project (2010-2012).

Land Use Functions (LUFs) zijn de goederen en diensten die gebruik van land biedt aan de maatschappij. Het raamwerk vertegenwoordigt de belangrijkste landgebruikstypen in Europa: landbouw en bosbouw als productiesectoren, natuurbeheer en ecotourisme als activiteiten van

landconservering, en bebouwd gebied, transport, toerisme en energie-infrastructuur als activiteiten die land in beslag nemen.

Het raamwerk werkt op verschillende ruimtelijke schaalniveaus (Europa, nationaal, NUTS2, regionaal). Land use functions beschouwen meer functionaliteit van de terrestrische omgeving dan ecosysteemdiensten, omdat ze ook sociale en economische diensten van het land omvatten, zoals het verschaffen van werk, en het bieden van een ondergrond voor gebouwen en infrastructuur (Figuur 13).

Het raamwerk onderscheidt 6 Land Use Functions (LUFs), 3 in iedere dimensie van duurzaamheid (Figuur 13). Iedere land use function wordt uitgedrukt in één of meer indicatoren. De prestaties van een land use functie op indicatoren kan verschillend zijn voor verschillende contexten waarin deze gemeten wordt (geografisch, omgeving, sociaal-economisch). De indicatoren kunnen tegelijkertijd een positief effect hebben op de ene functie (bv building op economic indicators), en een negatief effect op een andere indicator. Het raamwerk is flexibel; verschillende indicatoren kunnen worden gekozen voor land use functions.



Figuur 12 Land Use Functions and indicators in the Land Use Function framework. Source: Pérez-Soba, 2013.

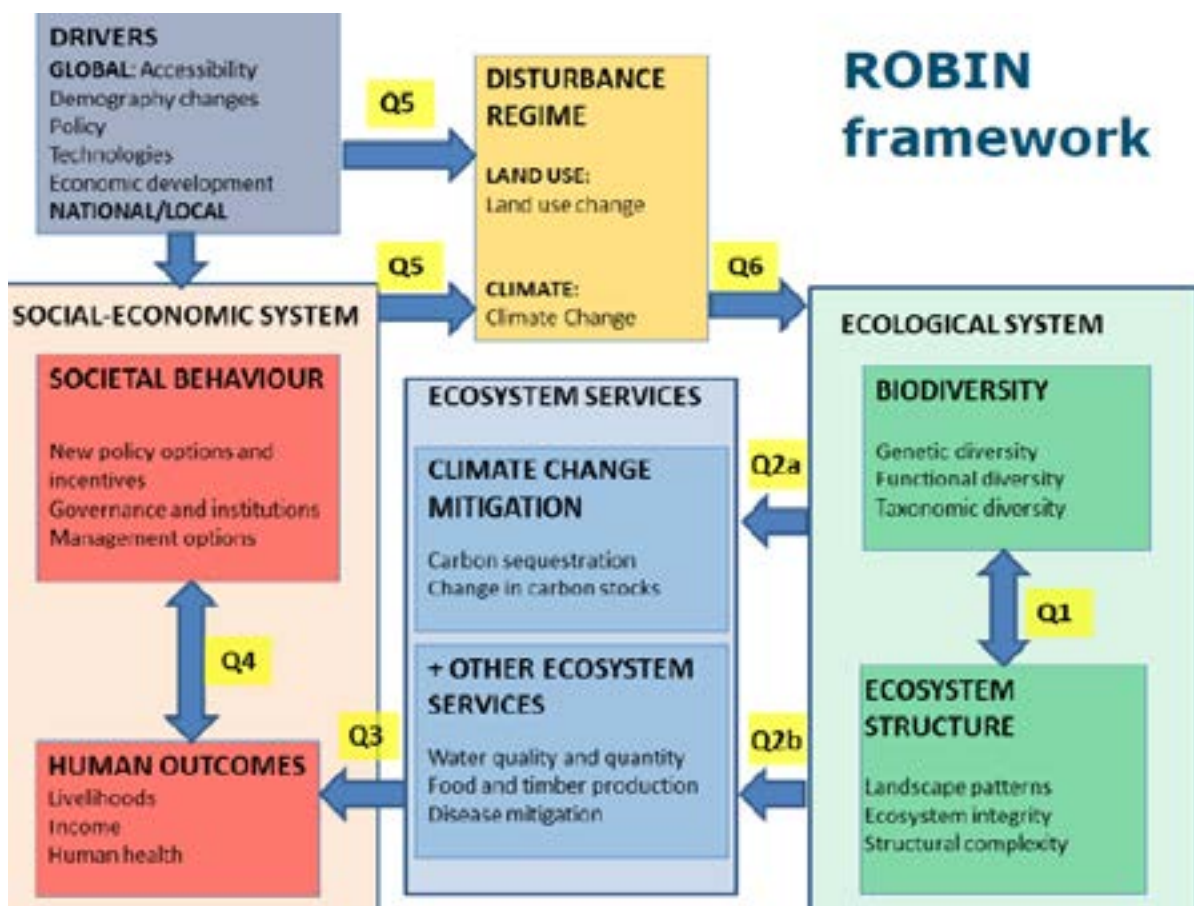
De keten van consumptie/productie -> voedsel- en biomassa productie -> ruimtebeslag -> effect op 'wilde natuur' en biodiversiteit kan in het LUF Framework worden teruggevonden bij de LUFs 'Land-based production' (biomassa- en voedselproductie), 'Maintenance of ecosystem processes' en 'Support and provision of biotic resources' (effect op natuur en biodiversiteit). In het LUF Framework wordt het

effect van veranderingen in de leefomgeving op de land use functions doorberekend in de volgende stappen:

1. Selectie van indicatoren bij een land use function
2. Definiëren van het verband tussen indicatoren en land use functions
3. Vaststellen van het belang van iedere indicator voor de duurzaamheid van het gebied
4. Normaliseren en standaardiseren van indicatoren
5. Integrale evaluatie van de land use function op basis van de indicatoren

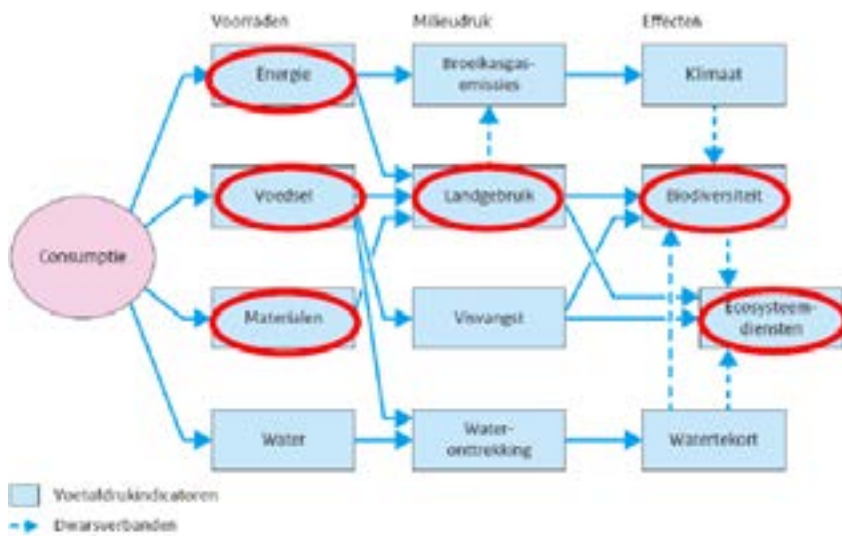
Het LUF Framework maakt gebruik van bestaande indicator datasets. Voor Europa is de EEA webpagina over Natural Resources een waardevolle informatiebron (www.eea.europa.eu/themes/natural).

Met het ROBIN Framework kunnen effecten van drivers op globale, nationale en regionale schaal op het sociaal-economische en ecologische systeem geanalyseerd worden. De drivers zijn bijvoorbeeld demografische veranderingen, beleid, technologie of economische ontwikkeling. De analyse van effecten op het ecologische systeem loopt via een 'disturbance regime', dat bestaat uit veranderingen in klimaat of landgebruik. Hier zit een overeenkomst met de ecologische voetafdruk: effecten van veranderingen in landgebruik op het ecologisch systeem worden geanalyseerd op basis van veranderingen in biodiversiteit en in de structuren van ecosystemen. Deze veranderingen hebben weer invloed op ecosystemendiensten (o.a. klimaatveranderingsmitigatie), en van daaruit op 'human outcomes' (e.g. welvaart en welzijn, inkomen, gezondheid) en maatschappelijk gedrag (e.g. governance, beheer).



Figuur 13 ROBIN Framework. Bron: Marta Pérez-Soba (2013).

Het ROBIN framework is complexer dan het LUF Framework, en moeilijker te communiceren. Het Land Use Functions Framework en het ROBIN Framework hebben betrekking op de ketens energie/voedsel/materialen -> landgebruik -> biodiversiteit en ecosysteemdiensten in het raamwerk van het PBL, en daarmee op de door het WOt beoogde keten voor voetafdrukanalyses.



Figuur 14 Deelindicatoren in het PBL Raamwerk voor de ecologische voetafdruk waarop de Land Use Functions en ROBIN Frameworks betrekking hebben.

De productie/consumptiesystemen, de voorraden, milieudruk en milieu-effecten die in de raamwerken worden beschouwd zijn samengevat in Figuur 16. Veranderingen in landgebruik staan centraal.

Characteristics	In this research	Method
Production and consumption system	P: Agriculture, Forestry, C: settlements, transport, other types of tourism and energy infrastructure	LUF
Changes in land use	Every land use	LUF
Environmental pressure	Every pressure causing land use change	LUF
Environmental impact	Every impact linked to land use change	LUF

Figuur 15 Invulling van de deelcomponenten uit het PBL Raamwerk door de LUF en ROBIN Frameworks. Bron: Marta Pérez-Soba (2013).

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

- De ecologische voetafdruk moet naast de belasting en het gebruik van natuurlijke hulpbronnen ook in beschouwing nemen wat we toevoegen (aan waarde bijvoorbeeld, red.)
- De ecologische voetafdruk moet ook indirecte effecten van veranderingen in productie- en consumptiesystemen kunnen meten.
- De ecologische voetafdruk heeft betrekking op natuurlijke hulpbronnen, die niet alleen bestaan uit arealen land en zee belast of gebruikt, maar ook het functioneren van land en ecosystemen omvatten (dit gebeurt ook in het raamwerk van het PBL door de 'diepte' van de voetafdruk te meten; in het NFA Raamwerk wordt het functioneren van het areaal uitgedrukt in een biocapaciteit, red.)
- Welke schalen en meeteenheden?
- Het meten van de verandering in de ecologische voetafdruk is belangrijker dan de status op een gegeven moment in de tijd.
- Het mariene domein moet worden meegenomen in de analyse.
- Adviseert om het LUF Raamwerk te gebruiken en MCA, maar gefocussed op het gebruik van natuurlijke hulpbronnen per landgebruikstype.
- Maak gebruik van de EEA Natural Resources Data Service.

8.4 Casus Peter Kuikman (Team Duurzaam Bodemgebruik): Amsterdamse kringlopen in beeld

Peter geeft inzage in een verzoek van de gemeente Amsterdam aan WUR om een voetafdrukanalyse te maken van de stad in de vorm van een expertanalyse en een oordeel over 6 kringlopen: energie, water, afval, voedsel en fosfor. De motivatie voor de gemeente is het uitgangspunt dat effectieve kringlopen bijdragen aan het verkleinen van de voetafdruk van de stad. De gemeente wil graag handelingsperspectieven voor de kringlopen in de kringloopstappen winning, gebruik, lozing en behandeling, en de meest kansrijke 'quick-wins' identificeren.

De gemeente gebruikte al (harde) duurzaamheidsindicatoren. Verderop in het proces heeft men de voetafdruk als effectindicator laten vallen, omdat de gemeente niet op zoek was naar een communicatiemiddel, en niet verder wilde kijken dan het gebied dat de gemeente omvat.

De studie wordt getrokken door het LEI (nog niet beschikbaar). De fosforkringloop (geanalyseerd door Peter Kuikman) mocht niet groot worden aangepakt (alleen de urinoirs bij de Arena; niet de grote fosforindustrie). Dit lijkt in contrast met de ambitie van de gemeente om fosforneutraal te opereren. De gemeente heeft een grote verbrandingscentrale gebouwd, waarvoor zij legitimatie zoekt in de analyse van de fosforkringloop. Nutriëntenplatform, benchmarks, efficiency. GFT-inzameling is een groot probleem.

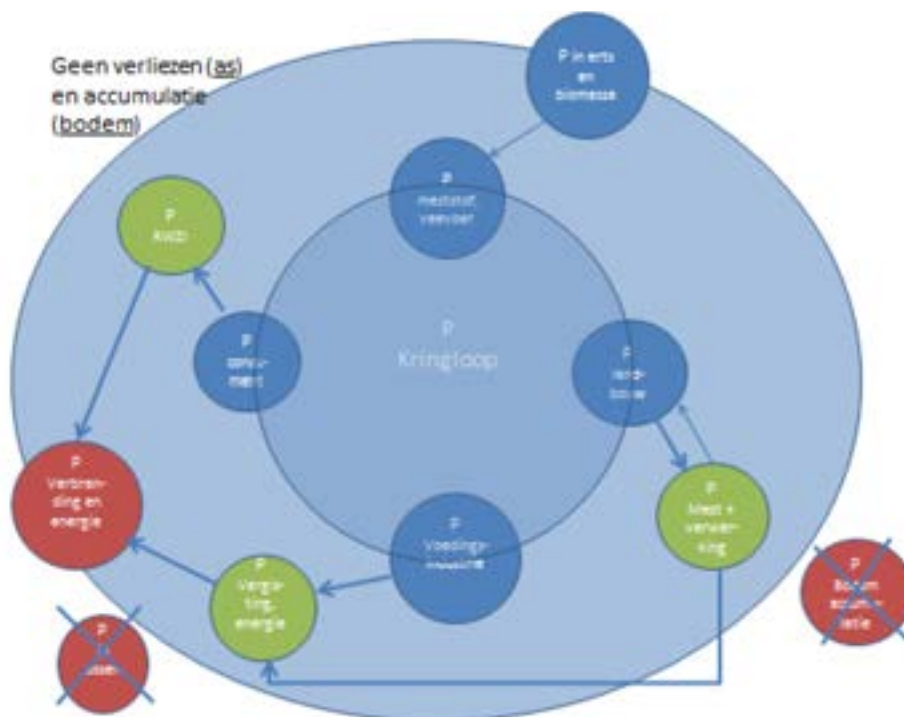
De uitdaging van de kringlopanalyse is indicatoren te zoeken die dienstbaar zijn aan vragen van overheden en bedrijven, maar die ook effecten op natuur en ecosystemen wereldwijd kunnen weergeven.

Analyse fosforkringloop (P-kringloop) door Peter Kuikman

De P-kringloop bestaat uit verschillende gebruikers, verwerkers en eindbestemmingen van P, met daartussen stromen van input en output (Figuur 17). Hierbij treden altijd verliezen op. Peter onderscheidt stromen van P van de landbouw naar mest en veevoer, verwerking na gebruik door de voedingsindustrie en consument, en verwijdering van P naar verbranding en assen. De uitdaging is de kringloop te sluiten, waarbij geen verliezen in as en via accumulatie in de bodem optreden (Figuur 18).



Figuur 16 Fosforkringloop. Bron: Peter Kuikman (2013).



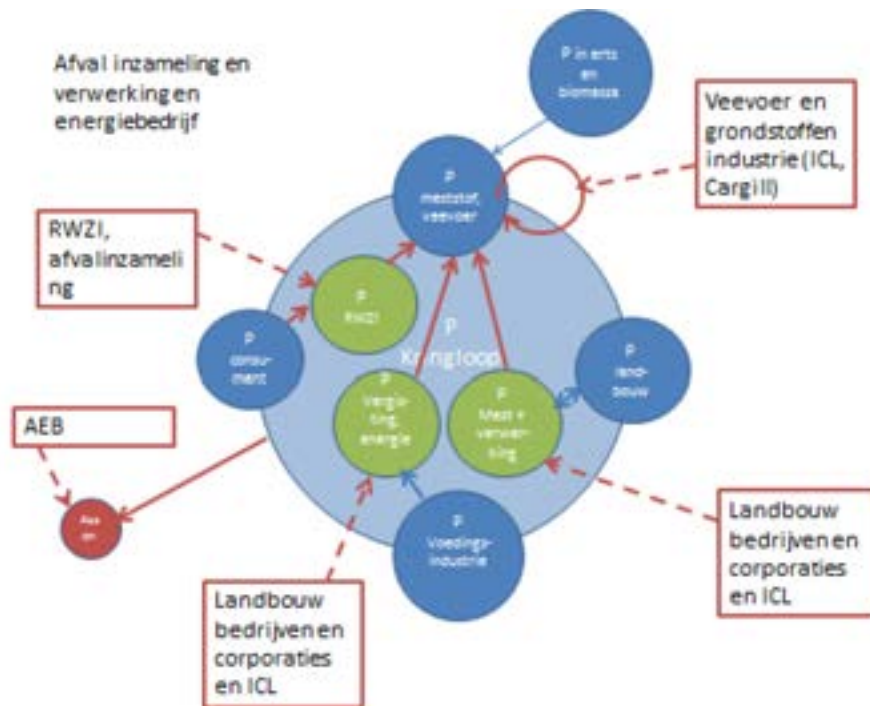
Figuur 17 De fosforkringloop sluiten zonder verliezen in assen en bodemaccumulatie. Bron: Peter Kuikman (2013).

Je kunt lekken in het systeem dichten door kleine kringlopen in de grote te introduceren, om P binnen de stad of regio te houden, of terug te geven aan het systeem (Figuur 19). Voorbeelden van zulke kleine kringlopen zijn:

- 20% minder P in veevoer brengen, verwijderen van P aan de bron, en retour van P in kunstmest (via de fosforindustrie: ICL en Cargill)
- Mestbewerking en scheiding (na vergisting) (door landbouwbedrijven en –corporaties, en ICL)

- Vanuit de consument terug naar P als meststof of veevoer door afvalwaterinzameling, reiniging en scheiding (RWZI) en afvalinzameling en scheiding (door RWZI, afvalverwerkings- en energiebedrijven)

In deze kleinere kringlopen wordt de verwerking van P (groene cirkels) teruggebracht in de grotere kringloop, in plaats van dat deze processen buiten de grote kringloop plaatsvinden, omdat hun output verloren gaat in assen en bodemaccumulatie (vergelijk Figuur 19 met Figuur 17).



Figuur 18 Kleinere P-kringlopen in de grote P-kringloop. Bron: Peter Kuikman (2013).

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

- Het is mogelijk een voetafdruk voor P te berekenen. Hiervoor bestaan al systemen, bijvoorbeeld toegepast op Parijs en Londen.
- Veranderingen worden belangrijk. Handelingsopties liggen vooral in zinvolle activiteiten in de groene cirkels in de kringloop: bij de onderdelen lozing (inzameling) en behandeling in de kringlopen van voorraden die je in beschouwing neemt (in dit geval P).

8.5 Casus Rob Jongman (Team Biodiversiteit en Beleid): European contributions to global biodiversity tasks

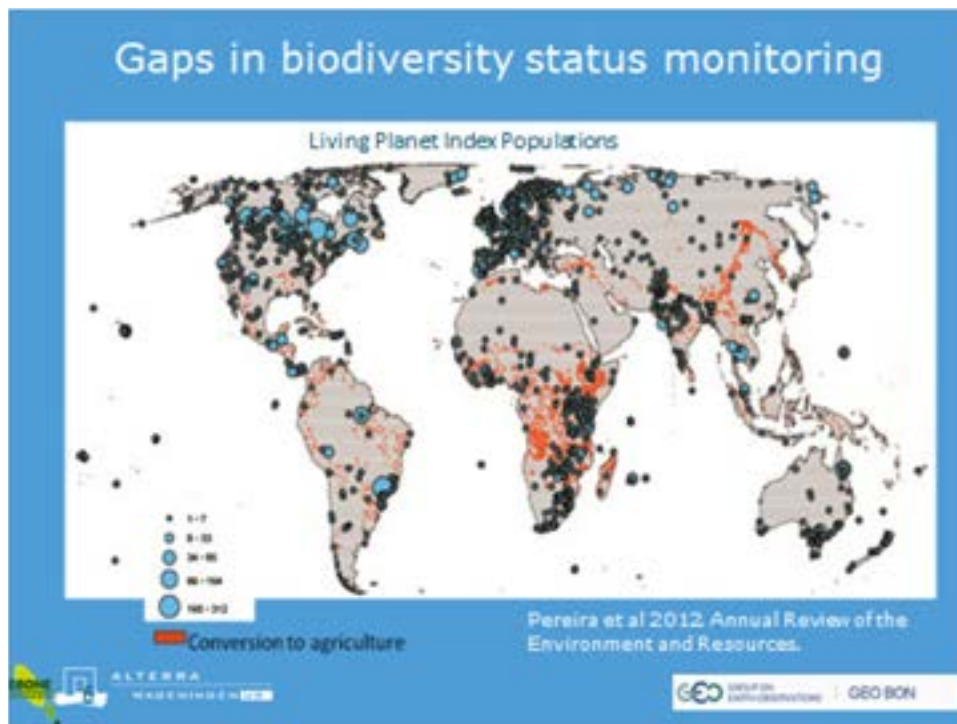
GEO BON is een wereldwijd netwerk voor het meten en waarnemen van biodiversiteit. De activiteiten van het netwerk bestaan uit het coördineren van waarneming en metingen, en het genereren van relevante producten daaruit. Het netwerk omvat tientallen organisaties, die allemaal op verschillende manieren metingen doen van biodiversiteit. Belanghebbenden bij het netwerk zijn wereldwijde conventies (CBD, CMS, Ramsar), de EU, en afzonderlijke landen.

