
Verkenning beslisbomen voor biomassa

Op basis van hoogwaardigheid, efficiëntie, duurzaamheid en investeerbaarheid

Douwe-Frits Broens en Verina Ingram

Met medewerking van:

Johan Sanders (AFSG Wageningen UR)

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

LEI Wageningen UR

Wageningen, maart 2014

LEI 14-010

Douwe-Frits Broens en Verina Ingram, 2014. *Verkenning beslisbomen voor biomassa; Op basis van hoogwaardigheid, efficiëntie, duurzaamheid en investeerbaarheid*. Wageningen, LEI Wageningen UR (University & Research centre), LEI 14-010. 42 blz.; 6 fig.; 16 tab.; 0 ref.

Dit rapport is gratis te downloaden op www.wageningenUR.nl/lei (onder LEI publicaties).

© 2014 LEI Wageningen UR

Postbus 29703, 2502 LS Den Haag, T 070 335 83 30, E informatie.lei@wur.nl,
www.wageningenUR.nl/lei. LEI is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).



LEI hanteert voor haar rapporten een Creative Commons Naamsvermelding 3.0 Nederland licentie.

© LEI, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2014

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

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

Het LEI is ISO 9001:2008 gecertificeerd.

LEI 14-010 | projectcode 2273000475

Inhoud

1	Introductie	5
	1.1 Aanleiding	5
	1.2 Beleidskader	5
	1.3 Doel	5
	1.4 Verkenning	6
2	Methode en criteria	7
	2.1 Aanpak op hoofdlijnen	7
	2.2 Afbakeningen	7
	2.3 Vier uitgangspunten, acht criteria	8
	2.4 Leeswijzer scoretabellen	8
3	Biomassastromen	10
	3.1 De keuze van de biomassastromen	10
	3.2 Mais	10
	3.3 Gras	11
	3.4 Koolzaad	11
	3.5 Soja	12
	3.6 Hout	12
	3.7 Mest	13
4	Resultaten	14
	4.1 Eerste resultaten vingeroefening	14
	4.2 Globale beslisboom voor agrocommodities	14
	4.3 Globale beslisboom voor reststromen	15
	4.4 Globale beslisboom voor hout	15
	4.5 Globale beslisboom voor mest	16
	4.6 Samenvattend overzicht	17
5	Discussie en conclusies	19
	5.1 Discussie en aanbevelingen	19
	5.2 Conclusies	20
	Bijlage 1 Achtergrondinformatie biomassastromen en scoringstabellen	21

1 Introductie

1.1 Aanleiding

De laatste decennia ontstaan nieuwe markten voor toepassing van biomassa. Bekende markten zoals die voor voeding, veevoer, papierindustrie, brandstof, bodemverbeteraars of houtbouw zijn aangevuld met transportbrandstof of chemische toepassingen. Een deel van deze nieuwe markten wordt actief gestimuleerd met het oog op klimaatbehoud en emissiereducties. Aangezien biomassa zoals hout, graan of bieten - en de hectaren waarop ze gegroeid worden - niet in overvloed beschikbaar zijn, leidt dit tot discussies over prioriteiten. Dit wordt meestal opgelost met vrij grove en simpele piramides of ladders. De grote lijn van farma via chemie naar energie - conform de biobased piramide - heeft brede legitimiteit. Toch geven deze algemene 'ladders en schema's' en beschikbare studies te weinig houvast voor een heldere prioritering van de diverse toepassingen van biomassa en is het in de praktijk brengen van deze algemene principes erg lastig. Daarom heeft het ministerie van Milieu en Infrastructuur LEI Wageningen UR verzocht om na te gaan of het mogelijk is om het principe van een prioritering van biomassatoepassingen nader te concretiseren.

1.2 Beleidskader

De Rijksoverheid bevordert op verschillende manieren de toepassing van biomassa in energie of materialen, onder meer door middel van het innovatiebeleid en het energiebeleid. De meeste beleidsterreinen zijn ingebed in internationale randvoorwaarden, zoals het Europese beleid. In de overheidsvisie op *biobased economy* (2007) en recenter in de *Hoofddijnennotitie Biobased Economy* (2012) is een integrale visie geformuleerd over de toepassing van biomassa in een biobased economy. Uitgangspunten die daarin zijn geformuleerd:

- de verduurzaming en het efficiënter maken van primaire productie
- efficiënt en duurzaam gebruik van biomassa in de verwerkingsketen
- cascadering, gedefinieerd als het streven naar een zo hoog mogelijke economische toegevoegde waarde per ton primair product.¹

1.3 Doel

Het doel van deze studie is om het principe van een voorkeursvolgorde tegen het licht te houden en te verkennen of er een toetsingskader mogelijk is voor prioritering van biomassatoepassingen. Op basis van de *Hoofddijnennotitie Biobased Economy* (2012) is in deze verkennende studie gekozen voor drie uitgangspunten voor prioritering: efficiëntie, duurzaamheid en hoogwaardigheid. Daaraan wordt in deze verkenning in lijn met het Platform Groene Grondstoffen nog het criterium *investeerbaarheid* toegevoegd. Onderzocht is hoe voor zes veelvoorkomende biomassasoorten (mais, gras, koolzaad, soja, hout en mest) de verschillende toepassingen zijn te rangschikken op basis van deze vier uitgangspunten volgens een consistente methode.

¹ **Cascadering**

In deze notitie hanteren we de economische definitie van cascadering, zoals omschreven in de tekst. Zowel in de *Hoofddijnennotitie* als in andere bronnen (Odegard, Croezen et al. 2012) worden nog zeker twee andere definities van cascadering genoemd:

- hergebruik van materialen of energie (cascadering in de tijd)
- fractioneren van biomassa met een optimale inzet van deelfracties (functionele cascadering).

Alle drie de vormen van cascadering komen aan de orde in deze notitie, alleen wordt daarvoor niet altijd de term 'cascadering' gebruikt, om verwarring te voorkomen.

1.4 Verkenning

Deze studie heeft een verkennend karakter. Deze verkenning dient als een eerste vingeroefening te worden beschouwd, omdat de gepresenteerde uitkomsten - zogenoemde 'beslisbomen' - slechts indicatief zijn. Gezien de complexiteit van het vraagstuk is het niet mogelijk om deze voor de zes biomassastromen in deze studie volledig uit te werken. Dit neemt niet weg dat de ontwikkelde methodiek een nuttig hulpmiddel kan zijn voor afwegingen over de inzet van biomassastromen.

2 Methode en criteria

2.1 Aanpak op hoofdlijnen

Geïnspireerd door diverse ladders en piramides, zijnde eenvoudige schema's om een hiërarchie van toepassingen te illustreren, is in deze verkennende studie een aanpak ontwikkeld om tot zogenaamde 'beslisbomen' voor biomassastromen te komen. Er is gekozen voor de term beslisboom, omdat de prioritering niet alleen afhangt van de eindmarkten maar van de gehele keten. Daarnaast is het de bedoeling dat de beslisboom als hulpmiddel kan dienen voor beleidsmakers die afwegingen moeten maken over de inzet van biomassa.

De beslisbomen zijn in vier stappen tot stand gekomen:

- De genoemde uitgangspunten (hoogwaardig, efficiënt, duurzaam en investeerbaarheid), worden geoperationaliseerd tot acht criteria (gebaseerd op de multicriteriamethode enerzijds en criteria in literatuur anderzijds).
- Voor zes biomassastromen (mais, gras, koolzaad, soja, hout en mest) worden gangbare en innovatieve toepassingen benoemd, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen verwerkingswijze en eindmarkt.
- Voor deze toepassingen worden op alle criteria scores gegeven door een team van experts (expert judgement) bestaande uit wetenschappers maar ook beleidsmakers. Deze scores worden gewogen opgeteld om de rangorde van de alternatieve toepassingen te bepalen (zie leeswijzer scoretabel). De wegingen per criteria kunnen worden gevarieerd om daarmee een beeld te krijgen van gevoeligheden en robuustheid van de resulterende volgorde.

