



nutriënten management instituut nmi bv

maart 2007

rapport 1183



## Effecten van biomassaketens op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland

**Ontwikkeling en toepassing van  
een toetsingskader**

**M.C. Hanegraaf**

**S.W. Moolenaar**

**H.W. Elbersen**

**E. Annevelink**

nutriënten management instituut nmi bv

postbus 250

6700 ag wageningen

mariëndaal 8

6700 wn oosterbeek

tel. (0317) 46 77 00

fax (0317) 46 77 01

e-mail [nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)

internet [www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)





---

© 2007 Oosterbeek, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

#### Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

---

***Illustraties: Loet van Moll***

## **Verspreiding**

Technische commissie bodembescherming (TCB)

250 x



## **Voorwoord**

In opdracht van de Technische commissie bodembescherming (TCB) is een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke positieve en negatieve effecten van bio-energie op de bodemkwaliteit in Nederland. Dit rapport beschrijft het onderzoek en geeft de resultaten weer. Het is primair bedoeld als basismateriaal ten behoeve van de gedachtevorming binnen de TCB. De verwachting is dat de informatie in bredere kring relevant kan zijn, onder andere voor bodem- en milieukundigen en voor betrokkenen bij duurzame energieproductie.

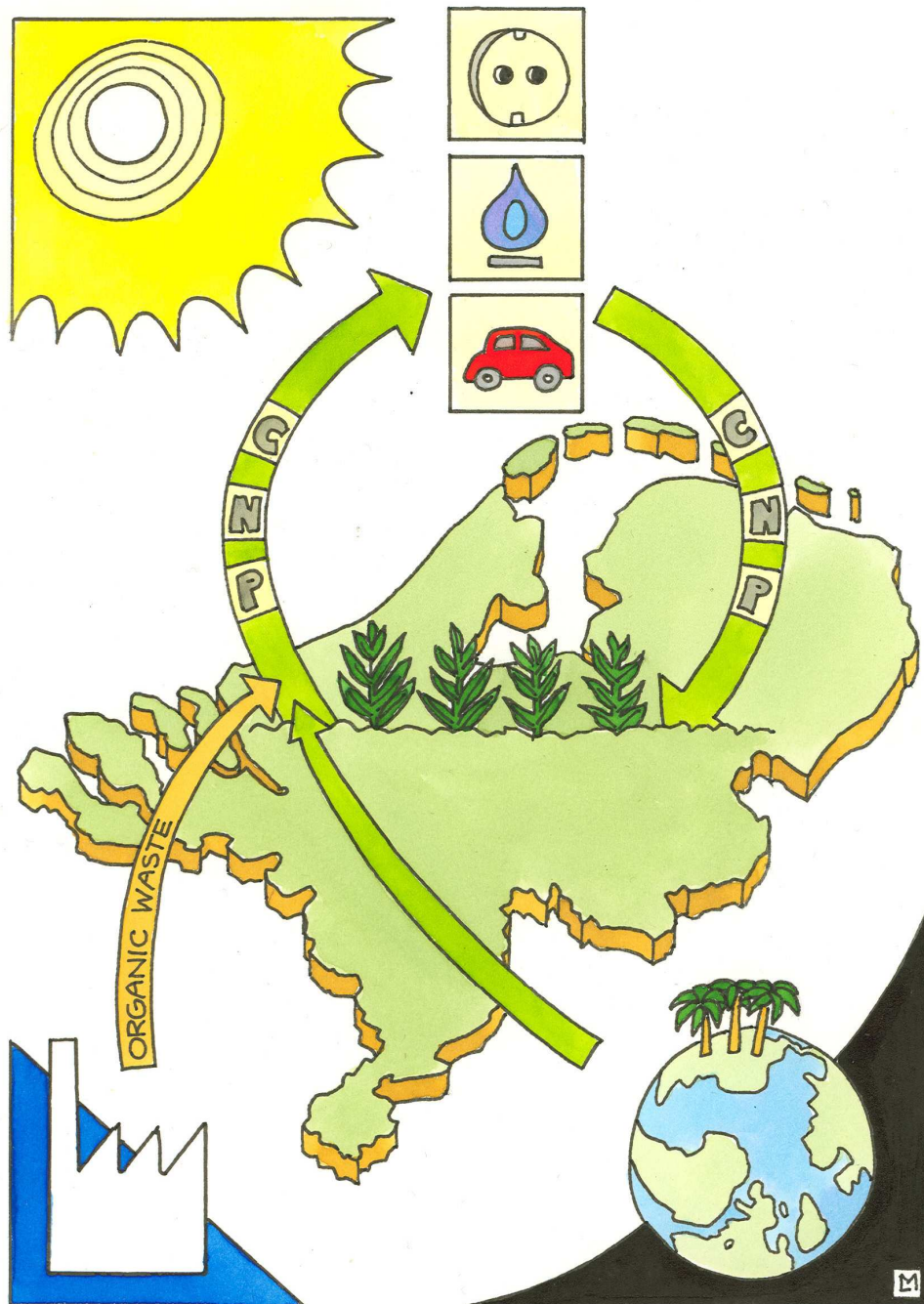
Het onderzoek werd vanuit de TCB op inspirerende wijze begeleid door Prof.dr. W. Verstraete, Prof.dr.ir. O. Oenema en Mw. dr.ir. A.E. Boekhold. De verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit rapport berust geheel bij de auteurs.

Marjoleine Hanegraaf  
projectleider



## Summary

The production of bioenergy in the Netherlands is stimulated by policies at both the national and European levels. But energy from biomass is not by definition sustainable. And despite serious global consequences for food production and biodiversity, for example, continuing growth in world bio-energy demand is inevitable. Amid fears that rising demand for biomass will put soils under increasing pressure and cause further degradation of poorly managed land, the Technical committee on soil protection (TCB) commissioned a research study into the potential positive and negative effects of bioenergy on land use and soil quality in the Netherlands.



**Core research question: Is the C-cycle a closed loop?**

The production of energy from biomass can follow a number of possible routes (electricity, heat and transport fuel) and use various organic feedstocks (energy crops, by-products and imported biomass). Study of the development of these supply chains and their biomass demands reveals that they largely reflect the technological potential and supply of biomass. The bioenergy sector is currently debating sustainability issues, but this includes little consideration of the soil. An assessment framework has been drawn up to appraise the effects of bioenergy on land use and soil quality in the Netherlands. It is based on a conceptual model of the 'sustainability of bioenergy' and a review of soil quality indicators (such as land use/landscape, biodiversity, organic matter, nutrient supply, mineral surpluses, soil structure, bioremediation and soil pollution). The illustration depicts the research questions as interpreted in this study.

A subsequent appraisal focused on the organic matter balance at the field and regional levels. Use of the assessment framework is illustrated for the 'green electricity' and 'transport biofuels' chains, with a qualitative evaluation for the indicators organic matter, minerals and land use. From the first appraisal made using the assessment framework we conclude that bioenergy offers **opportunities** for maintaining good soil quality (closed C cycle), if this is obtained from the anaerobic digestion of biomass or from crops cultivated for second generation transport biofuels. To obtain these benefits, anaerobic digestion must be organised in a decentralised, land-based system and the digestate must be optimally used to compensate for the degradation of organic matter. A condition for crops grown for second generation technologies is that the remaining organic matter (root system of perennial crops; cereal straw) is used to compensate for the breakdown of organic matter in the soil.

We also see a number of **threats**. The use of digestate as a soil improver (addition of organic matter) is at odds with the statutory requirement to register it as a animal manure. This could lead to insufficient application of organic matter and impoverishment of the soil. At the same time there is a real risk of rising nutrient surpluses, which could lead to serious eutrophication in the absence of statutory regulation. We conclude that the cultivation of energy crops for first generation transport biofuels does not have a closed carbon cycle and will eventually lead to impoverishment of the soil. The cultivation of cereals for second generation technologies presents a threat to soil organic matter content if insufficient straw is left on the land. It is recommended that bottlenecks in the use of digestate are resolved, both in relation to agricultural practice and policy development. Final recommendation is that a good monitoring system for organic matter content and supply is established to safeguard good soil quality as part of sustainable bioenergy production.



## Inhoud

Voorwoord

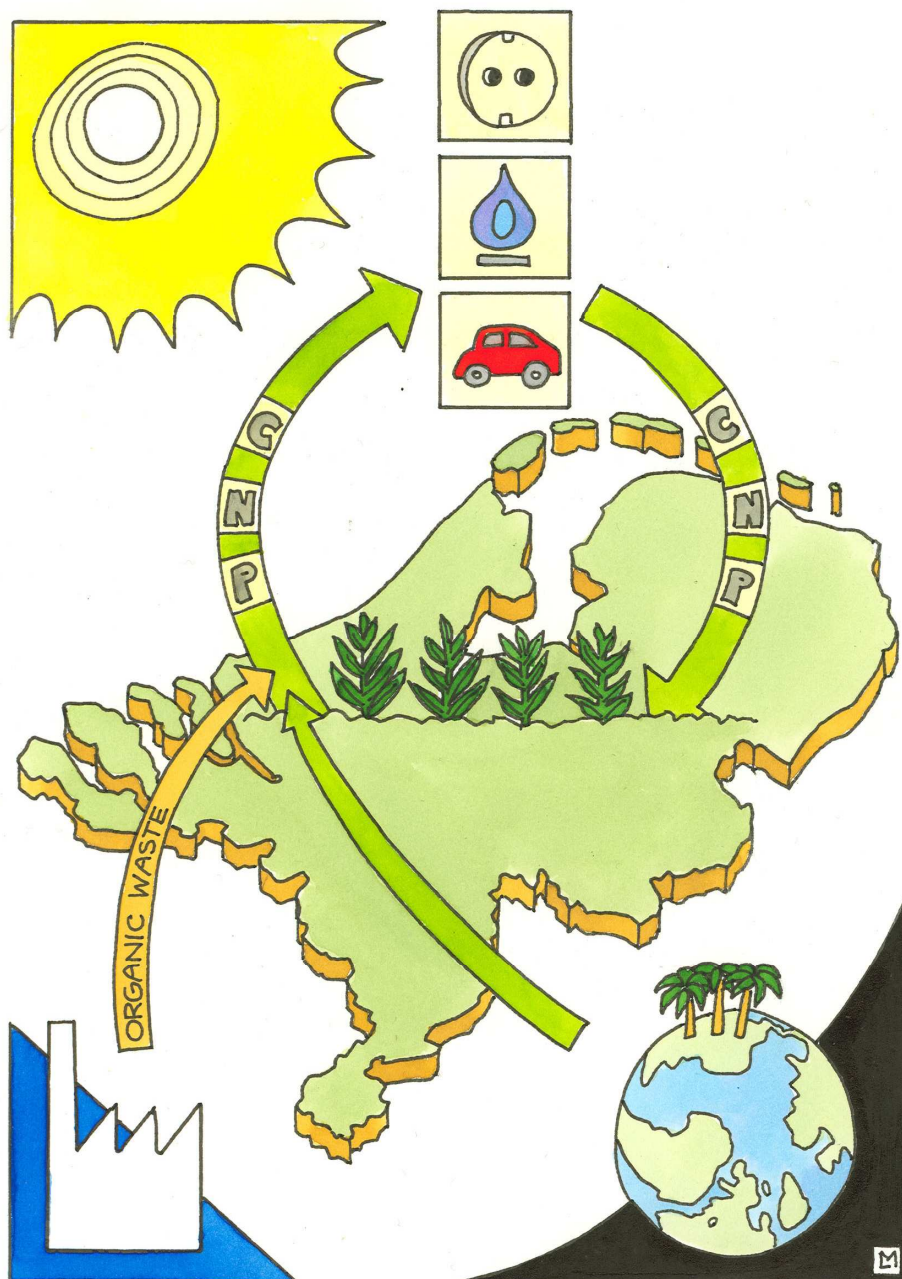
Summary

Samenvatting	3
1	Inleiding 5
1.1	Toenemende productie van bio-energie 5
1.2	Duurzaamheidsvraag 5
1.3	Doel- en vraagstelling van dit onderzoek 6
1.4	Werkwijze 6
2	Bio-energie-ontwikkelingen in Nederland 8
2.1	Overheidsdoelstellingen biomassa 8
2.2	Biomassaketens 8
2.2.1	Algemeen 8
2.2.2	Biomassabronnen 9
2.2.3	Geteelde biomassa 9
2.2.4	Primaire bijproducten 10
2.2.5	Secundaire (en tertiaire) bijproducten 10
2.2.6	Import 10
2.2.7	Conversiesystemen 11
2.3	Biomassavraag 12
2.3.1	Groene elektriciteit 12
2.3.2	Biobrandstoffen 13
2.3.3	Teelt van energiegewassen 13
2.4	Scenario's voor de toekomstige ontwikkeling 14
2.4.1	Beschrijving van de scenario's 15
3	Ontwikkeling van een toetsingskader 'Effecten van bio-energie op bodemkwaliteit' 17
3.1	Denkmodel 'Duurzaamheid bio-energie' 17
3.2	Raakvlakken bio-energie en bodemkwaliteit 19
3.2.1	Indicatoren voor landgebruik bodemkwaliteit 19
3.2.2	Bodemaspecten van bio-energieketens 20
3.3	De onderzoeksvraag gepreciseerd: Is de C-kringloop gesloten? 21
3.4	Toetsingskader 23
4	Toepassing van het toetsingskader 25
4.1	Case 1: Groene elektriciteit 25
4.1.1	Procesbeschrijving en afbakening van de keten 25
4.1.2	Impact op landgebruik en bodemkwaliteit 25
4.1.3	Analyse met het denkmodel 26
4.2	Case 2: Biotransportbrandstoffen 28
4.2.1	Procesbeschrijving en afbakening van de keten 28
4.2.2	Impact op landgebruik en bodemkwaliteit 28
4.2.3	Analyse met het denkmodel 29

4.3	Discussie	31
4.3.1	Ontwikkeling van bio-energie	31
4.3.2	Effecten bio-energie op landgebruik en bodemkwaliteit	31
4.3.3	Kansen	32
4.3.4	Bedreigingen	33
5	Conclusies en aanbevelingen	37
6	Literatuur	39
Bijlagen		
Bijlage 1	Biomassavraag	41
Bijlage 2	Doelstelling biotransportbrandstoffen	42
Bijlage 3	Benodigde gegevens	43
Bijlage 4a	Beoordelingssystematiek: biomassaketens beoordelen op bodemkwaliteitsaspecten	44
Bijlage 4b	Bodemkwaliteitsindicatoren	50
Bijlage 4c	DPSIR	54
Bijlage 4d	Literatuur van bijlagen 4a-c	56

## Samenvatting

Zowel in Nederland als in Europa zijn beleidsdoelstellingen geformuleerd om de productie van bio-energie te stimuleren. Energie uit biomassa is niet per definitie duurzaam. Ondanks serieuze mondiale consequenties voor bijvoorbeeld de voedselproductie en voor de biodiversiteit lijkt een toenemende bio-energievraag op wereldschaalniveau onafwendbaar. De vrees bestaat dat de stijgende vraag naar biomassa voor bio-energie leidt tot extra druk op de bodem en daarmee tot een achteruitgang van de bodemkwaliteit bij onzorgvuldig beheer. De Technische commissie bodembescherming heeft daarom een studie laten uitvoeren naar de mogelijke positieve en negatieve effecten van bio-energie op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland.



**Centrale onderzoeksvraag: is de C-kringloop gesloten?**

Voor de productie van energie uit biomassa is een aantal hoofdroutes beschikbaar (elektriciteit, warmte en transportbrandstoffen). Bovendien kunnen verschillende organische stofbronnen (energiegewassen, bijproducten en geïmporteerde biomassa) worden gebruikt. Uit een beschrijving van de ontwikkeling van de ketens en de bijbehorende biomassavraag blijkt dat die ontwikkeling vooral bepaald wordt door de technologische mogelijkheden en het aanbod van biomassa. In de bio-energiesector is een duurzaamheidsdiscussie gaande, die aan het thema 'bodem' beperkt aandacht besteedt. Een toetsingskader is opgesteld om de effecten van bio-energie op landgebruik en bodemkwaliteit te beoordelen. Basis voor het toetsingskader zijn een denkmodel 'duurzaamheid bio-energie' en een overzicht van bruikbare indicatoren voor bodemkwaliteit (zoals landgebruik/landschap, biodiversiteit, organische stof, nutriëntenvoorziening, mineralenoverschot, bodemstructuur, bioremediatie en bodemverontreiniging). De illustratie brengt de onderzoeksvraag in beeld zoals die in deze studie is opgevat.

In deze studie is de onderzoeksvraag uitgewerkt als organische stofbalans op perceels- en regionaal schaalniveau. Het gebruik van het toetsingskader is geïllustreerd voor de ketens 'groene elektriciteit' en 'biotransportbrandstoffen'. Daarbij is een kwalitatieve beschouwing gegeven voor de indicatoren organische stof, mineralen en landgebruik. Uit deze eerste uitwerking van het toetsingskader is geconcludeerd dat bio-energie **kansen** biedt op een goede bodemkwaliteit bij vergisting van biomassa en bij de teelt van biotransportbrandstoffen voor 2<sup>e</sup> generatie technologie. Voorwaarden bij de vergisting zijn dat het een decentraal, grondgebonden systeem betreft en dat het digestaat optimaal kan worden benut om de afbraak van organische stof mee te compenseren. Voorwaarde bij de teelt voor 2<sup>e</sup> generatie technologie is dat de achterblijvende organische stof (wortelstelsel meerjarige teelten; stro van granen) de afbraak compenseert. Voorts is geconcludeerd dat een aantal **bedreigingen** bestaat. Zo is er sprake van een spanning tussen het gebruik van digestaat als bodemverbeteraar (aanvoer van organische stof) en het wettelijk verplichte gebruik als meststof. Dit kan ertoe leiden dat er te weinig organische stof mag worden aangevoerd en dat de grond verschraalt. Tegelijkertijd is er een concreet risico op een toename van het mineralenoverschot dat zonder wettelijk kader zou leiden tot verdergaande vermesting. Voor de teelt van energiegewassen voor de 1<sup>e</sup> generatie technologie biotransportbrandstoffen wordt geconcludeerd dat de C-kringloop niet gesloten is. Dat leidt op termijn tot verschraling van de grond. De teelt van granen voor de 2<sup>e</sup> generatie technologie vormt een bedreiging voor organische stof-opbouw indien onvoldoende stro achterblijft.

Het is gewenst om de beleidsmatige en landbouwkundige knelpunten rondom het gebruik van digestaat op te lossen. Aanbeveling is gedaan voor de implementatie van een monitoringsysteem voor organische stof om een goede bodemkwaliteit als onderdeel van duurzame bio-energieproductie te waarborgen.

## 1 Inleiding

### 1.1 *Toenemende productie van bio-energie*

Energie uit biomassa ('bio-energie') is belangrijk om het versterkte broeikaseffect tegen te gaan. Het gebruik van bio-energie vermindert de uitstoot van broeikasgassen. Het gaat tegelijkertijd de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen tegen. Ook biedt bio-energie werkgelegenheid. De productie en verwerking van biomassa kan bijdragen aan een verbeterde economische positie van landbouwbedrijven. Vanwege deze voordelen zijn in Nederland en Europa doelstellingen geformuleerd die moeten leiden tot een versnelde groei van de productie van bio-energie.

Voor de productie van energie uit biomassa is een aantal technologische hoofdroutes beschikbaar (elektriciteit, warmte en transportbrandstoffen). Er kunnen verschillende organische stofbronnen worden gebruikt. In Nederland breiden de ketens vergisting en productie van biotransportbrandstoffen zich momenteel snel uit. Hierbij wordt biomassa verwerkt die afkomstig is uit de landbouw (energiegewassen, zoals energiemaïs, suikerbiet, koolzaad en mest), de bosbouw (dunningshout, snoeiafval) en de verwerkende industrie (restproducten). Import van biomassa vindt vooral plaats in de vorm van bijproducten, maar de import van commodities (specifiek geteelde biomassa) neemt snel toe.

### 1.2 *Duurzaamheidsvraag*

Energie uit biomassa is niet per definitie duurzaam. Keerzijde van de bio-energieproductie is het beslag dat wordt gelegd op de beschikbare landbouwgrond en de natuurlijke biomassa. In Brazilië bijvoorbeeld concurreert de teelt van energiegewassen, zoals suikerriet, met de teelt van voedselgewassen. Het kappen van het tropisch regenwoud voor energieplantages, zoals de palmolieplantages in Indonesië, haalde in 2006 meermalen de publiciteit. De ontwikkeling van bio-energie zou de noodzaak tot energiebesparing in de geïndustrialiseerde landen kunnen beperken. Volgens Rabbinge (2005) is er sprake van een moreel/ethisch dilemma, waarbij voedselproductie voor het groeiende aantal armen wordt verdrongen door de vraag naar duurzame energie van de rijken. Ook de biodiversiteit lijdt onder de toenemende vraag naar biomassa, bijvoorbeeld door het kappen van het tropisch regenwoud ten behoeve van de aanplant van palmolieplantages.