De volgende categorieën van metingen en waarnemingen worden onderscheiden:

- Ecosysteemclassificatie en -omvang
- Landgebruik
- Gebruik van oceanen
- Ecosysteemfuncties
- Kenmerken van soorten en functionele groepen

- Voorkomen van soorten
- Genetische gegevens

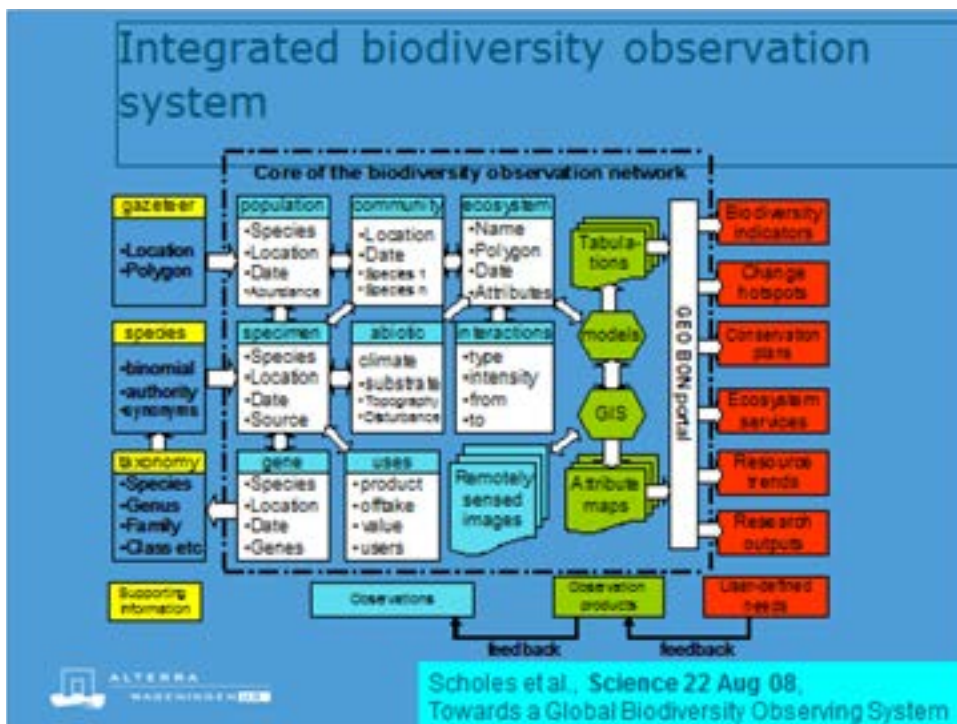
De spreiding van metingen over de aarde is ongelijk; daar waar mensen wonen en waar geld zit wordt gemeten (zie Figuur 20).



Figuur 19 De monitoring van biodiversiteit is ongelijk verspreid over de wereld. Dit voorbeeld toont de Living Planet Index van populaties. Bron: Rob Jongman (2013).

Welke activiteiten vinden momenteel plaats om informatie over biodiversiteit wereldwijd te verzamelen?

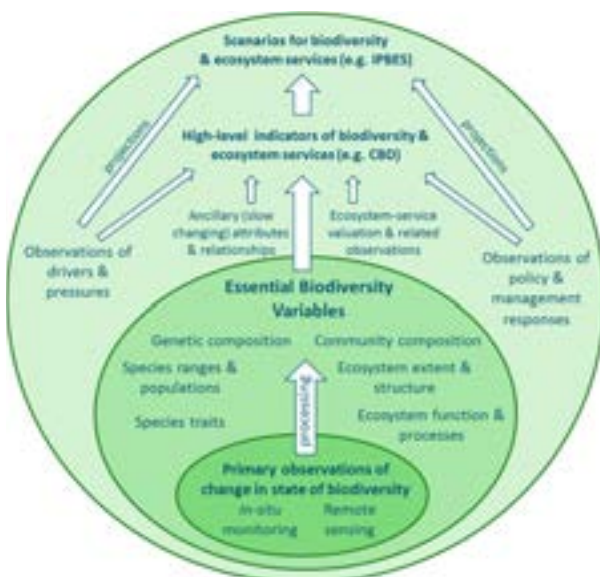
- GEOBON bevordert wereldwijde waarneming van biodiversiteit via FP7, GEF, NASA, en Horizon 2020 in een geïntegreerd systeem (Integrated Biodiversity Observation System, zie Figuur 21). Financiering van dit soort observaties gebeurt door NASA, Japan, China en de Europese Commissie.
- Er worden nieuwe variabelen ontwikkeld: Essential Biodiversity Variables (zie onder).
- FP7 projecten zoals EBONE (European Monitoring Network). Dit project ontwikkelt een stratificatie van habitats voor de hele wereld (Global Stratification Scheme, zie onder). Habitats worden op vergelijkbare wijze gekarteerd met behulp van Remote Sensing, waarbij verbanden tussen soorten en habitats worden afgeleid. Voor de land cover informatie wordt de LCCS classificatie van de FAO gebruikt.



Figuur 20 Ontwerp van het door GEO BON voorgestelde systeem voor het waarnemen van biodiversiteit wereldwijd. Bron: Rob Jongman (2013).

Essential Biodiversity Variables (EBVs)

Biodiversiteit is veel diverser dan een stof (bv fosfaat). Er zijn honderden indicatoren voor biodiversiteit, die verschillen op lokaal niveau of op wereldschaal. Indicatoren zijn van belang om veranderingen te bepalen, zoals extinctie, reactie op grote drivers (bv klimaatveranderingen). Ze moeten in staat zijn om consequenties voor mensen af te leiden, en te bepalen welke acties te ondernemen. Van EBVs kun je indicatoren maken (bv voor CBD), die weer te vertalen zijn in scenario's (Figuur 22).



Figuur 21 Concept van Essential Biodiversity Variables. Bron: Rob Jongman (2013).

Global Stratification Scheme

Het Global Stratification Scheme is een bioklimatologische indeling van de wereld gebaseerd op temperatuur, neerslag en seizoenen. In deze indeling zijn habitats op basis van metingen ingedeeld in

categorieën om met elkaar vergeleken te kunnen worden. Corine Land Cover klassen zijn niet geschikt om habitats te onderscheiden (bv alle broad leaved forests komen bij elkaar in één klasse). Op basis van de indeling is het mogelijk een Habitat Richness Density Indicator per land af te leiden.

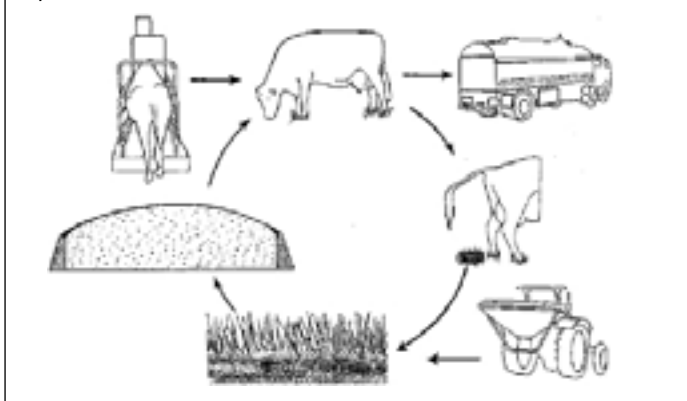
Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

- Het is belangrijk om alle data te aggregeren tot 'essential biodiversity variables'
- Gegevens compatible met anderen, open software, publiceren en sharen
- Geen Europese kaart; de landen doen de monitoring zelf, willen niet overdragen aan Europa. Maar als je de conversie kunt maken met nieuwe satelliet data
- Bij vormgeving van voetafdruk gebruik maken van deze data
- De invulling die je geeft aan de voetafdruk is afhankelijk van het type klant.

8.6 Casus Wim de Vries *et al.* (Teams Duurzaam Bodemgebruik en Environmental Systems Analysis): Effecten kringlooplandbouw in de Noordelijke Friese Wouden

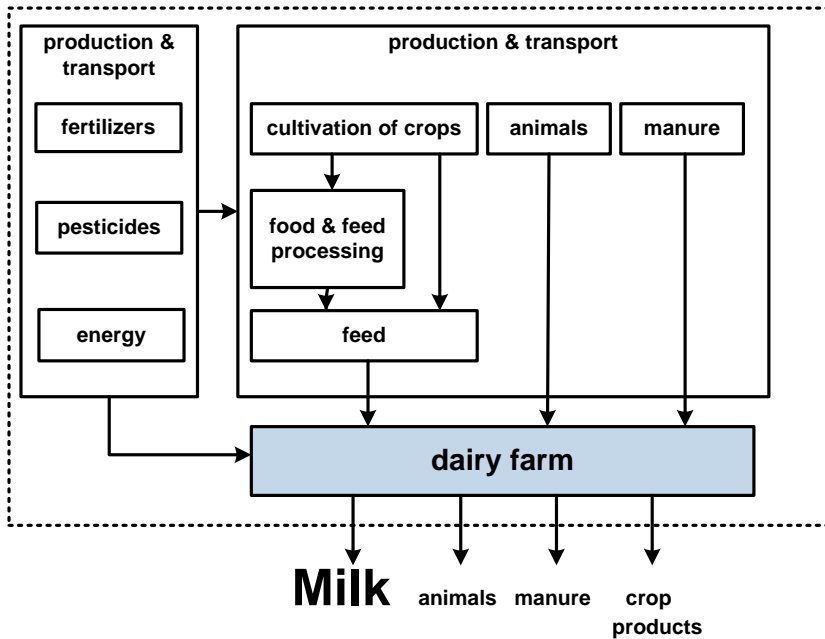
In dit onderzoek werden ecologische en sociaal- economische prestaties van kringloopboerderijen in de Noordelijke Friese Wouden onderzocht. Kringloopboerderijen zijn gericht op het sluiten van interne kringlopen van fosfor en stikstof (zie kader). Eerst werden tien kringloopbedrijven vergeleken met 10 gangbare bedrijven. Er werd door LEI een LCA toegepast op basis van een programma ontwikkeld door Ymke de Boer (Hoogleraar WU). Vervolgens werden door Alterra de milieueffecten opgeschaald van bedrijfsniveau naar de gehele Noordelijke Friese Wouden met het model INITIATOR.

Kringlooplandbouw: 'Een agrarisch productiesysteem, waarin de bedrijfsvoering zo veel mogelijk gebruik maakt van op het bedrijf- en in de regio- aanwezige voorraden aan organische stof en nutriënten, dat een inkomen voor boeren mogelijk maakt over lange termijn en dat zo weinig mogelijk negatieve effecten afwentelt op natuur en milieu.'

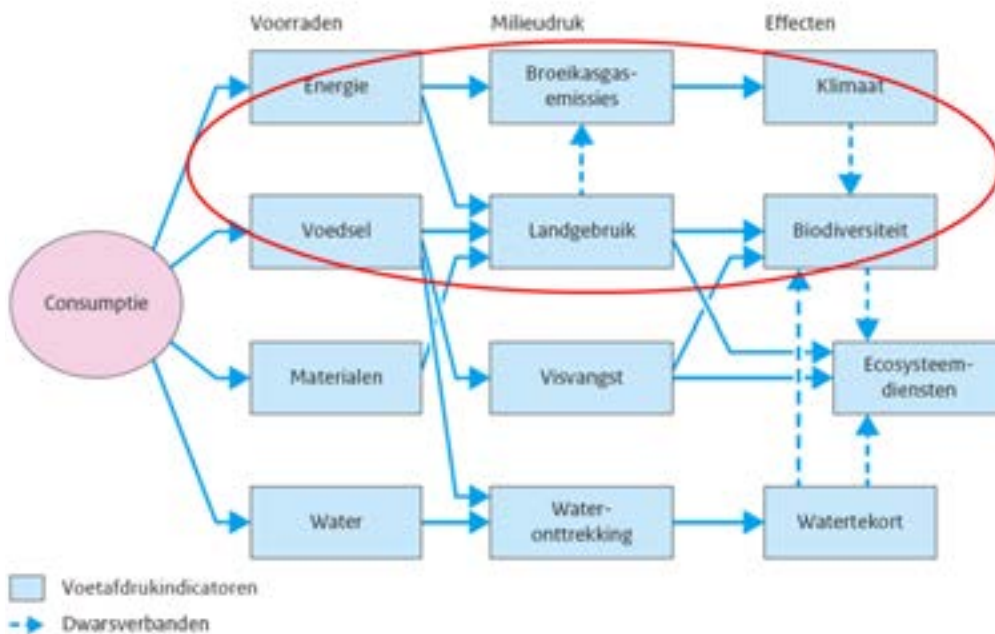


Het onderzoek heeft betrekking op de voorraden energie en voedsel in het raamwerk van het PBL, de milieudruk landgebruik en broeikasgasemissies, en de effecten klimaat en biodiversiteit (Figuur 24). De verandering die kringlooplandbouw teweegbrengt in het productiesysteem is dat minder krachtvoer en kunstmest gebruikt worden, meer ruwvoer, en dat de kwaliteit van dierlijke mest verbetert. Er is geen sprake van een verandering in ruimtebeslag (maar 'land occupation' wordt wel als indicator gebruikt in het onderzoek, zie onder). De milieudruk bestaat uit emissies van stikstof, fosfor en broeikasgassen. De beschouwde effecten omvatten de eutrofiëring van oppervlaktewater, en daarmee indirect klimaat en biodiversiteit.

Het onderzoek gebruikte LCA op boerderijniveau, en een regionaal milieumodel op landschapsniveau. In de LCA komt het gebruik van voorraden energie en voedsel terug (Figuur 23); het regionaal milieumodel beschrijft de genoemde milieudruk en de milieu-effecten.



Figuur 22 Schematische weergave van de LCA gebruikt in het onderzoek Kringlooplantbouw in de Noordelijke Friese Wouden. Bron: Wim de Vries (2013).



Figuur 23 Aandachtveld van het onderzoek Kringlooplantbouw in de Noordelijke Friese Wouden.

Het onderzoek gebruikte indicatoren om milieudruk en milieu-effecten te meten (Figuur 25). FPCM ('fat and protein corrected milk', ofwel 'meetmelk') werd gebruikt als meeteenheid voor de indicatoren.

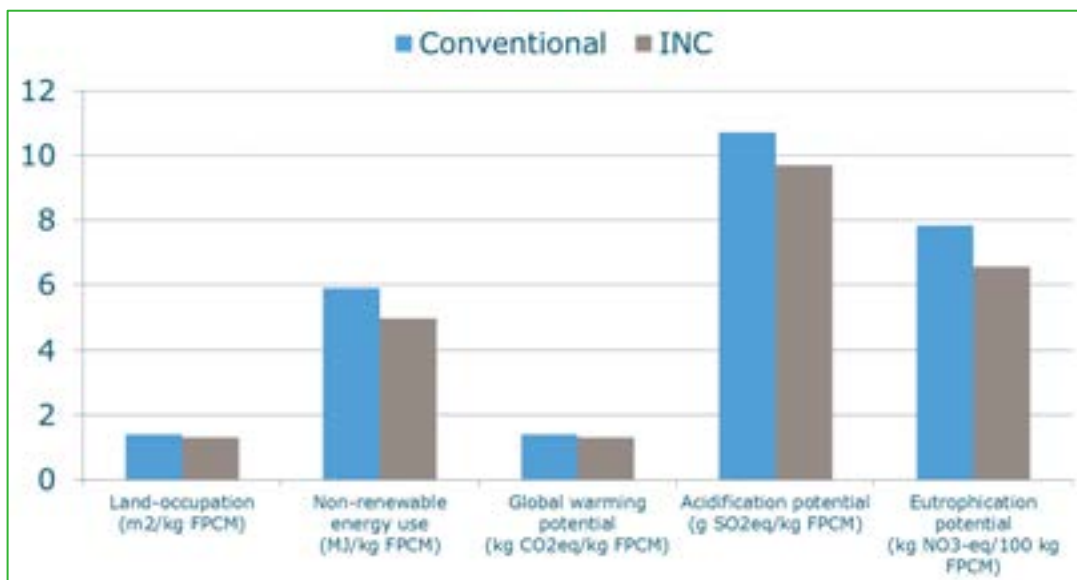
De 'planet indicatoren' CO₂-equivalenten, verzuringsequivalenten (in SO₂ equivalenten, maar is NH₃) en eutrofiëringspotentiaal zouden geschikt kunnen zijn om te gebruiken in een berekening van een ecologische voetafdruk van een kringlooplandbouwproductiesysteem t.o.v. een gangbaar landbouwproductiesysteem.

Gebruikte milieu en overige indicatoren

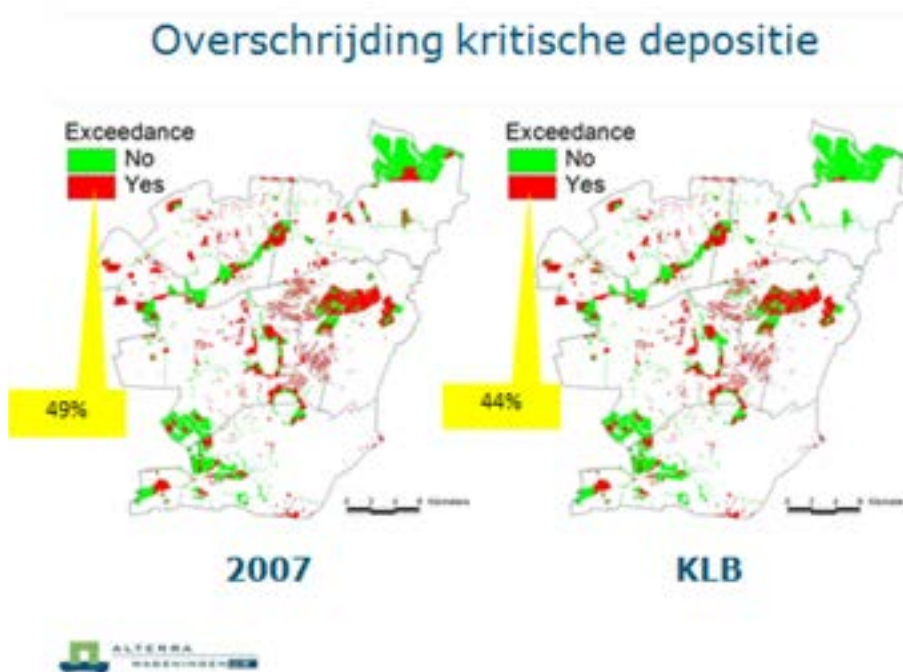
People	Planet (soil & water)	Planet (LCA)	Profit
Grazing	Soil organic carbon	Land occupation	Labour productivity
Payment for ecosystem services	P-AI grassland	Non-renewable energy use	Farm Income
Penalties for aberrant milk composition	Soil N supply	Climate change	
	NO ₃ concentration	Acidification	
	P-Concentration	Eutrophication	

Figuur 24 Indicatoren voor milieudruk en milieu-effecten gebruikt in het onderzoek Kringlooplandbouw Noordelijke Friese Wouden. Bron: Wim de Vries (2013).

Het onderzoek liet zien dat op alle indicatoren de kringlooplandbouwbedrijven betere scoorden dan de gangbare bedrijven, maar de verschillen waren alleen significant bij het energiegebruik (Figuur 26). Op gebiedsniveau bleek het effect van kringlooplandbouw op de ammoniakdepositie (bepalend voor het eutrofiëringspotentieel en verzuringspotentieel), en daarmee de overschrijding van kritische stikstofdepositieniveaus, niet groot te zijn (Figuur 17). Dit komt omdat er nog zoveel atmosferische depositie van buiten het gebied kwam.



Figuur 25 Enkele resultaten van het onderzoek Kringlooplandbouw Noordfrieze Wouden voor kringlooplandbouwbedrijven (INC) en gangbare bedrijven (Conventional). Bron: Wim de Vries (2013).



Figuur 26 Overschrijding van kritische stikstofdepositieniveaus in een scenario met gangbare landbouwbedrijven (links) en kringlooplandbouwbedrijven (rechts), gesimuleerd door het INITIATOR-model. Bron: Wim de Vries (2013).

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

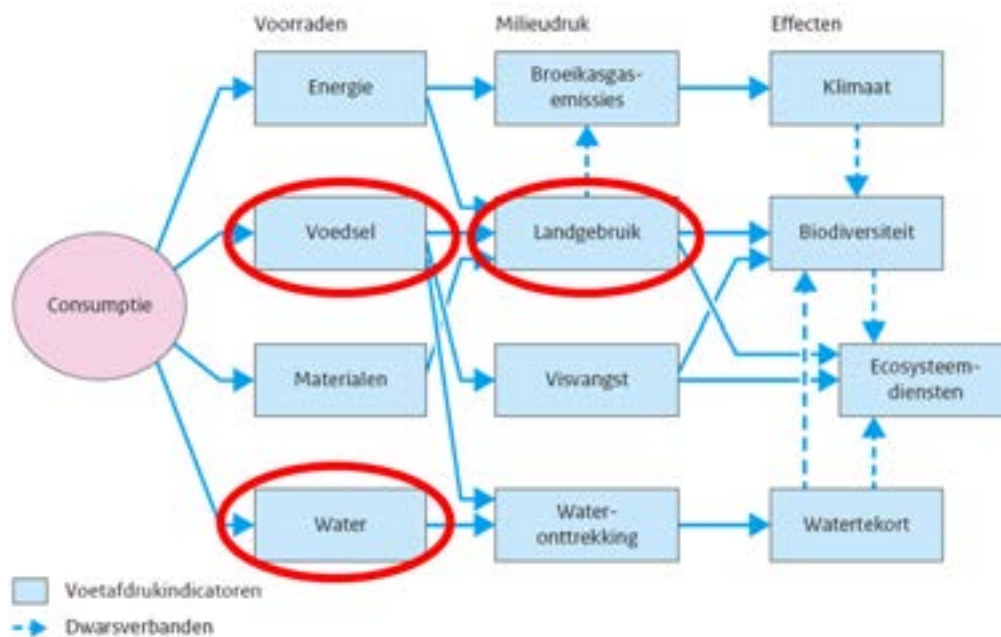
- Werkwijze om de ecologische voetafdruk te bepalen hangt af van onderwerp.
- Interessant om na te gaan of we niet tot een vergelijkbare aanpak kunnen komen qua:
 - Conceptueel raamwerk,
 - Milieu indicatoren
 - Rekenmethodieken (bv LCA)

8.7 Casus Jan Roelsma, Anouk Cormont, Mirjam Hack *et al.*: Duurzaam landgebruik in De Peel

In dit onderzoek werden intensieve landbouwbedrijven in De Peel onderzocht op hun duurzaamheidsprestaties op basis van regio-specifieke indicatoren. Hierbij werden data ontsloten via verschillende kennissystemen, en werden de volgende kennissystemen geïntegreerd: GIAB, BRP, STONE, ASG voerscenario-rekentool.

Doel van het onderzoek was na te gaan of het mogelijk is meer voedergewassen te telen in de regio, en wat de duurzaamheidsprestaties van verschillende alternatieve bedrijfssystemen zouden zijn. In het raamwerk van het PBL voor de ecologische voetafdruk komt in deze studie vooral het gebruik van de voorraad 'voedsel' aan de orde, en het landgebruik dat daarvoor nodig is, maar ook emissies van N en P naar grond- en oppervlaktewater, en daarmee waterkwaliteit en biodiversiteit.

Onderzochte scenario's in het onderzoek zijn varianten voor het telen van meer eigen krachtvoedergewassen. Hiervoor is ruimte nodig in de hele regio van De Peel, inclusief grasland en beweiding. Het benodigde areaal neemt toe met de scenario's voor eigen krachtvoergewasteelt. Na een bepaalde toename neemt het inkomen van de bedrijven af doordat oppervlak voor de teelt van voedselgewassen ingeleverd wordt. De uitspoeling van stikstof blijkt te kunnen toenemen als gevolg van de teelt van krachtvoedergewassen, omdat deze rijker aan eiwit zijn, of omdat de gewassen minder opnemen door een kortere groeiperiode.