2.2 Afbakeningen

Bij de ontwikkeling van deze methodiek is uitgegaan van de volgende afbakeningen:

- *Meerdere toepassingen van één grondstof*
De primaire vraag in dit project is om bij één gegeven grondstof, zoals hout, een rangorde aan te brengen in de toepassingsmogelijkheden. Dit rapport maakt dus geen vergelijking tussen biomassasoorten.
- *Geen vergelijking van producten maar van hele ketens*
Ladders en piramides prioriteren eindgebruik zoals stroom, warmte en bulkchemie. Voor de drie uitgangspunten (hoogwaardig, efficiënt en duurzaam) voor prioritering is echter nooit alleen het eindgebruik, maar ten minste de gehele aanvoerketen bepalend. Daarom is de keten het onderzoeksobject.
- *Geen vergelijking van productiewijzen*
Het productiesysteem wordt wel meegenomen in de afbakening van de criteria en in de beoordeling. Maar omdat alleen toepassingen worden vergeleken en geen productiesystemen, is in de voorbeelden het productiesysteem gelijk voor alle toepassingen. De resultaten in dit rapport zijn niet geschikt om verschillende productiewijzen te vergelijken.
- *Focus op korte termijn*
Zowel de beschikbare toepassingen, de beschikbare grondstoffen als de referentiewaardes voor verschillende toepassingen zullen variëren in de loop der tijd. De afweging in dit rapport concentreert zich op een afweging van toepassing op korte termijn. Daarin zijn wel begrepen diverse innovatieve toepassingen die naar verwachting snel op de markt (kunnen) komen.
- *De functionele eenheid is één ton biomassa*
De functionele eenheid in dit rapport is één ton biomassagrondstof. Alle criteria worden dus uitgerekend per ton biomassagrondstof.

2.3 Vier uitgangspunten, acht criteria

Bij de toepassing van biomassa worden vier na te streven uitgangspunten onderscheiden (tabel 2.1). Biomassa moet zo hoogwaardig mogelijk worden ingezet, ingezette biomassa moet zo efficiënt mogelijk (ook wel: 'optimaal') worden benut en de toepassing moet duurzaam zijn. Dit zijn althans drie uitgangspunten in diverse beleidsstukken waaronder de *Hoofddlijnennotitie Biobased Economy*. Daarnaast kwam in diverse studies waarbij het bedrijfsleven betrokken is, ook het belang van *investeerbaarheid* naar voren. Dat bepaalt namelijk in hoeverre een gewenste transitie naar een duurzame toekomst ook economisch haalbaar is.

Tabel 2.1

Vier uitgangspunten en gebruikte criteria bij toepassing van biomassa

Uitgangspunt	Interpretatie	Criteria
Hoogwaardig	Directe economische waarde: als referentie geldt de definitie 'hoogwaardig' in <i>De hoofddlijnennotitie BBE</i> ; toegevoegde waarde per ton biomassa. Indirecte economische waarde: geeft aanvullende informatie over hoogwaardigheid, via effecten op macro-economie, handel, innovatie.	toegevoegde waarde per ton biomassa; indirecte economische waarde
Efficiënt	De basisconnotatie hierbij is: zonder onnodige verspilling en met zo hoog mogelijk effect. Klimaatdoelen: gedefinieerd als vermeden ton CO ₂ -eq per ton input. Bodemkwaliteit en nutriënten: hierbij wordt de nutriëntenbalans deels als een efficiëntie maat beschouwd.	vermeden broeikasgasemissies per ton biomassa; bodemkwaliteit nutriënten
Duurzaam	Als duurzaamheid wordt gebruikt naast de uitgangspunten 'hoogwaardig' en 'efficiënt', dan betreft het een aantal randvoorwaarden die minimaal geborgd dienen te zijn, zoals het niet benadelen van voedselzekerheid, landrechten, biodiversiteit en bodemkwaliteit in de productieregio van de biomassa.	voedselzekerheid; biodiversiteit en ecosysteemdiensten; landrechten, lonen, werk
Investeerbaar	Als een nieuwe toepassing op grotere schaal niet winstgevend is, te veel risico's kent of te snel achterhaald is, is dit een slechte voedingsbodem voor investeringen door zowel bedrijven als overheden.	investeerbaarheid lock-in risico's

Bron: Hoofddlijnennotitie Biobased Economy (2012).

Om de toepassingen van biomassa te rangschikken moeten deze uitgangspunten verder worden uitgewerkt in termen van algemene, meetbare en verifieerbare criteria. Het is zaak om - op basis van wetenschappelijke en onafhankelijke informatie - algemene criteria te kiezen die zo veel mogelijk relevante beleidsperspectieven omvatten met betrekking tot biomassa. Alleen zo kan één prioritering worden gebaseerd op een integrale afweging over en tussen verschillende beleidsdoelen. Hoe verder de criteria worden uitgesplitst, hoe preciezer ze kunnen worden gedefinieerd en gemeten, maar hoe moeilijker de hier beoogde afweging van toepassingen kan worden gemaakt, over de ontstane breedte en veelheid aan criteria heen. Het resultaat is dus een compromis tussen precisie en hanteerbaarheid. Een nadeel van de beperking tot acht omvattende criteria is dat een aantal ervan containerbegrippen zijn en daarom welhaast per definitie niet precies. Toch is geprobeerd ze zo concreet mogelijk te operationaliseren voor toepassing in de scoretabellen.

2.4 Leeswijzer scoretabellen

De scores per biomassasoort op de verschillende criteria worden gepresenteerd in overzichtelijke scoringstabellen (tabel 2.2). Een korte toelichting:

- *Gebruikte schaal voor scores*

Voor elk criterium is een Likertschaal gehanteerd, een soort rapportcijfer van 1 tot 7. Dit betekent dat voor alle criteria een vergelijkbare metriek is gehanteerd, wat de onderlinge vergelijkbaarheid en weging vergemakkelijkt.

Als het onderling vergelijken van criteria minder van belang is en duidelijker metriecken per criterium

wenselijk zijn, kan uiteraard in plaats van een Likertschaal een metriek worden gehanteerd, zoals bijvoorbeeld euro per ton voor de toegevoegde waarde, of bespaarde tonnen CO₂-eq als percentage van de referentieketen. In dat geval wordt de onderlinge weging van de criteria om tot een eindoordeel per toepassing te komen lastiger.

- *Expert judgement is de bron*

De scores zijn verkregen door een onderbouwde *expert judgement* (zie paragraaf 2.1). De onderbouwing van de scores is zo veel mogelijk expliciet gemaakt bij de betreffende scoretabellen.

- *Scores zijn gemiddelden, en niet algemeen geldend voor alle toepassingen in de praktijk*

De score is een gemiddelde inschatting naar het oordeel van de expert. In werkelijkheid is de score per toepassingsketen is echter afhankelijk van veel factoren. Zo is de ene covergistinginstallatie zwaar verlieslijdend, en de andere winstgevend. Een preciezere uitwerking van deze metrieken en scores behoorde niet tot het project, omdat het accent lag op het ontwikkelen van de methodiek.

In tabel 2.2 is een samenvattende toelichting gegeven over de interpretatie van de verschillende scores. Deze uitgangspunten zijn gebruikt om een volgorde te benoemen in de voor enkele biomassasoorten bekende toepassingen (hoofdstuk 4). De scoretabellen per biomassasoort zijn in de bijlagen weergegeven.

Tabel 2.2

Interpretatie van scoretabellen

Criterium	Score						
	1	2	3	4	5	6	7
Toegevoegde waarde (€) per ton input	laag		neutraal			hoog	
Ton vermeden CO ₂ -eq per ton input	<=0		0-35%		35-60%		>60%
Bodemkwaliteit en nutriëntenbalans	negatief effect		- neutraal -			positief effect	
Voedselzekerheid	negatief effect		- neutraal -			positief effect	
Biodiversiteit en ecosysteemdiensten	negatief effect		- neutraal -			positief effect	
Landrechten, lonen, werk	niet geborgd					geborgd	
Indirect economisch effect	geen belang		- redelijk belang -			groot belang	
Investerbaarheid en flexibiliteit	investeringen onwaarschijnlijk				--	zeer waarschijnlijk	

Noten:

(a) Bij deze scores geldt: hoe hoger, hoe beter

(b) De rangordes die daaruit volgen zijn juist andersom geordend: nummer 1 is de beste.

3 Biomassastromen

3.1 De keuze van de biomassastromen

De methodiek wordt beproefd op zes biomassastromen om na te gaan of er een hiërarchie in verbruiksopties is, die vervolgens vertaald kunnen worden naar een globale beslisboom. Er is bewust gekozen voor biomassa-soorten met een zekere spreiding om zo de methodiek zo goed mogelijk te beproeven (zie bijlage). De zes biomassa-soorten zijn: mest en gras als bijstromen uit de vee-industrie, mais en koolzaad als akkerbouwproduct, hout als (geïmporteerd) bosbouwproduct en soja als importproduct. Daarmee ontstaat een goede spreiding over:

- het type grondstoffen dat in Nederland ingezet wordt in de biobased industry
- eigen product en import
- primair product en reststoffen
- de typen toepassingen.

Hierna volgt eerst een korte omschrijving van de verschillende biomassa-soort gevolgd door een aantal globale inzichten in voorkeursvolgorde. Ofwel een eerste opstap naar de verschillende beslisbomen, die in het volgende hoofdstuk zijn gepresenteerd. Meer achtergrondinformatie over toepassing van biomassa-soorten is te vinden in de bijlage.