Onlangs deze serieuze mondiale consequenties lijkt een toenemende productie van bio-energie op wereldschaalniveau onafwendbaar. Het gaat niet meer om de vraag of de ontwikkeling van bio-energie moet worden gestimuleerd, maar om de vraag hoe de eventuele milieubelasting kan worden verminderd (EEA, 2006; Van den Berg, 2006). Reijnders (2006) stelt dat forse inspanningen vereist zijn om aan milieurandvoorwaarden (bodem, nutriënten, water) te voldoen. Een discussie die hier in Nederland doorheen speelt is of de nadruk moet liggen op de productie van elektriciteit en warmte of op die van biotransportbrandstoffen. Volgens Lettinga (2006) wordt door beleidsmakende instanties prioriteit gegeven aan de productie van vloeibare brandstoffen uit biomassa ten behoeve van de noodzakelijk geachte mobiliteit. Zij staat regionale zelfvoorziening van elektriciteit en warmte in de weg. In zijn brief aan de Tweede Kamer (2006) stelt minister Veerman van LNV dat de spanning (op wereldschaal) tussen energie- en voedselproductie kan worden opgelost door te concentreren op 2<sup>e</sup> generatie in plaats van 1<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen.

De vrees bestaat dat de stijgende vraag naar biomassa voor bio-energie in Nederland, Europa en op wereldschaal leidt tot extra druk op de grond en daarmee tot een achteruitgang van de bodemkwaliteit bij onzorgvuldig beheer. Vanuit het Europees en Nederlands bodembeleid (Tweede Kamer, 2003) is het gewenst om zicht te krijgen op mogelijke veranderingen in de bodemkwaliteit en op mogelijkheden om deze door een duurzaam beheer van de bodem in stand te houden en/of te verbeteren. Aan de andere kant biedt de productie van bio-energie ook kansen voor de landbouw. Het kan een inkomstenbron worden buiten de klassieke landbouwproductiefunctie om, wanneer premies in het kader van het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid (GLB) worden gekoppeld aan een maatschappelijk gefundeerde systematiek, zoals een beter milieu, het onderhoud van het landschap en de leefbaarheid van het platteland (Kiezen voor Landbouw, 2005).

### **1.3 Doel- en vraagstelling van dit onderzoek**

Vanuit haar taakstelling om te adviseren over bodembescherming in Nederland en gegeven de toenemende vraag naar biomassa, beraadt de TCB zich met de voorliggende studie op de vraag wat de effecten zijn van bio-energie op de bodemkwaliteit en het bodemgebruik in Nederland. Achtergrond van deze vraag is of aanpassing gewenst is van het landbouw- en/of milieubeleid om negatieve effecten in Nederland tegen te gaan en om positieve effecten optimaal te kunnen benutten. Juist omdat de invulling van de bio-energievraag belangrijk lijkt te zijn voor eventuele effecten op bodemkwaliteit en landgebruik, is het relevant om het thema 'bodem' mee te nemen bij de verdere ontwikkeling van bio-energieketens.

#### Vraagstelling

Doel van het onderzoek is het beantwoorden van de vraag:

*“Wat betekent de ontwikkeling van bio-energie als vervanger van fossiele brandstoffen voor de bodemkwaliteit en het ruimtebeslag?”*

Het gaat daarbij om zowel positieve als negatieve gevolgen van het toenemende gebruik van bio-energieketens op de bodemkwaliteit, inclusief eventuele risico's van afwenteling. De TCB wil het veld in kaart brengen met een inhoudelijk rapport waarin de relevante aspecten worden geïnventariseerd.

De focus ligt op de bodemkwaliteit en ruimtebeslag in Nederland.

### **1.4 Werkwijze**

De vraagstelling kan op verschillende manieren worden uitgewerkt. Gekozen is om de algemene doelstelling te vertalen in de volgende onderzoeksvragen:

1. Hoe zien biomassascenario's voor Nederland er uit? Welke ontwikkeling wordt verwacht tot 2010? Hoe ziet de ontwikkeling na 2010 er globaal uit?
2. Met welke systematiek kunnen de effecten van biomassascenario's op bodemkwaliteit en gezondheid worden geschat?
3. Welke positieve en negatieve effecten op de bodemkwaliteit kunnen worden verwacht van de ontwikkelingen van biomassaketens in de komende tien jaar?

In overleg met de begeleidingscommissie is de derde onderzoeksvraag beantwoord voor de ketens co-vergisting en biotransportbrandstoffen. Hierbij is organische stof gekozen als de te toetsen indicator van bodemkwaliteit.

In Hoofdstuk 2 wordt de productie van energie uit biomassa kort beschreven en wordt de ontwikkeling in Nederland geschetst. Vervolgens worden in Hoofdstuk 3 de raakvlakken tussen bio-energie, bodemkwaliteit en ruimtebeslag benoemd en wordt een toetsingskader opgesteld om de effecten van de ontwikkeling van biomassaketens op de bodem te kunnen benoemen en beoordelen. In Hoofdstuk 4 wordt het gebruik van het toetsingskader geïllustreerd aan de hand van de twee cases voor co-vergisting en biotransportbrandstoffen, gevolgd door een algemene discussie. Tot slot worden in Hoofdstuk 5 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

## 2 Bio-energie ontwikkelingen in Nederland

In dit hoofdstuk worden allereerst de overheidsdoelstellingen op het gebied van biomassa op een rij gezet. Vervolgens worden de meest waarschijnlijke biomassaketens beschreven en wordt de orde van grootte van de biomassavraag geschetst.

### 2.1 Overheidsdoelstellingen biomassa

De Europese en Nederlandse overheden hebben verschillende doelstellingen voor duurzame energie uit biomassa gesteld. Allereerst is er een doelstelling van 5% duurzame energie in 2010 (tussendoelstelling in de Derde Energienota). Daaraan zal, volgens het Actieplan Biomassa, bio-energie 75-87 PJ kunnen bijdragen. In 2020 moet 10% van de energie duurzaam geproduceerd zijn, waarbij bio-energie 42% van de totale doelstelling zal realiseren. Op het gebied van transportbrandstoffen is er binnen de EU besloten dat in 2010 5,75% (op energiebasis) van de benzine en diesel, die in de lidstaten op de markt wordt gebracht, uit biobrandstoffen moet bestaan (2003/30/EC). De Nederlandse overheid heeft in 2005 besloten om hieraan invulling te geven door vanaf 2007 2% biobrandstof bijmenging verplicht te stellen. Dit aandeel wordt jaarlijks verhoogd om de doelstelling van 5,75% in 2010 te halen. Tevens bestaat het voorstel het aandeel biobrandstoffen daarna te laten groeien tot 8% in 2015. Het Platform Groene Grondstoffen (2006) heeft de lange termijn ambitie geformuleerd om in 2030 30% van de fossiele grondstoffen in Nederland te vervangen door biomassa.

De genoemde beleidsdoelstellingen kunnen op verschillende manieren worden gerealiseerd. Uit een scenarioanalyse van het Milieu Natuur Planbureau (NMP) blijkt dat er bij elk scenario sprake is van een gelijkblijvende of zelfs groeiende afhankelijkheid van energie-import in de EU. Nederland heeft een beperkt landbouwareaal en een begrensde hoeveelheid bijproducten. Dat betekent dat zeker 60-80% van de benodigde groene grondstoffen geïmporteerd moet worden (Rabou et al., 2006). De productie van grondstoffen voor bio-energie biedt kansen voor ontwikkelingslanden. Nederlandse ondersteuning van een duurzame ontwikkeling van bio-energieproductie in die landen zou bezwaren tegen de import deels kunnen wegnemen.

De ontwikkeling van de omvang van biomassaketens in Nederland is tot 2010 redelijk goed aan te geven, omdat de biomassa conversietechnologieën en bijbehorende biomassa aanvoerketens grotendeels bekend zijn. Ook zijn de stimulerende maatregelen uit de EU Biofuels Directive tot 2010 duidelijk (EU, 2003). Voor de periode na 2010 is de ontwikkeling moeilijker te schetsen, omdat de marktomstandigheden (olieprijs, biomassahandel, etc.) en eventuele stimulerende maatregelen moeilijk exact zijn te voorspellen. Duidelijk is wel dat het aantal mogelijke biomassaketens fors toeneemt. Dit betekent dat het juist ook voor de periode ná 2010 van belang is om de mogelijke effecten van de ketens op de bodemkwaliteit te evalueren.

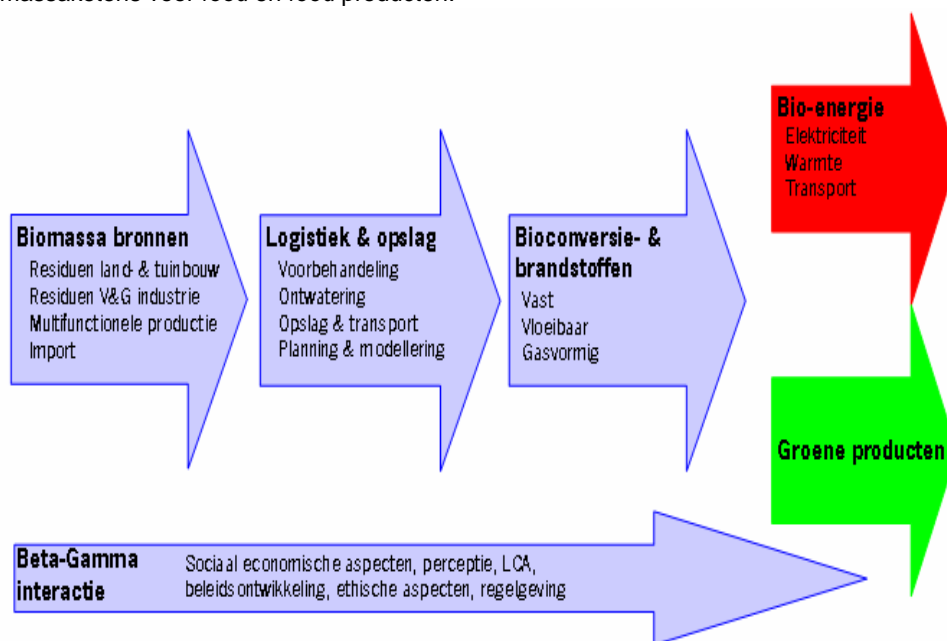
### 2.2 Biomassaketens

#### 2.2.1 Algemeen

Een biomassaketten bestaat uit een aantal schakels. Zij zorgen ervoor dat de biomassa vanaf de biomassabron ('*upstream*') via bewerkings-, transport- en conversiestappen wordt omgezet in het gewenste non-food product ('*downstream*'; zie Figuur 2.1). Dit product kan zijn: duurzame elektriciteit en



warmte, transportbrandstof, chemische (basis)stof en non-food product (zoals hout, papier, etc.). Biomassaketens voor *non-food* producten zijn meestal nauw verweven met de traditionele biomassaketens voor *food* en *feed* producten.



Figuur 2.1. Schematische weergave van de biomassaketens van bron tot eindproduct (bio-energie en groene producten).

## 2.2.2 Biomassabronnen

Er worden vier categorieën biomassastromen onderscheiden, te weten:

1. geteelde biomassa
2. primaire bijproducten
3. secundaire bijproducten
4. import

De meeste impact op de bodemkwaliteit in Nederland valt te verwachten bij de biomassa in de eerste twee categorieën: geteelde biomassa en primaire bijproducten.

## 2.2.3 Geteelde biomassa

Biomassa kan in de vorm van gewassen worden geteeld op agrarische grond, in natuurgebieden of op *set-aside* land. Geteelde biomassa kan worden geproduceerd met eenjarige akkerbouwgewassen, zoals hennep, suikerbiet, koolzaad, tarwe, gerst en maïs. Verder kunnen ook meerjarige grasachtige gewassen worden gebruikt, zoals miscanthus, *switchgrass* en reed canary grass. Tenslotte valt te denken aan meerjarige houtige gewassen zoals wilg en populier (*short rotation coppice*, SRC). Eenjarige gewassen passen het beste in het normale bouwplan van een akkerbouwer. Bovendien kan het bestaande machinepark van de akkerbouwer worden ingezet voor de teelt en de oogst. Bij meerjarige gewassen legt hij de bestemming van een perceel gedurende een langere periode vast. Dat kan problemen opleveren ten aanzien van de flexibiliteit van het bouwplan. Vooral de houtige gewassen vragen om de inzet van gespecialiseerde plant- en oogstmachines.

Geteelde biomassa is nog steeds een te dure biomassastroom. Er zijn echter wel productiesystemen denkbaar, waarbij de teelt van energiegewassen meerdere doelstellingen dan alleen bio-energie heeft. Bijvoorbeeld: multifunctioneel landgebruik door productie van *switchgrass* in buffergebieden, of wilg op gronden die gebruikt worden voor bio-remediatie van baggerslib.

#### 2.2.4 Primaire bijproducten

Primaire bijproducten hebben als eigenschap dat ze ontstaan bij de bron. Dat is dus in het bos, bij de oogst (stro, bietenloof) of tijdens het onderhoud van het landschap (bermgras, heideplaggen, tuinafval). Over het algemeen kunnen deze bijproducten blijven liggen. Dat gebeurt in veel gevallen ook. Zij dragen dan direct bij aan organische stof in de bodem en voegen nutriënten toe. Volgens Rabou et al. (2006) is de potentie van deze primaire bijproducten in Nederland 6 miljoen ton droge stof (voor 2030). Indien men primaire bijproducten wil gebruiken voor bio-energie, zal er over het algemeen moeten worden betaald voor de logistieke kosten en voor de kosten voor het vervangen van nutriënten en eventueel organische stof.

De groep primaire bijproducten uit de land- en tuinbouw bevat volgens Meeusen-Van Onna et al. (1998) stro van granen (60%), peulvruchten (1%), handelsgewassen (1%), hooi van landbouwzaden (9%), snoeihout uit fruitopstanden (20%), snoeihout uit boomkwekerijen (2%) en reststromen uit de bloembollensector (7%). Dit zijn de biomassastromen in vaste vorm. Ze kunnen ingezet worden voor de opwekking van elektriciteit, warmte of voor de omzetting in biobrandstoffen als ethanol of Fisher Tropsch diesel. Andere stromen, die afkomstig zijn uit de landbouw en tuinbouw, zijn overige gewasresten, zoals bietenloof, doordraai van tomaat, paprika en komkommer en bermgras. Primaire bijproducten uit de bosbouw en landschaps- en natuurbeheer zijn dunningshout, snoeihout, natuurgras, heidemaaisel/plagsel en groenafval uit plantsoenen en riet.

Een aparte categorie biomassa vormt mest uit de veehouderij. De meststromen verschillen van de eerder genoemde residuen wat betreft samenstelling en drogestofgehalte. Het drogestofgehalte bepaalt veelal de soort energietoepassing die kansrijk is. Droge meststromen (kippenmest) komen in aanmerking voor verbranding, terwijl natte meststromen (varkensmest en rundermest) geschikter zijn voor (co-)vergisting.

#### 2.2.5 Secundaire (en tertiaire) bijproducten

Secundaire bijproducten hebben als kenmerk, dat zij later in de keten vrij komen en dat zij altijd afgezet moeten worden. Veel residuen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie vinden op dit moment hun weg naar de veevoederindustrie. In verband met de strengere kwaliteitsbewaking en regelgeving in de veevoerketen komt dit afzetkanaal steeds meer onder druk te staan. Bovendien neemt de omvang van de Nederlandse veestapel af. Daarmee daalt ook de vraag naar veevoerders. Gezien deze twee ontwikkelingen ligt het voor de hand dat reststromen, die momenteel tot veevoeder worden verwerkt, beschikbaar komen voor toepassingen in non-food ketens. Andere relevante reststromen voor bio-energietoepassingen zijn residuen uit veilingen (doorgedraaid product bij groente- en fruitveilingen), frituurvetten uit de horeca, GFT-afval (groente-, fruit-, tuinafval) en bouw- en sloopafval.

#### 2.2.6 Import

Zoals gezegd kan Nederland slechts een deel van de benodigde biomassa zelf leveren, die noodzakelijk is om aan de overheidsdoelstellingen te voldoen. Daarom zal een aanzienlijk deel van de benodigde

biomassa moeten worden geïmporteerd. De hoofdgroep biomassa-import kan in theorie alle typen biomassa bevatten (primaire, secundaire bijproducten en geteelde biomassa (commodities)).

### 2.2.7 Conversiesystemen

Het valt buiten het bestek van dit rapport om alle mogelijke conversiesystemen te beschrijven. Daarom volgt onderstaand alleen een korte beschrijving van vergisting (groene elektriciteit uit biogas) en de productie van biotransportbrandstoffen.

#### **Groene elektriciteit**

Groene elektriciteit uit biogas is het eindproduct van anaërobe vergisting van biomassa. Dit is een biologisch proces. Daarbij wordt onder zuurstofloze omstandigheden organische stof afgebroken tot de eindproducten methaan (CH<sub>4</sub>) en kooldioxide (CO<sub>2</sub>). Het methaan in het biogas wordt gebruikt voor de productie van groene elektriciteit en/of warmte. Bij vergisting blijft digestaat als restmateriaal over. Digestaat bevat veel stabiele organische stof en is als zodanig een goede bodemverbeteraar. Voor de energieproductie door vergisting zijn drie bedrijfstypen voorstelbaar, namelijk:

- droge vergisters van energiegewassen op landbouwbedrijven ('monostroom'). Dit type vergister wordt in Duitsland al veel toegepast met energiemais als bron van biomassa (decentraal met alleen eigen biomassa/centraal met geïmporteerde biomassa). Doel van de vergisting is de productie van 'groene elektriciteit'.
- natte vergisters van dierlijke mest en plantaardige biomassa op landbouwbedrijven ('co-vergisting'/ decentraal). Bij co-vergisting moet op grond van de mestwetgeving momenteel minimaal 50% mest (runder- of varkensmest) worden gebruikt. C-substraten zijn bijproducten, energiegewassen en gewasresten.
- afvalverwerking in grootschalige vergisters (centraal). Hierbij is de afvalverwerking het doel en energieproductie bijzaak.

Het streven is om substraten te gebruiken die met een minimale verblijftijd maximale biogasopbrengst leveren. Voor de landbouw kan de vergisting van dierlijke mest een interessante wijze van mestverwerking zijn. De biogasproductie uit mest is echter beperkt vergeleken met die uit andere verse organische stoffen. Meer energie wordt geproduceerd door co-vergisting van mest met andere biomassastromen. Hierbij moet op grond van de mestwetgeving minimaal 50% mest worden gebruikt. Als substraat mogen bijproducten uit de voedings- en genotmiddelenindustrie worden gebruikt die op de 'positieve lijst' staan (SenterNovem, 2006b). De samenstelling en eigenschappen van het digestaat worden bepaald door een veelheid aan factoren, zoals de samenstelling en mengverhouding van het co-product en de mest, door de verblijftijd en door het type vergister. De combinatie van deze factoren is in iedere situatie weer anders. Daarmee verschilt ook het effect van de vergisting op de samenstelling en de eigenschappen van het digestaat. Voor co-vergisting van mest en substraat concluderen Kool et al. (2005) dat er nog onvoldoende kennis is over de invloed van verschillende co-producten op de samenstelling en op de bemestende waarde van de resulterende digestaat. Kool en Bosker (2004) bevelen aan om een beheersconcept op te stellen waarbij de kwaliteit van het co-vergistingsproces en van de (eind)producten gewaarborgd wordt.

Co-vergisting biedt in theorie ook kansen voor (regionale) samenwerking tussen veehouders en akkerbouwers. Veehouders leveren mest. Akkerbouwers kunnen co-producten leveren in de vorm van gewassen (zoals energiemais) en bijproducten van de teelt (zoals bietenloof). Akkerbouwers zouden het

digestaat weer af kunnen nemen als meststof.

### **Biotransportbrandstoffen**

Bij de productie van biotransportbrandstoffen wordt onderscheid gemaakt tussen zogenaamde “1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> generatie” productiewijzen. Het 1<sup>e</sup> generatie productieproces betreft de omzetting van gewassen met veel suiker, zetmeel en olie: suikerbieten, aardappelen, zonnebloem, tarwe, koolzaad en granen. De 2<sup>e</sup> generatie technologieën richten zich op aanwending van:

- lignocellulose gewassen: meerjarige energiegrassen, zoals miscanthus en *switchgrass* en kort omloop hout (*short rotation coppice*) zoals wilg en berk.
- organische reststromen: primaire bijproducten, zoals stro en dunningshout en secundaire organische bijproducten, zoals zaagsel en afvalhout.