Figuur 27 Aandachtveld van het onderzoek 'Duurzaam landgebruik in De Peel' in het raamwerk voor de ecologische voetafdruk van het PBL. Bron: Jan Roelsma & Anouk Cormont (2013).

Kenmerken	In dit onderzoek	Gebruikte methoden
Productie- of consumptiesysteem	Verandering in voedergewassen	ASG voerscenario-rekentool
Verandering in ruimtebeslag	Ja, andere samenstelling en locatie van gewassen	ASG voerscenario-rekentool + Waterwijs
Milieu-druk	Uitspoeling N,P naar grond- en oppervlaktewater	STONE
Milieu-effecten	Waterkwaliteit	STONE

Figuur 28 Kenmerken van 'voetafdrukanalyse' in het onderzoek 'Duurzaam landgebruik in De Peel'.
Bron: Jan Roelsma & Anouk Cormont (2013).

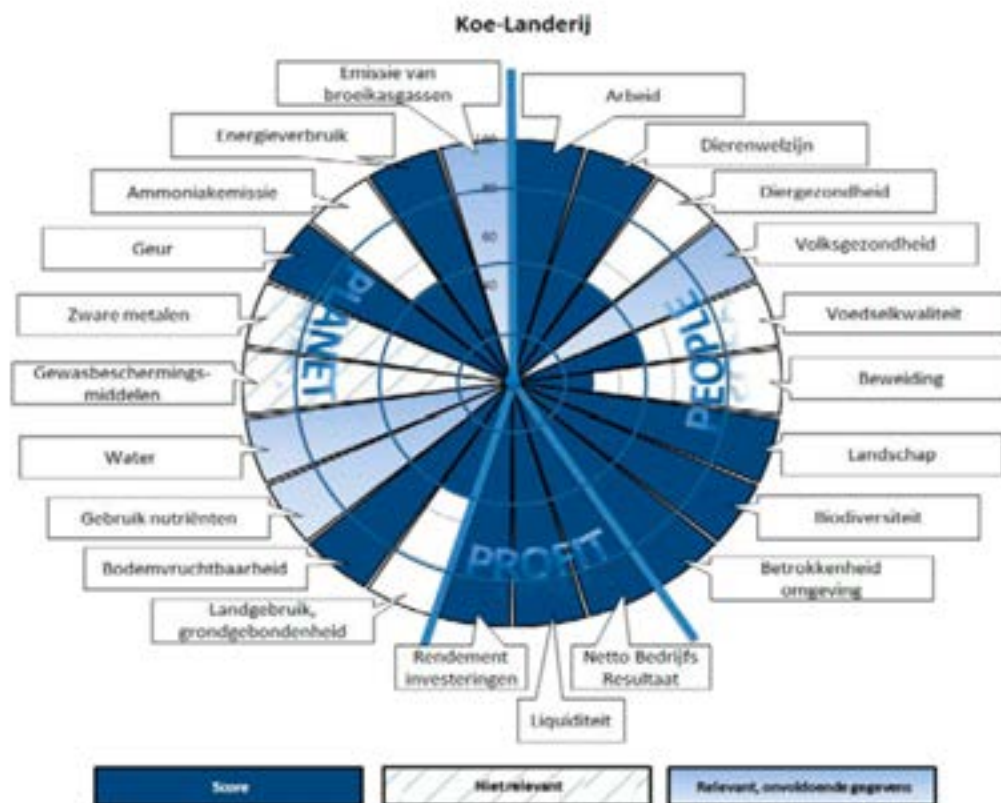
Gebruikte indicatoren

De indicatoren voor milieudruk gebruikt in het onderzoek zijn de toe- of afname van de nutriëntenuitspoeling ten opzichte van de huidige situatie, en het benodigde areaal voor de teelt van veevoedergewassen en om het inkomen landbouwer via andere teelten te waarborgen. Naar indicatoren van milieudruk werd niet direct gekeken in dit onderzoek.

Ideën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen

Roelsma noemt het 'Diagram Koe-Landerij' van ASG als een mogelijke methode om de ecologische voetafdruk van melkveebedrijven of bedrijfsclusters te berekenen. Dit diagram visualiseert de score van koe-landerijproductiesystemen op indicatoren van de duurzaamheidspijlers people, profit en planet ten opzichte van 'benchmarks' ().

De Koe-Landerij is een (toekomstig) bedrijf/cluster van bedrijven van elk zo'n 250 melkkoeien. Een Koe-Landerij is vrijwel grondloos, omdat het voer in de regio geteeld wordt. Een voercentrum levert het voer als kant en klaar rantsoen af op het bedrijf. De compost uit de vrijloopstal (inclusief de koeienmest) wordt in de regio afgezet. Wageningen UR (ASG) heeft een duurzaamheidsprofiel voor de Koe-Landerij doorgerekend. Het diagram is afkomstig uit deze studie. De Figuur geeft een globale score voor duurzaamheid per thema (people-planet-profit). Hoe verder een segment is ingekleurd, hoe hoger de score voor duurzaamheid.



Figuur 29 Visualisatie van duurzaamheidsprestaties van landbouwproductiesystemen. Uit P. Galama et al. 2011. Agro-Landerij.

8.8 Samenvatting van casussen

Kenmerken	In de casussen	Gebruikte methoden
Productie- of consumptiesystemen met veranderingen	Land- en bosbouw Natuurbeheer en ecotoerisme Bebouwing, transport, toerisme, energie-opwekking en -transport Globale en nationale drivers: demografie, beleid, technologie, economische ontwikkeling Winning en gebruik van voorraden energie, water, afval, voedsel en fosfor op stadsniveau (Amsterdam) Kringlooplandbouw Toename van teelt van krachtvoedergewassen op regionale schaal	Land Use Functions Framework (LUF) (met indicatoren) Bestaande indicator-datasets ROBIN Analyse van deelkringlopen (o.a. P) met duurzaamheidsindicatoren LCA en regionaal milieumodel Duurzaamheidsprestaties op basis van regio-specifieke indicatoren, ASG voerscenarioekentool
Verandering in ruimtebeslag	Veranderingen in ruimtegebruik Veranderingen in landgebruik, ecosysteemomvang en habitats	SENSOR, LUF, ROBIN, STONE; ASG voerscenarioekentool, Waterwise GEO BON (IBOS) + GlobSS
Milieu-druk	Landgebruik* Broeikasgasemissies Emissies van N en P naar lucht, grond- en oppervlaktewater	GEO BON (IBOS) + GlobSS LCA+indicatoren, regionaal milieumodel+indicatoren; STONE
Milieu-effecten	Biodiversiteit (verschillende aspecten) Ecosysteemstructuren, biotische bronnen en ecosystemendiensten Klimaat Waterkwaliteit	ROBIN, GEO BON (IBOS), EBV Geen van de casussen berekent effecten op klimaat direct STONE

* inclusief habitatconversie, vermessing, vervuiling, verdroging, fragmentatie, verstoring.

8.9 Discussie

Wie zijn nu de vragers naar ecologische voetafdruk-analyses? Bedrijven vragen het om strategieën te kunnen evalueren, deels omwille van hun duurzaamheidsimago (hoe verantwoordelijk gaan zij om met resources). In die vragen zitten specifieke aspecten waarin een vrager geïnteresseerd is (bijvoorbeeld de Gemeente Amsterdam in het lot van P), en algemene aspecten van een analyse van effecten van het bedrijfsproductiesysteem. Om te beoordelen hoe de vragen van klanten te beantwoorden moeten we de vragen confronteren met de aanpak die we hebben. Het EU onderzoeksprogramma Horizon 2020 geeft een indruk van de breedte van de vragen van dit moment. Voorbeelden van thema's in Horizon 2020 zijn resource use efficiency en productive farming. Analyse van deze thema's helpt een respons in de vorm van een voetafdrukanalyse voor te bereiden.

Biodiversiteit is uiteen te rafelen in veel diverse indicatoren (bijvoorbeeld als onderdeel van de City Biodiversity Index). Frank Berendse adviseerde in zijn advies over natuurbeheer aan de Nederlandse regering om ervoor te zorgen dat de abiotische condities op orde zijn. Hij benadrukte in dat advies dat het monitoren van de drivers voor de verandering in biodiversiteit net zo belangrijk is als het monitoren van de soorten zelf. De drivers moeten we ruimtelijk kunnen uitdrukken. Daarnaast moeten we ook de positieve effecten van veranderingen in productie- en consumptiesystemen kunnen onderkennen.

Voor een voetafdrukanalyse die meerdere typen voorraden, milieudruk en milieueffecten bestrijkt, is een **integrale aanpak** nodig; horizontaal en verticaal. Het is de kracht van Alterra om horizontaal te gaan (bijvoorbeeld het integreren van infrastructuur en landbouw via landgebruik (ruimtebeslag) is een horizontaal thema). Daarnaast moet Alterra ook zorgen voor **vernieuwend onderzoek** dat verdergaat dan de bestaande grote schema's.

Enkele andere punten die genoemd werden:

- het aspect schaal is heel belangrijk; dit vraagt om een methodiek die meer schaalniveaus kan behandelen
- duurzaamheid is gedefinieerd op de pijlers 'people', 'planet' en 'profit'. Gaat de ecologische voetafdruk alleen over de pijler 'planet'?
- Moeten we niet vooral aangeven dat je meerdere indicatoren nodig hebt dan één voetafdruk?

Rondvraag

Gert-Jan Noij: in het verhaal van Peter Kuikman wil de politiek de scope van de analyse beperken tot wat hanteerbaar is voor de bestuurseenheid zelf. Dit geeft aan dat het aspect schaal heel belangrijk is voor een voetafdrukanalyse.

Peter Kuikman stelt voor een aantal vragen naar voetafdrukanalyses uit te werken op een aantal deelgebieden, en dan de methodologische voor- en nadelen daarvan naar voren te brengen (bijvoorbeeld aggregatie van effecten op verschillende voorraden, aggregatie in ruimte en tijd). **Marta Pérez** suggereert dat deze 'case studies' gericht zouden kunnen zijn op klanten, door enkele van onze klanten te vragen wat hun interesse zou zijn voor een voetafdrukanalyse. **Gert-Jan** adviseert dit te doen op de schaalniveaus van een grote stad, een groot bedrijf, en een stroomgebied.

Wim de Vries: in de 2^e bijeenkomst moet de vraagstelling beter uitgewerkt zijn, en meer aanknopingspunten bieden voor een gemeenschappelijke berekeningswijze van de ecologische voetafdruk.

8.10 Referenties

- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M. and Galli, A. 2013. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators* 24 (2013) 518–533.
- Jongman, R. 2013. European contributions to global biodiversity tasks. GEO BON: Group on Earth Observations. Presentatie voor de 1e Werkbijeenkomst Ecologische Voetafdruk, KNIB-WOt 2013, Alterra, Wageningen UR, 24 juni 2013.

-
- Kuikman, P., 2012. Kringloop P. Presentatie voor de 1e Werkbijeenkomst Ecologische Voetafdruk, KNIB-WOt 2013, Alterra, Wageningen UR, 24 juni 2013.
- Oliemans, W., 2012. Duurzaamheid en Kringlopen; van Analyse tot Handelingsperspectief. 1e Overleg Begeleidingscommissie – Wageningen UR, 15 november 2012. Gepresenteerd door Peter Kuikman in de 1e Werkbijeenkomst Ecologische Voetafdruk, KNIB-WOt 2013, Alterra, Wageningen UR, 24 juni 2013.
- Van Oorschot, M., Rood, T., Vixseboxse, E., Wilting, H. en Van der Esch, S. 2012. De Nederlandse voetafdruk op de wereld: hoe groot en hoe diep? Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Den Haag, 2012. ISBN: 978-94-91506-07-9, PBL-publicatienummer: 500411002, 61 pp.
- Pérez-Soba, M., 2013. SENSOR, EU-LUPA and ROBIN : Land use Functions framework and ROBIN framework. Presentatie voor de 1e Werkbijeenkomst Ecologische Voetafdruk, KNIB-WOt 2013, Alterra, Wageningen UR, 24 juni 2013.
- Roelsma, J., Cormont, A., Hack, M., Galama, P., Van Diepen, K., Uiterwijk, M. en Zom, R. 2013. Dula (Duurzaam landgebruik) – KBII Duurzame Agroketens. Presentatie voor de 1e Werkbijeenkomst Ecologische Voetafdruk, KNIB-WOt 2013, Alterra, Wageningen UR, 24 juni 2013.
- De Vries, W., Dolman, M. Kros, H., *et al.* 2013. Effecten van kringlooplandbouw in de Noordelijke Friese Wouden - Effecten op ecologische en sociaal- economische indicatoren op boerderij en landschapniveau. Presentatie voor de 1e Werkbijeenkomst Ecologische Voetafdruk, KNIB-WOt 2013, Alterra, Wageningen UR, 24 juni 2013.

9 Bijlage 5: verslag van de werkbijeenkomst met Alterra-onderzoekers op 5-9-2013

Werken aan een handreiking voor het berekenen van een ecologische voetafdruk

Werkbijeenkomst voor KBIV WOt

Alterra, 05-09-2013



Deelnemers: Mirjam Hack (projectteam), Peter Kuikman (projectteam), Gert-Jan Noij (projectteam), Joop Kroes & Koen Roest (casus), Jeroen Kruit & Dirk Wascher (casus), Henk Wosten (casus), Eric Arets (casus en projectteam), Simone Verzandvoort (projectteam, rapporteur)

9.1 Inleiding en doel van het project Ecologische Voetafdruk

Aanleiding voor het project is de vraag vanuit overheden en bedrijfsleven naar een maat om het effect van de belasting van voorraden (energie, voedsel, materialen, water) door huidige en toekomstige productie en consumptie weer te geven op 'wilde natuur' wereldwijd. De ecologische voetafdruk is een instrument waarmee de capaciteit van de aarde om voorraden en ecosysteemdiensten te leveren kan worden gemeten, en tegelijkertijd de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten door de mens (Borucke *et al.* 2013).

Er zijn veel verschillende **definities van de ecologische voetafdruk**. In dit project hanteren we de definitie van het Footprint Network (www.footprint.network.org):

'... A measure of how much area of biologically productive land and water an individual, population or activity requires to produce all the resources it consumes and to absorb the waste it generates, using prevailing technology and resource management practices.'

Het eerste **raamwerk voor een systematische berekening van de ecologische voetafdruk** dateert uit 1997 met het werk van Wackernagel *et al.* (1997). In 2003 introduceerde het Global Footprint Network het 'National Footprint Accounts (NFA) program'. De NFA methodiek is een rekenraamwerk om de jaarlijkse levering van en vraag naar voorraden en ecosysteemdiensten te berekenen. Dit gebeurt met twee maten: de ecologische voetafdruk en de biocapaciteit. De biocapaciteit is een maat van de hoeveelheid biologisch productieve land- en zeeoppervlakte dat in staat is voorraden en ecosysteemdiensten te leveren die de mensheid gebruikt¹⁵. Biocapaciteit kan worden beschouwd als het ecologisch kapitaal van de aarde, of als het vermogen van ecosystemen om voorraden en diensten aan te vullen na gebruik (naar Borucke *et al.* 2013).

In de NFA methodiek worden de ecologische voetafdruk en de biocapaciteit beiden uitgedrukt in arealen 'global hectares' land of zee. In deze arealen zijn de verschillen tussen de biologische productiviteit van landgebruikstypen tussen gebieden in de wereld en tussen verschillende landgebruikstypen verrekend door middel van respectievelijk 'yield factors' en 'equivalence factors' (Borucke *et al.* 2013). Door het gebruik van 'global hectares' is de ecologische voetafdruk een voor consumenten, bedrijven en overheden een gemakkelijk interpreteerbare maat voor de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten van hun land ten opzichte van andere landen.

De maat 'global hectares' laat echter niet zien hoe groot de belasting van de biocapaciteit is door afzonderlijke productieketens (bijvoorbeeld soja), door afzonderlijke bedrijven of regio's, of hoe groot de belasting is van afzonderlijke landgebruikstypen, zoals gekwalificeerde natuurgebieden¹⁶. Ook geven de ecologische voetafdruk en biocapaciteit in de NFA methodiek, als gevolg van de meeteenheid 'global hectares', geen informatie over de verschillende voorraden water en energie die gebruikt worden, en niet over de effecten van de belasting van voorraden en ecosysteemdiensten op klimaat en biodiversiteit. Hierdoor is de ecologische voetafdruk minder goed bruikbaar om mogelijkheden te identificeren (handelingsopties) waarmee overheden en bedrijven de ecologische voetafdruk van bestuurlijke eenheden (landen, regio's), sectoren, individuele bedrijven of productie- en handelsketens

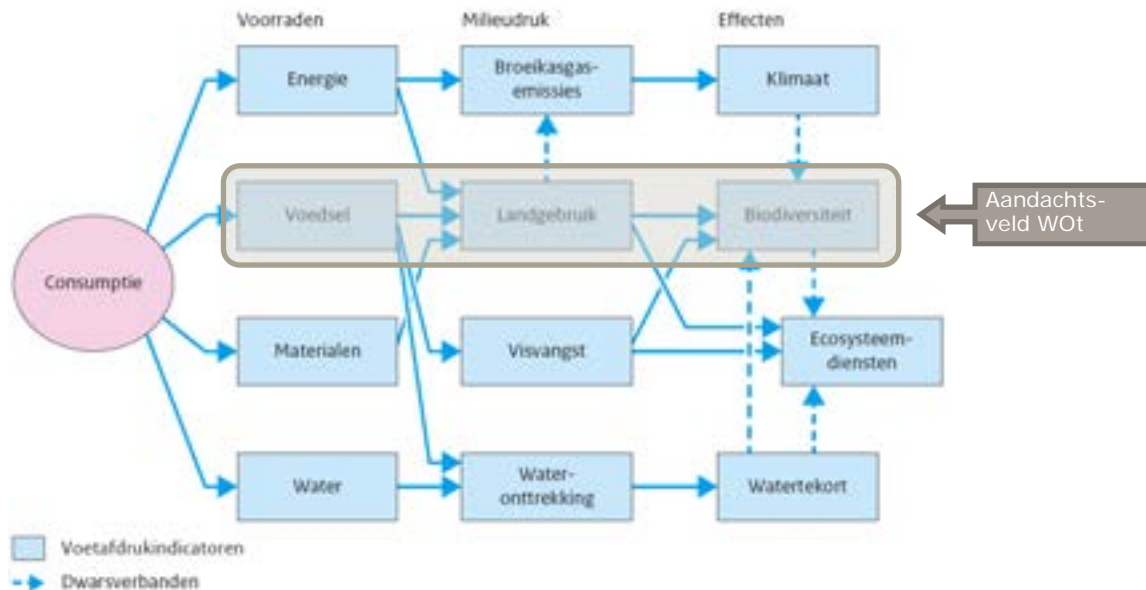
¹⁵ De term 'gebruiken' wordt geprefereerd boven de term 'consumeren', omdat de eerste rekening houdt met de terugkeer van reststoffen in ecosystemen (van bijvoorbeeld water in industriële processen), terwijl de laatste suggereert dat voorraden of diensten worden gebruikt waarbij de voorraad definitief wordt uitgeput.

¹⁶ Dit zijn terrestrische ecosystemen met een ITZ-waarde: internationaal, trendmatig, en zeldzaam. Voorbeeld: tropisch regenwoud op locatie X. (Frank Veeneklaas, pers. comm.).

kunnen verkleinen. Het PBL noemt in haar rapport 'De voetafdruk van Nederland, hoe groot en hoe diep?' (Van Oorschot *et al.* 2012) drie handelingsopties:

- Het verkleinen van lokale impacts van productieprocessen
- Efficiënter gebruik van grondstoffen, inputs en producten
- Andere keuzes in verbruik en consumptie van grondstoffen en producten

In respons op de tekortkomingen van het rekenraamwerk van de NFA ontwikkelde het PBL een raamwerk voor de ecologische voetafdruk van consumptie bestaand uit 12 indicatoren in drie categorieën: voorraden, milieudruk en effecten (Van Oorschot *et al.* 2012) (Figuur 4). De indicator-set is bedoeld om zowel de omvang ('hoe groot': oppervlakte, ruimtebeslag) als de effecten van de voetafdruk weer te geven ('hoe diep'). Daarbij wordt gekeken naar het gebruik van mondiale voorraden (uit natuurlijke hulpbronnen) en daarbij ontstane milieudruk, en naar ecologische effecten.



Figuur 30 Raamwerk van het PBL voor de ecologische voetafdruk (Van Oorschot *et al.* 2012). De paarse balk geeft het aandachtsveld van het WOt voor dit project. 'Landgebruik' staat voor meerdere typen milieudruk, bijvoorbeeld habitatconversie, vermesting, vervuiling, verdroging, fragmentatie en verstoring.

Overheden, bedrijven en instellingen **vragen Alterra in toenemende mate naar bepalingen van de ecologische voetafdruk** van hun economische en maatschappelijke activiteiten (bijvoorbeeld de gemeente Amsterdam, Robeco). We hebben binnen Alterra echter geen gemeenschappelijke berekeningswijze of instrumentarium voor de ecologische voetafdruk, maar wel voor deelcomponenten, zoals voor het gebruik van voorraden water ('water footprint' benaderingen van team CALM), land ('land use services' en 'land use functions' benaderingen van team Earth Informatics) of nutriënten ('nutriënt use efficiency' benaderingen van teams ESA en Duurzaam Bodemgebruik), of voor het bepalen van broeikasgasemissies (broeikasgasemissiemodellen van team Duurzaam Bodemgebruik) en effecten van landgebruik op biodiversiteit (instrumentarium van team VBE).

De vraag van Frank Veeneklaas met deze WOt opdracht was: het PBL heeft een raamwerk gemaakt om de ecologische voetafdruk te kwantificeren (Figuur '2). Stel dat vragen over de reeks Consumptie (Productie) -> Voedsel -> Landgebruik -> Biodiversiteit aan Alterra gesteld worden, hoe beantwoorden we die dan?

Doel van het project Ecologische Voetafdruk is een handreiking te maken over hoe de ecologische voetafdruk betekenisvol bepaald kan worden, in het bijzonder ten aanzien van effecten op gekwalificeerde natuur⁴. Hiermee is de scope van het project in het raamwerk van het PBL (Figuur 4) beperkt tot de keten van 'consumptie – voedsel – landgebruik – biodiversiteit'. In andere woorden: tot de belasting van de biocapaciteit wereldwijd voor de productie van biomassa, de milieudruk daarvan uitgedrukt in landgebruik, en de effecten daarvan op gekwalificeerde natuur en biodiversiteit.

Dat de voetafdruk 'betekenisvol' bepaald moet kunnen worden wil zeggen dat de bepaling de belasting van verschillende productie- of consumptiesystemen op het ruimtebeslag in verschillende agro-ecosystemen in de wereld moet kunnen meten, en dat de effecten op gekwalificeerde natuur worden uitgedrukt in meetbare aspecten van de gekwalificeerde natuur en biodiversiteit, zoals veranderingen in een relatieve soortenindex.