3.2 Mais

Veel mais en maisproducten worden uit het buitenland aangevoerd. In Nederland is mais het tweede gewas na gras, in hectaren gerekend, en mais kan uitermate goed tegen hoge bemesting. Daardoor speelt de teelt van mais een belangrijke rol bij de absorptie van onze mineralenoverschotten.

Mais wordt wereldwijd grootschalig ingezet voor de productie van zetmeel en eiwitproducten en ook direct als veevoeder. Het zetmeel is goed te gebruiken als grondstof voor de fermentatie-industrie en daarmee dus ook ten behoeve van ethanolproductie. Mais wordt in Europa benut als cosubstraat bij mest(co)vergistingen, waarbij zonder cosubstraat met een hoge biogasopbrengst veelal veel subsidie nodig is voor een rendabele businesscase. Bovendien gaat het maiseiwit verloren, omdat het naar biogas en ammoniak wordt omgezet.

Kleinschalige verwerking maakt het mogelijk, zonder te drogen, hoogwaardige diervoeders te produceren voor varkens en rundvee, waarna met de resten ethanol en biogas kan worden gemaakt. De rendementen kunnen verhoogd worden door verschillende voorbehandelingen uit te voeren, met name op de lignocellulose (vezel)fractie.

De inzet van snijmais voor opties voor kleinschalige bioraffinage en diervoer scoren het beste; de inzet van mais als cosubstraat voor biogas is zowel qua duurzaamheid als economie ongunstig. Opvallend is dat beide voorbeelden een lage investeringsbehoefte hebben.

Tussenliggende opties zoals grootschalige of kleinschalige bio-ethanolproductie (zonder biogas) en zetmeelwinning voor voeding laten een wisselend beeld zien. Zetmeelwinning is weliswaar een volwassen industrie met state-of-the-art procestechnologie, maar er zijn grote investeringen nodig om tot een rendabele case te komen.

De volgorde van de opties is tamelijk robuust voor variatie van wegingsfactoren. Kennelijk leiden hoogwaardigheid, efficiëntie en duurzaamheid tot vergelijkbare rangschikkingen.

3.3 Gras

Gerekend in hectaren is gras het meest voorkomende gewas ter wereld. Ook in Nederland is het aandeel gras zeer groot: weiland beslaat ongeveer de helft van alle landbouwgronden. Daarnaast komt er gras voor in natuurgebieden en is er bermgras. Voor de verwerking met kostbare procesapparatuur is het doorgaans beter om van hoogwaardig gras uit te gaan: weilandgras is vanwege de goede bemesting rijk aan eiwit en daarom draait het in Nederland bij grasraffinage. Bermgras bevat veel minder eiwit. Dit geldt ook voor gras in alpengebieden, zoals in Oostenrijk. Natuurgras bevat heel weinig eiwit. Qua bemesting moet zij het hebben van de stikstofdepositie.

Afgezien van het voorbeeld van AVeBe worden met kleinschalige bioraffinage verschillende grasfracties verkregen. Door kleinschaligheid kunnen mineralen zonder dure concentratiestappen retour naar het veld. Eiwit en aminozuren dienen hoofdzakelijk voor diervoeder, waardoor minder import van eiwitstromen zoals soja nodig is. Daardoor wordt tegelijkertijd het mineralenoverschot in Nederland gereduceerd. Bioraffinage kan goed gekoppeld worden met biogasfermentatie. Maar een verplaatsbare fabriek heeft als voordeel dat er minder grondstof en retourstromen getransporteerd hoeven te worden. De schaalgrootte per installatie is typisch 500-1.000 ha grasland. Dat is dus zeker te groot voor één agrariër in Nederland. Vanwege mineralenwetgeving moeten maatschappen gevormd worden die onder één mestnummer de mineralenboekhouding bijhouden.

Er zijn verschillende demo's en andere initiatieven in Nederland en Europa:

- Grassa! heeft een verplaatsbare unit en produceert eiwit, aminozuren, vezels en mineralen.
- Mandl in Oostenrijk produceert vooral aminozuren uit het eiwit.
- Newfoss gaat uit van bermgras ter productie van vezels en houdt een bijproduct van aminozuren over, een eerste fabriek is in aanbouw in Heerenveen.
- Biowert heeft een proeffabriek in Duitsland.

Veel toepassingen van gras hebben nog het karakter van innovaties. De verwachtingen over de innovaties ten aanzien van met name de economie zijn relatief hoog vergeleken bij de bestaande opties, maar tegelijkertijd hebben ze een lage investeerbaarheid juist door het innovatieve karakter. Opmerkelijk is dat begrazen weliswaar relatief duurzaam is, maar lager scoort op de andere criteria. Begrazen en grootschalige bioraffinage scoren beide het laagst. De andere (bioraffinage)opties verschillen op het punt van economie en duurzaamheid, hoewel de eindscore vergelijkbaar is. In zijn algemeenheid scoort decentrale bioraffinage hoog, mits efficiënte(re) technologieën worden ontwikkeld die bioraffinage aantrekkelijk maken ten opzichte van conventionele technologieën.

3.4 Koolzaad

Een groot deel van het koolzaad in Nederland wordt in de vorm van zaad geïmporteerd.

Koolzaad wordt geperst en het koolzaadschroot gaat naar de dieren. In het schroot zitten veel mineralen die zich in Nederland ophopen. Er is sprake van een lineaire keten. Kleinschalige verwerking maakt het energetisch en economisch mogelijk naar een circulair proces te komen.

Koolzaad bevat veel eiwit, olie, lignocellulose en voor het Nederlands gebruik ook veel fosfaat en mineralen. Het eiwit in het schroot is van hoge kwaliteit maar is als voercomponent relatief weinig waard indien de andere genoemde componenten aanwezig zijn. Een verdere bioraffinage van het schroot en/of de koolzaadschilfers leidt daardoor al gauw tot een hogere economische waarde.

Indien echter na de scheiding verschillende componenten moeten worden gedroogd, dan zal zo'n route vanwege kosten en CO₂-productie minder scoren. Kleinschalige processen maken het mogelijk om eiwit, maar ook de lignocellulose en kalium, zonder droging weer te benutten.

De volgorde van de opties is tamelijk robuust voor variatie van wegingsfactoren. Hoge economische waarde in combinatie met lage investeringskosten en energie-input en kortcyclische mineralenrecycling, levert robuuste ketens op.

Bij MIMOSA-technologie wordt meer waarde gecreëerd op enigszins grotere schaal en ten koste van meer complexiteit en meer transport, maar dankzij goede warmte-integratie blijft de energie-input gering.

Geavanceerde toepassingen in de chemie waarbij functie en structuur van componenten bewaard blijft, is voordelig voor economie, CO₂-reductie en landgebruik tegelijkertijd.

3.5 Soja

Soja

Bij soja is uitgegaan van de import van de hele sojaboon uit Brazilië en productie op of nabij cerrados, waarbij de landrechten en de positie van de lokale bevolking op enigerlei wijze *wel* geborgd zijn. Dit bepaalt ook de scores op de verschillende indicatoren (bijlage).

Hele bonen worden gebruikt voor de productie van:

- sojasaus, sojapasta, sojamelk, tofoe
- sojameel=sojaschroot

Persen/cracken/extractie van soja levert:

- soja-olie, als kookolie of voor de productie van biodiesel
- sojaperskoek, die als veevoer wordt gebruikt

De volgorde van de opties bij soja is tamelijk robuust voor variatie van wegingsfactoren. Gebruik van de hele boon als voedsel en veevoer heeft de hoogste totaalscore gekregen, vooral uit oogpunt van investeerbaarheid en het aspect voedselzekerheid. Hoge economische waarde in combinatie met lage investeringskosten en energie-input en kortcyclische mineralenrecycling, levert robuuste ketens op.

3.6 Hout

Hout is de algemene benaming toegepast op bossen en hun producten. Hout van bomen buiten het bos is een andere belangrijke bron van primaire houtachtige biomassa. Boomstammen omgevormd tot rondhout behoren tot de meest bekende producten, meestal gemeten in rondhoutequivalenten (RWE m³). Indien dit wordt verzaagd, ontstaat gezaagd hout (planken, gemeten in m²) en houtspaanders. Boomstammen bieden ook de grondstof die de pulp- en papiersector gebruikt.

In Nederland is 94% van het geconsumeerde gezaagde hout en houtproducten afkomstig uit import, voornamelijk via de groothandel (grotendeels VVNH-leden), zie bijlage. Van het houten de houtproducten geïmporteerd naar Nederland, is het grootste deel (63%) niet-tropisch hout afkomstig uit de EU. Dit aandeel reflecteert algemene globale handelspatronen: van de resterende 37% bestaat één derde uit tropisch hout uit Maleisië, Indonesië en Brazilië. Eén derde komt uit China, Rusland en Canada en één derde uit andere niet-EU-landen (Kamphuis, Arets et al. 2010).