Het grootste voordeel van de 2<sup>e</sup> generatie boven de 1<sup>e</sup> generatie biotransportbrandstoffen is dat de energie- en CO<sub>2</sub>-balans veel gunstiger is.

#### Biodiesel

De grondstoffen, waarmee biodiesel gemaakt wordt, hoeven niet alleen door de Nederlandse landbouw te worden geleverd. Opties om biodiesel te produceren zijn: bijproducten zoals afgewerkt frituurvet, dierlijke vetten en plantaardige olie (commodities). Daarbij is met name koolzaadolie aantrekkelijk, omdat het een goede kwaliteit heeft voor productie van biodiesel. Op middellange termijn zal ook (2<sup>e</sup> generatie) Fischer-Tropsch-diesel uit lignocellulose biomassa mogelijk zijn. Dan kunnen ook goedkopere producten als grondstof dienen.

#### Bio-ethanol

Voorlopig is bio-ethanol de aangewezen biobrandstof om benzine te vervangen. Eerst generatie bio-ethanol kan geproduceerd worden uit zetmeel- en suikerhoudende producten. Net als voor biodiesel geldt dat het effect op de Nederlandse landbouw (groten)deels indirect is, aangezien de grondstoffen om de bio-ethanol te maken overal vandaan gehaald kunnen worden. Grondstoffen zijn onder andere secundaire bijproducten (zetmeel, aardappelstoomschillen), primaire bijproducten (bietenkoppen) en gewassen (tarwe, maïs en suikerbieten). De verwachting is dat 2<sup>e</sup> generatie bio-ethanol langzaam maar zeker ook de bijproducten zal gaan gebruiken: eerst ethanol uit graan en daarna ethanol uit zowel suikerhoudende producten als uit lignocellulose houdende biomassa zoals stro.

## **2.3 Biomassavraag**

### 2.3.1 Groene elektriciteit

Het is bekend wat de bio-energieproductie (in TJ vermeden fossiele energie) in 2005 in Nederland is geweest. Hieruit is voor een aantal categorieën geschat hoeveel biomassa (kiloton droge stof) wordt gebruikt (Bijlage 1). Wat de exacte biomassa inputstromen zijn en waar die vandaan komen is veel moeilijker te achterhalen. Over de exacte verdeling over import, secundaire bijproducten, primaire reststromen en teelt zijn geen statistieken beschikbaar.

De inzet van biomassa voor de productie van elektriciteit en warmte, waarmee een directe relatie met de bodem kan worden gelegd, beslaat nu nog slechts circa 1% van de totale hoeveelheid biomassa die voor dit doel wordt ingezet. Op dit moment zijn er ongeveer 40 co-vergistinginstallaties operationeel die

elektriciteit en warmte produceren. Het is de verwachting dat eind 2007 in Nederland 100 tot 200 installaties in werking zijn (SenterNovem, LIB en ZLTO, 2006). Volgens LTO is er in Nederland een potentieel voor 2.500 tot 3.000 biogasinstallaties. Wageningen UR heeft berekend dat met co-vergisting op 2.800 Nederlandse veebedrijven (met een minimale mestproductie van 4.500 kuub mest per jaar) een kwart van de nationale Kyoto-doelstelling voor 2010 kan worden bereikt.

### 2.3.2 Biobrandstoffen

Annevelink et al. (2006) schetsen de behoefte aan biobrandstoffen op korte en middellange termijn uitgaande van de binnenlandse aflevercijfers van motorbrandstoffen in 2004 en van de vervangingspercentages die gemeld zijn in de Europese richtlijn (2% vervanging op energiebasis in 2005; 5,75% vervanging op energiebasis in 2010). Wat betreft biotransportbrandstoffen kan er tot 2010 vanuit worden gegaan dat de grondstof gevormd wordt door (1<sup>e</sup> generatie) gewassen voor bio-ethanol en biodiesel. Na 2010 zullen er meer efficiënte productiemethoden ontwikkeld zijn voor de omzetting van lignocellulose afkomstig van houtachtige gewassen en grassen. Wanneer de hele productie zou worden gerealiseerd met stro, zou dat een vermindering van het areaal graan (voor stro) bewerkstelligen van 172.000 ha naar 121.000 ha (zie Bijlage 2). Dit ondanks de bijmenging van een hoger percentage bio-ethanol (5,75 in plaats van 2%), Het relatieve en het absolute beslag op landgebruik wordt dus kleiner bij verbeterde technologie.

In de praktijk hangt de exacte invulling van de biomassavraag in Nederland af van de vraag, de prijs, de landbouwkundige ontwikkelingen en de technologie-ontwikkeling, etc. Een groot deel van de in Nederland benodigde biomassa zal ingevuld worden met geïmporteerde biomassa, zeker wanneer alleen de marktwerking sturend is. Duurzaamheidseisen, dus ook die van de bodem, kunnen dit sterk beïnvloeden.

### 2.3.3 Teelt van energiegewassen

In Nederland is het in vergelijking met andere landen moeilijk om op een rendabele wijze energieteelt te bedrijven (Janssens et al., 2005). Toch zou het voor de landbouw aantrekkelijk kunnen zijn om energiegewassen in het bouwplan op te nemen en/of een mestvergister te installeren. De teelt van suikerbieten, granen en maïs verloopt nagenoeg hetzelfde, of die nu bestemd is voor voedsel, ruwvoer, of voor energie (bio-ethanol). Voordeel van de teelt voor de productie van bio-ethanol is dat de prijzen van suikerbieten en graan niet verder zullen dalen. Het landbouwareaal is echter beperkt. Vanuit stad, industrie en natuurontwikkeling wordt ook al een beroep gedaan op vrijkomende grond. Mede gelet op de kosten van de energieproductie is een forse groei van specifieke energiegewassen op korte termijn niet waarschijnlijk. In Nederland zou volgens Elbersen et al. (2006) in 2010 circa 20% van de agrarische grond nodig zijn voor biomassagewassen om aan de eis van een aandeel van 5,75% biobrandstof te kunnen voldoen. Op een totaal landbouwareaal van 2 miljoen hectare is dit 400.000 hectare. Volgens schattingen van Van der Voort (2003) kan er op termijn tussen de 20.000 en 300.000 hectare aan energiegewassen in Nederland komen.

De teelt van SRC en meerjarige grassen is overigens fundamenteel anders dan de teelt van (1<sup>e</sup> generatie) akkerbouwgewassen. De rotatietijd is minstens 15 jaar. In die zin is ze te beschouwen als permanente teelt. De biomassa-oogst zal niet eerder plaatsvinden dan na 2-5 jaar. Inputs van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen en het gebruik van machines is veel minder intensief dan

bij akkerbouwgewassen. In het geval van miscanthus en *switchgrass* is dit zeker ook het geval voor het watergebruik. Deze gewassen zijn ook zeer goed als bescherming tegen erosie. Ze zijn daarvoor ook ontwikkeld. De effecten op het landschap van dergelijke hoge gewassen (2-5 meter) kunnen zeer groot zijn. Op uitgestrekte velden heeft dat een grote invloed, maar bij teelt op stroken zou het een zeer positief effect op de structuur en de diversiteit van het landschap kunnen hebben (Elbersen et al., 2006)

#### **2.4 Scenario's voor de toekomstige ontwikkeling**

Voor de periode 2010 -2030 worden ontwikkelingen beschreven aan de hand van 4 scenario's. Voor scenario-ontwikkeling zullen twee tegenstellingen worden uitgezet:

- Het belang van economie vs duurzaamheid. Als economie leidend is ten koste van duurzaamheid, is er meer nadruk op transportbrandstoffen, die vooral worden geïmporteerd. In dat geval groeien 1e generatie transportbrandstof snel en worden bijproducten ten volle benut en wordt er aangevuld met teelt. Als er meer nadruk ligt op duurzaamheid/milieu, zal de Nederlandse biomassa juist zoveel mogelijk worden benut, inclusief bijproducten.
- Technologieontwikkeling: snel vs langzaam. Snelle technologieontwikkeling betekent bijvoorbeeld dat 2e generatie biobrandstoffen snel worden ingevoerd, dat efficiënte vergassing snel wordt ingevoerd. Dat leidt tot hogere efficiëntie in elektriciteitsproductie.

Zo ontstaan vier mogelijke scenario's (zie Figuur 2.2), die hun invloed zullen hebben op de ontwikkeling van bio-energieketens tot 2030, namelijk:

1. hoog belang economie & snelle technologieontwikkeling.
2. hoog belang economie & langzame technologieontwikkeling.
3. hoog belang duurzaamheid & snelle technologieontwikkeling.
4. hoog belang duurzaamheid & langzame technologieontwikkeling.



Figuur 2.2. Drivers voor de scenario's.

#### 2.4.1 Beschrijving van de scenario's

##### **Scenario 1. hoog belang economie & langzame technologieontwikkeling**

De nadruk ligt op vervanging van olie en minder op het vermijden van CO<sub>2</sub> emissies en dus op vervanging van kolen. Tweede generatie technologie (voor transportbrandstoffen en chemie), die veel technologische ontwikkeling vergen, zijn nog niet ver ontwikkeld. Nadruk zal meer op teelt liggen en minder op het efficiënt gebruiken van bijproducten, omdat dit meer technologie vergt en omdat er meer nadruk ligt op toegevoegde waarde in de landbouw. Import van biomassa speelt een grotere rol dan het gebruik van Nederlandse biomassa.

##### **Scenario 2. hoog belang economie & snelle technologieontwikkeling**

Nadruk ligt op vervanging van olie en minder op het vermijden van CO<sub>2</sub> emissies en dus op vervanging van kolen. Tweede generatie technologie (voor transportbrandstoffen en chemie) is ver ontwikkeld. Dat stimuleert het gebruik van bijproducten en geteelde lignocellulose biomassa, zoals korte-omloop bos, *switchgrass* en miscanthus. De conversie-efficiëntie is relatief hoog (per ton en ook per ha). Nadruk zal meer op teelt liggen en minder op het efficiënt gebruiken van bijproducten, omdat dit de toegevoegde waarde in de landbouw bevordert. Import van biomassa speelt een grotere rol dan het gebruik van Nederlandse biomassa.

##### **Scenario 3. hoog belang duurzaamheid & langzame technologieontwikkeling**

Nadruk ligt minder op vervanging van olie en meer op het vermijden van CO<sub>2</sub> emissies en dus op vervanging van kolen. Tweede generatie technologie (voor transportbrandstoffen en chemie) is nog niet ver ontwikkeld. De bijdrage van biomassa aan transportbrandstoffen en chemie is relatief laag, evenals de efficiëntie. Het gebruik van bijproducten en geteelde meerjarige biomassa zoals SRC, *switchgrass* en miscanthus wordt gestimuleerd en vooral ingezet voor productie van warmte en elektriciteit. Nadruk zal minder op teelt liggen en meer op het efficiënt gebruiken van bijproducten (indien mogelijk). Import van biomassa wordt streng beoordeeld op duurzaamheid. Dat beperkt de omvang van deze import. De relatieve bijdrage van Nederlandse biomassa is groter. Nadruk ligt op sluiten van kringlopen en dus het gebruiken van biomassa in regionaal georiënteerde systemen, die recycling van nutriënten, as en digestaat mogelijk maken.

##### **Scenario 4. hoog belang duurzaamheid & snelle technologieontwikkeling**

De nadruk ligt minder op vervanging van olie en meer op het vermijden van CO<sub>2</sub> emissies en dus op vervanging van kolen. Tweede generatie technologie (voor transportbrandstoffen en chemie) is ver ontwikkeld. De bijdrage van biomassa aan transportbrandstoffen en chemie is hoog. De efficiëntie (per ton biomassa en per ha) is, ook voor inzet in transportbrandstoffen en chemie, hoog. Lignocellulose biomassa kan hier ruim worden ingezet. Het gebruik van bijproducten is niet voldoende om de vraag te dekken. Daardoor wordt ook geteelde meerjarige biomassa zoals korte-omloop bos, *switchgrass* en miscanthus gestimuleerd. De relatieve bijdrage van deze Nederlandse biomassa is echter gering. De geïmporteerde hoeveelheid biomassa is groot. Ze omvat veel geteelde biomassa. Deze biomassa is veelal lignocellulose biomassa en minder biomassa uit conventionele rotatie landbouw.

Duurzaamheidseisen beperken de hoeveelheid biomassa-import nauwelijks, omdat aanvoerketens op een duurzame wijze opgezet kunnen worden. Ook is daarvoor kennis voorhanden, die ingezet kan worden. Het sluiten van kringlopen is belangrijk, met name op globale schaal. Grootschalige technische oplossingen worden hiervoor ingezet naast het gebruiken van lokale biomassa. Die laatste heeft een

kleinere schaal maar wél een hoge technologische input om de recycling van nutriënten, as en digestaat mogelijk te maken.

Bio-energie biedt mogelijk kansen voor een goede bodemkwaliteit, wanneer veel aandacht geschonken wordt aan duurzame ontwikkeling, inclusief bodemaspecten (scenario's 3 en 4). Omgekeerd kan een bedreiging ontstaan, indien de focus ligt op economische ontwikkeling (scenario's 1 en 2). Of de technologie ontwikkelingen zullen leiden naar kansen of bedreigingen voor de bodem is vooral afhankelijk van de te gebruiken biomassa-bronnen. Toetsing van de afzonderlijke ketens is nodig om hier inzicht te krijgen.



### 3 Ontwikkeling van een toetsingskader Effecten van bio-energie op bodemkwaliteit

#### 3.1 Denkmodel 'duurzaamheid bio-energie'

Om te kunnen spreken van duurzame bio-energieproductie zullen de bijbehorende milieu-effecten acceptabel moeten zijn. Dit geldt ook voor aspecten die raken aan landbouwbodems. Uit levenscyclusanalyses (LCA's) van biomassaketens is gebleken dat er grote verschillen bestaan in, bijvoorbeeld, N-surplus, bestrijdingsmiddelengebruik en effecten op biodiversiteit en landschap (Biewinga en Van der Bijl, 1996; Hanegraaf, 2000).

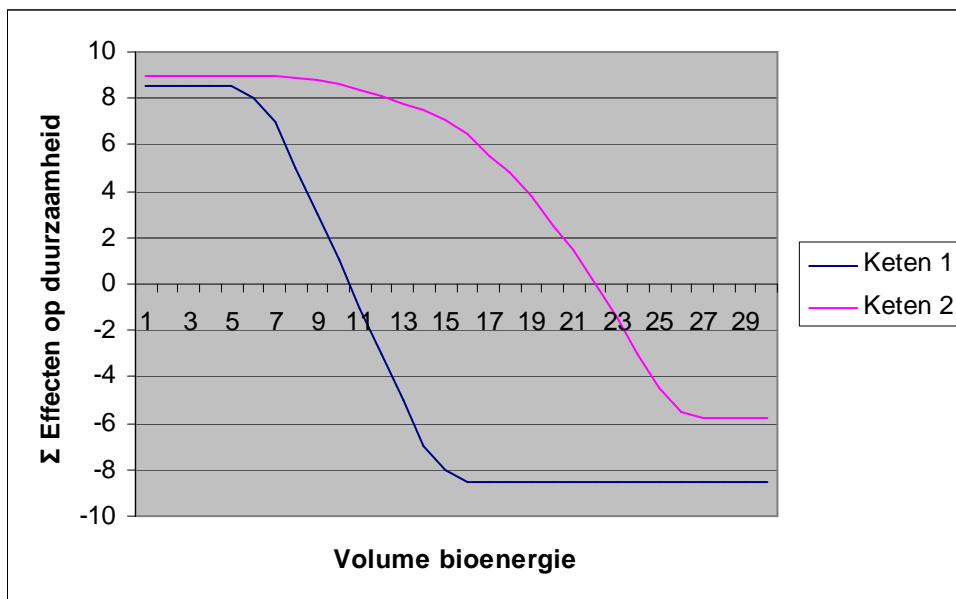
In de nationale en Europese beleidsvoorbereiding en beleidsvorming op het gebied van duurzame biomassaketens worden pas sinds kort duurzaamheidsaspecten benoemd die verband houden met de bodemkwaliteit en –gezondheid. Aan de duurzaamheid van de productie wordt ook vanuit de energiesector zelf steeds meer aandacht besteed (Criteria voor duurzame biomassa productie, 2006; EEA, 2006). Vooral voor de import staat duurzaamheid hoog op de internationale biomassa-agenda. Landgebruik en bodemkwaliteit zijn relatief nieuwe aspecten in de discussie. Onduidelijk is nog hoe 'bodem' hiervan deel kan uitmaken. Evenzeer is onduidelijk welke indicatoren dan relevant zijn. Een kans voor de energieteelt in Europa is de benutting van marginale gronden. De omzetting van permanent grasland in energiegewassen wordt als grote bedreiging genoemd. Wanneer eisen aan de duurzaamheid van een systeem worden gesteld, zal dit tot een andere ontwikkeling van technologische systemen kunnen leiden.

Tot op heden is er geen eenvoudig te hanteren, praktisch instrument voorhanden om een beoordeling te maken van de duurzaamheid van bio-energie. De vraag naar bio-energie kan op zeer veel manieren worden ingevuld. Het is juist die wijze van invulling die in belangrijke mate de totale effecten op duurzaamheid bepaalt. Vanuit deze gedachtegang is een denkmodel ontwikkeld om de effecten op duurzaamheid over middellange termijn te schatten uit de technologische ontwikkelingen, de wijze van invulling van de bio-energievraag en de omvang van de bio-energievraag. In dit denkmodel wordt de relatieve duurzaamheid (de som van de effecten op duurzaamheid) van een route (bijvoorbeeld 1<sup>e</sup> generatie ethanolproductie voor transport) uitgezet tegen het volume geproduceerde bio-energie. Hierbij wordt de route of keten constant - technologie en organisatie blijft hetzelfde - verondersteld bij een toenemend volume. Het denkmodel onderscheidt verschillende fasen van ontwikkeling. Het denken in gefaseerde dynamiek is de kracht van dit model. De verschillende fasen kunnen volgens verschillende deelcurves verlopen. De vorm van de totale curve is dus specifiek voor de ontwikkeling van de beschouwde keten.

Als voorbeeld wordt de fasering gegeven zoals die mogelijk geldt voor een duurzaamheidsbeoordeling van bio-energie in het algemeen. Figuur 3.1 toont een schematische weergave van dit denkmodel waarin het volume bio-energie is uitgezet tegen de totale duurzaamheid. De volgende fasen kunnen worden onderscheiden:

1. No regret/positief. De aanname hierbij is dat in de beginfase, bij lagere volumes, de vraag naar biomassa ingevuld wordt met de goedkoopste input die beschikbaar is. Hierbij worden over het algemeen eerst de niet- of de onderbenutte bijproducten gebruikt (zie ook Rabou et al., 2006) die

- tegen lage (duurzaamheids)kosten te verkrijgen zijn. Vaak levert het gebruik van deze bijproducten zelfs direct een duurzaamheidsvoordeel op. Voorbeelden zijn de energieopwekking uit huisvuil, co-vergisting met bijproducten en ethanolproductie van ethanol uit C-zetmeel.
2. Verminderde duurzaamheid. Bij toenemende vraag ontstaat er concurrentie om bijproducten. Veel bijproducten hebben ook een toepassing als veevoer. Dit leidt indirect tot meer teelt, lokaal of extern. Verder wordt specifieke teelt van biomassa voor energie aantrekkelijk. Hierbij wordt eerst ongebruikt land in gebruik genomen, als dat ten minste kan. In Europa wordt bijvoorbeeld nu de *set-aside* grond gebruikt voor productie van biobrandstoffen. Verder kunnen nieuwe gewassen in rotatie opgenomen worden, zoals koolzaad. Dit heeft betrekkelijk kleine duurzaamheidsgevolgen. Er vindt een intensivering van de landbouw plaats en/of er wordt overgegaan tot veranderingen in grondgebruik. In zijn totaliteit neemt de duurzaamheid daarom af t.o.v. van de eerste fase.
  3. Negatieve duurzaamheid. In de 3<sup>e</sup> fase neemt het volume zo toe dat gebruik van bijproducten direct tot concurrentie leidt en dus tot meer concurrentie rond land. Directe teelt leidt tot grotere intensivering en vooral tot het in gebruik nemen van nieuw land. Deze negatieve effecten van de biomassaproductie wegen niet meer op tegen de voordelen. Er is dus sprake van een negatieve duurzaamheid.
  4. Afvlakken van het negatieve effect. Overigens, verder dalen of juist stijgen kan ook.