Daarnaast moet de voetafdruk in de nieuwe berekeningsmethodiek kunnen worden weergegeven in een eenvoudig geaggregeerd getal (eventueel samengesteld uit meerdere indicatoren), en moet de voetafdruk gevoelig zijn voor handelingsopties zoals boven gedefinieerd.

9.2 Doel van de werkbijeenkomst

Deze werkbijeenkomst werd georganiseerd voor het project Ecologische Voetafdruk als eerste van twee werkbijeenkomsten. Doel van de werkbijeenkomsten is om samen met enkele Alterra-onderzoekers na te gaan of het mogelijk is om een praktische en concrete werkwijze af te spreken over hoe de ecologische voetafdruk en de verandering daarin (omvang en diepte) kan worden bepaald voor studies op verschillende schaalniveaus, waarbij landgebruik, biodiversiteit en effecten van milieumaatregelen centraal staan. De te ontwikkelen methodiek zou op een transparante manier ruimte toewijzen aan specifieke producten of productiewijzen, met uitleg over aannames en rekenregels.

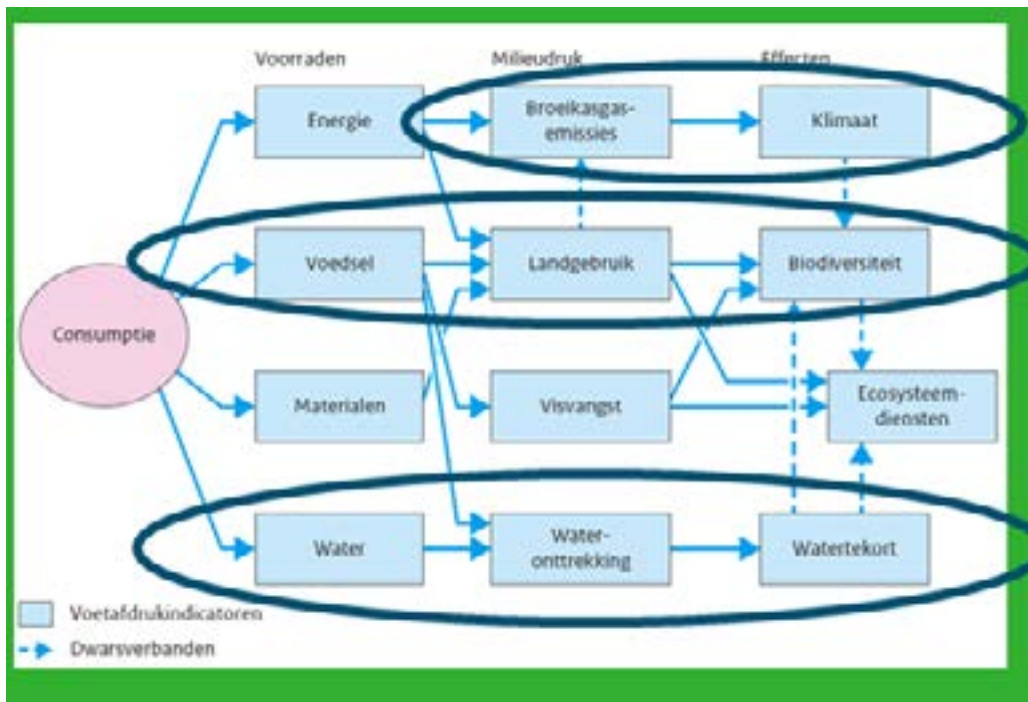
Elf Alterra-onderzoekers werd gevraagd studies of projecten te presenteren waarin veranderingen van productie- of consumptiesystemen werden onderzocht ten aanzien van de belasting van voorraden voedsel-, biomassa-productie, materialen of water, het ruimtebeslag van die belasting, en effecten daarvan op klimaat, biodiversiteit, ecosysteemdiensten, beschikbaar water, of andere aspecten van de leefomgeving.

Hieronder volgt een weergave van de presentatie van het werk van vijf onderzoekers, en de discussie over de mogelijkheid om elementen uit de studies te gebruiken voor de ontwikkeling van een nieuwe bepaling van de ecologische voetafdruk zoals boven omschreven. De resultaten van beide werkbijeenkomsten worden samengevat in de vorm van een rapport of prezi.

9.3 Casus Joop Kroes (Team Integraal water- en stroomgebiedsmanagement): overzicht van water footprint werk

Joop Kroes heeft voor de EU COST Action 'Assessment of EUROpean AGRiculture WATER use and trade under climate change (EURO-AGRIWAT)' (www.cost-es1106.eu) een overzicht gemaakt van werk op het gebied van water footprinting in Nederland en in het buitenland (zie Bijlage 1). In deze actie gaat het om de water footprint (WF) en 'virtual water trade' (VWT) van voedselproducten en andere agrarische producten, de onzekerheden rondom de bepaling van WF en VWT, en om de gevolgen van klimaatverandering op WF en VWT. Er zijn drie werkgroepen: voor modelgebaseerde benaderingen, voor handel en een groep die werkt aan bepaling van de WF m.b.v. remote sensing.

De water footprint heeft betrekking op verschillende deelgebieden van het raamwerk voor de ecologische voetafdruk van het PBL (Figuur 33): de keten voedsel-landgebruik-biodiversiteit, maar ook broeikasgasemissies-klimaat, en de keten water-wateronttrekking-watertekort.



Figuur 31 Aandachtsvelden van studies naar water footprint in het raamwerk voor de ecologische voetafdruk van het PBL. Bron: Joop Kroes (2013).

De water footprint is volgens de definitie van het Water Footprint Network (www.waterfootprint.org) de hoeveelheid water (in liters) die nodig is om 1 kg product te produceren. De water footprint heeft 3 componenten (Figuur 34):

- Green water footprint, ofwel de neerslag die gebruikt wordt voor gewasgroei en deels voor irrigatie van gewassen
- Blue water footprint, ofwel het irrigatiewater dat gebruikt wordt voor gewasproductie of voor industriële productie
- Grey water footprint: het water dat vervuild wordt als gevolg van productie en consumptie

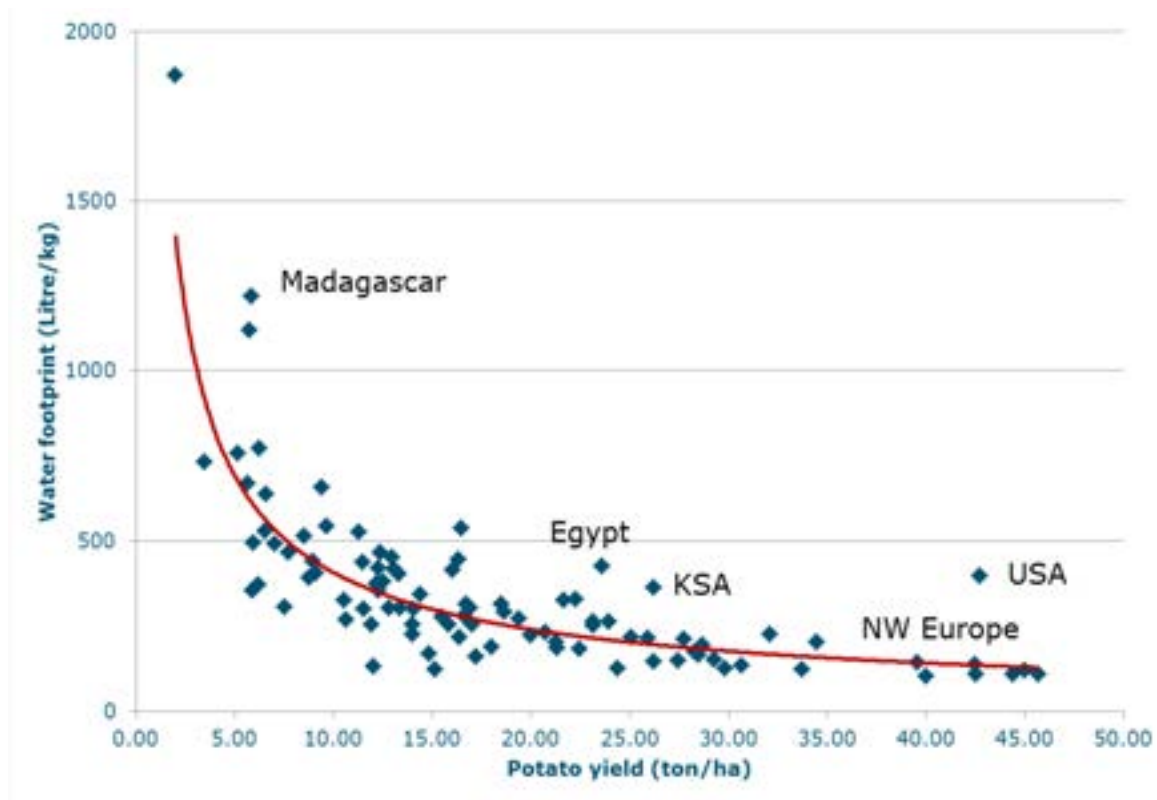


Figuur 32 Componenten van de water footprint. Bron: www.waterfootprint.org (presentatie Chapagain, maart 2013).

Het Water Footprint Network biedt een assessment tool voor het bepalen van de water footprint en verschillende studies naar de WF. Er zijn diverse afgeleiden van de water footprint te herkennen in internationale studies, zoals 'water constraints' (Biemans, 2011), 'blue water stress' (Wada *et al.* 2011), en de 'ground water footprint' (Gleeson *et al.* 2012). Er zijn ook enkele kritische reviews van het concept (Rushforth *et al.* 2013 en Witmer en Cleij, 2012).

Een voorbeeld van een water footprint analyse is de analyse van de efficiëntie van watergebruik door gewassen van Mekonnen en Hoekstra (2011). In deze studie wordt de water footprint van enkele gewassen berekend in liters per kg product. Millet heeft de grootste WF met ca 4500 l/kg, aardappel de kleinste, met ca 300 l/kg. Er zijn gewassen met een nog lagere WF dan aardappel, zoals tomaat, sla en watermeloen, maar deze gewassen bestaan hoofdzakelijk uit water, maar van de basisvoedselgewassen heeft de aardappel het minste water nodig voor productie. Dit is ook van toepassing als de WF wordt uitgedrukt per kg droge stof (ca 1100 l/kg).

De variatie in de WF van aardappel is groot tussen landen, maar neemt af met een toename van de opbrengst (Figuur 35).



Figuur 33 Water footprint van aardappel voor verschillende landen. Bronnen: WF: gemiddelde waarden over de periode 1995-2005 (Mekonnen and Hoekstra, 2011); opbrengst: FAOSTAT 2000.

Discussie

Peter Kuikman: land is gemakkelijker te definiëren in termen van eindige hoeveelheden; voor beschikbaar water is dat lastiger (hoeveel is er in een bepaald gebied met een bepaalde oppervlakte?). De vraag is hoe je kijkt naar de eindige hoeveelheid water. Bijvoorbeeld een water-efficiënte aardappel in combinatie met een niet-water-efficiënt gewas.

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

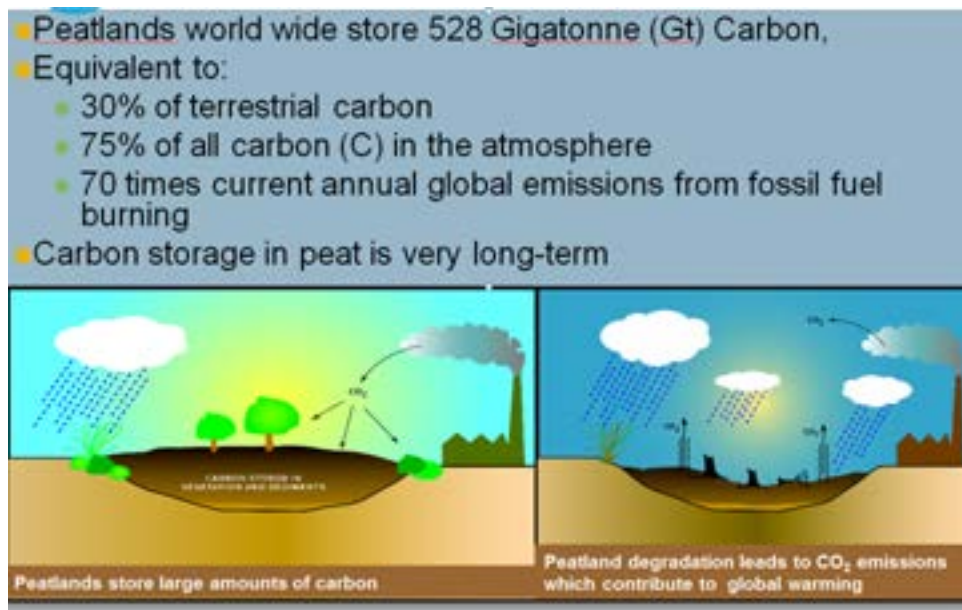
- (Water)voetafdrukanalyses zouden geschikt zijn om verdelingen van water over gewassen, bodem en atmosfeer te bestuderen, en voor het bepalen van de efficiëntie van irrigatie.
- Daarnaast zou het een krachtig instrument zijn in analyses van landgebruiksveranderingen, bijvoorbeeld door het manipuleren van gewasgroeiastadia, of landgebruiksveranderingen als gevolg van klimaatverandering.
- Het concept van de voetafdruk is geschikt voor communicatie.

9.4 Casus Henk Wösten (Team Bodemfysica en Landgebruik): beheer tropische venen gevolgen voor de verbouw van oliepalm en acacia op C-voorraad en biodiversiteit

Henk Wösten geeft een samenvatting van werk aan het beheer van tropische venen. Deze ecosystemen zijn reservoirs van water, biodiversiteit en carbon. In natuurlijke omstandigheden bestaat het uit levend veen en tropisch bos. Hierin staat de grondwaterstand in venen gemiddeld aan maaiveld en vindt veenophoping en dus CO₂ opslag plaats met gemiddeld 1 mm veen-aangroei per jaar. De grootte van het koolstofreservoir in Zuidoost Azië wordt geschat op 50 Gt.

In deze ecosystemen treedt een verlies aan koolstof op door drainage voor het verbouwen van oliepalm of andere landbouwgewassen (acacia, voor papier en pulp, aloë vera, sago palm en groenten). Het gaat om grootschalige plantagelandbouw. 20 tot 25% van de oliepalmplantages in Zuidoost Azië bevinden zich op veengrond. De drainage van deze gronden leidt tot zakking, veenoxidatie en daarmee CO₂ uitstoot. In de tropen is de zakking ongeveer 10% van de opgelegde grondwaterstand. Dus als een veen tot 1 m diepte wordt gedraineerd voor de verbouw van palmolie dan is de jaarlijkse zakking 10 cm.

Oliepalm is een lucratief gewas, dat goed groeit op veen, in tegenstelling tot bijvoorbeeld rijst. In gebieden waar oliepalm op grote schaal geteeld wordt zoekt men naar nieuwe arealen. Op bestaande arealen wordt de productie ook wel geïntensiveerd, maar er worden veel ontgonnen. Meer dan 50% van de geplande plantages zijn op veengrond.

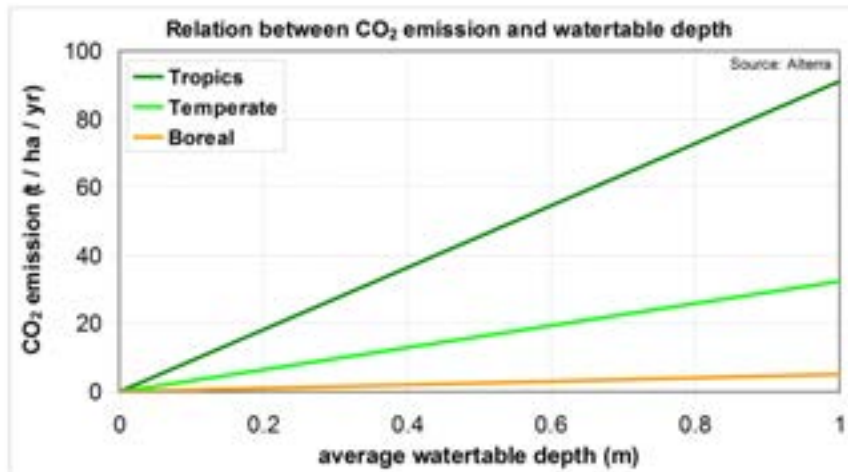


Figuur 34 Tropische venen als reservoir van koolstof, en effecten van degradatie op CO₂ emissies. Bron: Wösten (2013).

Als gevolg van de drainage ontstaan er ook veenbranden, omdat venen vatbaar worden voor branden bij drainage. Tropisch veen is bosveen, anders dan veen in gematigde streken. Het is grof materiaal (takken, wortels). Na draineren houdt het geen water meer vast, waardoor een halve meter droog materiaal ontstaat. In brand door bliksem, sigarettepeuken. Het maaiveld in de veengebieden is met ca 230 cm gedaald in 28 jaar, wat overeenkomt met 8.2 cm/jaar.

CO₂-emissies als functie van grondwaterdiepte zijn veel hoger in de tropen dan in gematigde of boreale gebieden. Bij drainage tot 1 m diepte wordt de uitstoot geschat op 90 ton CO₂/ha/jaar (Figuur 37). Totale emissies als gevolg van drainage en branden worden geschat op resp. 0.63 en 1.37 Gt CO₂ per jaar. Samen komt dit overeen met ca 8% van de globale uitstoot als gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen. CO₂-emissies uit veengebieden in Zuidoost Azië (0.1% van het wereldwijde landoppervlak) komen overeen met 8% van de wereldwijde CO₂-emissies. Het grootste deel daarvan is afkomstig uit Indonesië. Er is een moratorium op landbouwproductie uit venen dieper dan 3 m. Daaruit worden emissies geschat.

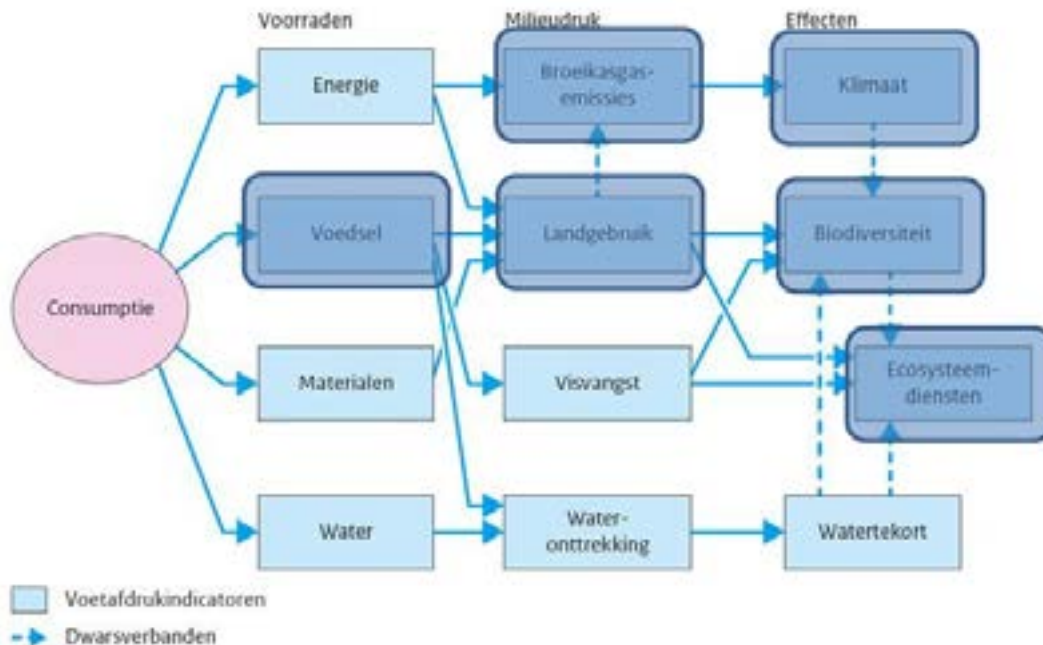
De CO₂-uitstoot en andere uitstoot leiden tot internationale spanningen en hebben grote economische impacts. Er ontstaan problemen met overstromingen.



Figuur 35 CO₂ uitstoot als functie van de grondwaterdiepte in verschillende klimaatzones. Bron: Wästen (2013).

Restoratie: herstel is mogelijk in gebieden door verhogen van de grondwaterstand. Er is ook sprake van mitigatie: gebieden die nog intact zijn, bv kleine kanalen, worden afgedamd. Sommige gebieden worden intact gehouden, andere worden in gebruik genomen voor landbouw. De driver voor conservering van deze ecosystemen is: opslag/vasthouding van koolstof, biodiversiteit, en de functie als belangrijke bron van zoet water. Van belang voor behoud is dat lokaal mensen inkomsten kunnen genereren uit hun eigen ecosystemen, bijvoorbeeld door koolstof als een commodity te beschouwen. Echter de CO₂ handel kent lage prijzen, en is nog vrijwillig. Andere mechanismen voor het financieren van conservering zijn Payment for Ecosystem Services (PES) en Reduced Emissions from avoided Deforestation and Degradation (REDD).

Andachtvelden in het PBL Raamwerk van de studies naar tropische venen zijn weergegeven in Figuur 38.



Figuur 36 Aandachtsvelden in het raamwerk voor de ecologische voetafdruk van het PBL van de studies naar tropische venen van Henk Wösten en collega's.