In deze verkenning wordt de toepassingen geanalyseerd van uit Noord-Europa geïmporteerd zachthout (rondhout, verzaagd of pulp). In het hoofdstuk 'Discussie' wordt aangegeven hoe met een vergelijkbare methode verschillende productiesystemen voor dergelijk hout kunnen worden vergeleken, terwijl in deze casus geen onderscheid is gemaakt tussen productiesystemen.

Naast de toepassingen voor Noord-Europees zachthout, zijn ook toepassingen voor top- en takhout uit landschapsbeheer of oogstbos, en voor hergebruikt hout, geanalyseerd.

Zaagsel en houtspaanders uit het zaagproces en andere delen van bomen (takken, twijgen, wortels) kunnen worden gebruikt als biomassa voor bio-energie-installaties. Houtige biomassa kan daarnaast refereren aan houtproducten zoals:

- houtsnippers uit bossen, landschappelijke elementen, haagbeplantingen, laanbomen en dergelijke - dit kan toppen, takken, wortels en snoeihout bevatten
- gemengd plantsoenafval
- schoon bewerkt (a-hout: rondhout en zaagsel)
- sloophout en onbehandeld hout (gebruikt hout dat niet is geverfd, verlijmd, beplakt of geïmpregneerd)
- houtafval, waarbij wordt uitgesloten houtafval bevattend organische halogeenvverbindingen of zware metalen en coatings die zijn toegevoegd om de het hout tegen verrotting te beschermen

Houtige biomassa komt beschikbaar tijdens onderhoudsbewerkingen die worden uitgevoerd om de aanplant in de gewenste toestand te houden. Deze biomassa bron verschilt van hout uit (productie)bossen. In de bosbouw wordt hout beschouwd als een product terwijl het hout van bomen buiten het bos wordt beschouwd als afval of ten minste een bijproduct. Dit materiaal wordt ook 'landschapszorghout' genoemd (Mantau, Saal et al. 2010).

Een gebruikelijke hypothese is dat langcyclische toepassingen beter zijn dan kortcyclische. Cyclisch slaat dan met name op de koolstofcyclus, waarbij in een langcyclische toepassing de koolstof langdurig wordt vastgelegd in bijvoorbeeld een groeiende boom of in materiaal voor de bouw. Als deze hypothese klopt, is upcycling het beste en meestook het slechtste wat je met hout kan doen. Overigens gaat deze redenering niet alleen op voor hout, maar ook voor andere biomassa grondstoffen. Op basis van de tabel, met de gekozen afbakening en definities, en de expertoordelen over de scores van elk alternatief op elk criterium is deze hypothese gestructureerd te toetsen. De gewogen scores voor de 20 onderzochte ketens liggen relatief dicht bij elkaar, wat betekent dat de resultaten vrij gevoelig zijn voor de scores. Verschillen worden vooral verklaard door de aspecten directe en indirecte economische effecten en investeerbaarheid.

3.7 Mest

Als casus is gekozen voor varkensdrijfmest uit de kelder. Er zijn kwaliteitsverschillen maar die worden door handelaren vermengd tot een homogene kwaliteit bij verkoop. Mede daarom wordt hier geen onderscheid gemaakt naar kwaliteit. Een uitzondering wordt gemaakt voor varkenshouderijen die veel voer uit de eigen regio betrekken. Dit zijn doorgaans industriële reststromen. Dit is in veel opzichten duurzamer.

Voor varkensdrijfmest is de toepassing in de Nederlandse akkerbouw gehanteerd als referentie. Uitrijden op eigen land is beperkt mogelijk: de varkenshouderij is immers beperkt grondgebonden. Voor pluimveemest en rundveemest ligt de verdeling over de markten heel anders en zijn er dan ook andere toepassingen relevant.

Voor mest lijkt er een zekere tegenstelling te bestaan tussen economie en duurzaamheid. De meest economische alternatieven zijn het minst duurzaam. Globaal levert de bovenstaande exercitie de volgende inzichten voor varkensdrijfmest (in afnemende economie, en toenemende duurzaamheid/efficiëntie): uitrijden op eigen bedrijf voor zover binnen de normen, uitrijden op Nederlands akkerbouwbedrijf voor zover binnen de normen gevolgd door verwerken. Verwerkingsopties zijn: mestverbranden en upcyclen, mestverwerking en eventueel export (verschillende combinaties van vergisten en scheiden), covergisting (monovergisting van varkensmest is niet rendabel).

4 Resultaten

4.1 Eerste resultaten vingeroefening

In deze studie zijn zes biomassastromen (mais, gras, koolzaad, soja, hout en mest) en diverse toepassingen van deze beoordeeld met betrekking tot vier aspecten: hoogwaardigheid, efficiëntie, duurzaamheid en investeerbaarheid. Deze aspecten zijn uitgewerkt in acht criteria, zodat één score per toepassing kan worden bepaald. Op deze manier zijn de verschillende toepassingen per type biomassa gerangschikt. In dit hoofdstuk zijn de resultaten van deze vingeroefening beschreven in zogenaamde 'beslisbomen'. Gezien de sterke overeenkomsten tussen mais, soja en koolzaad zijn deze inzichten gebundeld onder de 'beslisboom voor agrocommodities' (paragraaf 4.2). Gras en een aantal houtsoorten vallen onder de 'beslisboom voor reststromen' (paragraaf 4.3). De overige inzichten voor hout zijn gepresenteerd in paragraaf 4.4, en die voor mest in paragraaf 4.5. Het hoofdstuk is afgerond met een samenvattend overzicht (tabel 4.1).

4.2 Globale beslisboom voor agrocommodities

De beschouwde agrocommodities (soja, mais, koolzaad) worden vrijwel altijd opgesplitst in diverse fracties die gescheiden worden ingezet voor voeding, veevoer, chemie, energie of mineralen. Het prioriteren van chemie ten opzichte van energie bijvoorbeeld heeft betrekking op concurrerende toepassingen voor één fractie; de overige fracties kunnen intussen hun functie in voeding, veevoer of energie behouden.

Er is geen vaste ordening tussen de toepassingen, maar er kunnen wel enkele simpele vuistregels worden afgeleid:

- *Hoe efficiënter, hoe beter.* Voor relatief kostbare grondstoffen zijn de processen ook ingewikkelder en duurder dan voor hout, reststromen en mest. Er wordt meer vervoerd, meer bewerkt. Een maximale benutting van hoofd-, bij- en reststromen, een slimmere logistiek en een doorgevoerde energie-integratie leiden tot grotere efficiëntie in grondstofgebruik en leveren daarmee voordelen op alle criteria per ton biomassa, van toegevoegde waarde via broeikasgasemissies tot en met landrechten.
- *Complexe bewerkingen zijn goed voor toegevoegde waarde, simpeler processen zijn beter voor investeerbaarheid.* Voor agrocommodities geldt per definitie: hoe meer bewerkingen in Nederland worden uitgevoerd, hoe meer toegevoegde waarde - doordat subsidies een beperkte rol spelen. Dit verklaart waarom de markten voor chemie en voeding altijd zo hoog in de op hoogwaardigheid gebaseerde 'Biobased Piramide' eindigen. Daarentegen zijn er robuuste ketens met een lage investeringsbehoefte of een laag risico, zoals de inzet van snijmais direct als voer, en kleinschalige bioraffinage.
- *Humane voeding is beter dan veevoer.* Een vergelijking van chemie met voedseltoepassingen leidt niet tot een consistente afweging. De inzet van een grondstof of fractie rechtstreeks in humane voeding is echter op alle criteria beter dan via veevoer.
- *Inzet van eiwit in voeding of veevoer is duurzamer.* Toepassingen die een eiwitfractie afsplitsen voor voeding of veevoer hebben qua duurzaamheid een voorkeur boven toepassingen waarin het eiwit in energie (bijvoorbeeld biogas) of bodemverbetering wordt toegepast.
- *Er is niet één toepassing in de chemie.* Chemie op basis van zetmeel of suikers (meestal het hoofdproduct van agrocommodities) draagt bij aan een hogere economische waarde, maar gaat ten koste van de huidige hoofdtoepassingen; inzet van aminozuren uit reststromen voor chemie doet dat laatste niet. Voor chemische toepassingen die concurreren met energie is een beperkt aantal LCA-analyses beschikbaar met uiteenlopende scores. Het energiegebruik in het proces is wellicht net zo bepalend als de grondstofkeuze, maar daarover bestaat vaak geen duidelijkheid. Mede om energetische redenen zullen functionele chemicaliën beter scoren dan basis- of platformchemicaliën,

hoewel we dit niet kunnen staven met de enkele chemische toepassingen die voorkomen in onze cases.