Figuur 3.1. Denkmodel 'duurzaamheid bio-energie'

Het is belangrijk te beseffen dat in de praktijk de route (keten), die de vraag invult, niet statisch is zoals hier verondersteld. Ketens zullen evolueren door technologische innovaties: denk aan hogere teeltopbrengsten bij lagere inputs of hogere energieopbrengsten uit de biomassa, grotere economy of scale, etc. Hierbij kan ook specifiek gestuurd worden op duurzaamheid om het bio-energie volume met een positieve duurzaamheid te maximaliseren. In het denkmodel geeft dit dan een horizontale verschuiving te zien. In Figuur 3.1 is keten 1 duurzaam tot een bepaald volume, bijvoorbeeld 1<sup>e</sup> generatie biobrandstoffen. Keten 2 kan meer energie duurzaam produceren, bijvoorbeeld door invoering van 2<sup>e</sup> generatie biobrandstoffentechnologie.

## 3.2 Raakvlakken Bio-energie en Bodemkwaliteit

### 3.2.1 Indicatoren voor landgebruik bodemkwaliteit

Vanuit beleid en wetenschap zijn en worden indicatoren geïdentificeerd om bodemkwaliteit en duurzaam bodembeheer te meten, bijvoorbeeld de concept Europese Bodemstrategie (Commission of the European Communities, 2006) en de Beleidsbrief Bodem (Tweede Kamer der Staten-Generaal, 2003). Aanpalende beleidsterreinen, die raakvlak hebben met het bodembeleid, zijn die van de nitraatuitspoeling, waterkwaliteit en emissies van broeikasgassen. In de bijbehorende regelgeving (Nitraatrichtlijn, Kader Richtlijn Water en Klimaatverdrag) wordt het belang van een goede bodemkwaliteit impliciet erkend. De TCB geeft de volgende definitie van een duurzamer bodembeheer (A36, 2005):

*“het voorkomen van negatieve gevolgen van het bodemgebruik elders en later, het in stand houden van het bodemgebruik op de lange termijn, het rekening houden met de opvolgbaarheid van andere vormen van bodemgebruik en het onderhouden van ecologische diensten die van algemeen belang zijn”.*

De TCB stelt dat bij de zoektocht naar indicatoren voor duurzamer bodemgebruik aandacht zou moeten zijn voor integrerende indicatoren die iets zeggen over meerdere bodemeigenschappen. Zij heeft een voorkeur voor indicatoren die iets zeggen over het gebruik van de bodem (in tegenstelling tot de toestand van de bodem). Een uitgebreide beschrijving van de systematiek om te beoordelen op bodemkwaliteitsaspecten is gegeven in Bijlage 4. In de (inter)nationale literatuur worden voor bio-energie, met name energieteelt, de volgende indicatoren voor het thema 'bodem' genoemd:

**Landgebruik.** Veranderingen in het landgebruik zijn direct gerelateerd aan mogelijke effecten op de bodemkwaliteit. In Nederland zullen landgebruiksveranderingen vooral negatief uitpakken voor de bodemkwaliteit als (EEA, 2006):

- er is een toenemende druk op de agrarische sector om te produceren (voedsel-, voeder- en energiegewassen). Dat leidt tot intensivering (input per hectare) van de bedrijfsvoering in een regio;
- er is aanleiding om permanente extensieve teelten (bijvoorbeeld beheersgrasland met lage bemesting) om te zetten in akkerbouwmatige teelt van energiegewassen.

Landgebruiksveranderingen zullen juist positief kunnen uitpakken voor de bodemkwaliteit als er aanleiding is om intensief bodemgebruik te vervangen door extensief bodemgebruik. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de vervanging van akkerbouwgewassen door meerjarige houtachtige gewassen.

**Biodiversiteit.** Biodiversiteit in de landbouw (ook wel agrobiodiversiteit genoemd) wordt beschreven als: het geheel aan plantaardige en dierlijke genetische bronnen, bodem- en micro-organismen, insecten en andere flora en fauna in agro-ecosystemen, alsmede elementen van natuurlijke habitats die relevant zijn voor agrarische productiesystemen. Energiegewassen, die niet in een regulier bouwplan voorkomen, zoals meerjarige houtachtige gewassen en hennep, fungeren als natuurlijke habitat voor flora en fauna.

**Organische stof.** Organische stof (OS) speelt een centrale rol in de chemische, fysische en biologische bodemkwaliteit. Aanvoer van organische stof naar de bodem vindt plaats via een externe bron (meststoffen en/of bodemverbeteraars) of via teelt van het gewas (groenbemester, gewasresten). Veranderingen in teeltsysteem en landgebruik vertalen zich in veranderingen op de organische

stofbalans van de bodem. In het algemeen gesproken neemt de organische stofopbouw in teeltsystemen toe in de volgorde akkerbouwrotatie < meerjarige gewassen < permanent grasland. Strikt genomen is het overigens juist om te spreken in termen van C (koolstof) dan van organische stof, omdat het C-gehalte van verschillende bronnen organische stof kan verschillen.

**Mineralen.** De hoeveelheid stikstof en fosfaat, die wordt aangevoerd, is vooral belangrijk vanwege de risico's voor de waterkwaliteit. Bio-energie kan leiden tot verhoging van de mineralenbelasting door import van biomassa van elders, maar ook door aanwending van digestaat op het land. Aan de andere kant onttrekken meerjarige vezelrijke gewassen in de regel minder nutriënten aan de bodem dan voedingsgewassen, omdat ze meer lignocellulose en minder proteïnen en mineralen bevatten. Daarom en ook omdat ze veel nutriënten recycleren via bladval, hebben vezelrijke gewassen over het algemeen een lagere bemestingsbehoefte dan gangbare teelten.

**Structuur/Erosie.** De bodemstructuur en de daaraan gerelateerde verschijnselen als verdichting en erosie hangen direct samen met de intensiteit van de grondbewerking. Ook de infiltratiecapaciteit en de waterbergingscapaciteit van de bodem hangen hiermee nauw samen. Het oogstgewicht en het watergehalte van gewassen en het gebruik van (zware) machines bij oogsten en ploegen hebben directe invloed op bodemverdichting en –structuur. Een jaarrond bodembedekking draagt bij aan het verminderen van erosie. Ten gevolge van meerjarige teelt en de diepere doorworteling van het bodemprofiel leiden meerjarige vezelrijke gewassen tot meer organische stof in de bodem, minder oppervlakkige run off en tot minder bodemerosie dan akkerbouw op vergelijkbare bodems.

**Verontreiniging, waaronder gewasbeschermingsmiddelen.** Meerjarige houtachtige gewassen hebben weinig gewasbeschermingsmiddelen nodig. Het eerste jaar moeten de stekken vrij van onkruid worden gehouden. Vanaf het tweede jaar vormt ondergroei geen gevaar meer en is weinig chemische onkruidbestrijding nodig. Een positief effect van energiegewassen kan de bodemverbetering zijn door onttrekking van fosfaat en zware metalen ('bio-remediatie').

### 3.2.2 Bodemaspecten van bio-energieketens

Effecten op de bodem kunnen in verschillende onderdelen van de schakels van de biomassaketens worden veroorzaakt. Wat betreft energiegewassen bieden in het bijzonder de aspecten teelt, oogst, afvoeren en aanwenden directe aanknopingspunten voor bodembeheer.

**Teelt** van biomassa. Tijdens de teelt van biomassa kunnen meststoffen worden toegevoegd aan de bodem. Vervolgens worden voedingsstoffen al dan niet efficiënt opgenomen door het gewas. Dit kan mogelijk leiden tot uitputting van de bodem of tot het uitspoelen van niet opgenomen nutriënten naar het grondwater. Gewasbescherming tijdens de teelt kan leiden tot restanten van pesticiden in de bodem. Teelt maakt ook aanspraak op het beschikbare water in een gebied. Ze heeft mogelijk gevolgen voor de waterhuishouding. Omvorming van traditionele gewassen (zoals gras, etc.) naar energiegewassen kan leiden tot het (tijdelijk) versneld vrijkomen van C uit de bodem. Biomassagewassen kunnen ook invloed hebben op het bouwplan (verruiming of intensivering). Daardoor is een rotatieteelt met bepaalde traditionele akkerbouw gewassen juist wel of niet mogelijk.

**Oogst** van geteelde biomassa. Het oogsten van de geteelde biomassa leidt tot de afvoer van biomassa.

Verder kan bodemverdichting optreden door de mechanisatie van de oogst.

**Afvoeren** primaire bijproducten. Wanneer gewasresten van traditionele akkerbouwgewassen worden afgevoerd (in plaats van op het veld achter te blijven) leidt dit mogelijk tot een verandering van de hoeveelheid C en nutriënten in de bodem en tot effecten op mineralisatie en uitspoeling. Deze kunnen zowel positief als negatief zijn. Zo kan de afvoer van gewasresten positief zijn wat betreft een verminderde uitspoeling van nutriënten, maar negatief voor de opbouw van bodem organische stof.

**Aanwenden** van digestaat uit vergistingssystemen en van assen uit thermische systemen. Bij een verantwoorde aanwending moet zowel gelet worden op de landbouwkundige kwaliteit (onder andere hoeveelheid en beschikbaarheid van nutriënten, hoeveelheid en kwaliteit organische stof) als op de milieukundige effecten (onder andere verontreinigingen, zoals zware metalen in biomassa-assen en digestaat) van het betreffende product.

### 3.3 De onderzoeksvraag gepreciseerd: is de C-kringloop gesloten?

Tabel 3.1 geeft een samenvattend overzicht van de mogelijke effecten van bio-energie op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland en van de overige mogelijke consequenties. Uit de tabel blijkt dat van de verschillende biomassabronnen alleen van energiegewassen een effect op landgebruik kan worden verwacht. Effecten op de bodemkwaliteit kunnen daarentegen ook voorkomen bij het gebruik van organische reststromen, van dierlijke mest en bij de import van biomassa.

Tabel 3.1. Mogelijke raakvlakken van biomassabronnen en landgebruik / bodemkwaliteit.

Biomassabron	Landgebruik NL	Effect op bodemkwaliteit	Mogelijke afwenteling
teelt energiegewassen	van voedsel- naar energiegewas	bio-remediatie (+) opbouw organische stof (+) biodiversiteit / landschap (+) afname organische stof (-)	verdringen van andere gewassen hogere import veevoer
gebruik organische reststromen uit de landbouw	geen	minder nitraatuitspoeling (+) opbouw organische stof (+) afname organische stof (-) toename mineralenprobleem (-)	verdringing andere bestemmingen
gebruik dierlijke mest	geen	opbouw organische stof (+)	
gebruik organische reststromen industrie	geen	geen	
import biomassa (geteeld / reststromen)	geen	toename mineralenprobleem (-)	voedselproductie elders bodemkwaliteit elders biodiversiteit elders

+ = verbetering van de bodemkwaliteit

- = verslechtering van de bodemkwaliteit

Gelet op het verkennende karakter van deze studie is het niet nodig om de onderzoeksvraag te beantwoorden door een uitgebreide rekenexercitie uit te voeren van alle mogelijke effecten en deze effecten vervolgens te sommeren. In plaats daarvan is ervoor gekozen om het speelveld af te bakenen

door voor de belangrijkste indicator(-en) een inschatting te maken van de effecten van bio-energie. De voorkeur gaat uit naar een indicator die niet alleen informatie geeft over (aspecten van) bodemkwaliteit, maar die ook als basis kan dienen voor het nemen van maatregelen. De geschiktheid van de indicatoren uit Tabel 3.1 kan als volgt worden gerangschikt: organische stof > aanvoer van N en P > landgebruik. Deze rangschikking is gemaakt op basis van het belang van elke indicator voor bodemkwaliteit en het aantal aanknopingspunten met bio-energie. Figuur 3.2 brengt deze interpretatie van de onderzoeksvraag in beeld.



Figuur 3.2. Centrale onderzoeksvraag: is de C-kringloop gesloten?

In Figuur 3.2 is weergegeven dat, vanuit het perspectief van bodemkwaliteit, de C-balans in de bodem bepalend is voor de mogelijke effecten op bio-energieketens. De kringloop van C bestaat uit een stroom

die voor de omzetting in energie is opgebouwd uit de import van biomassa, uit reststoffen uit organische afvalstromen en uit geteelde biomassa. Na de productie is er een reststroom van C die als digestaat of afval wordt teruggevoerd naar het land. Voorwaarde, die aan elke bio-energieketen kan worden gesteld, is of de organische stofbalans in evenwicht is of dat er sprake is van een tekort of overschot. Het is zinvol om onderscheid te maken naar perceel en regionaal schaalniveau.

In feite is het benoemen van organische stof als indicator voor het beoordelen van bio-energie niets nieuws. In een ingezonden brief in Science stelde Jenny (1948) dat organische stof bewaard moet blijven in de bodem en dat de benodigde hoeveelheid grondsoortafhankelijk is. Volgens Janzen (2004) leven we nu in de gouden eeuw van kennis over de koolstofcyclus, omdat op wereldschaal bekend is hoe we veranderingen in de koolstofcyclus kunnen sturen in ons voordeel.

Schlamadinger et al. (2001) gaan in op de interacties tussen C-voorraden (carbon credits) en biomassa-energie. Ze stellen dat biomassa-energie routes zeer verschillend zijn qua C-stromen. Ze zijn niet per definitie CO<sub>2</sub>-neutraal. Wellicht ten overvloede wordt erop gewezen dat de CO<sub>2</sub>-balans, zoals die bijvoorbeeld in klimaatstudies wordt berekend, een geheel andere indicator is dan de C-balans. Eerstgenoemd berekent hoeveel organische stof met biomassa wordt afgevoerd, omgezet in energie en met digestaat terugkomt. Een dergelijke benadering is vooral op het bovengrondse (assimilatie) proces gericht en is geschikt om de efficiency van de bio-energieproductie uit te drukken in organische stof.

In de landbouw is het opstellen van een organische stof (of C-) balans van oudsher een eenvoudig instrument om de bodemkwaliteit te monitoren. De balansmethode is vooralsnog een indicator die sneller op veranderingen reageert dan een meting van het organische stofgehalte in het veld. Naar verwachting kunnen beide methoden binnen afzienbare tijd worden verbeterd met nieuwe onderzoeksmethodieken en referentiewaarden voor de kwaliteit van organische stof in de bodem en/of het aangevoerde materiaal.

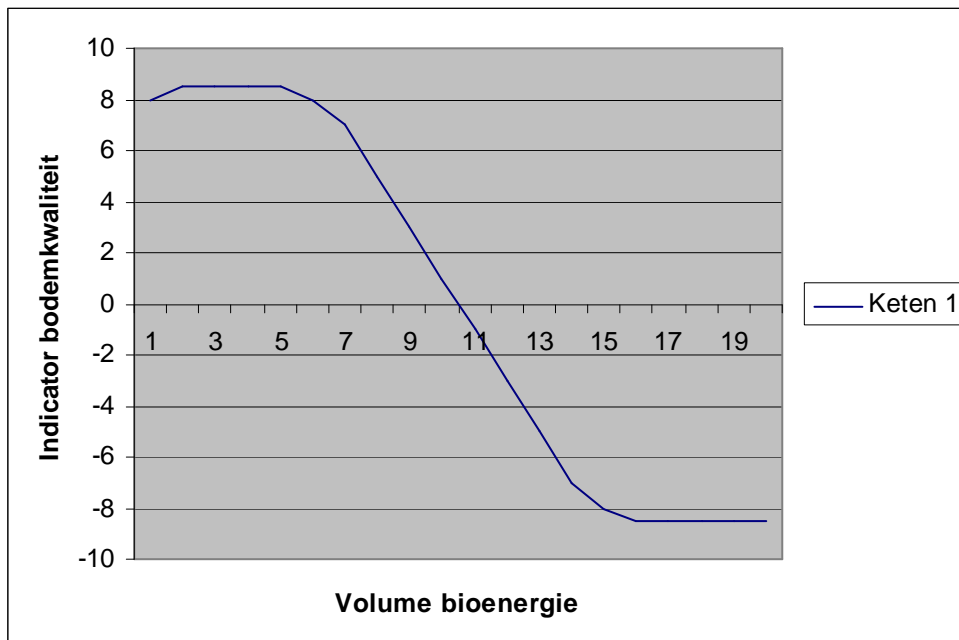
### **3.4 Toetsingskader**

Het denkmodel uit 3.1 is te gebruiken voor het thema 'bodemkwaliteit' door voor de algemene duurzaamheidsindicator een indicator voor bodemkwaliteit in te vullen. Hiermee ontstaat een toetsingskader om de effecten van de ontwikkeling van bio-energie op bodemkwaliteit en -gebruik te beoordelen. Essentie van het toetsingskader is dat het rekening houdt met toekomstige ontwikkelingen in de bio-energieketen.

Over het algemeen is organische stof een geschikte indicator om aan te toetsen. In specifieke situaties kan echter gekozen worden voor een andere indicator.

### Toetsingskader Effecten biomassa-ketens op landgebruik en bodemkwaliteit

- I. Beschrijving van het proces en afbakening van de biomassa-keten
- II. Beschrijving Impact op landgebruik en bodemkwaliteit
  - a. Vaststellen van de raakvlakken van de keten met landgebruik en bodemkwaliteit;
  - b. Keuze indicator (-en) voor veranderingen in landgebruik en bodemkwaliteit
- III. Analyse van bodemeffecten bij toenemende energievraag volgens denkmodel 'duurzaamheid bio-energie', met bodemkwaliteitsindicator



Figuur 3.3. Invulling van het denkmodel naar bodemkwaliteit.

Een uitwerking van het toetsingskader zal resulteren in een figuur met toelichting. Daarin is per keten een curve voor de ontwikkeling van de organische stof opgenomen. Omslagpunten in de curve zijn te berekenen uit kwantitatieve gegevens over de keten en uit standaard kengetallen. De curve kan vervolgens worden gebruikt voor analyse van knelpunten en voor het oplossen van deze knelpunten.

Zoals aangegeven wordt in deze studie organische stof als indicator gebruikt. In de curve kunnen effecten op organische stof op verschillende manieren tot uitdrukking komen. Wanneer bijvoorbeeld de afbraak van organische stof in de bodem wordt gecompenseerd door digestaat terug te brengen naar het land, zal de curve minder steil verlopen. Duurzaam bodembeheer in het algemeen kan leiden tot opbrengstverhoging. Dat komt in de curve tot uitdrukking door een verschuiving naar rechts.

Om het gebruik van het toetsingskader te illustreren is voor twee cases een uitwerking gemaakt. Case 1 betreft groene elektriciteit. Case 2 betreft biotransportbrandstoffen.



## 4 Toepassing van het toetsingskader

In dit hoofdstuk wordt het toetsingskader toegepast in twee ketens, te weten groene elektriciteit en biotransportbrandstoffen. Daarna volgt een discussie over het gebruik van het toetsingskader en de hiermee verkregen resultaten.

Gekozen is voor deze twee cases, omdat bij zowel groene elektriciteit als bij biobrandstoffen directe raakvlakken met de bodem bestaan. Bovendien staat co-vergisting in landbouwkringen in Nederland midden in de belangstelling als deeloplossing van het mestprobleem. Er zijn relatief veel gegevens beschikbaar. De productie van biotransportbrandstoffen wordt vanuit Europees en Nederlands beleid gestimuleerd.

### 4.1 Case 1: Groene elektriciteit

#### 4.1.1 Procesbeschrijving en afbakening van de keten

Voor een beschrijving van het proces wordt verwezen naar Hoofdstuk 2.

De case is gericht op co-vergisting van 50% drijfmest met 50% co-substraat en een decentrale, kleinschalige vergister.

#### 4.1.2 Impact op landgebruik en bodemkwaliteit

De teelt en het gebruik van biomassa uit deze case hebben raakvlakken met landgebruik, organische stof en mineralen.

#### **Landgebruik**

Bij vergisting wordt gebruikt gemaakt van restproducten uit de voedingsindustrie, gewasresten en gewassen, zoals maïs maar ook gras. De teelt van energiemais vindt vooral plaats op akkerbouwbedrijven. Voor melkveebedrijven, waarvoor meestal derogatie is aangevraagd, is het niet realistisch dat gras wordt vervangen door (energie-)maïs. Door derogatie is een verplichting ontstaan dat minimaal 70% van het areaal voor grasland wordt benut. Op het akkerbouwbedrijf zal de teelt van energiemais de gewassen met het laagste saldo verdingen. In een gangbaar bouwplan is dat graan, gevolgd door suikerbieten. Wanneer dit op grote schaal zou plaatsvinden, heeft dit uiteraard een impact op het landschap. Dit effect is echter veel geringer dan bijvoorbeeld het geval is bij verstedelijking van het platteland.

#### **Organische stof**

Decentrale kleinschalige vergistingsinstallaties hebben in principe de mogelijkheid om het digestaat in zijn geheel op het bedrijf of bij de samenwerkende bedrijven af te zetten. Dit is de meest ideale situatie. Er is dan sprake van een gesloten kringloop van organische stof.