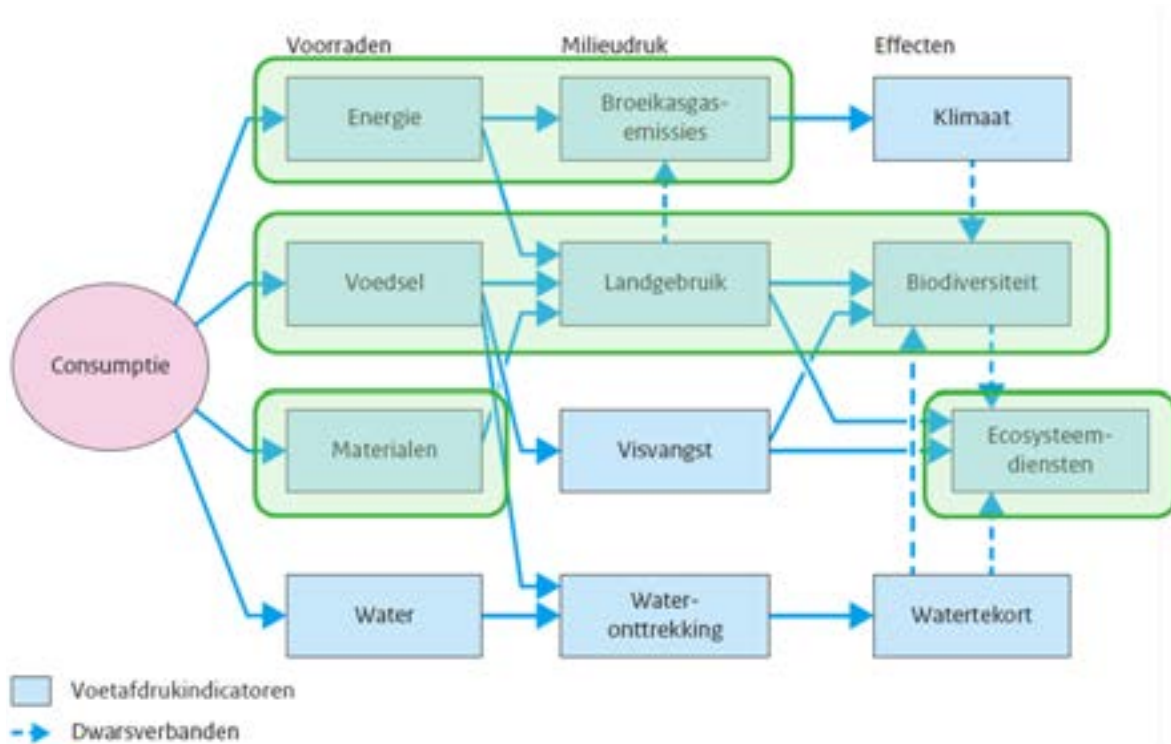
Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

- De tropische venen zijn één van de belangrijke grote ecosystemen op aarde met grote voorraden water, koolstof en biodiversiteit
- Een voetafdruk maat zou gebruikt kunnen worden om handelingsopties te onderzoeken (bijv. REDD, PES en reforestation en rehabilitation).
- Alterra heeft expertise voor het monitoren van goederen en diensten uit tropische bosecosystemen. Hierin zijn waardevolle elementen voor een voetafdrukanalyse:
 - Analyses van koolstofvastlegging (bv met CO2 fix model)
 - Analyses van broeikasgasemissies door maaiveldhoogtebepalingen
 - Indicatoren van biodiversiteit
 - Analyses van hydrologische regimes, ook om aan te tonen bij welk hydrologisch regime welke plantengemeenschap hoort

9.5 Casus Eric Arets: impact op biodiversiteit en ecosysteemdiensten van Nederlandse import van landbouwproducten en hout

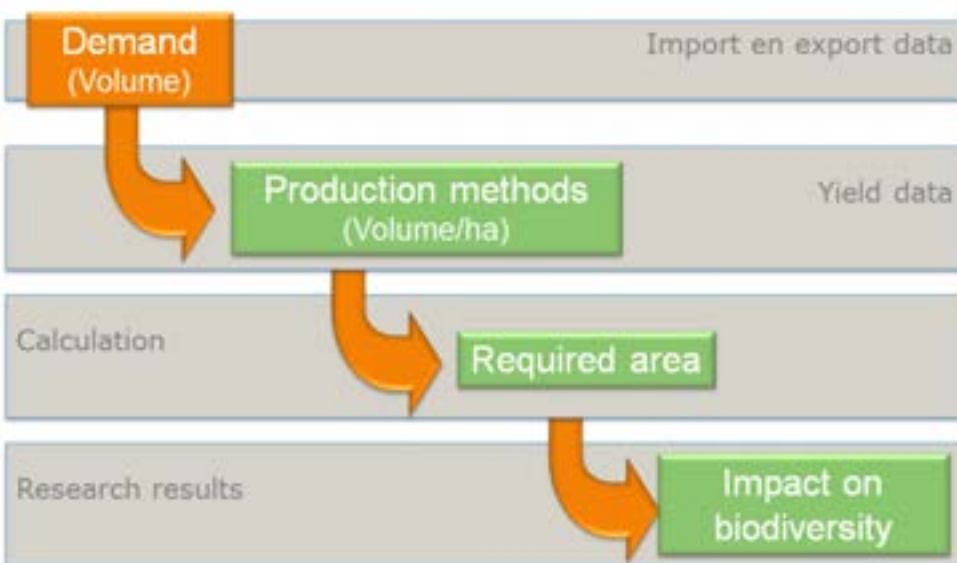
Eric geeft voorbeelden van een aantal studies over de impact op biodiversiteit en ecosysteemdiensten van Nederlandse en Europese handelsketens. De voorbeelden hebben betrekking op de import van een aantal commodities en hout. Soja wordt voornamelijk geïmporteerd uit Brazilië, ook wel uit de VS en Argentinië. Vragen gaan vaak over impacts op tropische gebieden, zoals van de productie van palmolie uit Indonesië en Maleisië. Tropisch hout wordt vooral geïmporteerd uit Brazilië, Maleisië en Indonesië.

De aandachtsvelden in het raamwerk van het PBL waarop de studies betrekking hebben zijn hieronder weergegeven.



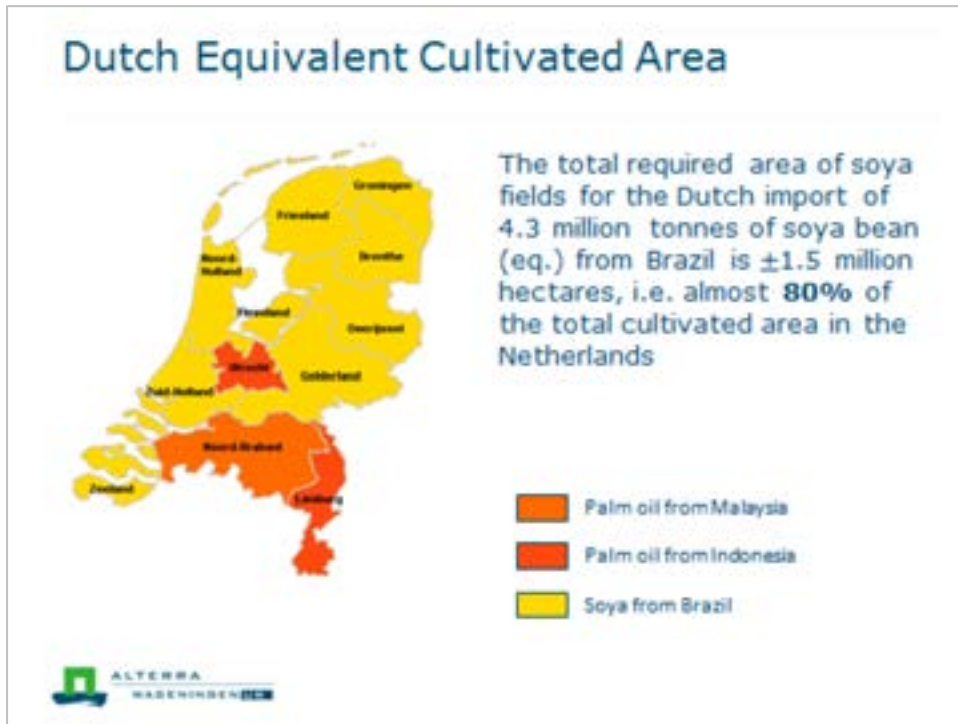
Figuur 37 Aandachtsgebieden in het raamwerk van het PBL van studies naar de impact op biodiversiteit en ecosysteemdiensten van Nederlandse import van landbouwproducten en hout. Bron: Arets (2013).

De in de studies gebruikte methode is vaak ad hoc: import- en exportdata van een bepaald product, worden verzameld, met een focus op regio's die van belang zijn voor export en import voor NL. De vraag naar producten (volumes) wordt berekend uit import- en exportdata. Gegevens over productiemethoden worden ontleend uit de literatuur (vol/ha) en gecombineerd met opbrengstgegevens. Dan kun je de oppervlakte land berekenen die nodig zijn om te voldoen aan de vraag ('required area'). De volgende stap is de berekening van de impact op biodiversiteit en ecosysteemdiensten. Impactschattingen geven geen informatie over lokale effecten in de brongebieden. Waar mogelijk wordt onderscheid gemaakt naar verschillende productiesystemen. De eerste drie stappen van de methode zijn generiek.

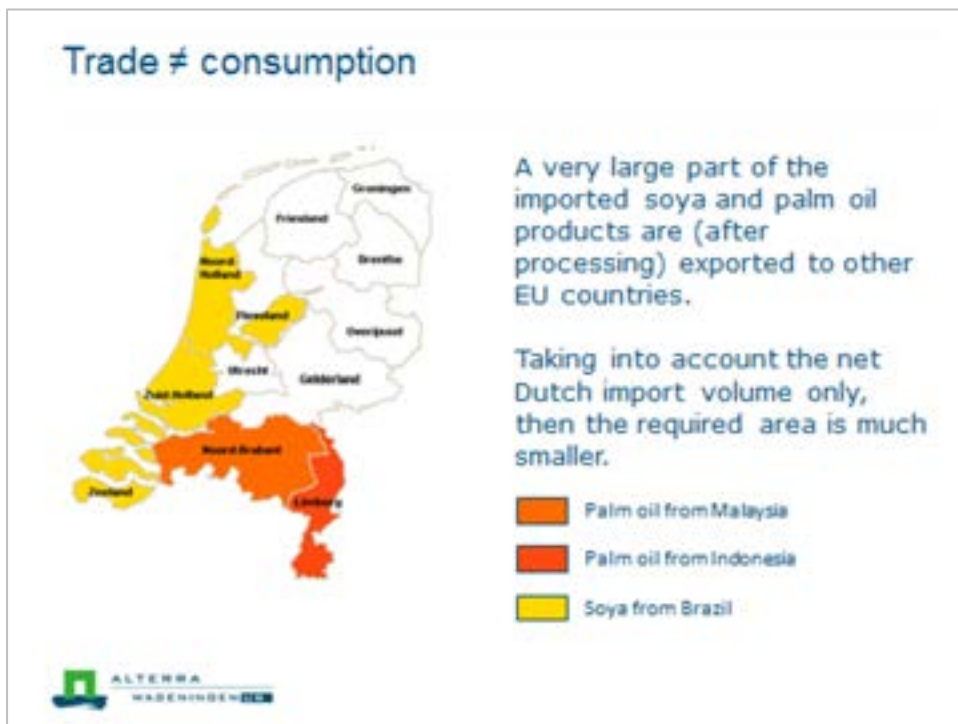


Figuur 38 Vaak gebruikte methode voor het berekenen van impacts op biodiversiteit van handelsketens. Bron: Arets (2013).

Resultaten voor de import van soja en palmolie staan in Figuur 41. De Figuur laat zien dat voor de productie van sojabonen ter grootte van de Nederlandse import uit Brazilië (4.3 Mton) een landoppervlak nodig is van 1.5 Mha. Dit komt overeen met 80% van het landbouwareaal in Nederland. Maar de importstroom t.b.v. de handel is niet gelijk aan de importstroom t.b.v. consumptie in Nederland. Een groot deel van de geïmporteerde sojabonen en oliepalmp producten worden na verwerking geëxporteerd naar andere EU-landen. Als alleen het netto-importvolume beschouwd wordt (bestemd voor consumptie in Nederland) is het benodigde landoppervlak veel kleiner (Figuur 42).



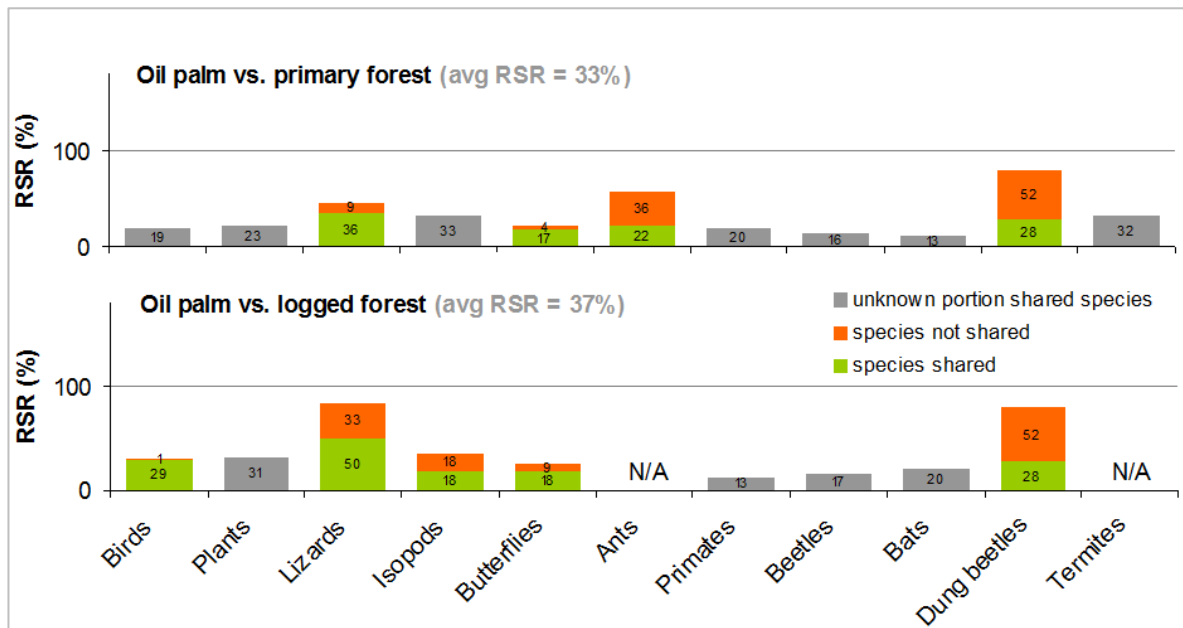
Figuur 39 Voetafdruk van de bruto import van palmolie en soja, uitgedrukt in equivalenten van het oppervlak van Nederland. Bron: Arets (2013).



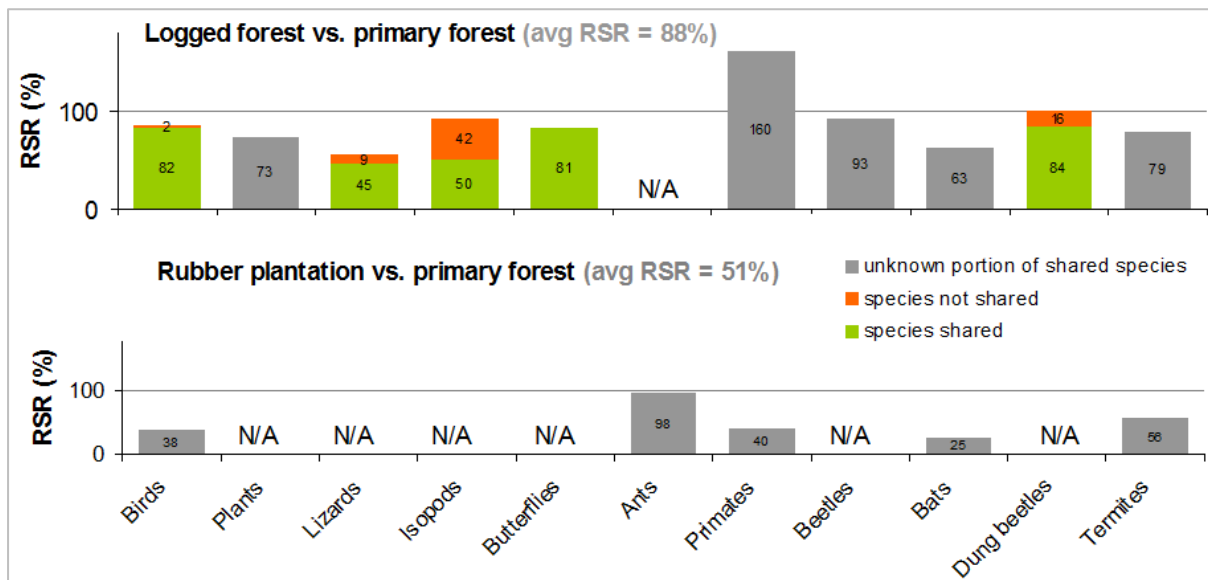
Figuur 40 Voetafdruk van de netto import van palmolie en soja, uitgedrukt in equivalenten van het oppervlak van Nederland. Bron: Arets (2013).

Effecten van de productie van oliepalm op biodiversiteit werden geanalyseerd met behulp van de Relatieve SoortenRijkdom (RSR). Deze indicator drukt uit hoeveel procent van het aantal soorten in een ecosysteem aanwezig is ten opzichte van hetzelfde ecosysteem dat beïnvloed is door productie of consumptie. Het is daarbij niet bekend om welke soorten van een hoofdcategorie flora of fauna het gaat. De variant 'shared species' van de indicator (gedeelde soorten) doet dat wel: deze indicator geeft het percentage van specifieke soorten aan dat in beide situaties van het ecosysteem wordt gevonden, en van soorten in een categorie die alleen in een van beide situaties worden gevonden.

Figuur 43 toont de relatieve soortenrijkdom van oliepalmplantages ten opzichte van gekapt bos en primair bos. Gekapt bos wordt ook vaak omgezet in palmolieplantage, omdat deze gebieden vaak al gedegradeerd zijn. De Figuur laat zien dat het relatieve aantal soorten dat voorkomt in oliepalmplantages voor de meeste hoofdcategorieën tot 30% of minder gereduceerd is ten opzichte van de situatie als bos of gekapt bos. In rubberplantages is de soortenrijkdom nog sterker gereduceerd ten opzichte van primair bos (Figuur 43). Als gekapt bos wordt vergeleken met primair bos, blijkt gekapt bos nog best een hoge RSR te hebben ten opzichte van primair bos (Figuur 44).



Figuur 41 Relatieve soortenrijkdom (RSR) van oliepalmplantages ten opzichte van primair bos en gekapt bos. Bron: Arets (2013).

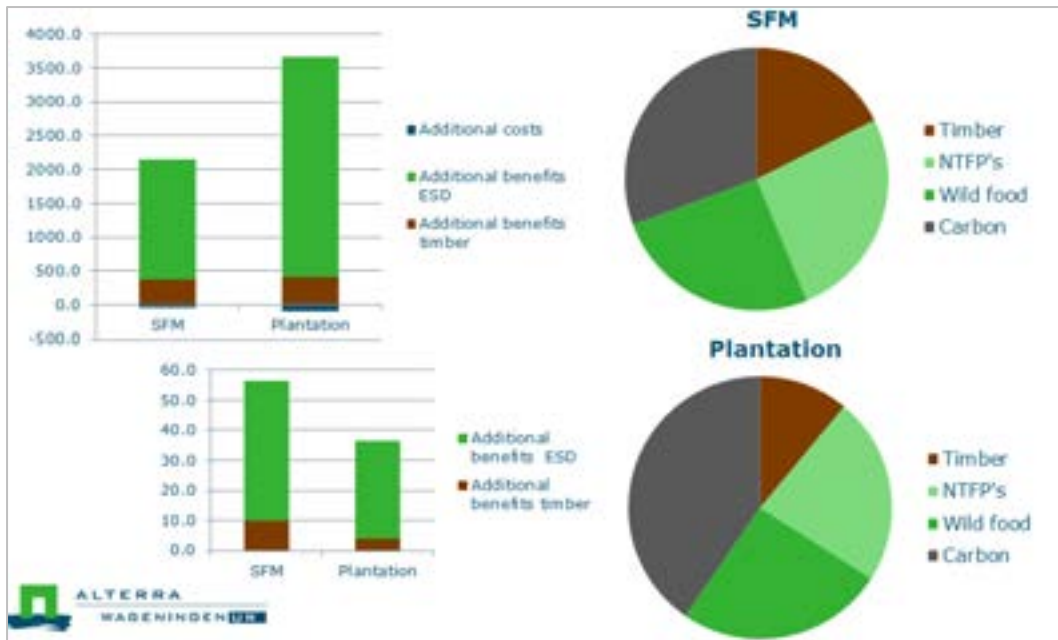


Figuur 42 Relatieve soortenrijkdom (RSR) van gekapt bos ten opzichte van primair bos, en van rubberplantages ten opzichte van primair bos. Bron: Arets (2013).

De voetafdrukanalyse moet ook kijken naar het type plantage: de grootschalige plantage van grote bedrijven, of de kleinschalige plantage van small holders. Small holders samen houden ook een groot areaal, maar de teelt is extensiever, en daardoor zijn de impacts op biodiversiteit en ecosysteemdiensten lager.

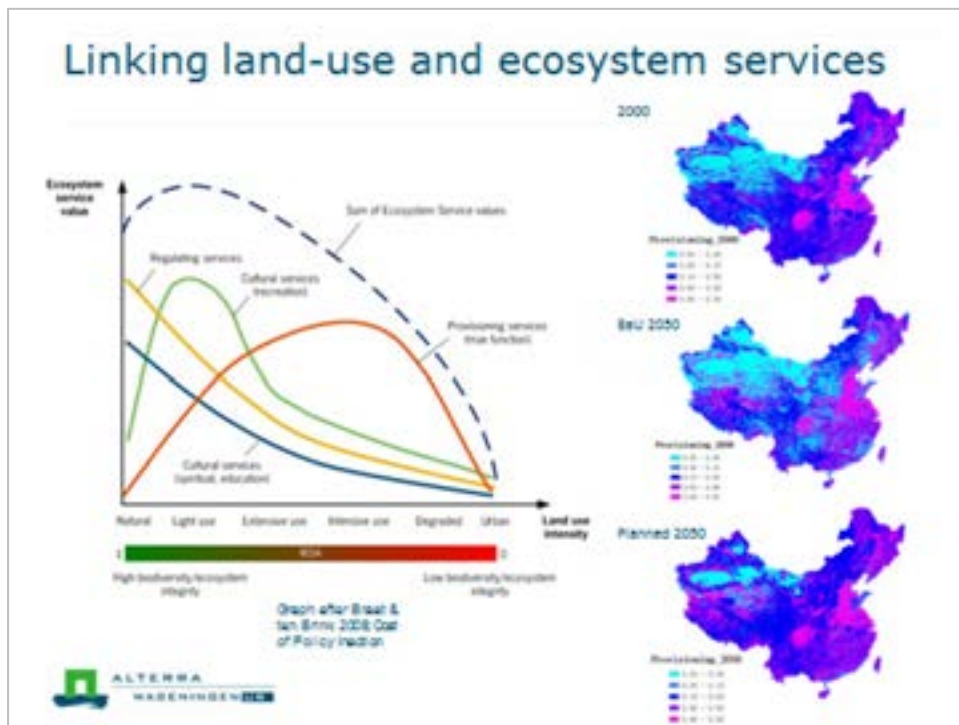
Een andere voorbeeldstudie van een voetafdrukanalyse gaat over de sociale kosten en baten van houtproductie in de tropen. Hierin werd selectieve houtkap in primair bos (van alleen economisch interessante soorten) vergeleken met conventionele houtkap (plantage; een mix van plantage en primair bos), volgens gecertificeerde standaarden. De beschouwde impacts waren effecten op kosten en baten van de ecosysteemgoederen en –diensten hout, NFTP's¹⁷, wild en koolstofvastlegging. Figuur 45 laat de additionele kosten en baten zien van duurzame (SFM) en conventionele houtproductie (plantation) uit primair bos voor wat betreft ecosysteemdiensten en hout. De Figuur laat zien dat voor conventionele houtkap additionele baten uit ecosysteemdiensten (in USD/ha) groter zijn dan voor duurzame houtproductie, maar dat de baten van het houtproduct zelf gelijk zijn. Duurzame houtproductie heeft een groot areaal nodig, waarop een kleinere impact komt; een plantage heeft een klein areaal nodig, waarop een grote impact komt.