- *Decentrale bioraffinage is vaak voordeliger dan centrale bioraffinage.* Bioraffinage is de eerste processtap waarin de agrocommodity wordt gescheiden in verschillende fracties. Decentrale bioraffinage (eerste verwerking dicht bij de bron) biedt meerdere voordelen boven centrale verwerking op grotere schaal, behalve als er op deze grotere schaal optimale warmte-integratie mogelijk is.
 - Er is bij bioprocessen vaak sprake van omgekeerde schaalvoordelen. Grootschalige verwerking is lastig en complex en leidt tot meer transport. Alleen bij optimale energie-integratie (met name exergiebenutting) is grootschalige verwerking superieur aan decentrale opties.
 - Het terugvoeren van mineralen en de resistente lignocellulose-delen naar de akker in de eigen regio voorkomt bodemverarming, zoals dit in Duitsland bij de biogas-cofermentatiesystemen gebeurt.
 - Als hoofd- of bijproducten niet gedroogd hoeven te worden (dit wijst doorgaans op een lokale of regionale toepassing) en alle componenten goed benut worden (bioraffinage) volgt de beste CO₂-reductie.
 - Decentrale verwerking in productiegebieden (zoals bijvoorbeeld met cassave in Nigeria) brengt nieuwe biobased markten ook voor smallholders binnen bereik en werkt zo *landgrab* tegen.
 - Benutting van agrocommodities uit eigen regio is beter dan import met het oog op de mineralenkringloop. Import van agrocommodities - in tegenstelling tot product uit eigen land of regio - leidt tot import van mineralen en draagt bij aan de Nederlandse overschotsituatie.

4.3 Globale beslisboom voor reststromen

In deze studie zijn enkele reststromen separaat aan bod gekomen die als zodanig economisch beschikbaar komen (top- en takhout, natuur- en bermgras). Voor deze stromen komt een hiërarchie naar voren die samenhangt met de verhouding tussen de lage waarde en eventuele kosten, en met koolstof- en nutriëntenkringlopen naar primaire productie. De volgorde van de opties is tamelijk robuust voor variatie van wegingsfactoren. Opties die economisch interessanter zijn, zijn dus ook duurzamer.

1. *Terugwerken in het systeem*

Begrazing is de meest decentrale verwerking die bestaat. Biodiversiteit is bij verblijf van de biomassa in het ecosysteem (bijvoorbeeld door grazende koeien) hoger dan wanneer een deel van de biomassa wordt afgevoerd en middels bioraffinage wordt verwerkt. Afvoeren van natuur- en bermgras heeft juist altijd een plus op bodem en biodiversiteit vanwege het verschrallingsdoel op de betreffende terreinen.

2. *Decentrale verwerking*

Komen mineralen maar ook koolstof- en micro-elementen retour naar de bodem? Kleinschalige verwerking, met een waterige bijstroom waarin de micro-elementen opgelost zitten, maakt een circulaire economie goed mogelijk zonder hoge kosten voor recycling. Doordat dit de insleep van kunstmest vervangt, draagt het bij aan de verlaging van het mineralenoverschot. Kleinschalige verwerking draagt bij tot minder transport over de weg.

3. *Centrale verwerking*

De waardevollere restproducten zoals gras kunnen worden geraffineerd tot een vezel-, suiker- of eiwitcomponent. Dit is hoogwaardig indien dit bereikt kan worden zonder veel fossiele energie, grote kapitaalbehoefte of grote verstoring van nutriëntenbalansen.

4.4 Globale beslisboom voor hout

Voor hout is een grote diversiteit aan toepassingen geconstateerd. Veel van deze toepassingen hebben op materiaal (in tegenstelling tot energie of voeding), ten gevolge waarvan, van alle voorbeelden die zijn onderzocht, hergebruik van materiaal het meest op hout van toepassing is.

Ook hier is weinig lijn aan te brengen in de toepassingen maar zijn er wel enkele vuistregels aan te geven:

- *De gebruikelijk hypothese dat langcyclische inzet beter voor het klimaat zou zijn dan kortcyclische wordt niet bevestigd.*

Langcyclische toepassingen zoals bouwhout dat nog enkele malen gerecycled wordt, leggen langdurig koolstof uit de atmosfeer vast. Dit zou voor het klimaateffect beter zijn dan kortcyclische waarbij het hout bijvoorbeeld wordt verbrand. Dat wordt echter niet bevestigd door het criterium van *vermeden CO₂-emissies*. Als bij verbranding de inzet van fossiele grondstoffen wordt vervangen en daarmee de voorraad CO₂ in omloop wordt gereduceerd, en aan de andere kant de voorraad bouwhout ongeveer gelijk zou blijven, dan is het effect juist omgekeerd. Er is meer duidelijkheid nodig over welke materialen worden vervangen bij materialentoepassingen.

- *De vergelijking van materiaal en energie wordt gehandicapt door de onbekende footprint van materiaaltoepassingen.*

Het potentieel voor meer innovatief gebruik van hout in bijvoorbeeld plastic versterkt de noodzaak voor eenduidige levenscyclus vergelijkingen met de fossiele alternatieven afkomstig van fossiele olie, mijnbouw of steengroeven. De resultaten kunnen grote gevolgen hebben voor het beleid en de voorkeuren van de consument. De complexiteit van het type analyses heeft geleid tot een groot aanbod aan lifecycleanalyses (LCA) die onderling moeilijk te vergelijken zijn en vaak met tegengestelde conclusies komen.

- *Stamhout en resthout eindigen op vergelijkbare markten.*

Waar bij andere biomassasoorten verschillende fracties verschillende bestemmingen krijgen zijn deze voor stamhout, top- en takhout, zaagsel en spaanders en andere bijproducten, en zelfs hergebruik vergelijkbaar. Alleen zal stamhout meer economisch hoogwaardiger (materiaal) of meer volumineuze toepassingen (energie) kennen.

- *Hergebruikt materiaal is een aparte grondstof en scoort beter op duurzaamheid.*

Uiteindelijk dient de mate/mogelijkheid van hergebruik te worden verdisconteerd in de *virgin*-toepassingen van de oorspronkelijke ton stamhout.

- *Toepassing van hout of board als bouw materiaal is economisch interessant.*

Hout in bouwtoepassingen kent een relatief hoge 'investeerbaarheid'. Hoewel de bouwsector ten tijde van dit rapport een zware tijd doormaakt is houtbouw in opmars, mede vanwege de isolatiewaarde van hout.

- *Papier en karton scoren opmerkelijk laag op alle criteria.*

Per ton hout is de economie van de papierindustrie op dit moment inderdaad relatief moeizaam. En papier vervangt geen fossiele grondstof, waardoor het klimaateffect beperkt wordt. Uiteraard is de papiersector sterk in hergebruik.

- *Kunststof is interessant.*

De productie van kunststof is voor hout een kleine maar interessante, ontwikkelende bestemming.

- *Bij energetische inzet is warmtebenutting essentieel.*

Bij de inzet van houtpellets of biocokes voor bij- en meestook hebben situaties met warmtetoepassing (wkk) duidelijk voorkeur boven situaties waarin alleen stroom wordt geproduceerd en warmte wordt vernietigd.

De inzet van hout als bodemverbeteraar gebeurt bij voorkeur na winning van biogas. Dit is eigenlijk alleen relevant voor restmateriaal, top- en takhout. De optie om biogas te winnen (droogvergisting) naast de productie van compost heeft qua duurzaamheid de voorkeur.

4.5 Globale beslisboom voor mest

Voor mest is een simpele beslisboom af te leiden. Deze lijkt op de Ladder van Lansink: mest is van alle beschouwde grondstoffen ook het meest verwant met afval.

1. Voorkomen

Hoewel het niet als toepassing van mest kan worden beschouwd, en dus ook niet in de analyse van dit rapport is opgenomen, lijkt het voorkómen van een mestprobleem, althans van een fosfaatoverschot, de belangrijkste optie. In de beleidspraktijk is het verminderen van toediening van fosfaat in veevoer dan ook een eerste aanpakpunt (het 'voerspoor'). Mest afkomstig van geïmporteerde soja draagt ook nog eens bij aan de nutriëntenonbalans. Voer uit de eigen regio betekent circuleren van nutriënten binnen de eigen regio en leidt zo tot een betere balans.

2. *Recyclen op eigen bedrijf*

Omdat vrijwel alle verwerkingsopties van mest de boer (nu nog) geld kosten of subsidie nodig hebben, is de meest voor de hand liggende oplossing, met name het uitrijden op eigen land, economisch preferabel. Uitrijden van (natuurlijke) mest op verzadigde grond - ook al is het binnen het quotum - levert echter niets met betrekking tot bodemvruchtbaarheid. Doordat de steeds stringenter quota de boer hierin beperken is er een markt voor mest en mestverwerking, waarbij de boer geld toegeeft. Hiervoor zijn meerdere opties (3 tot en met 7).