Of dit op de bestaande monostroombedrijven inderdaad het geval is, is niet bekend, maar het is theoretisch goed mogelijk. Bij co-vergisting van mest en substraat neemt de hoeveelheid organische stof van mest met co-substraten met gemiddeld circa 50% af (Kool, 2005). Desondanks is de hoeveelheid digestaat groter dan de oorspronkelijke hoeveelheid mest door de toevoeging van de co-substraten. Het mestprobleem lijkt hierdoor alleen maar toe te nemen. Digestaat is echter vanwege de goede

bemestende en sanitaire eigenschappen wellicht beter geschikt om in te zetten als organische meststof dan dierlijke mest. De gebruiksnormen voor N en P beperken echter de maximale hoeveelheid digestaat en dus ook de hoeveelheid organische stof die mag worden toegediend.

Ook het digestaat van centrale grootschalige vergistingsinstallaties zou moeten worden teruggebracht naar de landbouw, wil er sprake kunnen zijn van een gesloten systeem.

### **Mineralen**

In het digestaat is het gehalte makkelijk afbreekbare organische stof lager en neemt de totale hoeveelheid organische stof ook af. Organische stikstof wordt hierbij afgebroken en omgezet in minerale stikstof. Het gehalte ammoniumstikstof in digestaat neemt zodoende toe. Op de gehalten fosfaat, kalium en magnesium zijn geen effecten van de vergisting te verwachten.

Bij co-vergisting van mest en substraat zijn de mengverhoudingen wel van invloed op de gehalten. Vergeleken met drijfmest leidt vergisting tot een betere benutting van nutriënten in het digestaat. Bij verdere optimalisatie van mestverwerkingstechnieken is het eindproduct geschikt als kunstmestvervanger. Neveneffect van de vergisting van gewasresten is de vermindering van de nitraatuitspoeling.

#### 4.1.3 Analyse met het denkmodel

Het denkmodel 'duurzaamheid bio-energie' wordt gebruikt voor een analyse van de ontwikkeling van de opbouw van organische stof bij toenemende invulling van de energievraag met vergisting. Doel van deze exercitie is om te verkennen hoe de organische stofbalans kan worden beïnvloed door keuzes te maken ten aanzien van de invulling van de groeiende vraag naar biomassa.

##### Fase 1.

In de eerste fase zal biogasproductie plaatsvinden op basis van co-vergisting van 50% mest met bijproducten. Veel van deze producten zijn slechts matig geschikt voor veevoer. Van verdringing van teelten en/of veevoer is aanvankelijk nauwelijks sprake. Het digestaat kan in principe op bouwland volledig worden benut. Het komt de bodemkwaliteit ten goede.

##### Fase 2.

Naarmate de bijproducten op raken, kan gras of (energie)maïs worden gebruikt. Laatstgenoemde geeft een hogere biomassaopbrengst per ha en is efficiënter in de energieproductie. Daarom zal energiemaïs eerder als co-substraat worden gebruikt dan gras. Berekend is welke oppervlakten aan maïs respectievelijk gras benodigd zijn als co-substraat bij vergisting van varkensdrijfmest bij een toenemende energievraag (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Benodigde oppervlakten aan maïs en gras bij toenemende energievraag.

biogasvraag (miljoen m <sup>3</sup> methaan)	ha maïs	ha gras	Volume varkensdrijfmest en gewas (maïs of gras) in m <sup>3</sup>		Ton OS geproduceerd (in digestaat)	
			maïs/mest	gras/mest	maïs/mest	gras/mest
100	18.142	23.569	858.738	808.081	143.195	146.465
200	36.285	47.138	1.717.475	1.616.162	286.389	292.929

Voor een beperkte biogasvraag van 100 miljoen m<sup>3</sup> is ruim 18.000 ha maïs nodig. Dit is een hoeveelheid die binnen de huidige maïsproductie (als ruwvoer in de melkveehouderij) als overschot beschikbaar is. Een deel van de akkerbouwers zal energiemaïs gaan telen, ten koste van graan. De verdringing van graan zal daarbij ook afwentelingseffecten buiten Nederland (en de EU) hebben.

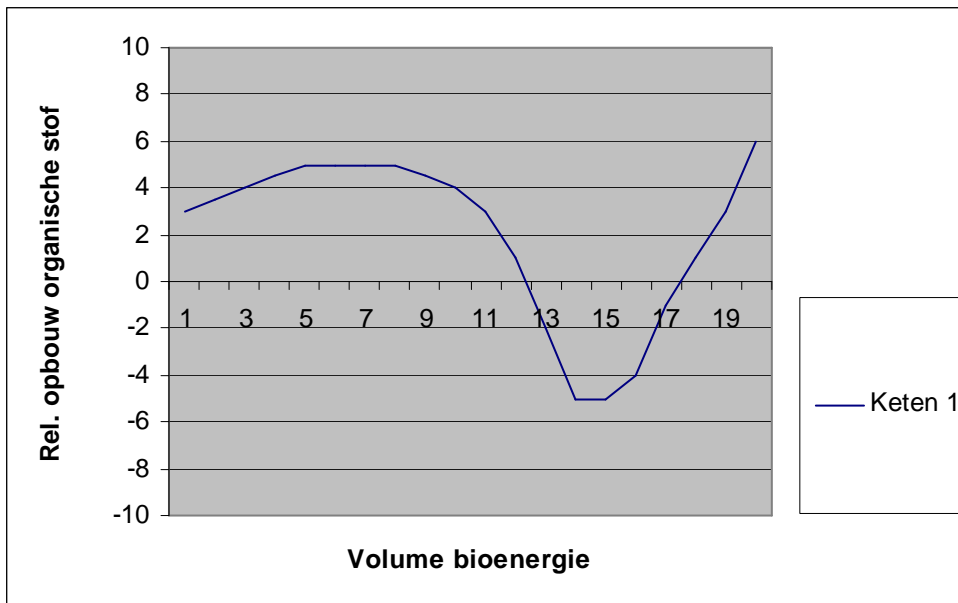
#### Fase 3.

Naarmate de vraag naar biogas groter wordt, zal ook de vraag naar biomassa uit maïs toenemen. Hierdoor zal het voor meer akkerbouwers aantrekkelijk worden om zelf energiemaïs te verbouwen. Dit leidt tot vervanging van graan door energiemaïs in het gangbare bouwplan in de akkerbouw. Graan maakt echter onderdeel uit van een gangbaar bouwplan, omdat het de bodemkwaliteit positief bevordert. De diepe beworteling is goed voor de bodemstructuur en vochthuishouding. Het achterblijvende stro compenseert het verlies aan organische stof van de aardappel- en suikerbietenteelt. De vervanging van graan door energiemaïs is dan ook nadelig voor de bodemkwaliteit. Het verlies aan organische stof kan op perceelniveau niet geheel worden gecompenseerd door toediening van het substraat, omdat de maximale hoeveelheid die mag worden toegediend wordt beperkt door de fosfaatvrucht. De bodemkwaliteit gaat achteruit. Tegelijkertijd neemt het mestoverschot toe.

#### Fase 4.

Bij toenemende energievraag is het niet mogelijk om zonder verlies aan bodemkwaliteit voldoende energiemaïs te produceren. Als de maïsoptbrengsten dalen, zullen akkerbouwers terugschakelen naar bijvoorbeeld graan. Om de bodemkwaliteit in stand te houden is het beter om gras in plaats van maïs te gebruiken als co-substraat. De biogasproductie van de co-vergisting met gras is per ha echter lager dan met maïs. Er zal voor eenzelfde hoeveelheid biogas meer land nodig zijn. De teelt van gras is op zichzelf goed voor de bodemkwaliteit, mits graslandvernieuwing (scheuren en ploegen) beperkt is. In deze fase verbetert de bodemkwaliteit tot er een nieuw evenwicht in de verhouding van het gras- en maïsveld ontstaat.

De veranderingen in organische stof kunnen uitgezet worden op de y-as van het eerder genoemde denkmodel (Figuur 4.1). De y- en x-as geven relatieve waarden voor respectievelijk de verandering in de organische stofopbouw aan ten opzichte van de huidige situatie en de omvang van de energieproductie. Aan de curve in Figuur 4.1 is te zien dat een stijgende behoefte aan groene elektriciteit (co-vergisting) uiteindelijk een positief effect heeft op de organische stofgehalten. Deze illustratie is een versimpeling van de werkelijkheid. In de praktijk zal de keuze voor de productie van gras en/of maïs worden bepaald door de prijs die wordt betaald voor de energie, de verschillen in efficiency en de mogelijkheid om met het digestaat de bodemkwaliteit te handhaven.



Figuur 4.1. Illustratie gebruik toetsingskader: ontwikkeling organische stofopbouw bij toenemende energieproductie door co-vergisting.

## 4.2 Case 2: Biotransportbrandstoffen

### 4.2.1 Procesbeschrijving en afbakening van de keten

Voor een beschrijving van het proces wordt verwezen naar Hoofdstuk 2.

Voor deze case beperken we het 1<sup>e</sup> generatie productieproces tot de omzetting van de gangbare akkerbouwgewassen tarwe en koolzaad. Voor het 2<sup>e</sup> generatie productieproces wordt uitgegaan van tarwe en miscanthus. In deze case is berekend welke arealen aan tarwe, koolzaad en miscanthus benodigd zijn om het gestelde doel van 5,75% bijmenging in 2010 te halen. Tabel 4.2 geeft de resultaten van deze berekening.

Tabel 4.2. Benodigde arealen 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> generatie energiegewassen bij 5,75% bijmenging.

	1 <sup>e</sup> generatie	2 <sup>e</sup> generatie	2 <sup>e</sup> generatie
Grondstof/teelt	tarwe (alleen graan) en koolzaad	tarwe (graan en stro)	<i>miscanthus</i>
benodigd areaal (ha)			
benzine	ca. 172.000 (tarwe)	ca. 121.000	ca. 136.000
diesel	ca. 275.000 (koolzaad)	ca. 178.000	ca. 187.000

In deze keten gaat het om een centraal proces.

### 4.2.2 Impact op landgebruik en bodemkwaliteit

De teelt en het gebruik van biomassa uit deze case heeft raakvlakken met zowel landgebruik als organische stof.

### **Landgebruik**

De teelt van koolzaad en tarwe zal in grote lijnen hetzelfde blijven, maar voor de productie van brandstoffen liggen de kwaliteitseisen minder hoog. Het belangrijkste doel is immers een hoge biomassaproductie. Wel worden in de toekomst mogelijk andere/nieuwe variëteiten gebruikt. Er is waarschijnlijk een lagere input aan meststoffen en bestrijdingsmiddelen nodig. Koolzaad wordt door de burger gewaardeerd als onderdeel van het landschap. De teelt van miscanthus is fundamenteel anders dan de teelt van (1<sup>e</sup> generatie) akkerbouwgewassen. De rotatietijd is minstens 15 jaar. Ze is in die zin te beschouwen als permanente teelt. De biomassa-oogst zal niet eerder plaatsvinden dan na 2-5 jaar. De input van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen en het gebruik van machines is veel minder intensief dan bij akkerbouwgewassen. De effecten op het landschap van dergelijke hoge gewassen (2-5 meter) kunnen groot zijn (Elbersen et al., 2006).

### **Organische stof**

De biomassa in deze case is van grote invloed op de organische stofopbouw van de bodem. Uitgedrukt in kilogrammen effectieve organische stof is de bijdrage van wintertarwe inclusief stro circa 2.500 kg/ha en zonder stro circa 1.600 kg/ha. Bij een afbraak van organische stof in de bodem van 1.600 – 2.000 kg/ha/jaar blijft bij de teelt van wintertarwe zonder onderwerking van stro voldoende organische stof achter om de afbraak van bodem organische stof te compenseren. Het onderploegen van stro kan worden gezien als een reparatie van organische stofverlies in voorgaande jaren. Koolzaad laat met 500 kg e.o.s. per hectare echter te weinig organische stof achter in de bodem.

Tarwestro is een goede grondstof voor 2<sup>e</sup> generatie technologie. De vraag is nu of en hoeveel stro mag worden verwijderd uit de landbouw zonder schade te doen aan de bodemkwaliteit. Voorstanders van het gebruik van stro zeggen dat agrariërs nu al hun stro verkopen en het niet gebruiken voor de bodemkwaliteit. De hoeveelheid die verantwoord kan worden verwijderd zal mede afhangen van het gewenste organische stofgehalte (regionale range) en van de beschikbaarheid van vervangende organische stofbronnen. De discussie over dit onderwerp is gekoppeld aan kennisvragen over de kwaliteit van organische stof en de functies van de verschillende fracties. Powlson (2006) schat dat in de EU gemiddeld 25-50% van de hoeveelheid stro mag worden afgevoerd.

#### **4.2.3 Analyse met het denkmodel**

In deze paragraaf wordt een analyse gemaakt van de ontwikkeling van de opbouw van organische stof bij toenemende productie van biotransportbrandstoffen. Doel van deze exercitie is om te illustreren hoe de invulling van het proces de organische stofbalans op langere termijn beïnvloedt.

##### **Fase 1.**

In de eerste fase zijn alleen bijproducten en gewassen die met de 1<sup>e</sup> generatie technologie verwerkt kunnen worden aan de orde: graan en koolzaad. De verwerking van reststoffen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie is neutraal voor de bodemkwaliteit. Het huidige areaal koolzaad is beperkt (circa 500 ha). Het saldo kan net zo min als dat van tarwe concurreren met dat van aardappels. Opschaling naar de berekende arealen is voor zowel tarwe als koolzaad niet realistisch. Koolzaad (of de uiteindelijke biodiesel) zal dan ook ten dele geïmporteerd worden.

Knelpunten van de 1<sup>e</sup> generatie biotransportbrandstoffen zijn dus:

- groot ruimtebeslag in combinatie met laag saldo
- koolzaad: negatief voor bodemkwaliteit
- import van biomassa: negatief voor mineralenoverschot.

#### Fase 2.

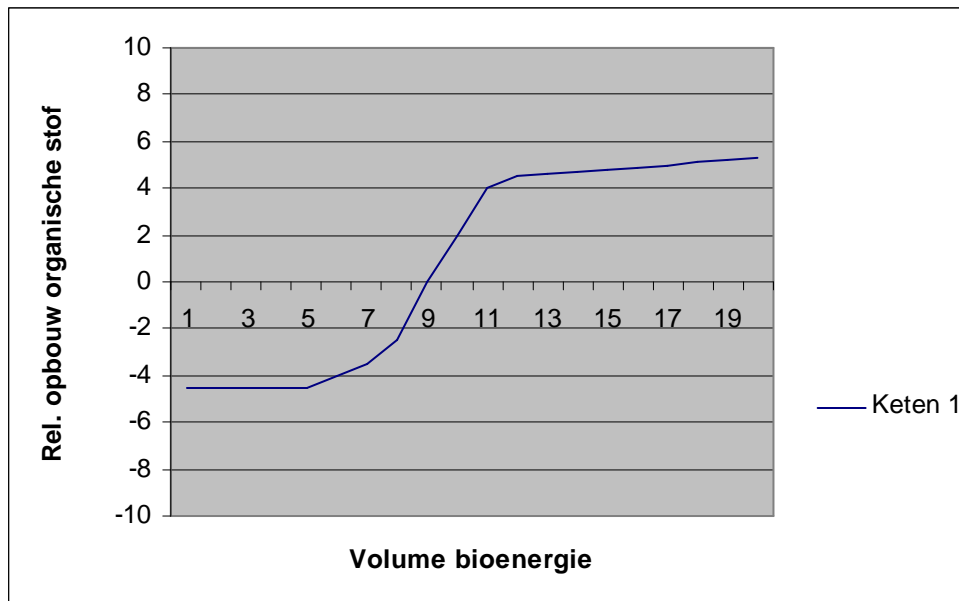
Bij een toenemende vraag naar biomassa voor biotransportbrandstoffen zullen technologische ontwikkelingen richting een 2<sup>e</sup> generatie een steeds belangrijkere rol gaan spelen. Mogelijk komt er een technologie om het restproduct van de ethanolproductie (verkregen bij 1<sup>e</sup> generatie technologieproductie) te vergisten en het digestaat terug te brengen naar het land. In deze overgangsfase zijn tijdelijk zowel 1<sup>e</sup> als 2<sup>e</sup> generatie technologie aan de orde. Bij gebruik van tarwe (graan en stro) voor ethanolproductie op basis van 2<sup>e</sup> generatie technologie is overigens het berekende ruimtebeslag een stuk minder dan in geval van 1<sup>e</sup> generatie technologie (50.000 ha minder; zie Tabel 4.2).

Behalve stro zijn ook afvalhout en meerjarige energiegewassen geschikt voor de productie van 2<sup>e</sup> generatie bio-ethanol. Het voordeel van grootschalige teelt van energiegrassen zoals miscanthus is dat dit gewas zeer diep wortelt. Dat is gunstig voor de bodemstructuur, voor de nutriëntenbenutting en voor de opbouw van organische stof in de bodem. In de literatuur wordt over het algemeen een flinke toename van de voorraad bodem organische stof gemeten bij teelt van energiegrassen. Nadeel is dat meerjarige gewassen de speelruimte in het bouwplan verkleinen. Hierdoor zal de bodemkwaliteit achteruit kunnen gaan.

#### Fase 3.

De productie van de 2<sup>e</sup> generatie biotransportbrandstoffen is efficiënter en krijgt daardoor de overhand. De vraag naar biomassa kan in deze fase bijvoorbeeld worden ingevuld met 75% tarwe en 25% miscanthus, maar ook omgekeerd. Het lijkt erop dat deze fase gunstig is voor de bodemkwaliteit, zeker als de knelpunten in het bouwplan ten gevolge van de teelt van miscanthus kunnen worden opgelost. Aan de ontwikkeling van 2<sup>e</sup> generatie technologie kleven de nodige onzekerheden. Daardoor kan er van de invulling en van de daaruit volgende bodemeffecten geen goed beeld worden gegeven. Bij gevolg worden geen volgende fasen onderscheiden.

De veranderingen in organische stof worden weer uitgezet in de grafiek van het denkmodel (Figuur 4.2). De y- en x-as geven relatieve waarden voor respectievelijk de verandering in de organische stofopbouw aan ten opzichte van de huidige situatie en ten aanzien van de omvang van de energieproductie. Aan de curve in Figuur 4.2 is te zien dat, in dit voorbeeld, een stijgende energievraag naar biotransportbrandstoffen begint met nadelige effecten, maar dat deze stijgende vraag uiteindelijk een positief effect heeft op de organische stofopbouw. Het is de vraag of dit positieve effect zich in de praktijk daadwerkelijk zal voordoen. Het gebruik van biomassa voor de productie van biotransportbrandstoffen kan heel anders worden ingevuld dan in dit vereenvoudigde voorbeeld.



Figuur 4.2. Illustratie gebruik toetsingskader: ontwikkeling organische stofopbouw bij toenemende productie van biotransportbrandstoffen.

### 4.3 Discussie

#### 4.3.1 Ontwikkeling van bio-energie

De vraag naar de ontwikkeling van de productie van bio-energie op landgebruik en bodemkwaliteit kon niet eenduidig en kwantitatief worden beantwoord. De factoren die bij de invulling van biomassaketens een rol spelen grijpen in elkaar en veranderen al naar gelang de schaal en de technologie (fase), die voor dergelijke ketens van toepassing is. Interacties en afwenteling ten gevolge van veranderingen in import, landgebruik hier en elders, bouwplan, teeltmaatregelen, hoeveelheid en samenstelling van reststromen en substitutie van reststromen (als veevoeder of biomassa) zijn zaken die in ogenschouw moeten worden genomen. Een precieze definitie en afbakening van de te bestuderen ketens vooraf is dus noodzakelijk om te kunnen spreken van 'de' effecten van een keten op landgebruik en bodemkwaliteit.

Bij de toepassing van het toetsingskader bleek voorts dat op verschillende cruciale punten gegevens ontbreken om een kwantitatieve schatting te kunnen maken. Die gegevens zijn bijvoorbeeld nodig om te kunnen berekenen waar zich in de curves een omslagpunt in de bodemeffecten bevindt. Datalacunes doen zich met name voor bij het vaststellen van de invulling van een biomassavraag in de tijd, van de stabiliteit van organische stof in digestaat en bij de beoordeling van de bodemeffecten van een bouwplan met meerjarige gewassen. Bijlage 3 biedt een raamwerk voor de algemeen benodigde gegevensverzameling.

#### 4.3.2 Effecten bio-energie op landgebruik en bodemkwaliteit

Een toetsingskader is opgesteld als hulpmiddel om de effecten van bio-energie op de bodemkwaliteit en op het bodemgebruik aan te geven. Het gebruik van het toetsingskader is geïllustreerd voor twee cases:

groene elektriciteit en biotransportbrandstoffen met organische stof als indicator. De cases zijn gebaseerd op sterk vereenvoudigde ontwikkelingsscenario's en beperkte gegevens. Hieruit kunnen alleen globale conclusies worden getrokken. De resultaten moeten gezien worden als een eerste uitwerking van de bodemeffecten van bio-energie.