¹⁷ Non-timber forest products



Figuur 43 Kosten-batenanalyse van de productie van tropisch hout. Bron: Arets (2013). SFM: sustainable forest management, Plantation: conventionele houtproductie. On the Y-axis: costs or benefits in USD/ha over a period of 20 years. 'Additional costs/benefits': kosten en baten die nodig/verkregen worden als je primair bos omzet naar plantage dan wel sustainable forest.

De derde voorbeeldstudie gaat over de relatie tussen land use en ecosystemendiensten in China. De vraagstelling was wat ontwikkelingsscenario's op het gebied van landbouw in China betekenen voor de levering van ecosystemendiensten. Voor deze analyse werden toekomstige landgebruiksveranderingen in China tot 2050 gesimuleerd met het model CLUE op een resolutie van 1 km resolutie voor 3 verschillende scenario's (Figuur 46). De grafiek toont de waarde van de levering van ecosystemendiensten als functie van de intensiteit van het gebruik van ecosystemen door de mens. Ecosystemen die met een grote intensiteit gebruikt worden hebben een lagere biodiversiteit en integriteit dan ecosystemen die minder intensief gebruikt worden. De gekleurde lijnen geven de dosis-responsrelaties weer van de hoofdcategorieën van ecosystemendiensten (producerende diensten, regulerende diensten, culturele diensten en habitatdiensten). Hierin is de dosis de intensiteit van landgebruik, en de respons de levering van de groep ecosystemendiensten. Deze analyse maakt het mogelijk trade-offs te analyseren tussen verschillende vormen van landgebruik, en tussen de levering van ecosystemendiensten.



Figuur 44 Voetafdrukanalyse van landgebruiksverandering op de levering van ecosysteemdiensten voor China. Bron: Arets (2013).

Discussie: Peter Kuikman vraagt in hoeverre de getoonde analyses worden gedaan door het PBL. PBL doet zelf soortgelijke analyses, maar vraagt ook vaak aan Alterra om deze analyses te doen. Peter vindt het verstandig de methodiek van Alterra op die van het PBL te laten aansluiten.

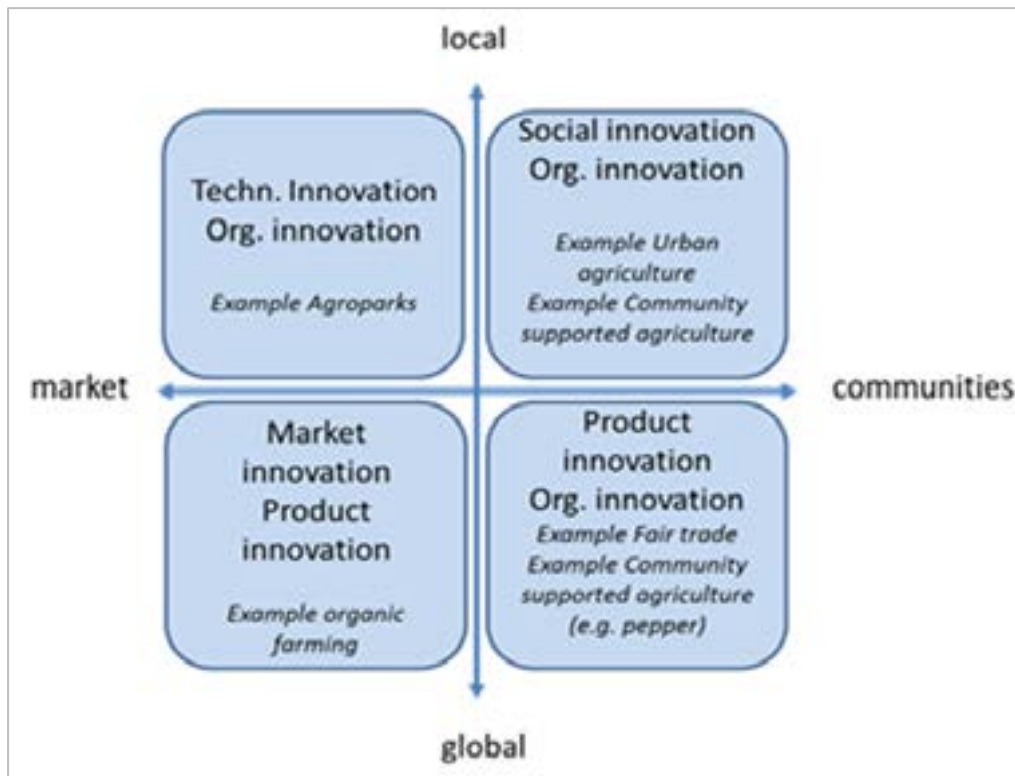
Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

- Gebruik dosis-responsfuncties om effecten van veranderingen in productie-consumptiesystemen op ecosystemen of gekwalificeerde natuur te analyseren.
- Breng de kennis over deze dosis-responsfuncties bij elkaar in een informatiesysteem, dat door onderzoekers binnen Alterra geraadpleegd kan worden. Vaak worden ad hoc meta analyses gedaan op basis van beschikbare literatuur. Een informatiesysteem met de verzamelde kennis maakt het mogelijk voor vragen naar voetafdrukanalyses sneller en meer gestructureerd te kunnen putten uit bestaande kennis. Het informatiesysteem kan kennis en data over dosis-responsfuncties bevatten op verschillende expertisevelden binnen Alterra, zoals landgebruik, hydrologie, ecologie en governance.

9.6 Casus Dirk Wascher en Jeroen Kruit (Teams Regionale Ontwikkeling en Ruimtegebruik en Governance): Food Chain Innovations in Metropolitan Regions (FOODMETRES) – Ecological Footprint as a Measure for Assessing the Impacts

Deze casus gaat over het EU-project FOODMETRES, dat de ecologische voetafdruk gebruikt als een maat om de impacts van voedselketens te bepalen voor steden en omliggend landelijk gebied. Parallel aan dit project loopt het SUBURB FOODproject (WU en LEI), meer gericht op het stedelijk gebied. Alterra (Dirk Wascher) coördineert het FOODMETRES project. Er zijn case studies in zes grote steden, waaronder Rotterdam. Jeroen Kruit is case study leider voor Rotterdam, maar heeft daarnaast eigen project van het WoT om een relatie te vinden tussen groene groei en de realisatie in de praktijk (ism Jan Vreke). Ook voor dat project zijn analyses van de ecologische voetafdruk relevant.

Doel van het FOODMETRES project is om een methode te ontwikkelen om in 6 regio's keuzes te kunnen kiezen voor de productie van commodities en de mogelijke impacts daarvan als er innovaties optreden. Vier verschillende scenario's van innovaties worden geanalyseerd voor die regio's (Figuur 47).



Figuur 45 Scenario's voor innovaties in de agrosector in steden. Bron: Wascher en Kruit (2013).

De beschouwde domeinen voor innovatie omvatten proces, product, governance en sociale dimensie. Uitgangspunt van het project is dat ieder voedselproduct een bepaalde belasting van de aarde geeft in onderdelen van de voedselketen (productie, processing, packaging, distribution, consumption), en dat deze belasting o.a. is uit te drukken in transportafstanden in km. De handelingsopties die geanalyseerd worden in het project zijn:

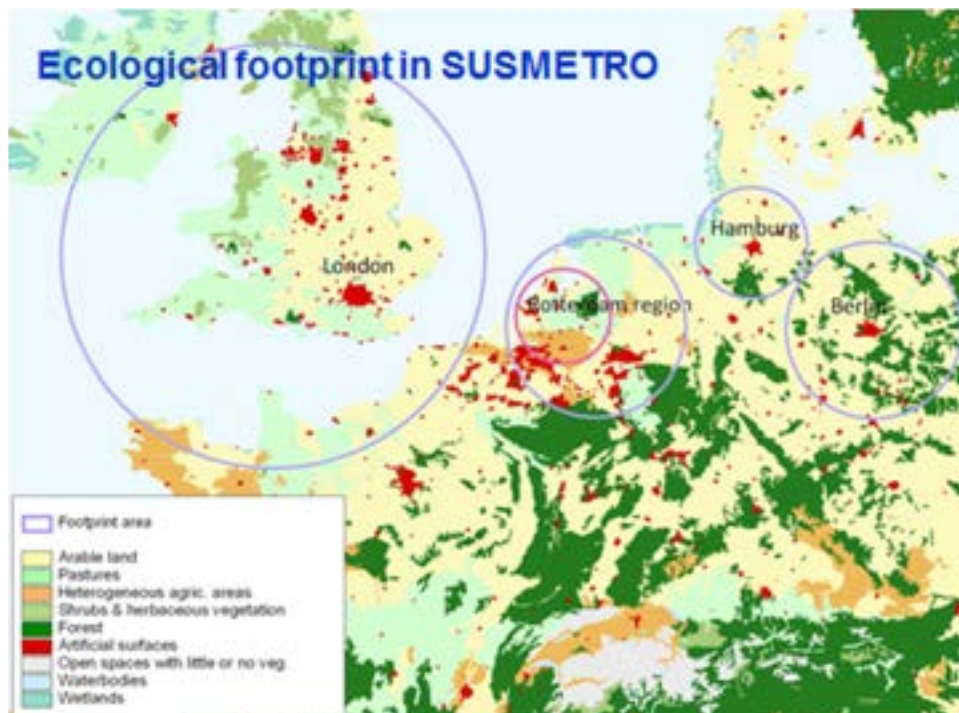
- Reductie van ' voedselkilometers', bijvoorbeeld door productie dicht bij de stad, directere relaties tussen producent en consument, afstemming van de vraag naar voedsel van steden op lokale voedselproductie, en gebruik van andere organisatievormen (bijvoorbeeld coöperaties).
- Reductie van verspilling en meer recycling in productie, opslag.
- Reductie van de belasting van voorraden (energie, water e.a.) door betere productietechnologie, minder gebruik van pesticiden en door gebruik van alternatieve grondstoffen (bijvoorbeeld ' nieuwe' eiwitbronnen zoals insecten of algen).

Het SUSMETRO project was een opstap naar FOODMETRES. In SUSMETRO werd de ecologische voetafdruk gebruikt om de effecten van voedselconsumptie in steden te kwantificeren. Dit werd gedaan om innovaties in de metropolitane landbouw te combineren met kansen voor recreatie en natuur. De ecologische voetafdruk werd uitgedrukt in globale en lokale hectares landoppervlak. Globale hectares nemen alle aspecten van de voedselketen in beschouwing, terwijl lokale hectares alleen het gebied reflecteren dat nodig is om voedsel voor de lokale bevolking te produceren. De literatuur laat zien dat verschillende uitkomsten verkregen worden voor deze maten, voor dezelfde steden in verschillende studies (Figuur 48). Een vraag bij deze analyses is welk landoppervlak je nog meerekent in een metropolitaan gebied (waar ligt de grens naar peri-urbaan of ruraal gebied, red.).

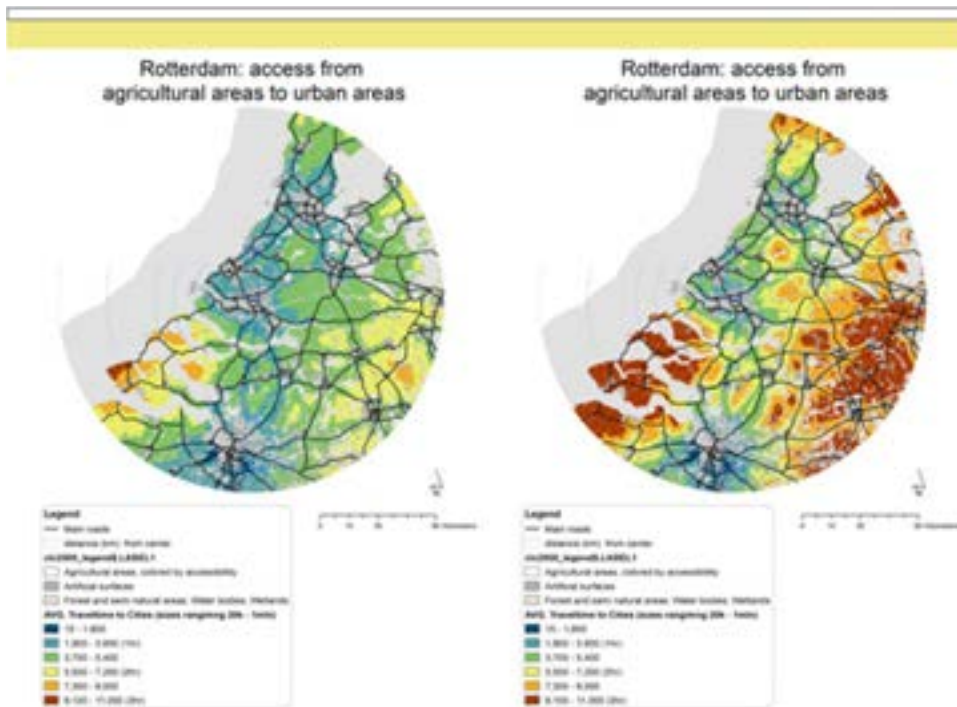
	Global Hectares				Inhabitants	Source
	Energy	Crops	Pasture	Total		
Berlin	0,12	0,28	0,91	1,31	3,4 mill	Schnauss 2006
Hamburg	0,12	0,72	0,60	1,44	1,8 mill	Jancke, 1999
London	-	-	-	2,80	7,5 mill	Best Foot Forward 2002
Rotterdam	-	-	-	1,66	3,5 mill	De Kleine Aarde 2001
	Local Hectares					
Rotterdam	-	-	-	0,71	3,5 mill	RIVM 2000
Rotterdam	-	-	-	0,5	3,5 mill	v. Ittersum 2010

Figuur 46 Ecologische voetafdrukanalyse van de productie van energie en gewassen in enkele steden, op basis van cijfers uit verschillende bronnen. Bron: Wascher en Kruit (2013).

Figuur 49 toont de resultaten van een ecologische voetafdrukanalyse uit het project voor enkele steden in Europa. De cirkels geven de grootte van de voetafdruk aan in landoppervlak. Steden als Berlijn en Londen hebben geen grootschalige landbouw in hun achterland, zoals Rotterdam met het Westland, en Milaan met de Povlakte (niet in de figuur).

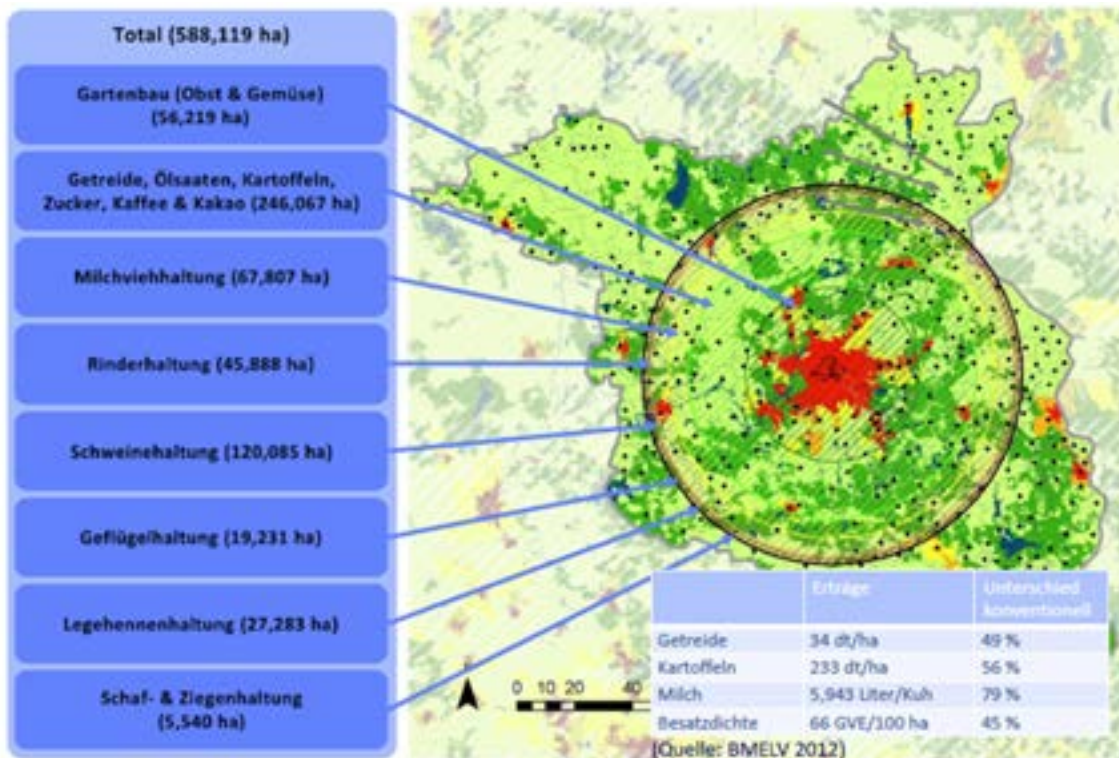


Figuur 47 Voetafdrukanalyse van enkele Europese steden in het FOODMETRES project. Bron: Wascher en Kruit (2013).



Figuur 48 Voedselkilometers voor Rotterdam in twee scenario's.

Figuur 50 toont het resultaat van een berekening van 'voedselkilometers' voor Rotterdam. De 'voedselkilometers' laten zien welk deel van een product kan worden geleverd door de regio, en welk deel moet worden geïmporteerd. De berekening van de voetafdruk gebeurt op basis van consumptiegegevens. Het voorbeeld voor Berlijn in Figuur 51 laat het benodigd landoppervlak zien voor de productie en consumptie in de stad van verschillende voedselproducten. Deze is het grootst voor aardappelen, suiker, koffie en cacao.



Figuur 49 Voetafdrukanalyse voor Berlijn voor verschillende voedselproducten. Bron: Wascher en Kruit (2013).

In de voetafdrukanalyses is de transportafstand echter niet het enige gebruikte criterium. Ook wordt gekeken naar gebruik van inputs zoals brandstoffen, materialen, en kunstmest.

Jeroen en Dirk noemen de EFSA Comprehensive European Food Consumption Database als een mogelijke bron voor analyses van de ecologische voetafdruk. Deze database bevat informatie over de consumptie van voedselproducten in de EU. De database wordt momenteel gebruikt voor analyses van voedselveiligheid, maar kan ook gebruikt worden voor voetafdrukanalyses, of voor het gebruik van nutriënten door de Europese bevolking.

Ideeën/aanbevelingen voor een methodiek om de ecologische voetafdruk te berekenen:

- Bekijk de mogelijkheid om de EFSA database te gebruiken voor het bepalen van een ecologische voetafdruk van voedselconsumptie in de EU.
- Er is behoefte aan recentere gegevens over voedselconsumptie in NL (echt waar? Heeft NL niet een heel goede statistische database? Red.).
- Behoeft aan het uitwisselen van kennis over het analyseren van voedselketens voor specifieke producten t.b.v. een voetafdrukanalyse.

9.7 Samenvatting van casussen

Kenmerken	In de casussen	Gebruikte methoden
Productie- of consumptiesystemen met veranderingen	Meer of minder watergebruik in geïrrigeerde landbouw (water footprint, Joop Kroes) Gebruik van tropische venen voor de productie van oliepalm en andere handelsgewassen (Henk W) Sojateelt en houtkap in gebied met tropisch bos (Eric A) Voedselproductie in en om grote steden (Jeroen K.)	Gegevens van land- en watergebruik Gegevens landareaal en waterbeheer Analyse van import- en exportdata Analyse consumptiegegevens steden
Verandering in ruimtebeslag	Uitbreiding geïrrigeerd gebied Uitbreiding areaal oliepalm Uitbreiding areaal sojateelt/houtkap	? Landgebruiksgegevens Landgebruiksgegevens, simulatie landgebruik (CLUE) Required area, voedselkilometers
Milieu-druk	Innovaties in voedselketens Wateronttrekking Landgebruik, broeikasgasemissies Landgebruik, broeikasgasemissies Alle bovengenoemde en visvangst	Water footprintanalyses Emissie uit maaiveld daling, hydrologische modellering Yield data, required area analyse ?
Milieu-effecten	Watertekort Klimaat, biodiversiteit & ecosysteemdiensten Biodiversiteit & ecosysteemdiensten Klimaat, watertekort	? Ecohydrologische modellen voor impact hydr regime op plantengemeenschappen Indicatoren van biodiversiteit, kosten-batenanalyses ?

* inclusief habitatconversie, vermessing, vervuiling, verdroging, fragmentatie, verstoring.

9.8 Referenties

- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M. and Galli, A. 2013. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators* 24 (2013) 518–533.
- Van Oorschot, M., Rood, T., Vixseboxse, E., Wilting, H. en Van der Esch, S. 2012. De Nederlandse voetafdruk op de wereld: hoe groot en hoe diep? Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Den Haag, 2012. ISBN: 978-94-91506-07-9, PBL-publicatienummer: 500411002, 61 pp.