3. *Recyclen op Nederlands akkerbouwbedrijf*

De prijs voor mestafzet af-boerderij ligt voor varkensmest in de zuidelijke regio's in 2012 op ongeveer € 18 per ton mest telquel. Dit, samen met de volumecapaciteit in de diverse afzetmarkten, verklaart de zoektocht naar alternatieve verwerkingsopties en technologieën.

4. *Mestverbranden en upcyclen*

Het verbranden van mest en recyclen van de fosfaten uit de as via Thermphos of andere industriële partijen is relatief kansrijk op het gebied van economie, en leidt tot een zeer hoge score op de nutriëntenbalans. Aandacht is nodig voor verwaarding van de andere fracties in mest.

5. *Mestverwerking en eventueel export*

De hoogwaardigheidspiramide voor mestverwerking staat min of meer op zijn kop: veel bewerkingen zijn primair verliesgevend, en worden betaald door de boer of en door subsidies (SDE). Innovaties moeten hierin verbetering brengen. In het algemeen geldt nu: hoe minder bewerking hoe beter het is voor de economie. Aan de andere kant is meer bewerking (biogasproductie, opwerking van nutriëntenfracties) juist wel weer beter voor de duurzaamheid.

- Waar warmte nodig is (drogen, pasteuriseren), is de inzet van goedkope restwarmte noodzakelijk, zowel voor economie als voor duurzaamheid.
- Voor de bodembalans is de export van de fosfaatrijke dikke fractie naar regio's met weinig eigen fosfaat en veel kunstmestimport (Oost-Duitsland, Noord-Frankrijk) het meest wenselijk. Dit vereist indikking of zelfs drogen van de nattere mestsoorten.
- Osmose van de dunne fractie bij mestscheiding reduceert het volume afvalwater en genereert een goed verkoopbaar NK-preparaat.

6. *Covergisting*

Covergisting van mest blijkt in de meeste gevallen economisch problematisch. De covergister voegt bovendien nog mineralen toe aan de mest. Voor zover deze uit de eigen regionale landbouw komen (dat is in de meeste gevallen zo) heeft dat overigens weinig invloed op de regionale mineralenbalans.

7. *Mestverbranding en storten*

Het met geld toe scheiden (drijfmest) en verbranden van de mest en vervolgens *storten* van de as (via wegebouw) scoort laag op de meeste indicatoren. De balans wordt enigszins verzacht doordat er bij verbranding energie wordt geproduceerd.

8. *Nieuwe stalsystemen*

Mest vers verwerken is beter dan het eerst op te slaan: er is tweemaal zoveel koolstof te winnen in de vorm van methaan bij vergisting of bodemverbeteraar bij bemesten met dikke fractie, koolstof die normaal voor een groot deel als methaan (sterk broeikasgas) uit de put verdwijnt. Dit is geen extra alternatief, maar combineert met de voorgaande.

4.6 Samenvattend overzicht

Samenvattend, uit deze vingeroefening blijkt dat de materie dusdanig complex is dat er geen eenduidige volgorde van eindmarkten aan te wijzen te is over alle biomassa-soorten heen. Kortom, er is niet één overall ladder of piramide. En zelfs per biomassa-soort blijkt dat de voorkeur tussen toepassingsroutes afhankelijk is van de gehanteerde criteria. Alleen in sommige gevallen blijkt dwars door diverse criteria heen een simpele voorkeursvolgorde aan te geven (tabel 4.1).

Tabel 4.1

Globale inzichten per biomassasoort

Agrocommodities

- Een toepassing in humane voeding is op de meeste criteria beter dan veevoer.
- Een eiwitfractie kan beter in voeding of veevoer dan in energie worden ingezet.
- Hoe meer fracties worden benut, hoe beter.
- Complexe ketens geven meer toegevoegde waarde, simpeler processen meer investeerbaarheid.
- In de chemie bestaat een verscheidenheid aan toepassingen met elk haar eigen kenmerken.
- Decentrale bioraffinage is vaak voordeliger dan centrale.
- Eigen biomassaproductie is uit oogpunt van de mineralenkringloop beter dan import.

Hout

- De hypothese dat langcyclische toepassingen beter zouden zijn voor broeikasgasemissies dan kortcyclische is niet bevestigd; dit komt door de definitie van het criterium vermeden CO₂eq-emissies.
- De vergelijking van materiaaltoepassingen en energie wordt gehinderd door de onbekende footprint van materiaaltoepassingen. Dit geldt overigens niet alleen voor hout.
- Stamhout kent hoogwaardiger (materiaal) of volumineuzere (energie)toepassingen dan resthout.
- Hergebruikt materiaal scoort beter op duurzaamheidscriteria.
- Papier en karton scoren opmerkelijk laag op alle criteria.
- De productie van grondstoffen voor plastic uit hout is een interessante toepassing.
- Bij de inzet van hout voor bio-energie is de benutting van vrijkomende warmte essentieel.
- De inzet van (rest)hout als bodemverbeteraar dient bij voorkeur plaats te vinden na gaswinning.

Mest, onderdeel mestverwerking

- Hoe minder bewerking, hoe economischer: veel bewerkingen zijn verliesgevend, en worden betaald door de boer of door subsidies.
 - De inzet van goedkope restwarmte is wenselijk voor economie en duurzaamheid.
 - Export van fosfaatrijke onderdelen naar regio's met veel kunstmestimport (Oost-Duitsland, Noord-Frankrijk) is wenselijker dan inzet in verzadigde regio's.
 - Osmose is wenselijk om ook de dunne fractie bij mestscheiding goed in te kunnen zetten.
 - Vers verwerken van mest is beter dan eerst opslaan.
-

5 Discussie en conclusies

5.1 Discussie en aanbevelingen

In deze paragraaf hoofdstuk worden een aantal kanttekeningen gemaakt bij deze methodiek en ook worden een aantal aanbevelingen ter verbetering gegeven.

Productie van biomassa

De rangschikking van toepassingen is sterk afhankelijk van de interpretatie van de scores die aan de verschillende criteria worden meegegeven (tabel 2.2). De resultaten laten zien dat de rangschikking van de toepassingen vooral afhangt van vier van de acht criteria: de toegevoegde waarde, de vermeden broeikasgasemissies en de effecten op de bodemkwaliteit en nutriëntenbalans. Criteria zoals biodiversiteit en ecosysteemdiensten, als ook landrechten, lonen en werk zijn vooral relevant voor de productie van de biomassa. Echter, in deze studie wordt uitgegaan van één productiesysteem per type biomassa. Het meenemen van verschillende productiesystemen per type biomassa kan inzicht geven in de mate waarin de productie van biomassa de performance van de hele keten kan verbeteren.

Eén type biomassa, meerdere toepassingen

In deze studie worden toepassingen van biomassa gerangschikt uitgaande van één type biomassa. Deze methode is in principe ook geschikt om productiesystemen te rangschikken die hetzelfde product leveren, maar die gebruik maken van verschillende typen biomassa. Een dergelijk analyse biedt inzicht in de voor- en nadelen van verschillende biomassa productie en conversie routes.

Zeer hoogwaardige en innovatieve toepassingen

De selectie van toepassingen is gebaseerd op de belangrijkste toepassingen per type biomassa die op dit moment relevant zijn of die op de korte termijn gerealiseerd kunnen worden. Dit betekent dat specialistische en innovatieve toepassingen, zoals de productie van medicijnen of smaakstoffen, in deze studie buiten beschouwing zijn gelaten. Er bestaan diverse voorbeelden van zeer geavanceerde toepassingen van biomassa, zoals het winnen van vanille uit hout, maar de omzet en de hoeveelheden biomassa zijn zeer klein.

Cascadering in de tijd

Cascadering is in dit rapport gedefinieerd als het streven naar een zo hoog mogelijke economische toegevoegde waarde per ton primair product. Hierbij is maar beperkt rekening gehouden met cascadering in de tijd. Dit is vooral van belang in geval van hout en vezelachtige materialen. Dergelijke materialen kunnen een aantal keren worden hergebruikt, steeds andere (meestal minder hoogwaardige) toepassingen. Cascadering kan dus een belangrijk positief effect hebben op onder andere de efficiëntie, duurzaamheid en de toegevoegde waarde per eenheid biomassa.

Indirecte effecten en langetermijneffecten

De vergelijking van toepassingen van biomassa die in deze studie is gemaakt is uitgevoerd op basis van de korte termijn effecten en op basis van per ton uitgangsmateriaal. Indirecte effecten en effecten op lange termijn worden merendeels buiten beschouwing gelaten. Potentieel belangrijke effecten zijn bijvoorbeeld veranderingen in productie, consumptie en prijzen als gevolg van het gebruik van biomassa in plaats van conventionele producten. Diverse studies laten zien dat dergelijke effecten cruciaal kunnen zijn voor zowel de economische performance als de ecologische performance. Op dit moment wordt onder leiding van het LEI een macro-economische verkenning van de biobased economy in Nederland uitgevoerd in het kader van de topsector Energie/Chemie. Deze studie moet inzicht geven in de macro-economische effecten van het grootschalig gebruik van biomassa in Nederland.