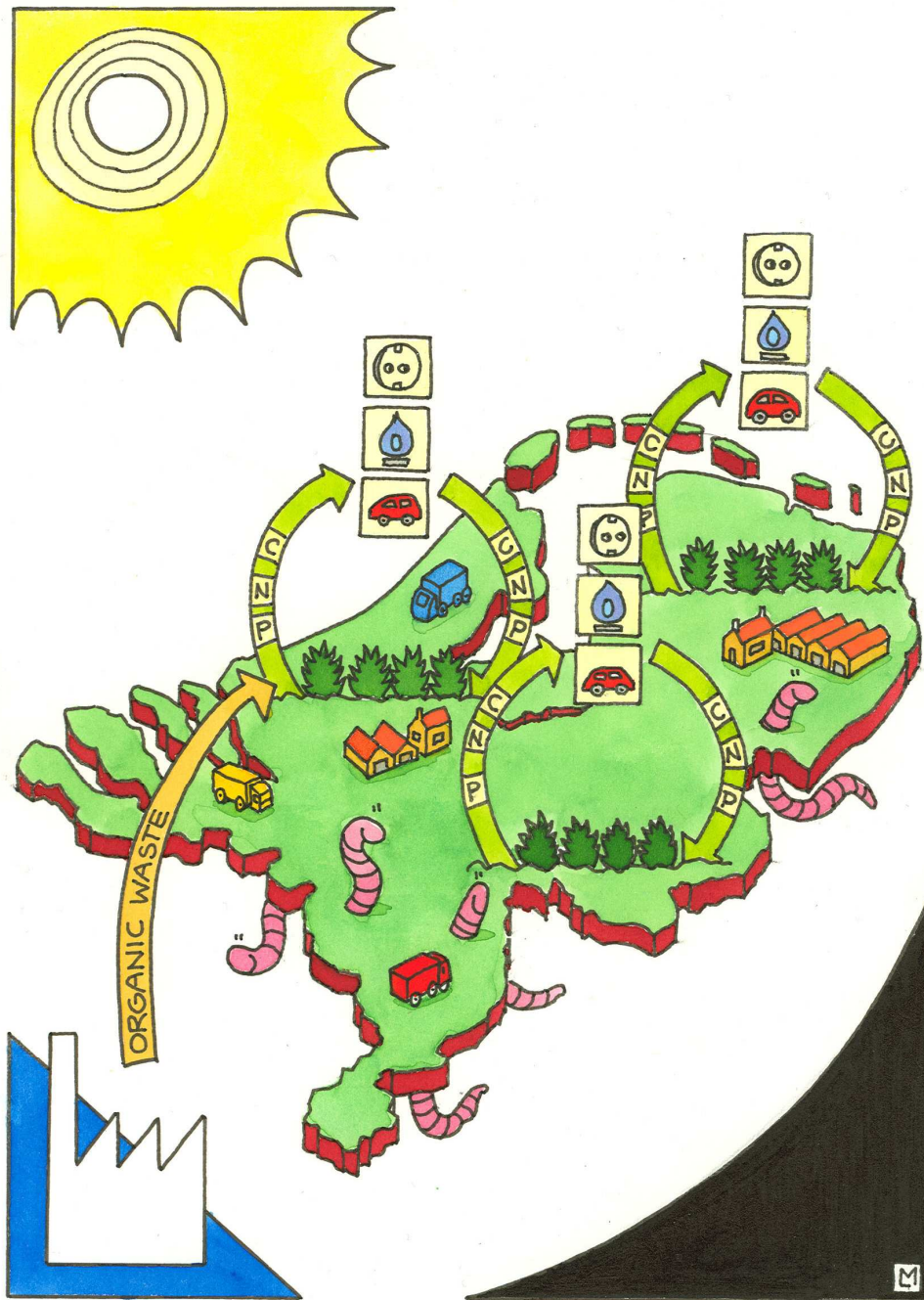
#### 4.3.3 Kansen

De onderzochte energiegewassen verschillen in hun effect op de organische stofbalans van een perceel. De rangorde in volgorde van negatief naar positief effect: maïs > graan (stro afvoer) > graan (stro onderwerken) > meerjarig gras > meerjarig houtig. Pluspunt van vergisting als systeem is dat het in principe mogelijk is om de kringloop van organische stof gesloten te houden. Voorwaarde is wel dat het een decentraal, grondgebonden systeem betreft. Bij co-vergisting biedt de productie van digestaat perspectieven voor gebruik als organische meststof en kunstmestvervanger.

De 2<sup>e</sup> generatie biobrandstofproductie biedt perspectief voor handhaving van de bodemkwaliteit. In de eerste plaats biedt de 2<sup>e</sup> generatie meer kansen voor een evenwichtige C-balans in de bodem door de meer duurzame teelt van lignocellulose-gewassen (energiegrassen zoals miscanthus). De vraag hoeveel stro verantwoord kan worden afgevoerd dient echter wel te worden beantwoord. Dit vereist kennis van afbraakprocessen van en streefwaarden voor (de kwaliteit van) organische stof in de bodem. In de tweede plaats wordt door de 2<sup>e</sup> generatie een kleiner beslag op de beschikbare ruimte gedaan, mits gebruik wordt gemaakt van reststoffen en dunningshout. Om gebruik te kunnen maken van deze voordelen is een stevige inzet op de verdere ontwikkeling van deze technologie nodig.

Ter illustratie geeft Figuur 4.3 een beeld van de situatie waarin bio-energie leidt tot positieve effecten op de bodemkwaliteit in Nederland. In deze situatie is er sprake van regionaal gesloten C-kringlopen. Handhaving van organische stofgehalten is op regionale schaal zeker gesteld, waardoor de waterkwaliteit en de landbouwkundige productie niet verder onder druk komen te staan dan nu al het geval is.



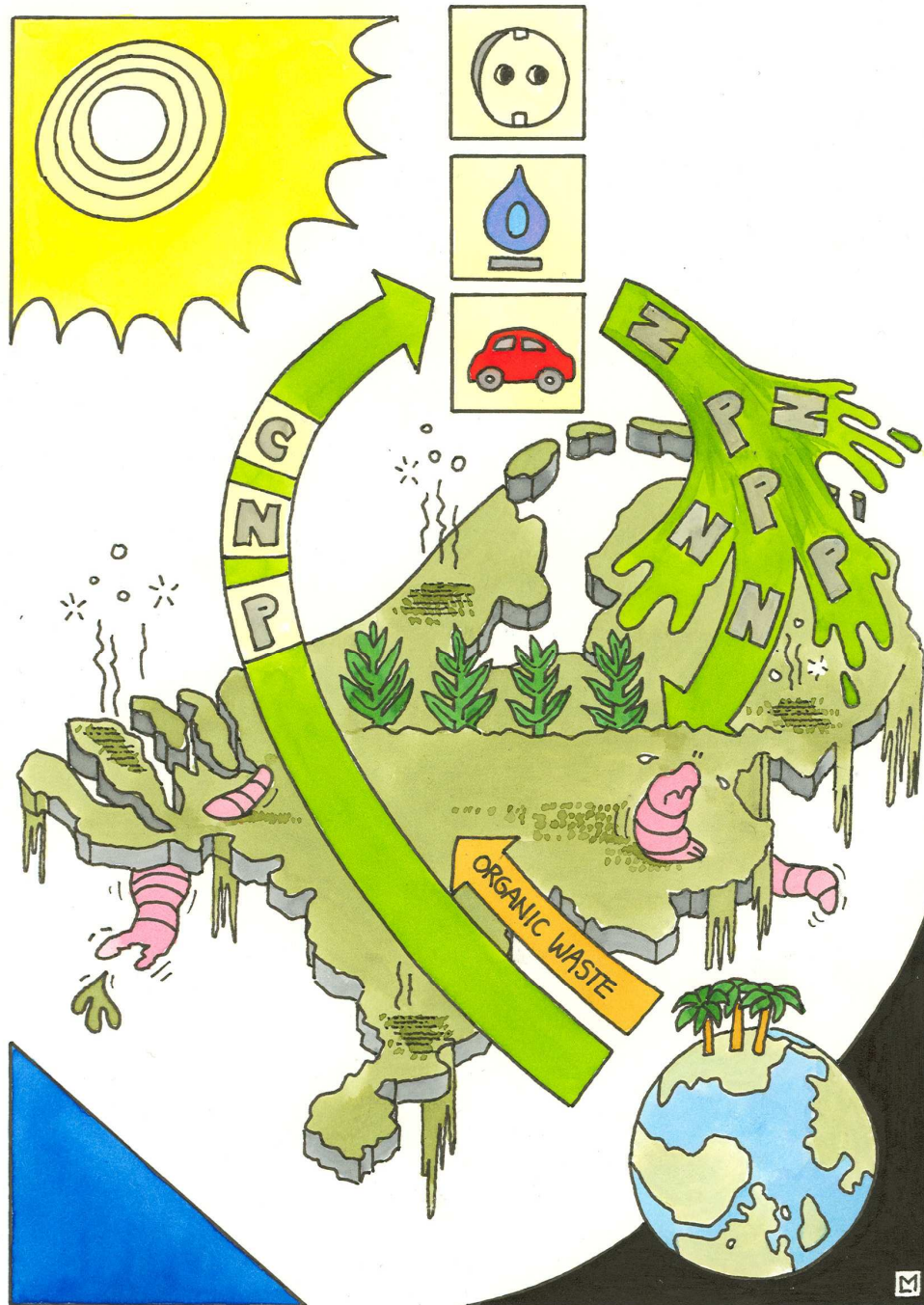


Figuur 4.3. Kans: bio-energie draagt bij aan evenwichtige organische-stofbalansen.

#### 4.3.4 Bedreigingen

Uit deze eerste uitwerking van het toetsingskader voor groene elektriciteit en biobrandstoffen blijkt een aantal bedreigingen te bestaan van bio-energie voor de bodemkwaliteit. Voor groene elektriciteit lijkt er een spanning te bestaan tussen de grondgebondenheid van bedrijfssystemen, de benodigde compensatie met organische stof en de stikstof- en fosfaatgehalten, die met het digestaat mogen worden toegediend. Wettelijk dient digestaat als dierlijke meststof te worden beschouwd. De inrichting en organisatie van de keten is doorslaggevend voor het bepalen van een omslagpunt van een evenwichtige organische stofbalans naar een (locaal) overschot aan digestaat en mineralen. Er is een reëel risico op een toename van het mineralenoverschot. De situatie waarin de productie van bio-

energie bijdraagt aan vermisting en het mineralenoverschot is visueel weergegeven in Figuur 4.4. Als dit zich voor zou doen, verslechtert de waterkwaliteit in Nederland. Ook kan Nederland dan niet voldoen aan de Kaderrichtlijn Water en de Europese Bodemstrategie.



Figuur 4.4. Bedreiging 1: bio-energie draagt bij aan vermisting.

Voor de biotransportbrandstoffen geldt dat van de teelt van 1<sup>o</sup> generatie energiegewassen een negatieve invloed op landgebruik en bodemkwaliteit uitgaat. De C-kringloop is bij deze teelt niet gesloten. De afvoer van organische stof kan niet worden gecompenseerd, zodat de 1<sup>o</sup> generatie teelten leiden tot verschraving van landbouwgronden. Bovendien is de 1<sup>o</sup> generatie teelt minder realistisch, vanwege de benodigde arealen en het lage saldo. Vanuit deze aspecten bezien is het minder gewenst

om 1<sup>e</sup> generatie teelten als grondstof voor biotransportbrandstoffen in Nederland te stimuleren. Bij de 2<sup>e</sup> generatie technologie is het wel mogelijk om een gesloten C-kringloop te handhaven, mits de vraag hoeveel stro verantwoord kan worden afgevoerd, voldoende wordt beantwoord. Indien teveel stro wordt afgevoerd, ontstaat ook in dit geval een situatie van rooibouw, waarin organische stofgehalten en de nutriëntenvoorziening zullen dalen.

De situatie waarin de productie van bio-energie bijdraagt aan verschraling is visueel weergegeven in Figuur 4.5. In deze situatie is het niet mogelijk om de landbouwkundige productie op pijl te houden. Ook voldoet Nederland niet aan de verwachte richtlijn met betrekking tot organische stof van de Europese Bodemstrategie.



Figuur 4.5. Bedreiging 2: bio-energie draagt bij aan verschraling.

SenterNovem, LIB en ZLTO (2006) stellen voor om de teelt van gewassen voor co-vergisting te stimuleren, die weliswaar economisch minder aantrekkelijk zijn, maar die een hogere landschappelijke waarde vertegenwoordigen. Deze gewassen zouden dan moeten passen in een gezamenlijk bouwplan dat afgestemd is op een regionale bovengrondse kringloop van gewassen en digestaat. De resultaten van onze cases sluiten hier in die zin goed bij aan, dat er op regionaal schaalniveau mogelijk meer ruimte is om de organische stofgehalten in een regio op peil te houden door gerichte aanwending van digestaat. Het is wellicht zelfs mogelijk om de voordelen van groene elektriciteit en biotransportbrandstoffen te benutten door een eventueel overschot aan organische stof uit vergisting te benutten voor compensatie van het weghalen van stro voor biotransportbrandstoffen. Het vereist echter een uitgebreidere rekenexercitie met bijvoorbeeld het toetsingskader om schaalniveau's, randvoorwaarden en omslagpunten vast te stellen.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden op hoofdlijnen conclusies getrokken uit het onderzoek en worden enkele aanbevelingen gedaan.

### ***Toetsingskader Bio-energie en Bodemkwaliteit***

Dit onderzoek was gericht op de effecten van bio-energie op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland. Een toetsingskader is ontwikkeld om de effecten te beoordelen van verschillende scenario's voor de ontwikkeling van bio-energieketens op landgebruik en bodemkwaliteit in Nederland. Bij de toepassing ervan bleek dat voor de energieteelt in Nederland deels andere argumenten een rol spelen dan op grond van de huidige Europese duurzaamheidsdiscussie zou worden verwacht. Geconcludeerd is dat het toetsingskader een bruikbaar hulpmiddel is om de effecten op landgebruik en bodemkwaliteit te beoordelen. Voor een kwantitatieve uitwerking zijn echter meer gegevens nodig dan nu voorhanden waren.

- *Gelet op verwachte omvang van import verdient het aanbeveling om ook een studie uit te voeren naar de gevolgen elders in de wereld van de Nederlandse productie van bio-energie. Dit gekoppeld aan een verkenning van mogelijkheden om die gevolgen te beperken.*
- *Aanbevolen wordt om de duurzaamheidsdiscussie over de ontwikkeling van bio-energie in Nederland te voeden met kennis over de opbouw van organische stof in de Nederlandse landbouwkundige situatie.*

### **Kansen van bio-energie voor landgebruik en bodemkwaliteit**

Uit de eerste uitwerking van het toetsingskader voor groene elektriciteit en biobrandstoffen kan worden geconcludeerd dat er in principe sprake kan zijn van een gesloten C-kringloop bij vergisting van biomassa en bij de teelt voor 2<sup>e</sup> generatie technologie van biotransportbrandstoffen. Voorwaarden bij de vergisting zijn dat het een decentraal, grondgebonden systeem betreft en dat het digestaat optimaal kan worden benut om de afbraak van organische stof te compenseren. Voorwaarde bij de teelt voor 2<sup>e</sup> generatie technologie is dat de achterblijvende organische stof (wortelstelsel meerjarige teelten, stro van granen) de afbraak compenseert.

- *Aanbevolen wordt onderzoek te doen naar kengetallen voor de gehalten en de stabiliteit van organische stof in digestaat uit verschillende typen vergisters, zodat verschillen in effect op de organische stofbalans duidelijk worden.*
- *Aanbevolen wordt om onderzoek te doen naar de kwaliteit van organische stof in de bodem, zodat de vraag kan worden beantwoord hoeveel stro verantwoord kan worden afgevoerd voor 2<sup>e</sup> generatie biotransportbrandstoffen. Dit, gekoppeld aan het vaststellen van streefwaarden hiervoor.*
- *Aanbevolen wordt om aanvullend onderzoek te doen naar mogelijke win-win situaties, bijvoorbeeld een overschot aan digestaat uit vergisting gebruiken als compensatie voor het weghalen van stro voor biotransportbrandstoffen.*

### **Bedreigingen van bio-energie voor landgebruik en bodemkwaliteit**

Uit de eerste uitwerking van het toetsingskader voor groene elektriciteit kan worden geconcludeerd dat er een spanning bestaat tussen het gebruik van digestaat als bodemverbeteraar (aanvoer van organische stof) en de wettelijk registratie als dierlijke meststof. Dit kan ertoe leiden dat er te weinig

organische stof mag worden aangevoerd en dat de grond verschraalt. Tegelijkertijd is er een concreet risico op een toename van het mineralenoverschot. Voor de teelt van energiegewassen voor de 1<sup>e</sup> generatie technologie biotransportbrandstoffen wordt geconcludeerd dat de C-kringloop niet gesloten is. Dat kan op termijn leiden tot verschraling van de grond. De teelt van granen voor de 2<sup>e</sup> generatie technologie vormt een bedreiging voor organische stofopbouw, indien onvoldoende stro achterblijft.

- *Aanbevolen wordt om de beleidsmatige en landbouwkundige mogelijkheden voor het gebruik van digestaat als bodemverbeteraar en/of dierlijke meststof nader te onderzoeken.*
- *Aanbevolen wordt om de bodemkwaliteit bij de teelt van 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> energiegewassen als grondstof voor biobrandstoffen goed te monitoren.*

## 6 Literatuur

- Annevelink E, Bakker RR & Meeusen MJG (2006) Quick scan kansen op het gebied van biobrandstoffen; met de nadruk op de agro-sector. AFSG rapport 619, 81 pp.
- Biewinga EE & Bijl G van der (1996) Sustainability of energy crops in Europe. A methodology developed and applied. Centrum voor landbouw en Milieu, CLM-rapport 234. Utrecht.
- CBS (2006) Duurzame energie in Nederland 2005. Centraal bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 47 pp.
- Commission of the European Communities (2006) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council, establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 004/35/EC.
- Criteria voor duurzame biomassa productie (2006) Eindrapport Projectgroep 'Duurzame productie van biomassa'.
- European Energy Agency (2006) How much energy can Europe produce without harming the environment?
- European Environment Agency (2006) How much bio-energy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No 7/2006, ISBN 92-9167-849-X
- Elbersen B, Andersen E, Bakker R, Bunce R, Carey P, Elbersen W, Eupen M van, Guldemond A, Kool A, Meuleman B, Noij GJ & Roos Klein-Lankhorst J (2006) Large-scale biomass production and agricultural land use – potential effects on farmland habitats and related biodiversity. Technical report.
- EU (2005) Biomass Action Plan. {SEC(2005)1573} Brussel.
- EU (2003) Biofuels Directive (2003/30/EC). Brussel.
- Hanegraaf MC (2000) Results effects on biodiversity and landscape for the Netherlands. In: Patyk A, Reinhardt GA and Jungk NC. (eds.). BioEnergy for Europe: which ones fit best? A comparative analysis for the Community. Concerted Action Contract nr. CT 98 3832. IFEU, Heidelberg.
- Janssens B, Prins H, Voort M van der, Smit B, Annevelink E & Meeuwsen M (2005) Beschikbaarheid koolzaad voor biodiesel. Den Haag, LEI, Rapport 6.05.07, 77 pp.
- Janzen, HH (2004) Carbon cycling in earth systems – a soil perspective. *Agriculture Ecosystems & Environment* 104 (2004): 399-417.
- Jenny H (1948) Alcohol or Humus? *Science* vol. 209, p. 444.
- Junginger M, Wit M de & Faay A (2006) Country report for the Netherlands, Update 2006. IEA task 40.
- Kiezen voor landbouw (2005) Een visie op de toekomst van de Nederlandse agrarische sector. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Den Haag.
- Kool A & Bosker T (2004) Ongewenste stoffen met covergisting. Een verkenning naar risico's op contaminatie met zware metalen en micro-verontreinigingen.
- Kool A, Timmerman M, Boer H de, Dooren HJ van, Dun B van & Tjimensen M (2005) Kennisbundeling covergisting. CLM 621 – 2005.
- Lettinga G (2006) Over problemen en verkeerde keuzes bij bio-energiewinning. Op weg naar, of weg van duurzaamheid. *Spil* / 227-228, pp. 10-14.
- Meeusen-van Onna MJG, Hoogeveen MW & Sengers HHWJM (1998) Groene reststromen in agroketens – Een beschrijving van de markt van organische reststromen uit de landbouw en voedings- en genotmiddelenindustrie. Den Haag, LEI, Mededeling 608.
- Platform Groene Brandstoffen (2006) 30% vervanging fossiele grondstoffen in 2030. Een uitgave in het

- kader van Energietransitie, Publicatienummer 8ET-06.05
- Powlson D (2006) Straw use – energy or soil quality? Presentation 'Cereals straw resources for Bioenergy in the European Union' CENER/JRC, Pamplona.
- Rabbinge R (2005) De plant als fabriek. Presentatie Symposium Biobased Economy, Visie voor Nederland. Wageningen.
- Rabou RPLM, Deurwaarder EP, Elbersen HW & Scott EL (2006) Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030. Een studie door ECN en WUR Biobased Products voor het Platform Groene Grondstoffen gefinancierd door SenterNovem, 54 pp.
- Reijnders L (2006) Conditions for the sustainability of biomass based fuel use. Energy policy 34 (2006), pp. 863-876.
- Schlamadinger, B Grubb M, Azar C, Bauen A & Berndes G (2001) Climate Strategies. Carbon sinks and biomass energy production: A study of linkages, options and implications.
- SenterNovem, Stuurgroep Landbouw Innovatie Noord Brabant & ZLTO (2006) Kansen voor duurzame co-vergisting.
- SenterNovem (2006b)  
[http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/nieuws/uitbreiding\\_positieve\\_lijst\\_co-vergisting.asp](http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/nieuws/uitbreiding_positieve_lijst_co-vergisting.asp).
- TCB (2005) Duurzamer Bodemgebruik in de landbouw. TCB A36(2005). Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Tweede Kamer der Staten-Generaal (2003) Brief van de staatssecretaris 28 663 en 28 199, nr. 13.
- Tweede Kamer der Staten-Generaal (2006) Brief van de Minister van landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. 21 501-32 en 22 112, nr. 185.
- Van den berg. W.J. 2006. Geef biomassa de ruimte om (op) te groeien!. Milieu 2006, jaargang 12, nr. 7, pp. 42-43.
- Van der Voort MPJ (2003) Biobrandstoffen; een alternatief voor de Nederlandse landbouw? Praktijkonderzoek Plant & Omgeving PPO publicatie 319. Lelystad.