Bijlage 1 Toepassing van het raamwerk op Alterra-studies

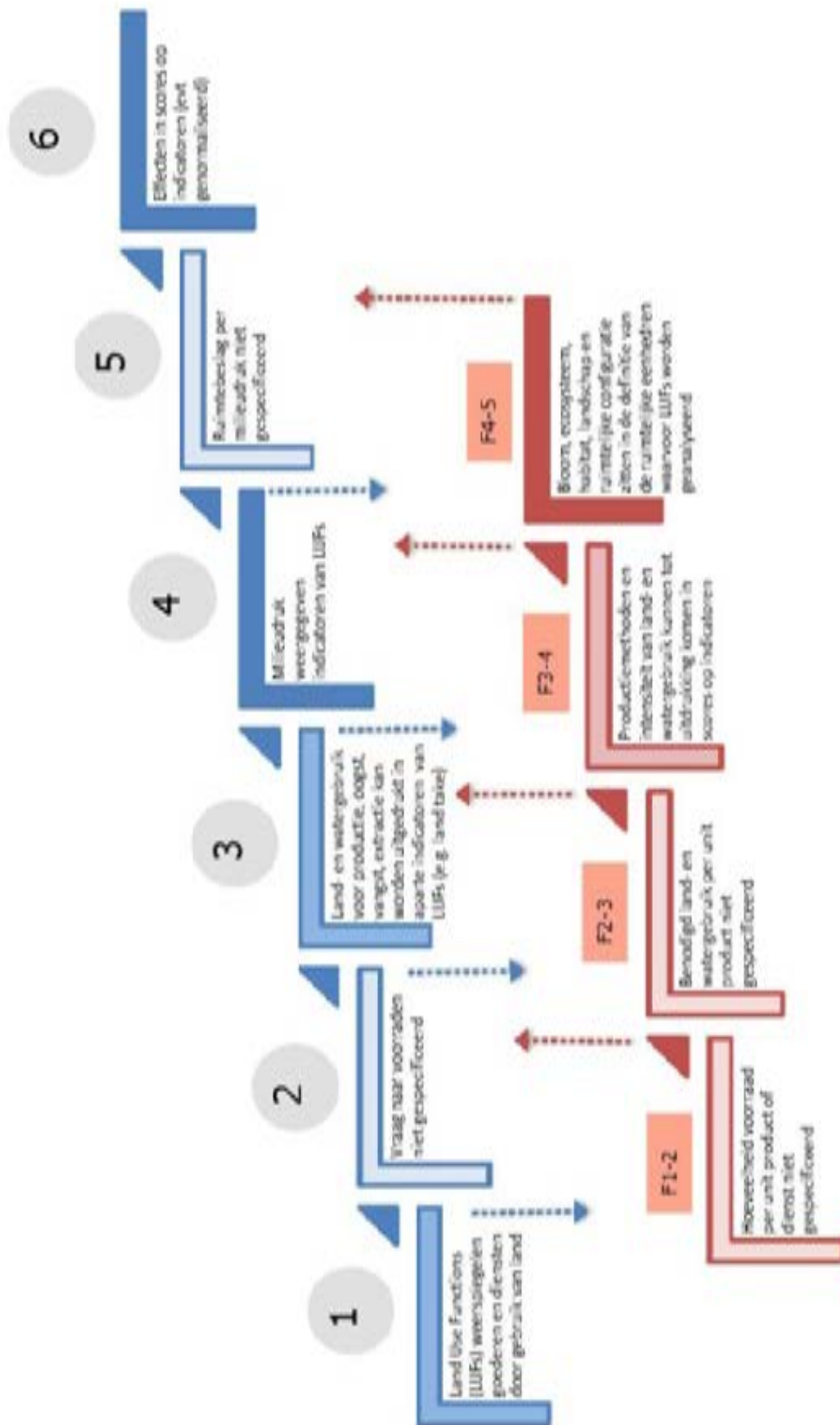
Casus 1: Land use Functions framework and ROBIN framework

Het **Land use functions framework** is een instrument om te bepalen hoe landgebruiksveranderingen duurzaamheid beïnvloeden (ten aanzien van economie, omgeving en sociale aspecten) met behulp van multi-criteria analyse. Het raamwerk is ontwikkeld voor Europese condities als onderdeel van het FP6 SENSOR project (2004-2009). Het werd verbeterd in het ESPON EU-LUPA project (2010-2012).

Land Use Functions (LUFs) zijn de goederen en diensten die gebruik van land biedt aan de maatschappij. Het raamwerk vertegenwoordigt de belangrijkste landgebruikstypen in Europa: landbouw en bosbouw als productiesectoren, natuurbeheer en ecotourisme als activiteiten van landconservering, en bebouwd gebied, transport, toerisme en energie-infrastructuur als activiteiten die land in beslag nemen.

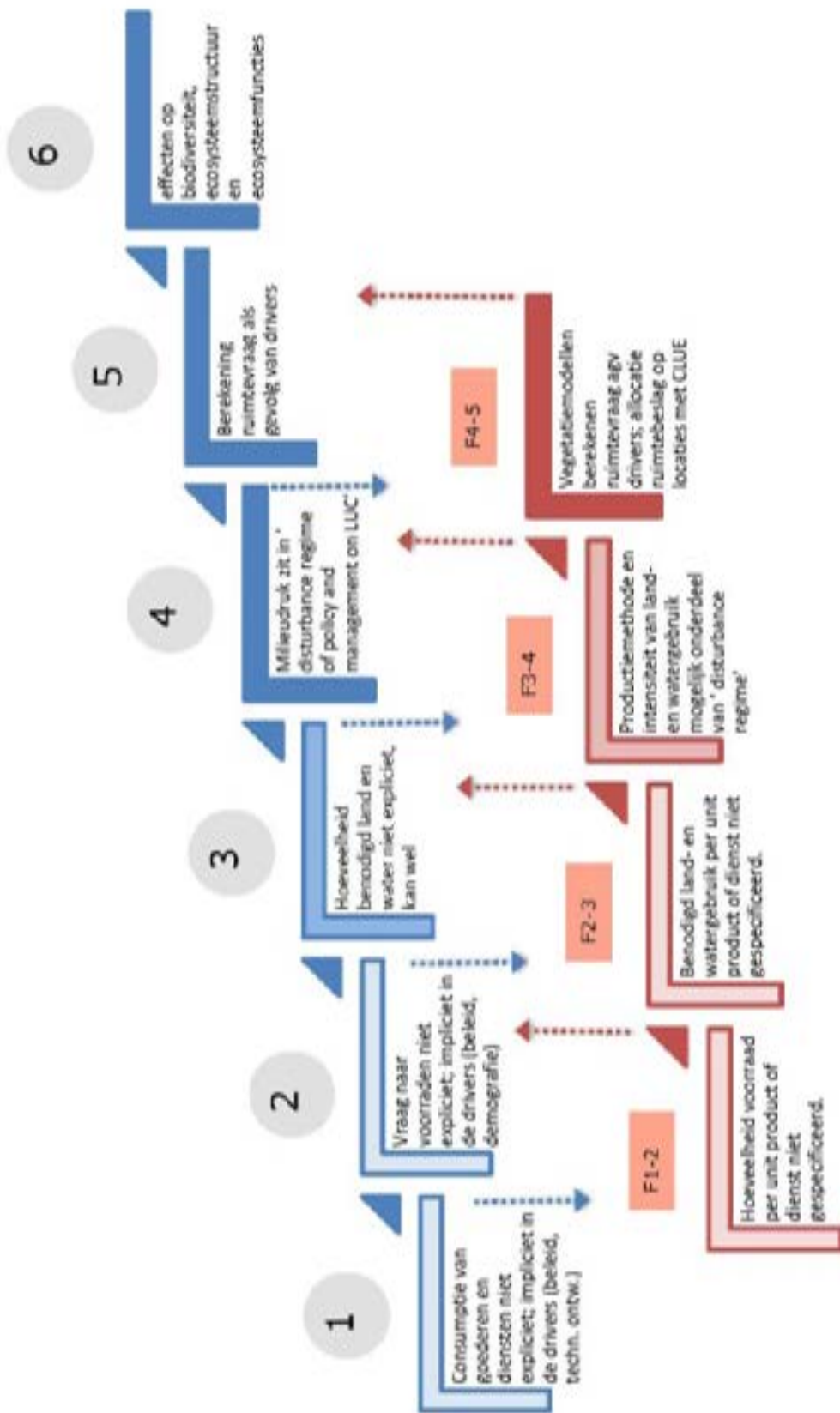
Het raamwerk werkt op verschillende ruimtelijke schaalniveaus (Europa, nationaal, NUTS2, regionaal). Land use functions beschouwen meer functionaliteit van de terrestrische omgeving dan ecosysteemdiensten, omdat ze ook sociale en economische diensten van het land omvatten, zoals het verschaffen van werk, en het bieden van een ondergrond voor gebouwen en infrastructuur.

Het raamwerk onderscheidt 6 Land Use Functions (LUFs), 3 in iedere dimensie van duurzaamheid. Iedere land use function wordt uitgedrukt in één of meer indicatoren. De prestaties van een land use functie op indicatoren kan verschillend zijn voor verschillende contexten waarin deze gemeten wordt (geografisch, omgeving, sociaal-economisch). De indicatoren kunnen tegelijkertijd een positief effect hebben op de ene functie (bv building op economic indicators), en een negatief effect op een andere indicator. Het raamwerk is flexibel; verschillende indicatoren kunnen worden gekozen voor land use functions.



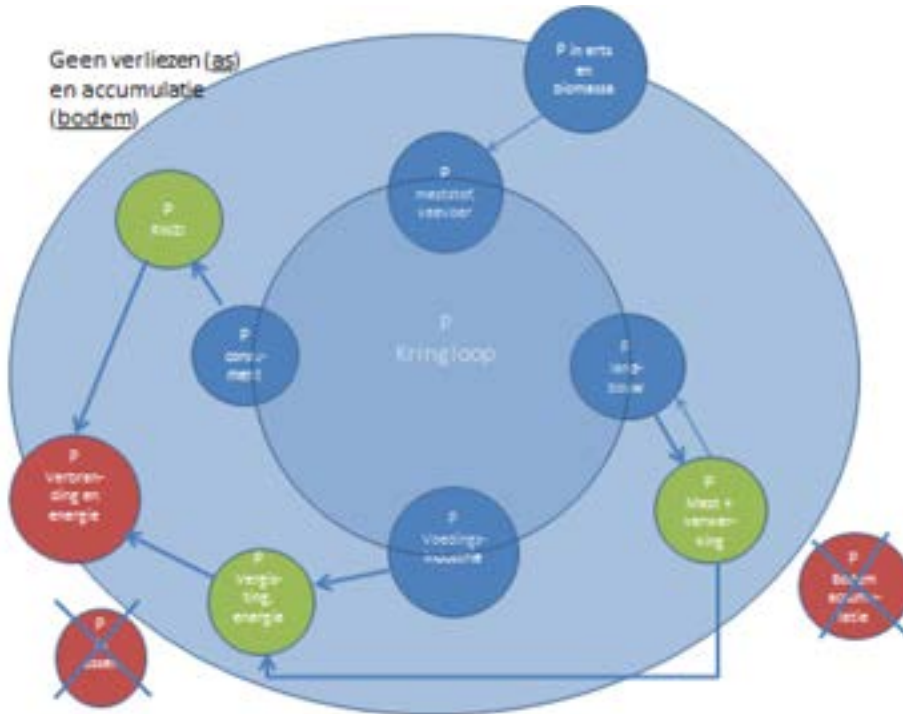
Casus 2: ROBIN framework

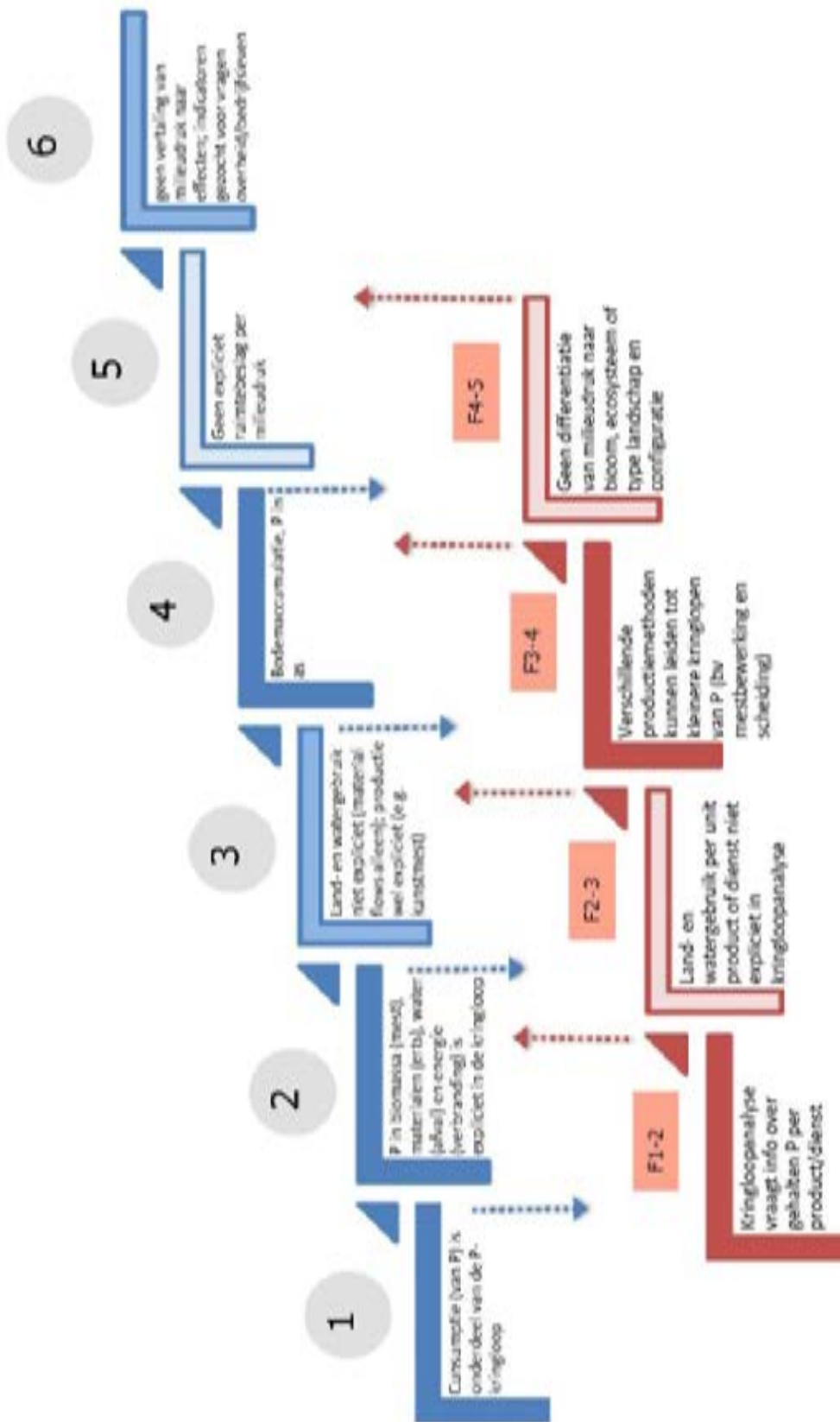
Met het ROBIN Framework kunnen effecten van drivers op globale, nationale en regionale schaal op het sociaal-economische en ecologische systeem geanalyseerd worden. De drivers zijn bijvoorbeeld demografische veranderingen, beleid, technologie of economische ontwikkeling. De analyse van effecten op het ecologische systeem loopt via een 'disturbance regime', dat bestaat uit veranderingen in klimaat of landgebruik. Hier zit een overeenkomst met de ecologische voetafdruk: effecten van veranderingen in landgebruik op het ecologisch systeem worden geanalyseerd op basis van veranderingen in biodiversiteit en in de structuren van ecosystemen. Deze veranderingen hebben weer invloed op ecosysteemdiensten (o.a. klimaatveranderingsmitigatie), en van daaruit op 'human outcomes' (e.g. welvaart en welzijn, inkomen, gezondheid) en maatschappelijk gedrag (e.g. governance, beheer).



Casus 3: Amsterdamse kringlopen in beeld

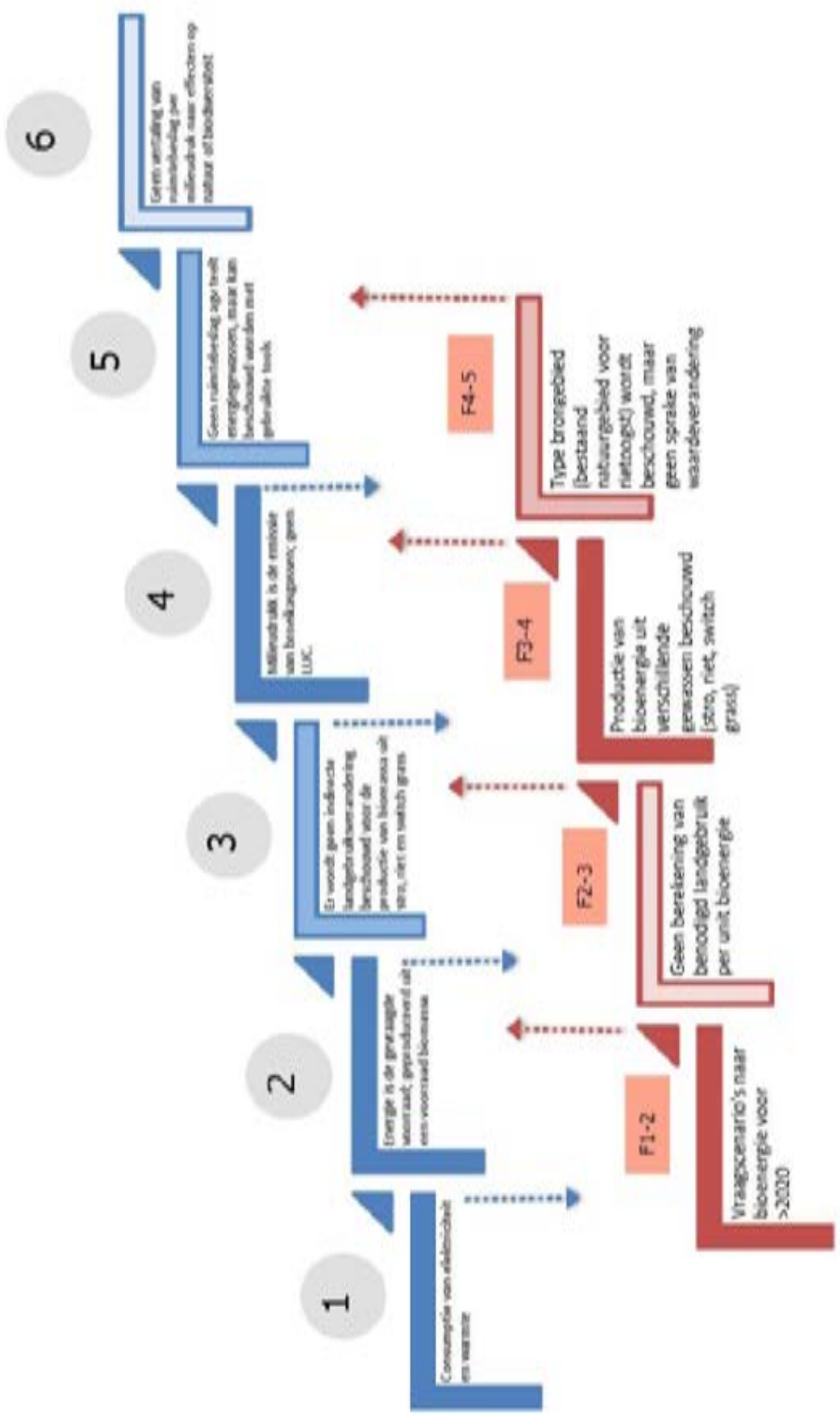
De P-kringloop bestaat uit verschillende gebruikers, verwerkers en eindbestemmingen van P, met daartussen stromen van input en output. Hierbij treden altijd verliezen op. Peter onderscheidt stromen van P van de landbouw naar mest en veevoer, verwerking na gebruik door de voedingsindustrie en consument, en verwijdering van P naar verbranding en assen. De uitdaging is de kringloop te sluiten, waarbij geen verliezen in as en via accumulatie in de bodem optreden.





Casus 6: Pellets for Power (Jan-Peter Lesschen)

In het Pellets voor Power project (AgentschapNL, programma Duurzame biomassa-import) worden de broeikasgasemissies van drie typen biomassa berekend, die geen indirecte landgebruiksveranderingen veroorzaken: stro, riet en switch grass. Riet komt uit natuurgebieden, maar zolang de oogst duurzaam plaatsvindt veroorzaakt die geen waardedaling van de natuurgebieden.



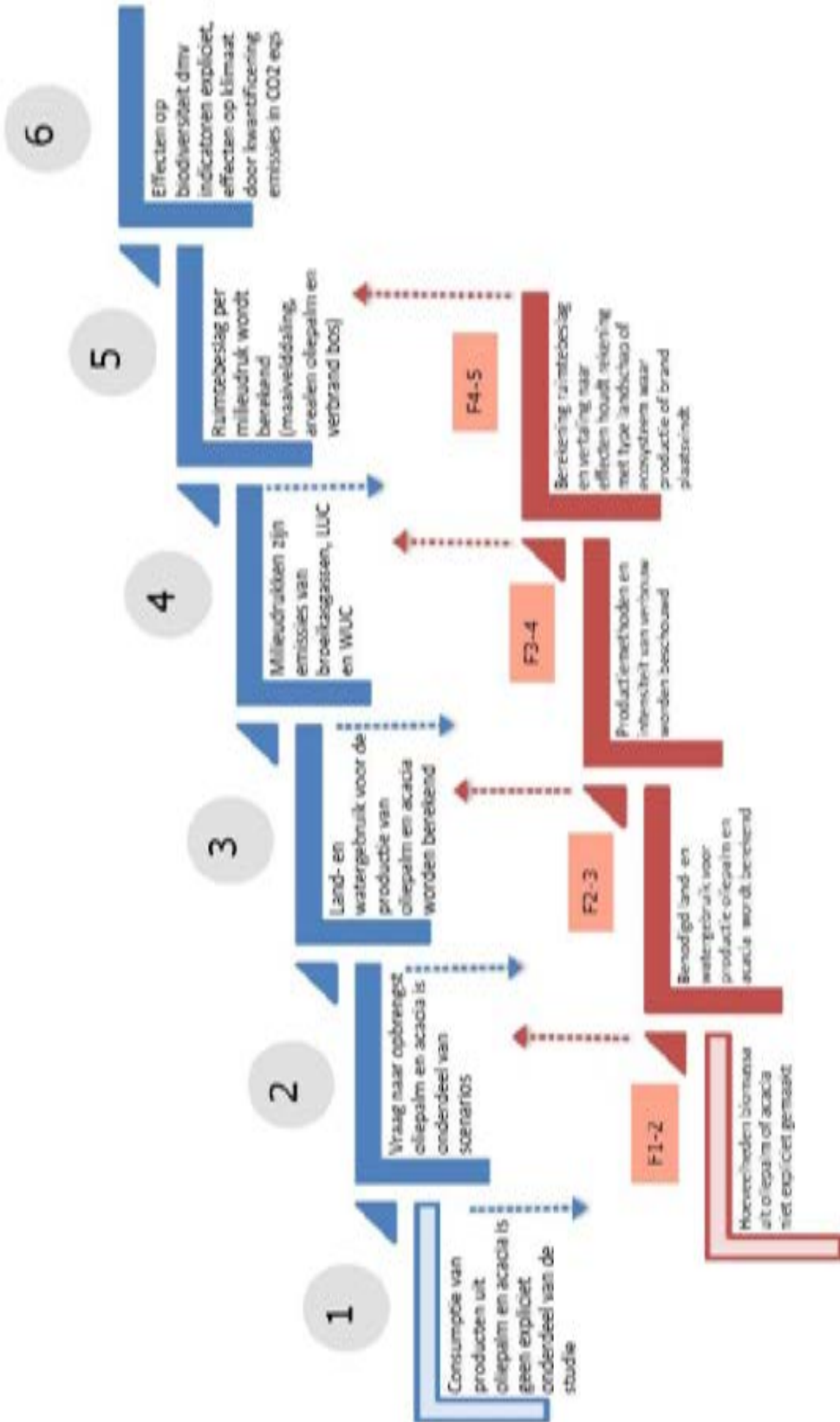
Casus 10: beheer tropische venen: gevolgen voor de verbouw van oliepalm en acacia op C-voorraad en biodiversiteit

Tropische venen zijn reservoirs van water, biodiversiteit en carbon. In deze ecosystemen treedt een verlies aan koolstof op door drainage voor het verbouwen van oliepalm of andere landbouwgewassen (acacia, voor papier en pulp, aloë vera, sago palm en groenten). Het gaat om grootschalige plantagelandbouw. 20 tot 25% van de oliepalmplantages in Zuidoost Azië bevinden zich op veengrond. De drainage van deze gronden leidt tot zakking, veenoxidatie en daarmee CO₂ uitstoot.