Multicriteria-analyse en stakeholdersdialoog

De multicriteria-aanpak en de resultaten zoals in dit rapport zijn gepresenteerd, zijn diverse keren besproken, aangepast en aangescherpt naar aanleiding van discussies met ambtenaren van diverse beleidsministeries, Agentschap NL en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Cruciale elementen in de methode de keuze van de systeemgrenzen en criteria, het toekennen van punten en de interpretatie van de scoretabellen door middel van wegen en optellen van punten (multicriteria-analyse). Deze aspecten zijn deels gebaseerd op expert judgement en zijn daarmee deels subjectief. Het is daarom wenselijk om deze keuzes te toetsen in gesprek met andere partijen, zoals bedrijven en ngo's, evenals met beleidsmakers van andere overheden en onderzoeksinstituten, zodat er een maatschappelijk gedragen methode komt. Merk daarbij op dat er in de afgelopen jaren al veel voorwerk is gedaan door diverse platforms en werkgroepen en ook rondom het onderwerp certificering - denk aan de Cramer criteria, de commissie Corbey en NTA8080. Elementen uit en resultaten van dergelijke analyses kunnen helpen om de multicriteria-analyse zoals gepresenteerd in deze studie verder uit te werken en het maatschappelijk draagvlak en de acceptatie te vergroten. Een gezamenlijke set van indicatoren en criteria kan - over beleidsterreinen heen - tot consistente afwegingen leiden, richting geven aan ontwikkelingen in de praktijk en de voortgang van beleid en praktijk monitoren.

5.2 Conclusies

Geen eenduidige prioritering

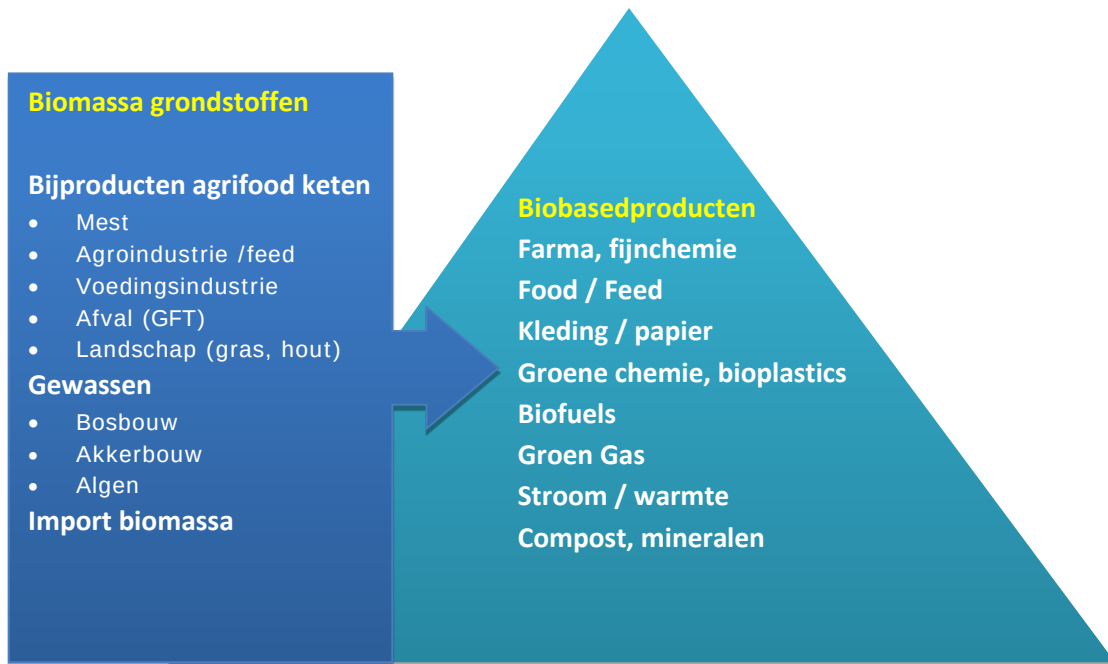
Er blijkt geen eenduidige volgorde van eindmarkten aan te wijzen te zijn over alle biomassa-soorten heen. Er is dus niet één algemeen geldende ladder of piramide omdat toepassingen en voorkeuren verschillen tussen verschillende biomassa-soorten. Verder is zelfs per biomassa-soort de voorkeur tussen toepassingsroutes afhankelijk van de gehanteerde wegingsfactoren per criterium. Alleen in sommige gevallen blijkt dwars door diverse criteria heen een simpele voorkeursvolgorde aan te geven.

Prioritering sterk bepaald door economische criteria; multicriteria analyse is deels subjectief

De resultaten geven aan dat de prioritering sterk wordt bepaald door economische criteria. Daarnaast hangt de rangschikking van toepassingen van biomassa ook deels af van broeikasgasemissies en van de effecten op bodemkwaliteit en nutriëntenbalans. De globale beslisbomen van toepassingen heeft bovendien slechts beperkt met typische duurzaamheidsaspecten zoals biodiversiteit en landrechten te maken, omdat die niet afhangen van de toepassing maar eerder van de productiewijze. Echter, deze conclusies zijn sterk afhankelijk van de deels subjectieve keuze van systeemgrenzen, weging van criteria en van de puntentelling.

Bijlage 1 Achtergrondinformatie biomassastromen en scoringstabellen

Er is bewust voor biomassasoorten met een zekere spreiding om zo de methodiek zo goed mogelijk te beproeven (zie Figuur B1.1).



Figuur B1.1 Biomassa grondstoffen en een globale toepassingenpiramide

Tabel B1.1

Overzicht toepassingen voor mais

		Toepassingsketen	Beschrijving en afbakening
1	a	Zetmeel winning en diervoeder	State of the art zetmeelproductie, diervoeder uit reststromen
	b	toepassing van zetmeel ten behoeve van chemie	bijvoorbeeld Dupont 1,3-propaandiol en DSM met succinaat
2		Snijmais voor diervoeder	State of the art met specifieke ruwvoer-diervoederrassen.
3	a	Grootschalige bio-ethanol DDGS drogen en naar veevoer (Abengoa)	State of the art VS-ethanolproductie uit wetmilling waarbij een restfractie vrijkomt die moet worden gedroogd ten koste van veel energie
	b	DDGS opsplitsen in eiwit en mineralen	Idem maar dan wordt eiwit apart gewonnen en levert dit minder mineralen probleem downstream in de keten; innovatie
	c	DDGS opsplitsen in aminozuren (veevoer) en mineralen	Idem maar dan worden aminozuren uit het eiwit geïsoleerd met waarde in diervoeder
	d	als 3c, aminozuren ook naar chemie	bijvoorbeeld Dupont 1,3-propaandiol en DSM met succinaat
	e	Kleine schaal, daarmee geen drogen van DGS nodig	Vergelijkbaar met 3a maar nieuw proces waarbij geen nadeel van kleine schaal en voordeel omdat veel minder energie en kapitaal kosten nodig zijn om transport mogelijk te maken.
4	a	Raffinage eiwit/zetmeel/olie voor ethanol, biogas, mineralen retour veld (Byosis) eiwit voor rundveevoer	Als 3d maar waarbij ook zetmeel en maisolie gewonnen kan worden; demo
	b	deel van eiwit voor humane voeding	Als 4a waarbij eiwit voor een deel ook in humane voeding wordt toegepast (zeïne); innovatie
5		Mais als cosubstraat in biogasproductie	State of the art

Innovatieve processen zijn grijs gearceerd

Toelichting bij de score van de toepassingen voor mais inclusief scoringstabel

Het maiseiwit is voor varkens minder waard ten opzichte van soja- of graseiwit vanwege de aminozuursamenstelling. Voor rundvee maakt deze aminozuursamenstelling weinig uit. Het voordeel van mais ten opzichte van vochtrijke gewassen is dat het goed bewaarbaar is door het jaar heen, en dat er minder energie nodig is om water te verwijderen. Bovendien heeft mais ook in Nederland hoge veldopbrengsten van tegen de 20 ton droge stof per jaar.

De Tabel B1.2 is als volgt ingevuld.