**Bijlage 1. Biomassavraag.**

Tabel B1.1. Bio-energieproductie (duurzame elektriciteit en warmte) situatie in jaar 2005.

<b>Conversie systeem</b>	<b>Inzet biomassa (TJ) <sup>1</sup></b>	<b>Totaal biomassa (Kton droge stof)</b>	<b>Biomassa-inputs</b>
Bij- en meestoken in centrales	30.522	<sup>2)</sup> 1.176 (import)	Import houtchips, secundaire bijproducten als cacao doppen en palm doppen, Nederlandse reststromen hout (dunning, landschapsonderhoud, resthout)
Houtkachels voor warmte bij bedrijven	1.995	onbekend	Reststromen hout (dunning, landschapsonderhoud, resthout uit eigen productieproces o.a. hout- en meubelindustrie)
Houtkachels bij huishoudens	9.316	<sup>3)</sup> 601	Reststromen hout (dunning, landschapsonderhoud, resthout, hout uit tuinen)
Overige biomassaverbranding (biomassa centrales, cementovens)	5.628	onbekend	Reststromen hout (dunning, landschapsonderhoud, resthout)
Afvalverbrandingsinstallaties (AVI's)	56.722	<sup>1)</sup> 5.454	Biogeen afval recent verzameld (GFT)
Stortgas	2.503	n.v.t.	Biogeen afval uit verleden op stortplaatsen
RWZI biogas (uit rioolwaterzuiverings installaties)	2.124	n.v.t.	Reststromen waterzuivering (slib)
Overig biogas (mest- en co-vergisting)	1.240	onbekend	Dierlijke mest (varkens, rundvee, kippen) Reststromen agrarische sector en beperkt voedingsmiddelenindustrie

Referenties:

<sup>1)</sup> CBS, 2006<sup>2)</sup> Junginger et al., 2006

## Bijlage 2. Doelstelling biotransportbrandstoffen.

Tabel B2.1. Doelstellingen biotransportbrandstoffen gekoppeld aan het benodigde areaal, wanneer de doelstelling geheel met de teelt van een bepaald gewas gerealiseerd zou worden. Ook zijn alternatieve biomassa-inputs aangegeven die afhankelijk van de stand der technologie ook in aanmerking kunnen komen.

<b>Biobrandstof</b>	<b>Omvang vraag <sup>1)</sup> (miljoen liter)</b>	<b>Benodigd areaal (ha)</b>	<b>Alternatieve biomassa-inputs</b>
Bioethanol (2% in 2006)	164	172.000 (alleen tarwe)	Reststromen voedingsmiddelenindustrie zetmeelhoudend (C-zetmeel, afgekeurde aardappelen, aardappel stoomschillen, snijverlies vlokken/snipers, tarweconcentraat, tarwegries, graanspoeling, ...) Reststromen voedingsmiddelenindustrie suikerhoudend (bietenstaartjes, natte bietenperspulp, gedroogde bietenpulp, bietmelasse, ...) Handelsgewassen zetmeelhoudend (maïs, tarwe, granen, ...)
Bioethanol (5,75% in 2010)	484	121.000 (tarwe + stro) of 136.000 (miscanthus)	Lignocellulose houdende biomassastromen, zoals grassen en hout, in beide gevallen zowel reststromen als geteeld
Biodiesel (2% in 2006)	165	275.000 (koolzaad)	Olie van oliezaden (koolzaad, palmolie, soja) Secundaire en tertiaire bijproducten (frituurvet en dierlijke vetten)
FT-diesel (5,75 % in 2006)	484	187.000 (miscanthus)	Ligno cellulose houdende biomassastromen, zoals grassen en hout, in beide gevallen zowel reststromen als geteeld

<sup>1)</sup> Annevelink et al., 2006

### Bijlage 3. Benodigde gegevens.

Tabel B3.1. Benodigde gegevensverzameling

- Heldere definitie van de te beschouwen biomassa-keten: systeemgrenzen
  - welke stromen precies: omvang en samenstelling
  - waar komen de stromen vandaan
  - waar gaan ze naartoe (routes)
  - welke transformaties/veranderingen in samenstelling treden op (bijvoorbeeld mest+co-producten = digestaat)
- Balansen van OS, NP en zware metalen:
  - toevoer
  - afvoer
  - omzetting/afbraak/verliezen → deze gegevens ontbreken vaak

#### Organische stof:

- bodem-OS: gehalten en stabiliteit/afbraaksnelheid (verschillen tussen regio's/grondsoorten en percelen)
- OS in biomassa: gehalten en stabiliteit/afbraaksnelheid
- OS in tussenproducten: gehalten en stabiliteit/afbraaksnelheid
- Overige OS-balansposten (bedrijfsniveau, bouwplan)
- Streefwaarden?
- Indicator voor kwaliteit?

#### N,P:

- bodem: gehalten en beschikbaarheid (welke vormen en fracties)
- biomassa: gehalten en beschikbaarheid (welke vormen en fracties)
- tussenproducten: gehalten en beschikbaarheid (welke vormen en fracties)

#### Zware metalen:

- bodem: gehalten en beschikbaarheid (welke vormen en fracties)
- biomassa: gehalten en beschikbaarheid (welke vormen en fracties)
- tussenproducten: gehalten en beschikbaarheid (welke vormen en fracties)

- In geval van teelt:

- Teeltkarakteristieken (intensiteit, etc.)
- arealen
- grondsoorten
- gegevens over bemesting (soort en gift), bewerking, OS-balans en bestrijdingsmiddelengebruik
- bouwplan
- substitutie-effecten

- In geval van import:

- welke stromen precies: omvang en samenstelling (NP, OS, etc.)
- waar komen de stromen vandaan en waar gaan ze naartoe (routes)
- substitutie-effecten

- In geval van primaire en secundaire restproducten:

- welke stromen precies: omvang en samenstelling (NP, OS, etc.)
- waar komen de stromen vandaan en waar gaan ze naartoe (routes)
- substitutie-effecten

## **Bijlage 4a. Beoordelingssystematiek: biomassaketens beoordelen op bodemkwaliteitsaspecten.**

Een beoordelingssystematiek die op gestructureerde wijze de effecten van biomassa-ketens op bodemkwaliteit en -gebruik in kaart kan brengen dient om informatie te geven over de effecten op de bodemkwaliteit en over de indicatoren om deze effecten te meten. De hier voorgestelde systematiek bestaat uit 7 stappen (zie kader).

### **Beoordelingssystematiek effecten biomassa-ketens op bodemkwaliteit en -gebruik**

- |       |  |
|-------|--|
| IV.   | Beschrijving en selectie van ketens  |
| V.    | Vaststellen van de raakvlakken met bodemkwaliteit en bodemgebruik;                             |
| VI.   | Bepalen relevante bodemfuncties, bodemprocessen en belangrijkste bodemeigenschappen            |
| VII.  | Keuze indicatoren voor bepaalde effecten   |
| VIII. | Weging, gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse en beschouwing van schaalniveau (ruimte en tijd) |
| IX.   | Analyse impact bodemkwaliteit  |
| X.    | Integratie: aanbevelingen en conclusies  |

#### **Ad I. Beschrijving en selectie van ketens**

- Keuze van biomassaketens voor elektriciteit, warmte en transportbrandstof
- De hoeveelheid biomassa kan per keten worden onderverdeeld naar vier categorieën wat betreft de herkomst van de biomassa, te weten:
  - import
  - teelt
  - primaire bijproducten
  - secundaire/tertiaire bijproducten (in het vervolg: secundaire bijproducten)
- Keuze van scenario's: deze keuze bepaalt verhoudingen en verdeling van toekomstige biomassa-behoefte over de vier categorieën (import, teelt, primaire en secundaire bijproducten)

#### **Ad II. Vaststellen van de raakvlakken met bodemkwaliteit en -gebruik**

- Bepalen van de relatie/interacties van de geselecteerde (onderdelen van) biomassaketens met bodemgebruik en teelt.
- Effecten van de vier verschillende herkomst-categorieën van biomassa (import, teelt, primaire en secundaire bijproducten) op bodemgebruik en op bodemkwaliteit:
  - directe effecten (o.a. vervanging in bouwplan)
  - indirecte effecten (o.a. verminderd aanbod GFT-compost)
  - positieve effecten (bijv. afvoer gewasresten: uitspoeling verminderd)
  - negatieve effecten (bijv. afvoer gewasresten: OS-gehalten omlaag/vershraling)
  - veranderingen in bodemgebruik en effecten op landschapsbepalende elementen (bijv. omzetting van grasland naar bouwland, intensief/extensief bouwplan, laag/hoogopgaand gewas, etc)

→ belang en omvang van effecten

→ stuurbaarheid van effecten

### Ad III. Bepalen relevante bodemfuncties, bodemprocessen en belangrijkste bodemeigenschappen

- Selectie bodemfuncties (ook wel ecologische diensten genoemd), met name:
  - bodemvruchtbaarheid: nutriënten leveren en biomassa produceren
  - filter, buffer en reactor: reguleren van water, gassen, stoffen en energie
  - habitat voor organismen en bewaarplaats genetische reserve (biodiversiteit)
  - bodem als landschapsecologisch element / fysieke structuur
  - adaptatie/veerkracht: bij verstoring en omzetting naar ander bodemgebruik
  - ziekte- en plaagwering
  
- Selectie bodemprocessen (deze zijn van belang om de bodemfuncties goed te kunnen uitvoeren: een bepaald bodemproces kan ten dienste staan van verschillende bodemfuncties), onder andere:
  - wortelgroei
  - nutriëntenvoorziening
  - energievoorziening bodemleven
  - zuurstofvoorziening
  - watervoorziening/transport
  - buffercapaciteit (pH, nutriënten, C)
  - opslagcapaciteit vreemde stoffen
  - water bergen
  - afbraak verontreinigingen
  - vormen van habitat en bewaarplaats genetisch materiaal
  - tegengaan runoff en infiltratie
  - permeabiliteit
  - behoud topografie en bodem
  
- Inventarisatie sleuteleigenschappen (deze intrinsieke bodemeigenschappen zijn van belang voor een optimaal verloop van de bodemprocessen en liggen dus aan de basis van het goed functioneren van de bodem):
  - structuur
  - organische stof (OS): gehalte en kwaliteit
  - textuur
  - diversiteit bodemleven
  - infiltratiecapaciteit
  - waterbergingscapaciteit

### Ad IV. Keuze indicatoren voor bepaalde effecten

- Keuze van indicatoren op basis van selectie van biomassa-ketens: welke indicatoren zijn relevant bij welk ketenonderdeel waarvoor een raakvlak met bodemkwaliteit is?
- Indicatoren voor bodemkwaliteit en -gezondheid en voor bodemgebruik en ruimtebeslag: wat zijn aspecten van duurzaam bodembeheer of kenmerken van een goede bodemkwaliteit?

- Indicatoren worden gekozen op basis van stap III (selectie bodemfuncties, bodemprocessen en bodemeigenschappen): bodemprocessen of –eigenschappen zouden zelf als indicator kunnen dienen, maar ook kunnen aanvullende indicatoren worden gedefinieerd (zie appendix 1 voor de keuze van mogelijke indicatoren).

In veel literatuur wordt voor het evalueren van de bodemkwaliteit een minimum dataset voorgesteld (Larson en Pierce, 1991), (Doran en Parkin, 1996). Een dergelijke dataset bestaat uit een aantal indicatoren waarbij zoveel mogelijk aspecten van de bodemkwaliteit aan bod komen. De uiteindelijke samenstelling van de dataset hangt dan ook af van welke eigenschappen van de bodem het belangrijkst worden geacht voor het gebruik of welke doelen er worden beoogd.

Om de indicatoren te kunnen gebruiken moeten streefwaarden bekend zijn. Streefwaarden geven aan bij welke waarden de indicator de gewenste bodemfuncties ondersteunt. De streefwaarden moeten zo mogelijk aangepast zijn aan de grondsoort, het landgebruik en de functie die beoordeeld moet worden. Deze streefwaarden zijn echter lang niet altijd beschikbaar. Wel zijn er vier gestandaardiseerde relaties tussen indicatoren en bodemkwaliteit (bodemfuncties, -processen en/of –eigenschappen) die in Figuur B4a.1 (zie verderop) geïllustreerd worden. De 100% grens in deze figuur geeft de waarde(n) aan waarboven de indicator niet limiterend is voor de gewenste bodemfunctie of optimaal is. De 0% grens geeft de waarde(n) aan waaronder de indicator de bodemfunctie onmogelijk maakt of de waarde met het grootste negatieve effect. De figuur linksboven geeft de relatie ‘meer is beter’ weer. In het meest simpele model wordt dit verband als lineair gezien, maar het kan natuurlijk ook een heel ander verloop hebben. Een dergelijk verband wordt in de praktijk voor veel biologische indicatoren gebruikt, omdat er niet genoeg kennis beschikbaar is om aan te geven waar het optimum ligt. Ook voor organische stof wordt deze relatie vaak aangenomen. In de praktijk werkt dit goed, omdat het organische stofgehalte in minerale bodems in Nederland vrijwel nooit te hoog is. Voor regenwormen is gebleken dat er wel degelijk een bovengrens aan het gewenste aantal zit: bij een teveel aan wormen kan de grond gaan versmeren. Waar deze bovengrens ligt is echter niet bekend. De figuur rechtsboven geeft de tegenovergestelde relatie waarbij geldt ‘minder is beter’. Deze relatie is bijvoorbeeld van toepassing op pathogene organismen en op stoffen die schadelijk zijn voor het gewas of het milieu. De relatie in de figuur linksonder geeft een optimale range. Ook wanneer er sprake is van een optimum, zijn veel verschillende vormen van de functie denkbaar. Deze relatie is bijvoorbeeld van toepassing op veel chemische indicatoren, zoals pH en nutriëntengehalten waarbij zowel hele lage als hele hoge waarden schadelijk zijn voor het gewas of de omgeving. De laatste relatie (figuur rechtsonder) geeft een ongewenste range. Deze relatie komt minder vaak voor: een voorbeeld is de slempgevoeligheid van de bodem die het hoogst is bij een lutumgehalte van 20%.

#### **Ad V. Weging, gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse en beschouwing van schaalniveau**

Om de resultaten van de verschillende indicatoren te kunnen combineren tot een algemene beoordeling moeten de waarden worden getransformeerd. Hiervoor kunnen verschillende methoden worden gebruikt. Om de indicatoren zo goed mogelijk te kunnen combineren kan het beste gewerkt worden met de afwijking van de optimaal. De optimaal wordt hierbij gesteld op 100% en de ondergrens op 0%. Waarden die buiten het gebied vallen worden dan als 0 of 100% behandeld. Om dit te kunnen doen moet echter de precieze relatie tussen de indicator en de bodemkwaliteit bekend

zijn of een versimpelde aanname worden gedaan. Er kan bijvoorbeeld worden gewerkt met lineaire verbanden ( $y = x$  of  $y = -x$ ) voor de 'meer is beter' en 'minder is beter' verbanden en een standaard parabool (van de vorm  $y = x^2$  of  $y = -(x^2)$ ) voor de optimum en ongewenste range verbanden. Nadat de indicatoren zijn omgerekend moeten ze worden gecombineerd tot een enkele beoordeling of index. Karlen en Stott (1994) geven hiervoor de volgende formule:

$$Q = \Sigma((q_i * w_i) \dots (q_n * w_n))$$

Met:

Q is bodemkwaliteit of een van de problemen/functies die beoordeeld wordt;

q is de omgerekende indicatorwaarde; en

w is de wegingsfactor.

De wegingsfactoren geven aan welke indicatoren het belangrijkste zijn voor de te beoordelen bodemeigenschap. Het is wenselijk om wegingsfactoren toe te kennen, omdat nooit alle indicatoren een even grote invloed hebben (Karlen en Stott, 1994).

Onzekerheden/bandbreedtes (en invloed daarvan op de uitkomsten): uitvoeren van gevoeligheids- en onzekerheidsanalyses.

#### Schaalniveau (tijd en ruimte)

- Indicatoren op het niveau van perceel, bouwplan en/of stroomgebied/regio.
- Verdringing/substitutie in verschillende afzetmarkten
- Nationaal niveau: aggregatie van analyseresultaten

#### **Ad VI. Analyse impact bodemkwaliteit**

- Bewijsvoering via verschillende maar elkaar aanvullende lijnen (multiple weight of evidence);
- Onderscheidend vermogen van de indicatoren: voorkomen van vals positieve en vals negatieve uitkomsten (type I en type II fouten).

#### **Ad VII. Integratie: aanbevelingen en conclusies**

- Integratie (Stap I. tot en met VI.), aanbevelingen en conclusies.
- Eventueel met gebruik van het DPSIR-format.

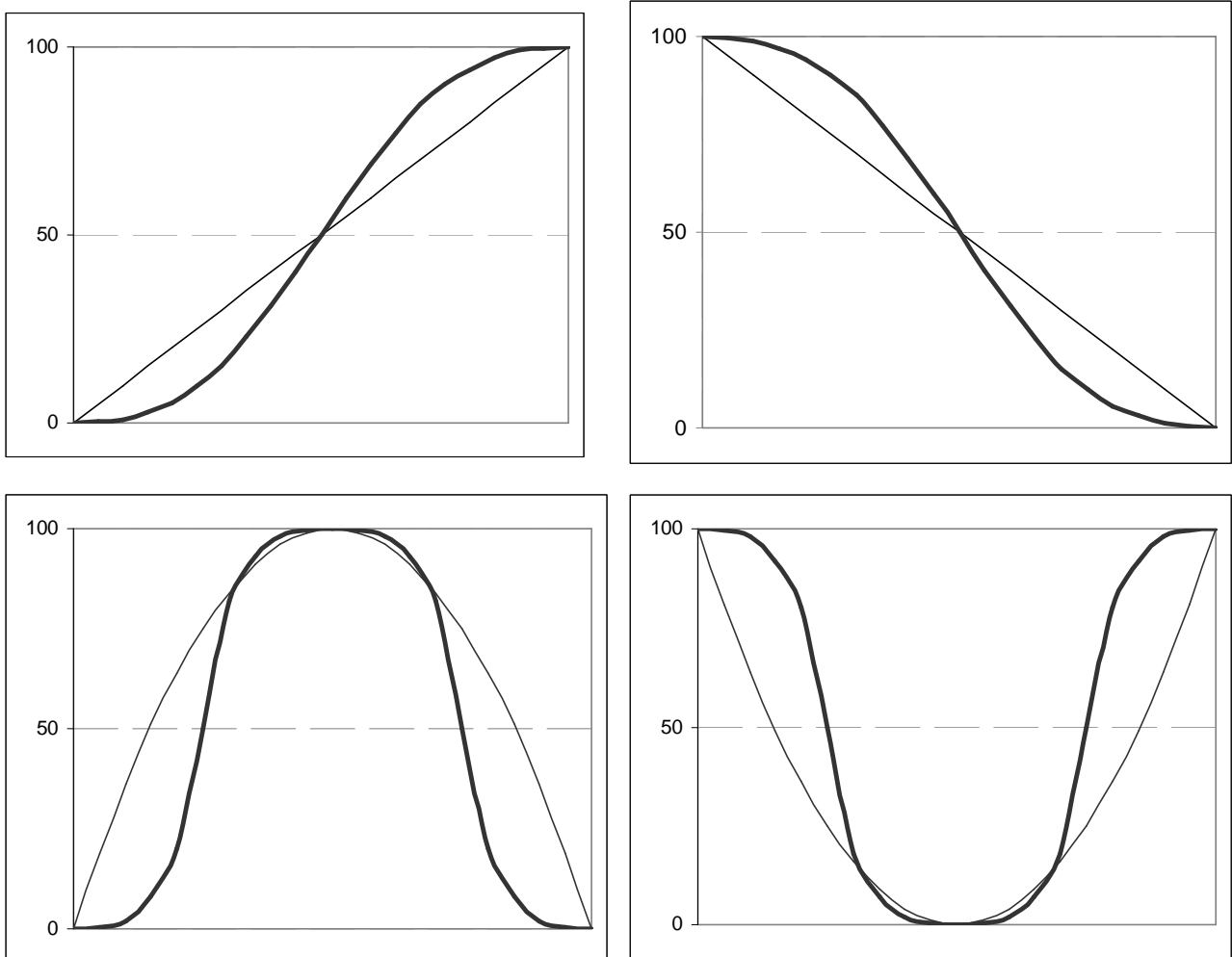
Om de interacties tussen maatschappij en milieu te analyseren wordt **DPSIR** toegepast. DPSIR wordt een milieuverstoringsketen of milieuprobleemketen genoemd. De letters van de verschillende schakels staan voor **D**Driving forces, **P**ressure, **S**tate, **I**mpact, **R**espons. Elke schakel kan beschreven worden aan de hand van indicatoren.