Oliepalm is een lucratief gewas, dat goed groeit op veen, in tegenstelling tot bijvoorbeeld rijst. In gebieden waar oliepalm op grote schaal geteeld wordt zoekt men naar nieuwe arealen. Op bestaande arealen wordt de productie ook wel geïntensiveerd, maar er worden veel ontgonnen. Meer dan 50% van de geplande plantages zijn op veengrond. Als gevolg van de drainage ontstaan er ook veenbranden, omdat venen vatbaar worden voor branden bij drainage.

Totale emissies als gevolg van drainage en branden worden geschat op resp. 0.63 en 1.37 Gt CO₂ per jaar. Samen komt dit overeen met ca 8% van de globale uitstoot als gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen. CO₂-emissies uit veengebieden in Zuidoost Azië (0.1% van het wereldwijde landoppervlak) komen overeen met 8% van de wereldwijde CO₂-emissies. Het grootste deel daarvan is afkomstig uit Indonesië.

In de studies van Alterra worden effecten van ruimtelijke scenarios van de verbouw van oliepalm en acacia onderzocht als functie van waterbeheer.



Bijlage 2 Feedback op het raamwerk van opdrachtgever en onderzoekers

Waarom een nieuw raamwerk maken?

Er zijn al veel studies gedaan en gepubliceerd in internationale wetenschapsfora naar raamwerken en rekenmethoden om ecologische of andere typen voetafdrukken te bepalen. Waarom zouden we een nieuw theoretisch raamwerk maken?

- Respons: doel is niet een nieuw theoretisch raamwerk te maken, maar een hulpmiddel of stappenplan om onderzoek naar de ecologische voetafdruk bij Alterra beter te structureren, te plannen en te begroten, doordat het inzicht geeft in de stappen die een volledige voetafdrukanalyse zou vragen. Al naar gelang de wens van de opdrachtgever kunnen modules uit het raamwerk geselecteerd worden voor een analyse op maat. Daarnaast is het raamwerk bedoeld om kennisdelen van methodieken en datasets en samenwerken tussen onderzoekers te bevorderen. Doordat het raamwerk inzicht geeft in de stappen, kan ook gericht gezocht worden naar geschikte datasets en instrumenten om de analyses in de verschillende vakken en filters te doen. Het kan behulpzaam zijn bij het maken van een overzicht van wat Alterra in huis heeft aan expertise, tools en gegevens.
- Daarnaast kan het raamwerk gebruikt worden voor het programmeren van nieuw onderzoek, bijvoorbeeld om voor KB-14 te schetsen welke componenten aandacht krijgen en welke nog niet (en aandacht behoeven).

Beschouw niet alleen consumptie, maar ook productie.

Bedrijven willen weten wat de impact van de productie van of investering in goederen is op een brongebied, en baseren daarop hun strategie. Voorbeelden zijn Unilever en de Rabobank.

- Respons: inderdaad moet productie worden toegevoegd in vak 1. Ook in het raamwerk voor de analyse van ecosysteemdiensten dat bij Alterra gebruikt wordt (De Groot *et al.* 2010) is sprake van een wisselwerking tussen het menselijke 'productie en consumptiesysteem' en ecosystemen.
- Anderzijds is consumptie het ultieme economische doel van productie. Dat geeft een behoefte (zit in vak 2: behoefte aan voorraden). Mensen hebben bijvoorbeeld behoefte aan eiwitten als voedsel. Dat kan een bepaalde consumptie geven, maar dat hoeft niet. Consumptie wordt ook bepaald door aanbod. In het jaar 1500 bijvoorbeeld waren er geen aardappels in Europa. Om die reden moet het raamwerk ook gebruikt kunnen worden om van effecten op aspecten van maatschappij en leefomgeving te kunnen terugrekenen naar wat dit zou vragen in termen van ruimtebeslag, land- en watergebruik en gebruik van voorraden. Hiermee kun je scenariostudies uitvoeren voor verschillende combinaties van consumptie en voorraden.

Maak effecten gelijkwaardig

De aspecten voor effecten in vak 6 zijn niet gelijkwaardig en overlappen elkaar. Ze moeten daarnaast duidelijker gestructureerd worden naar aspecten van de duurzaamheidspijlers 'people', 'profit', 'planet' en 'process'.

In vak 6 staan aspecten die niet van dezelfde orde zijn (bijvoorbeeld 'waterkwaliteit' en 'klimaat') of die elkaar overlappen ('ecosysteemdiensten' zijn een onderdeel van 'land use functions', 'biodiversiteit' is een onderdeel van 'ecosysteemdiensten'). Ga meer uit van PPP en/of maak het hiërarchisch (ESD als koepel en wat daar dan allemaal bij kan horen).

-
- Respons: dit commentaar wordt erkend. De aspecten van maatschappij en leefomgeving in vak 6 zullen worden aangepast tot een set gelijkwaardige aspecten die algemeen gebruikt worden voor analyses van effecten van productie en consumptie op maatschappij en leefomgeving, bijvoorbeeld de aspecten die zijn weergegeven in het 'Land Use Functions Framework', dat door Alterra en andere instellingen ontwikkeld werd in het EU-SENSOR project (o.a. Helming and Pérez-Soba, 2011; <http://www.ip-sensor.org/>). Behoud in ieder geval ecosystem services in vak 6. Dit onderwerp heeft de volle aandacht van de Europese en internationale politiek.

Teveel nadruk op ruimtebeslag in de analyse van productie/consumptie naar effecten.

Landgebruik is niet altijd relevant voor effecten van productie en consumptie.

In vak 4 is de milieudruk 'emissies' gefocussed op het idee dat landgebruiksveranderingen emissies geven van broeikasgassen. Maar de emissie van nutriënten wordt vooral gestuurd door het gebruik van nutriënten; ruimtegebruik speelt daarin geen rol. Het kanaliseren van de analyses in het raamwerk via ruimtebeslag beperkt de toepassingsmogelijkheden ervan.

Daarnaast zijn er nieuwe kijkrichtingen in dit soort studies, bijvoorbeeld via energie, en ruimtelijke Life Cycle Analyses. Als het ruimtebeslag 3 m² is voor een krop sla, wil men graag weten op welke plek. Het is voor Alterra kansrijk om in de toekomst meer te gaan doen met (ruimtelijke) LCA en footprints. Zet daarom gerust ook andere footprints in het schema (carbon, water, N en P). Wim is bereid mee te helpen het systeem te verbreden en er een algemeen raamwerk van te maken.

- Respons: deze beperking wordt onderkend. In samenwerking met Wim de Vries zal gezocht worden naar een manier om de schakel 'ruimtebeslag' in het raamwerk te vervangen door een schematisering die analyses van productie-consumptie mogelijk maakt op het gebruik en de verspreiding van nutriënten als voorraad.

De referentie-meeteenheid in termen van ruimtebeslag is beperkend

In vragen vanuit bedrijfsleven en politiek wordt vaak gevraagd naar effecten in andere eenheden dan in termen van m² ruimtebeslag, bijvoorbeeld in effecten (bijvoorbeeld economische waarde of milieueffecten) per liter melk (recente communicatie in de media van Aalt Dijkhuizen over de intensieve veehouderij in Nederland). Zorg dat het raamwerk ook andere referentie-meeteenheden kan gebruiken dan ruimtebeslag alleen.

- Respons: via informatie over opbrengst of intensiteit kunnen effecten ook per eenheid product worden weergegeven.

Raamwerk is te complex om gebruikt te worden in gesprek met klanten

Het raamwerk probeert heel complexe relaties tussen menselijk handelen t.b.v. productie en de leefomgeving te analyseren. De interacties tussen alle vakken en filters zijn complex, en de interne werking van het raamwerk wordt niet expliciet gemaakt. Het is te ingewikkeld om te gebruiken in gesprek met klanten.

- Respons: het raamwerk heeft niet de ambitie de complexe relaties en interacties tussen productie, voorraden, ruimtegebruik, milieudrukken en effecten expliciet te maken en te operationaliseren. Het is alleen bedoeld om inzicht te geven in de stappen die je zou kunnen doorlopen in een analyse, op

basis van onze kennis van hoe productie- en consumptiesystemen doorwerken naar maatschappij en leefomgeving.

- Daarnaast is het raamwerk niet bedoeld om samen met opdrachtgevers en klanten opdrachten te formuleren, maar juist om die opdrachtformulering intern goed te kunnen voorbereiden. Vaak nemen we opdrachten in deze richting aan, zonder te beseffen hoe complex het is. 'Na 60.000 euro nadenken' bijvoorbeeld komen we dan tot de conclusie dat we geen antwoord op de vraag kunnen geven. Het raamwerk biedt de mogelijkheid om in te schatten wat een voetafdrukanalyse inhoudt.

De grondgedachte achter het raamwerk is negatief: consumptie heeft een negatief effect op natuur.

Het zou constructiever zijn een positieve basisvraag te reflecteren in het raamwerk: 'How can you use natural capital in a way that is sustainable?'

- respons: nuttig commentaar. Een voetafdruk op de aarde door menselijk handelen is er zowiezo. De kunst is deze beneden grenzen te houden die de beschikbaarheid van natuurlijk kapitaal en voorraden waarborgen voor toekomstige generaties. De gestelde vraag kan met het raamwerk beantwoord worden. De voetafdruk van effecten (zowel omvang als diepte) kan voor verschillende alternatieven met elkaar vergeleken worden.

Spiegel aan wat andere onderzoeksinstellingen doen

Kijk ook naar studies buiten Alterra. Welke stappen worden doorlopen?

- Respons: dit is een nuttige stap. Een voorbeeld zouden studies voor het PBL kunnen zijn die andere instellingen uitvoeren.

Bijlage 3 Overzicht van activiteiten op het gebied van de Water Footprint in Nederland

Overview of Water Footprint related activities in The Netherlands

Joop Kroes, 30-aug-2013

The Water Footprint Network is a non-profit organization that has its base in The Netherlands. An active website is hosted and maintained by the University of Twente (www.waterfootprint.org). They support Water Footprints at spatial scales that range from global via regional to field scale. A general overview of their activities can be found at their website and in several publications (e.g. Mekonnen and Hoekstra, 2011). Several specific Water Footprints for The Netherlands were made, such as a study of coffee and tea consumption (Chapagain and Hoekstra, 2007), a Blue Water Footprint of agriculture, industry, households and water management (Hoekstra *Et al*, 2012) and a study of an external Water Footprint for the country as a whole (Van Oel *Et al*, 2009). A Water Foot Print assessment Tool is available on the website (www.waterfootprint.org/tool/home)

Several universities, institutes and companies are active in the domain of Water Footprints at different scale and with a different focus. Bindraban *et al.* (2010) dealt with efficiency issues related to crop production. Biemans *Et al* (2011) related water constrains to food production at a global scale. Ludwig *Et al* (2011) describe water use of oil crops in current and future situation. Wada *Et al* (2011) study trends in Blue Water stress at a global scale. A Ground Water Footprint at a global scale was made by Gleeson *Et al* (2012). A Grey Water Footprint as indicator of aquatic pollutions was applied to anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to more than 1000 major World Rivers using a global model (Liu *et al.* (2012).

Datasets are available to support modelling activities in the framework of Water Footprints. Datasets should have observations about water flows and crop information. Examples are given by Smelt *Et al* (2003) and Kroes and Supit (2011). Several studies focus on future changes of Water Footprints and analyse climate change impact on variables such as temperature, precipitation, CO₂. Several studies have been conducted that support these impact analyses. Wolf *Et al*, (2012) is an example of a study that describes these impacts. Haverkort *Et al* (2013) studied water use of potatoes under different climatic conditions. Jacobs and Van 't Klooster (2012) analysed water use and its efficiency in the Maghreb region.

The Netherlands also works on issues closely related to Water Footprints. Within the framework of several projects water use of crops and people is the central theme. Water and Global Changes has been quantified for current and future global water cycles (www.eu-watch.org). Water reuse & recycling in Latin America is the core of the Coroado project (www.coroado-project.eu). Enhanced water use efficiency to support the Green Economy is the core of an EU-India project (www.water4crops.org). Wesseling and Feddes (2006) give an overview of assessment of crop water productivity analyses at different spatial scales. Impact of CO₂ rise on evapotranspiration and soil moisture was analysed by Kruijt *Et al* (2008). Yield gap analyses that may support Water Footprint studies have been carried out by Van Ittersum and Cassman (2013) and Boogaard *Et al* (2013). Romaguera *Et al* (2010) studied potential use of remote sensing techniques for global assessment of water footprint of crops. Jefferies *Et al* (2012) compared the methods Life Cycle Assessment and Water Footprint. Rushforth *Et al* (2013) tried to generalize ecological, water and carbon footprints. Critical reviews of Water Footprints were given by Zoebli (2006) and more recent by Witmer and Cleij (2012).

References by country

Netherlands

- Biemans, H. 2011. Water constraints on future food production. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Bindraban, P. S., Jongschaap, R. E. E., & Keulen, H. van. (2010). Increasing the efficiency of water use in crop production. *Environment-Sonesson-02.indd*. Woodhead Publishing Limited, 2010.
- Boogaard, H., Wolf, J., Supit, I., Niemeyer, S., & van Ittersum, M. (2013). A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. *Field Crops Research*, 143, 130–142. doi:10.1016/j.fcr.2012.11.005
- Chapagain, A.K., and Hoekstra, A.Y. (2007) The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands, *Ecological Economics* 64(1): 109-118.
- Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M. F. P., & van Beek, L. P. H. (2012). Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature*, 488(7410), 197–200. doi: 10.1038/nature11295
- Haverkort, A. J., Franke, A. C., Engelbrecht, F. A., & Steyn, J. M. (2013). Climate Change and Potato Production in Contrasting South African Agro-ecosystems 1. Effects on Land and Water Use Efficiencies. *Potato Research*, 56(1), 31–50. doi:10.1007/s11540-013-9230-4
- Hoekstra, A.Y., Booij, M.J., Hunink, J.C. and Meijer, K.S. (2012) Blue water footprint of agriculture, industry, households and water management in the Netherlands: An exploration of using the Netherlands Hydrological Instrument, Value of Water Research Report Series No. 58, UNESCO-IHE.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Earthscan. ISBN: 978-1-84971-279-8 , 224 p
- Jacobs, C., & Klooster, K. van 't. (2012). *Water and agriculture in the Maghreb*. Report Retrieved from <http://edepot.wur.nl/262881>, Alterra, Wageningen UR.
- Jefferies, D., Muñoz, I., Hodges, J., King, V.J., Aldaya, M., Ercin, A.E., Milà i Canals, L. and Hoekstra, A.Y. (2012) Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption: Key learning points from pilot studies on tea and margarine, *Journal of Cleaner Production*, 33: 155-166
- Kroes, J. G., & Supit, I. (2011). Impact analysis of drought, water excess and salinity on grass production in The Netherlands using historical and future climate data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 370–381. doi:10.1016/j.agee.2011.09.008
- Kruijt, B., Witte, J.P.M., Jacobs, C.M.J., Kroon, T., 2008. Effects of rising atmospheric CO2 on evapotranspiration and soil moisture: a practical approach for The Netherlands. *J. Hydrol.* 349 (3–4), 257–267.
- Liu, C., Kroeze, C., Hoekstra, A. Y., & Gerbens-Leenes, W. (2012). Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers. *Ecological Indicators*, 18, 42–49. doi:10.1016/j.ecolind.2011.10.005
- Ludwig, F., Biemans, H., Jacobs, C., Supit, I., Diepen, K. van, & Fawell, J. (2011). *Water Use of Oil Crops : Current Water Use and Future Outlooks. ISLI report June 2011*. Brussels. Retrieved from www.ilsa.eu
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2011) National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series No.50, UNESCO-IHE.
- Romaguera, M., Hoekstra, A. Y., Su, Z., Krol, M. S., & Salama, M. S. (2010). Potential of Using Remote Sensing Techniques for Global Assessment of Water Footprint of Crops. *Remote Sensing*, 2(4), 1177–1196. doi:10.3390/rs2041177
- Rushforth, R. R., Adams, E. a., & Ruddell, B. L. (2013). Generalizing ecological, water and carbon footprint methods and their worldview assumptions using Embedded Resource Accounting. *Water Resources and Industry*, 1-2, 77–90. doi:10.1016/j.wri.2013.05.001
- Smelt, J. H., Hendriks, R. F. A., Pas, L. J. T. van der, Matser, A. M., Toorn, A. van den, Oostindie, K., Dijk-Hooijer, O. M. van, et al. (2003). *Transport of water, bromide ion, nutrients and the pesticides bentazone and imidacloprid in a cracking, tile drained clay soil at Andelst, The Netherlands, rapport 289*. Wageningen.

-
- Van Ittersum, M. K., & Cassman, K. G. (2013). Yield gap analysis—Rationale, methods and applications—Introduction to the Special Issue. *Field Crops Research*, 143, 1–3. doi: 10.1016/j.fcr.2012.12.012
- Van Oel, P. R., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2009). The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics*, 69(1), 82–92. doi:10.1016/j.ecolecon.2009.07.014
- Wada, Y., van Beek, L. P. H., & Bierkens, M. F. P. (2011). Modelling global water stress of the recent past: on the relative importance of trends in water demand and climate variability. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(12), 3785–3808. doi: 10.5194/hess-15-3785-2011
- Wesseling, J.G., Feddes, R.A., 2006. Assessing crop water productivity from field to regional scale. *Agricultural Water Management* 86, 30-39.
- Wolf, J., P. Reidsma, B. Schaap, M. Mandryk, A. Kanellopoulos, F. Ewert, P. van Oort, C. Angulo, C. Rumbaur, R. Lock, A. Enders, M. Adenauer, T. Heckeley, R. Rotter, S. Fronzek, T.R. Carter, A. Verhagen, M.K. van Ittersum, 2012. *Assessing the adaptive capacity of agriculture in the Netherlands to the impacts of climate change under different market and policy scenarios (AgriAdapt project)*. KvR report number KvR 059/12, The Netherlands, ISBN ISBN/EAN 978-90-8815-051-7. Available on: <http://www.climate-research-netherlands.nl/news/project-news/10798023/Synthesis-report-A19-Assessing-the-adaptive-capacity-of-agriculture-in-the-Netherlands>
- Witmer, M.C.H. and Cleij, P. (2012) Water footprint: Useful for sustainability policies? PBL Publication number: 500007001, PBL Environmental Assessment Agency, The Hague, the Netherlands.
- Zoeb, D. 2006. Is water productivity a useful concept in agricultural water management? *Agricultural Water Management* 84, 265-273

Referenties

- Alkemade, J.R.M., van Oorschot, M., Miles, L., Nellemann, C., Bakkenes, M. & ten Brink, B. (2009). GLOBI03: A framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss. *Ecosystems*, 12, 374-390.
- Benítez-López, A., R. Alkemade and P. A. Verweij. (2010). *The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis*. *Biological Conservation* 143:1307-1316.
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M. and Galli, A. 2013. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework. *Ecological Indicators* 24 (2013) 518–533.
- EEA, 2014. Environmental Indicator Report 2014 - Environmental Impacts of Production-Consumption Systems in Europe. 95 pp. <http://www.eea.europa.eu/highlights/production-and-consumption-systems-need>
- EC, 2011. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 'A resource-efficient Europe — Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy', COM(2011) 21 of 26 January 2011.
- EC, 2013. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council 'Building the single market for green products — Facilitating better information on the environmental performance of products and organisations', COM(2013) 196 final of 9 April 2013. Helming, K. and M. Pérez-Soba (2011). 'Landscape Scenarios and Multifunctionality: Making Land Use Impact Assessment Operational.' *Ecology and Society* 16(1 C7 - 50).
- Kamphuis, B., Arets, E.J.M.M., Verwer, C., van den Berg, J., van Berkum, S. & Harms, B. (2011). *Dutch trade and biodiversity. The biodiversity and socio-economic impacts of Dutch trade in soya, palm oil and timber*. LEI report 2011-013 and Alterra report 2155. LEI, Wageningen UR The Hague, The Netherlands. <http://edepot.wur.nl/165349>
- Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Sayre, R., Trabucco, A. & Zomer, R. (2013). A high-resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research and monitoring. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 630-638.
- Van den Bergh, J. en Grazi, F. 2013. Ecological Footprint Policy? Land Use as an Environmental Indicator. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 0, pp. 1-10.
- Van Oorschot, M., Rood, T., Vixseboxse, E., Wilting, H. en Van der Esch, S. 2012. De Nederlandse voetafdruk op de wereld: hoe groot en hoe diep? Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Den Haag, 2012. ISBN: 978-94-91506-07-9, PBL-publicatienummer: 500411002, 61 pp.
- Wackernagel, M., Onisto, L., Callejas Linares, A., López Falfán, I.S., Méndez García, J., Suárez Guerrero, A.I. and Suárez Guerrero, M.G. (1997). *Ecological Footprints of Nations: How Much Nature Do They Use? How Much Nature Do They Have?* Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. (Toronto: International Council for Local Environmental Initiatives)
- Witmer, M.C.H. en Cleij, P. 2012. Water Footprint: Useful for sustainability policies? PBL Note, PBL Publication Nr 500007001, 56 pp.
- Wösten, J.H.M. 2013. Ecological rehabilitation of Lac Bonaire by wise management of water and sediments. Wageningen, Alterra, Alterra Report 2448, 40 pp.

Websites over ecologische voetafdruk:

- <http://www.myfootprint.org/>
- <http://www.footprintnetwork.org/>
- <http://www.earthday.org/footprint-calculator>
- http://wwf.panda.org/how_you_can_help/live_green/footprint_calculator/
- <http://footprint-calculator.islandwood.org/>
- http://rprogress.org/ecological_footprint/about_ecological_footprint.htm
- <http://www.powerhousemuseum.com/online/bigfoot/>

<http://www.treehugger.com/culture/your-ecological-footprint-defining-calculating-and-reducing-your-environmental-footprint.html>
<http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/natuur-milieu/cijfers/extra/footprint.htm>
<http://www.waterfootprint.org/>
<http://www.nature.org/greenliving/carboncalculator/>
<http://www.milieubarometer.nl/co2meter>
<http://www.agri-footprint.com/>
<http://www.eu-footprint.org/>

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2554



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR 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.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2554

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR 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.