DPSIR werd door het Europees Milieuagentschap (EMA 1999) aangenomen als beoordelingskader dat een basis geeft voor het analyseren van geïnterrelateerde factoren, die een impact hebben op het milieu. Het is gebaseerd op een model dat door OECD ontwikkeld werd voor een beleidsgerichte analyse van de toestand van het milieu (OECD 1993). De verschillende werkgroepen van de Europese Commissie in het kader van de EU Thematische Bodemstrategie hebben ook volgens het

format van het DPSIR analysekader gewerkt (zie Reports of the Technical Working Groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection, European Commission en European Environmental Agency, 2004).

Het gebruik van DPSIR als methode heeft als voordeel dat het een frequent toegepaste methode is, zodat vergelijking met andere gebieden mogelijk wordt. De informatie wordt duidelijk gestructureerd. Deze structuur maakt het mogelijk om aan te tonen waar eventueel informatie ontbreekt. In de notitie "A framework for evaluating the environmental impact of biofuel use" is de DPSIR methode op die manier ingezet (Annex A van de OECD Workshop on Biomass and agriculture [Feehan en Petersen, 2003]).

Voor een verder beschrijving van DPSIR: zie appendix 2.



Figuur B4a.1. Standaard verbanden tussen indicatoren en bodemkwaliteit (Karlen en Stott, 1994)

- Links boven: 'meer is beter'
- Rechts boven: 'minder is beter'
- Links onder: 'optimum range'
- Rechts onder: 'ongewenste range'.



In alle figuren zijn twee mogelijke functies aangegeven om te laten zien dat er verschillende opties mogelijk zijn; de meest simpele functies zijn aangegeven met de lichte lijn, de meer gecompliceerde maar waarschijnlijk meer waarheidsgetrouwe met de dikke lijn. De stippellijn geeft aan waar de indicator op 50% van optimaal is.

## Bijlage 4b. Bodemkwaliteitsindicatoren.

Doel indicatoren:

- “op betrouwbare wijze de grootte van een parameter of probleem bepalen, zonder noodzakelijk die parameter of dat probleem zelf te meten” (STEDULA).
- “bepalen in welke richting het bodemgebruik zich ontwikkelt” (TCB).

Criteria waaraan indicatoren moeten voldoen:

- relevantie en validiteit, representatief en correct (STEDULA en TCB): relatie met hetgeen wordt onderzocht.
- analytische betrouwbaarheid en herhaalbaarheid (STEDULA).
- eenvoud en praktische bruikbaarheid (begrijpelijk, haalbaar, kosteneffectief) (STEDULA).
- effectiviteit (ook: aanzetten tot acties) (STEDULA).
- gevoeligheid (STEDULA): snel en juist veranderingen weergeven.
- stuurbaarheid (TCB): inzicht in de manier waarop de waarde van de indicator te beïnvloeden is.
- kwantificeerbaarheid (TCB): bekend moet zijn welke waarden de indicator kan aannemen.
- normerend (TCB): aan de waarde van de indicator moet een betekenis gehecht kunnen worden, of deze moet grens-/drempelwaarden op kunnen leveren.

Specifieke aanvullende criteria voor bodemkwaliteitsindicatoren:

- indicatorset moet chemische, biologische en fysische bodemeigenschappen integreren.
- indicatoren moeten bruikbaar zijn onder veldcondities (zowel voor boeren als wetenschappers).
- indicatoren moeten gevoelig zijn voor variaties in management (early warning indicators).
- het is nuttig als de indicatoren al onderdeel zijn van bestaande databases.
- de indicatoren moeten geschikt zijn voor het niveau dat men onderzoekt en ze moeten rekening houden met de variabiliteit van de bodemkwaliteit in tijd en ruimte.

Soorten indicatoren:

- kwantitatief.
- kwalitatief.
- semi-kwantitatief.

Definitie van bodemkwaliteit volgens Doran en Parkin (1993):

Soil quality: the capacity of soil to function effectively at present and in the future.

Major issues with respect to soil **function**:

- productivity (plant and biological).
- environmental quality (to attenuate environmental contaminants, pathogens and offsite damage).
- human and animal health (the interrelationship between soil quality and plant, animal, and human health).

→ the capacity of a soil to function within ecosystem boundaries to sustain biological productivity, maintain environmental quality, and promote plant and animal health.

De functie van de bodem, oftewel de capaciteit van de bodem om bepaalde functies uit te (blijven of gaan) voeren, staat hierbij centraal (fitness for use).

Bij de selectie van indicatoren als onderdeel van de beoordelingssystematiek zal bij deze functiegerichte insteek worden aangesloten. Dit sluit niet uit dat juist ook bepaalde intrinsieke eigenschappen/kwaliteiten van de bodem worden beschouwd.

Definitie duurzamer bodemgebruik volgens de TCB (A36, 2005):

*Duurzamer bodemgebruik is het voorkomen van negatieve gevolgen van het bodemgebruik elders en later, het in stand houden van het bodemgebruik op de lange termijn, het rekening houden met de opvolgbaarheid van andere vormen van bodemgebruik en het onderhouden van ecologische diensten die van algemeen belang zijn.*

De TCB stelt dat bij de zoektocht naar indicatoren voor duurzamer bodemgebruik aandacht zou moeten zijn voor "integrerende indicatoren": zo heeft OS een relatie met bodemvruchtbaarheid, fysische bodemkwaliteit, vochtleverend vermogen, functionele biodiversiteit en ziekte- en plaagwering.

Verder maakt de TCB onderscheid tussen toestandsindicatoren en gebruiksindicatoren:

- toestandsindicatoren beschrijven de toestand waarin de bodem zich bevindt.
- gebruiksindicatoren houden direct verband met het gebruik van de bodem en zijn in mindere mate gericht op de bodem zelf.

"Omdat de bodem traag reageert op menselijk handelen en een achteruitgang meestal moeizaam te herstellen is, heeft de TCB de voorkeur voor het hanteren van gebruiksindicatoren waar dat mogelijk is".

#### **Doran en Parkin, 1993 (minimal data set)**

Fysisch:

- bodemtextuur
- bewortelingsdiepte
- bulkdichtheid
- infiltratiecapaciteit
- waterbergend vermogen
- waterretentiekarakteristieken
- vochtgehalte
- bodemtemperatuur

Chemisch:

- total organisch C en N
- pH
- EC
- mineraal N (NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub>), P en K

Biologisch:

- microbiële biomassa C en N
- potentieel mineraliseerbaar N (PMN)
- bodemrespiratie (CO<sub>2</sub>-productie)
- ratio biomassaC/totaal org. C
- ratio respiratie/biomassa

### Aanvullende indicatoren voor een beoordeling van de diversiteit van het bodemleven

- bacteriële biomassa (totaal, actief en verhouding).
- schimmel biomassa (totaal, actief en verhouding) + hyphendiameter schimmels.
- verhouding tussen schimmel- en bacterie-biomassa.
- aantal protozoa.
- aantal nematoden (saprofage en plantparasitaire).
- percentage plantenwortels dat is gekoloniseerd door Mycorrhizae.
- aantal regenwormen.
- aantallen nematoden per groep (bacterievoren, fungivoren, herbivoren, omnivoren en predatoren; maturity index [MI]).
- indicatoren voor kwaliteit van organische stof.

NB. Wat betreft indicatoren voor bodemgezondheid en ecologische bodemkwaliteit zijn nog vele andere indicatoren te benoemen, zie bijvoorbeeld Jensen en Mesman (2006).

De **TCB (2003)** heeft suggesties gedaan voor (toestands)indicatoren waarmee op lokale schaal de toestand van ecologische diensten gemeten kan worden (Tabel 5 in TCB A33), te weten: OS, N, P, pH, CEC, Cu, Zn, MI nematoden, biomassa en biodiversiteit regenwormen, biomassa microorganismen, functionele microbiële biodiversiteit, ziekte- en plaagwerend vermogen van de bodem.

Ook heeft de TCB (2003) suggesties gedaan voor (toestands)indicatoren waarmee op deelstroomgebiedschaal (of groter) de toestand van ecologische diensten gemeten kan worden (Tabel 6 in TCB A33), te weten:

- waterbufferend vermogen
- vastlegging koolzuurgas
- methaanoxidatie
- biodiversiteit in algemene zin
- landschappelijke waarden
- aardkundige waarden

De **TCB (2005)** geeft als belangrijke bodemkwaliteitsparameters aan: OS, Nutriënten, Overige stoffen, Functionele biodiversiteit, Fysische bodemkwaliteit.

Als doelen per bodemkwaliteitsparameter geeft de TCB (2005):

- OS: minimumniveau in de bovengrond.
- Nutriënten: lekverliezen terugbrengen volgens ALARA.
- Overige stoffen (metalen, geneesmiddelen, bestrijdingsmiddelen): stand still op niveau voor goede bodemkwaliteit.
- Functionele biodiversiteit: OS-gehalte, bewerkingsvrije akkerranden, blauw-groene dooradering, diversiteit landschapselementen.
- Fysische bodemkwaliteit: bodemdaling, plasvorming, verslemping, wind- en watererosie verminderen/stopzetten; aardkundige waarden behouden, blauw-groene dooradering in stand houden/uitbreiden; beschermen landschap.

De **TCB (2005)** geeft voorbeelden van bodem-gebruiksindicatoren op bedrijfsniveau:

- de organischestofbalans.
- de nutriëntenbalans.
- de “overige stoffen” balans: metalen, persistente organische verbindingen, geneesmiddelen, gewasbeschermingsmiddelen.

Wat betreft de invulling van gebruiksindicatoren biedt de balansmethode dus een geschikt instrumentarium. Balansen zijn ook redelijk goed te koppelen aan emissies van nutriënten, bestrijdingsmiddelen en contaminanten naar bodem, grond- en oppervlaktewater.

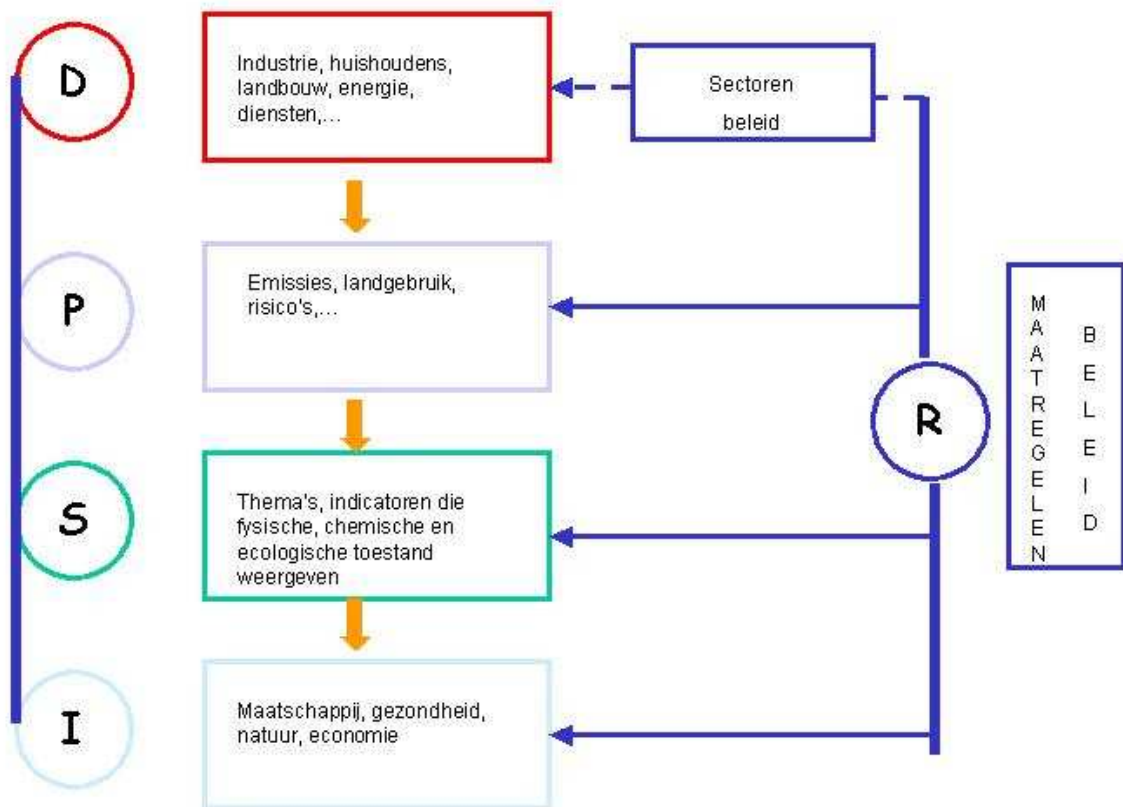
NB.

Bodembiodiversiteit en fysische bodemkwaliteit zijn niet uit te drukken als balans tussen aanvoer en afvoer. Hiervoor is de monitoring van de toestand dan ook het meest geschikt:

- bodembiodiversiteit: OS-balans, mate van vruchtwisseling, mate van blauw-groene dooradering, voorkomen van kleine landschapselementen, aanwezigheid onbemeste en onbespoten akkerranden.
- fysische bodemkwaliteit: doorwortelbaarheid, mate van wind/watererosie, aggregaatvorming, infiltratiecapaciteit, plasvorming, spoorvorming, frequentie van vruchtwisseling, frequentie van diepploegen, bodemdaling, etc.

### Bijlage 4c. DPSIR.

**DPSIR** wordt een milieuverstoringsketen of milieuprobleemketen genoemd. De letters van de verschillende schakels staan voor **D**Driving forces, **P**Pressure, **S**tate, **I**mpact, **R**espons. Elke schakel kan beschreven worden aan de hand van indicatoren.



#### Driving forces - sturende krachten

Hiermee worden de maatschappelijke activiteiten (industrie, landbouw, RO, etc.) en ontwikkelingen (demografie, economie) bedoeld die belangrijk zijn voor de toestand en de ontwikkeling van het milieu. Het zijn onderliggende factoren die verschillende variabelen kunnen beïnvloeden. Men kan ontwikkelingen onderscheiden naargelang het schaalniveau waarop ze 'zichtbaar' zijn. Indicatoren hiervoor beschrijven de activiteiten van doelgroepen.

Scope voor studiegebied: problematische milieueffecten en/of maatschappelijke ontwikkelingen voor de gehele regio zoals:

- expansie van mobiliteit en verkeer*
- industriële activiteit*
- landbouwactiviteiten*
- ontwikkeling van biomassa gebruik voor energieproductie*

Oplossingen hiervoor (=R) hebben betrekking op het maatschappelijk debat, ze werken in belangrijke mate in op volumes en zijn procesgericht.

***Pressure - druk***

Vertaling van menselijke activiteiten naar druk op het milieu, uitgedrukt volgens de wijze waarop de activiteiten (direct) ingrijpen op het milieu. Ze hebben betrekking op

*emissies naar lucht, water en bodem*  
*gebruik van energiebronnen, grondstoffen*  
*ruimtebeslag*

De indicatoren hebben betrekking op watergebruik, energieverbruik, lozing van afvalwater, afvalproductie, emissies, eventueel met een differentiatie per sector.

Oplossingen hiervoor (=R) hebben betrekking op rationeel gebruik, ze zijn collectief en brongericht.

***State - toestand***

Beschrijving van de milieutoestand.

Deze kan gebeuren aan de hand van milieuthema's. De indicatoren zijn inventarisaties van immissies, concentraties, deposities en geven structuurkenmerken weer.

Oplossingen hiervoor (=R) zijn effectgericht.

***Impact op mens, natuur en economie***

Geeft de impact weer van milieukwaliteit op de leefbaarheid voor mensen, op de gezondheid van mensen, op de natuurlijke elementen en ecosystemen en op de economie. Er is invloed van de mens op het milieu, maar ook van het veranderde milieu op mens en maatschappij.

Indicatoren brengen effecten en gevolgen in kaart voor natuur, biodiversiteit en stadsecologie

*gezondheidseffecten, (geluids)hinder*  
*economie (specifieke sectoren, algemeen)*

Oplossingen hiervoor (=R) zijn curatief.

***Respons / maatschappelijke reactie***

De maatschappelijke reactie houdt het ingrijpen in op Driving Forces, Pressure, State en/of Impact.

Het betreft milieubeleid, maar ook het gedrag van burgers en de milieu-investeringen van ondernemingen. Het kan gaan om losse maatregelen, maar ook om beleidsstrategieën. De respons kan curatief of preventief zijn, bijvoorbeeld:

- Beleid: wetenschappelijk onderzoek naar schone technologieën (beleid).
- Sectormaatregelen: risicobeheer, duurzame bedrijventerreinen.
- Oplossingsstrategieën: integraal waterbeheer.
- Technische maatregelen, vergunningen, heffingen, normen.

Indicatoren geven een maat voor de geleverde (beleids)inspanningen.

#### Bijlage 4d. Literatuur van bijlage 4a-c.

- Annevelink E, Bakker RR & Meeusen MJG (2006) Quick scan op het gebied van biobrandstoffen. Met nadruk op de agro-sector. A&F Rapport 619.
- Doran JW & Parkin TB (1994) Defining and Assessing Soil Quality. pp. 3-21 In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. en Stewart B.A. (eds.) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Special Publication 35. Soil Science Society of America Inc., Madison.
- Doran JW & Parkin TB (1996) Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W. en Jones, A.J. (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publication 49. Soil Science Society of America, Madison.
- Feehan J & Petersen JE (2003) OECD Workshop on Biomass and agriculture, Annex A: A framework for evaluating the environmental impact of biofuel use, EEA 2003.
- Jensen J & Mesman M (2006) Ecological risk assessment of contaminated land. RIVM report number 711701047.
- Karlen DL & Stott DE (1994) A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. en Stewart, B.A. (eds.) Defining soil quality for a sustainable environment, SSSA Special Publication 35. Soil Science Society of America, Madison.
- Karlen DL, Ditzler CA & Andrews SS (2003) Soil quality: why and how? Geoderma, 114 pp. 145-156.
- Larson WE & Pierce FJ (1994) The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F. en Stewart, B.A. (eds.) Defining soil quality for a sustainable environment, SSSA Special Publication 35. Soil Science Society of America, Madison.
- Stedula Publicatie 1, februari 2003. Energiegewassen in de Vlaamse landbouwsector. Stedula, Melle, België.
- Stedula Publicatie 16, juni 2005. Indicatoren voor bodemkwaliteit: Ontwikkeling van een raamwerk en verkenning van mogelijkheden voor monitoring op beleids- en bedrijfsniveau.
- TCB (2003) Advies Duurzamer bodemgebruik op ecologische grondslag. TCB A33 (2003).
- TCB (2005) Advies duurzamer bodemgebruik in de landbouw. TCB A36(2005).
- Van Vliet PCJ & Bloem J (2006) Effecten van gewassen en gangbare landbouwkundige handelingen op specifieke groepen van micro-organismen. WUR-rapport in opdracht van Ministerie van VROM.