- Directe economische waarde: hoe hoger de waarde van de verschillende componenten des te beter komt de case uit de bus, als tenminste de kosten voor kapitaal en energie bescheiden kunnen blijven.
- Chemie uit zetmeel of suikers draagt bij aan hogere waarde, echter ten koste van huidige hoofdtoepassingen. Gebruik van aminozuren voor chemie uit de reststroom DDGS (bij ethanolproductie) gaat in principe niet ten koste van de andere toepassingen.
- Indirecte economische waarden worden gunstiger indien we eiwit voor (dier)voeding kunnen behouden en daar niet andere gewassen voor behoeven te verdringen om in onze eiwit behoefte te voorzien.
- Het niet hoeven te drogen van producten en een goede benutting van alle componenten van de mais leidt tot de beste CO₂-reductie.
- Het terugvoeren van mineralen en de resistente lignocellulose delen naar het land voorkomt 'verwoestijning' zoals dit in Duitsland bij de biogas cofermentatie systemen gebeurt.
- Voedselzekerheid is gediend bij hoog rendement (verhoging benutbaarheid) van eiwit en inzet als rundveevoeder en zeker niet als cosubstraat voor biogas.

Tabel B1.2

Scoretabel met toepassingsopties voor mais (voorbeeld)

		Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investeerbaarheid en lock in risico		
		Hoogwaardig		Efficiënt		Duurzaam					
Gewichten (voorbeeld):		1	1	1	1	1	1	1	1		
Opties	Omschrijving	Scores								Gewogen score	Rang
1	a Zetmeel winning en diervoeder	5	6	5	5	5	6	7	5	5.50	5
	b Zetmeel ten behoeve van chemie	6	6	6	5	4	5	7	4	5.38	7
2	Snijmais voor diervoeder	5	5	5	6	7	6	7	7	6.00	3
3	a Grootschalige bio-ethanol DDGS drogen en naar veevoer (Abengoa)	4	4	3	4	5	5	7	5	4.63	10
	b DDGS opsplitsen in eiwit en mineralen	5	5	4	6	5	5	7	4	5.13	8
	c DDGS opsplitsen in aminozuren (diervoer) en mineralen	6	6	5	6	6	5	7	3	5.50	5
	d als 3c, aminozuren ook naar chemie	7	7	6	6	6	5	7	3	5.88	4
	e Kleine schaal bio-ethanol, geen drogen van DGS nodig	3	5	4	5	5	5	7	6	5.00	9
4	a Raffinage eiwit/zetmeel/olie voor ethanol, biogas, mineralen retour veld (Byosis), eiwit voor rundveevoer	6	6	7	7	7	6	7	5	6.38	1
	b Idem, deel van eiwit voor humane voeding	7	7	7	7	7	6	7	3	6.38	1
5	Mais als cosubstraat in biogasproductie	5	4	6	4	3	0	7	3	4.00	11

Noten:

(a) Deze tabel is ingevuld door enkele experts (onderzoekers). De scores zijn bekrachtigd door begeleidingsgroep van beleidsambtenaren en wetenschappers

(b) Rang: genummerd op volgorde; 1 is de beste, 11 is de slechtste

(c) Scores: Likertschaal 7 tot en met 1; 7 is de beste

(d) Gewogen score op basis van voorbeeldwegingen

Legenda:

	expertoordeel op basis van empirische cijfers
	expertoordeel op basis van ontwerprijfers

Tabel B1.3

Overzicht toepassingen voor gras

	Toepassingsketen	Beschrijving en afbakening
1	Begrazen	State of the art: grazende koeien in de wei
2	a	Decentraal persen tot eiwit voor varkens, vezel voor karton, aminozuren (Grassa!)
	b	Idem, centrale fabriek (AVEBE)
3		Decentraal persen tot eiwit voor rundvee, overige biogas (HarvestAG)
4		Bermgras scheiden met bacteriën (Van Boekel/ Danvos/Newfoss)
5		Kuilen, persen tot aminozuren en melkzuur (Mandl, Oostenrijk)
6		Persen, vezels als isolatiemateriaal, overige in biogas (Biowert, Duitsland)

Innovatieve processen zijn in grijs gearceerd

Toelichting bij de score van de toepassingen voor gras inclusief scoringstabel

De gezamenlijke waarde van hoofd- en bijproducten minus de kosten die gemaakt moeten worden, bepalen uiteindelijk of het economisch interessant is.

Hoogwaardig eiwit voor diervoeding concurreert met soja-eiwit. Het gaat hier om een heel grote markt. Aminozuren worden sterk bepaald door de veevoedermarkt en humane toepassingen. Het gaat hier om 4 à 5 aminozuren van de 20 die in eiwit voorkomen. De overige aminozuren zouden hun weg kunnen vinden naar de chemie, maar deze routes zijn nog in een ontwikkelstadium.

De vezels kunnen naar karton, verpakking, bouw of eventueel als grondstof voor elektriciteit.

De Tabel B1.4 is als volgt ingevuld.

- Directe economische effecten: zie hierboven.
- Indirecte economische effecten: verlaging van het mineralenoverschot. Kleinschalige verwerking draagt bij tot minder transport over de weg. Gras verder opwaarderen heeft verlaging van transport over zee tot gevolg en verbetert onze handelsbalans.
- Reductie CO₂: verhogen van efficiëntie van benutting gras levert meer met minder grondstof en daardoor is er minder CO₂-emissie en fossiele inputs nodig. Hoe hoger op de F-ladder, hoe meer fossiele grondstoffen daar doorgaans op dit moment voor nodig zijn deze te produceren.
- Komen mineralen maar ook koolstof en micro elementen retour naar bodem? Kleinschalige verwerking, met een waterige bijstroom waarin de micro-elementen opgelost zitten, maakt een circulaire economie goed mogelijk zonder hoge kosten voor recycling.
- Verhoging van de eiwit- en energie-benutbaarheid door het openbreken van de grascellen verhoogt de voedselzekerheid. Bovendien kun je wanneer je het eiwit in handen hebt, dit bestendig maken zodat een koe met veel minder eiwit evenveel melk kan maken, waarin dan bovendien veel minder ureum is opgehoopt.

- Het verwerken van natuur- en bermgras heeft altijd een plus op bodemkwaliteit en op biodiversiteit vanwege het verschrallingsdoel voor deze terreinen.
- Biodiversiteit werd door de experts hoger ingeschaald voor een weiland met grazende koeien dan wanneer een deel van het gras middels bioraffinage werd verwerkt. Dit komt ook omdat bij het grazen en het onregelmatig neerkomen van de mineralen/bemesting er een grotere verscheidenheid aan planten groeit.

Tabel B1.4

Scoretabel met toepassingsopties voor gras (voorbeeld)

		Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ -eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investerbaarheid en lock in risico		
		Hoogwaardig	Efficiënt			Duurzaam					
Gewichten (voorbeeld):		1	1	1	1	1	1	1	1		
Opties	Omschrijving	Scores								Gewogen score	Rang
1	Begrazen	4	3	3	4	5	6	7	4	4.5	5
2	a Decentraal persen tot eiwit voor varkens, vezel voor karton, aminozuren (Grassa!)	5	6	7	7	7	4	7	3	5.75	1
	b centrale fabriek als 1 (AVEBE)	3	5	5	5	7	4	7	2	4.75	4
3	Decentraal persen tot eiwit voor rundvee, overige biogas (HarvestAG)	4	6	6	6	6	4	7	3	5.25	3
4	Bermgras vezels voor papier of stroom (Newfoss/Van Boekel/ Danvos)	4	6	5	6	7	6	7	3	5.50	2
5	Kuilen, persen tot aminozuren en melkzuur (Mandl, Oostenrijk)	3	4	4	6	6	7	7	5	5.25	3
6	Persen, vezels als isolatiemateriaal, overige biogas (Biowert, Dld)	3	4	5	6	6	6	7	5	5.25	3

Noten:

- (a) Deze tabel is ingevuld door enkele experts (onderzoekers). De scores zijn bekrachtigd door begeleidingsgroep van beleidsambtenaren en wetenschappers
- (b) Rang: genummerd op volgorde; 1 is de beste, 7 is de slechtste
- (c) Scores: Likertschaal 7 tot en met 1; 7 is de beste
- (d) Gewogen score op basis van voorbeeldwegingen

Legenda:

-  expertoordeel op basis van empirische cijfers
-  expertoordeel op basis van ontwerpgegevens

Tabel B1.5

Overzicht toepassingen voor koolzaad

	Toepassingsketen	Beschrijving en afbakening
1	Import zaad, persen, olie naar voeding, schroot naar rundvee	State of the art
2	a Import zaad, persen, olie naar biodiesel schroot naar rundvee, glycerol naar biogas	State of the art
	b glycerol naar chemie	Op dit moment bereidt Solvay zijn vierde fabriek voor epichloorhydrine voor
	c schroot raffineren naar eiwit (varkens), vezels (rundvee), mineralen	Opwaarderen van het schroot, door middel van winning van hoogwaardig eiwit dat zonder veel fosfaat en kalium in diervoeder kan worden ingezet; innovatief
	d schroot raffineren tot lactaat, aminozuren, fosfaat, kalium (MIMOSA)	In dit nieuw ontworpen proces wordt hoog eiwit rendement behaald en wordt bovendien de (hemi)cellulose voor een groot deel omgezet in lactaat. Dit lactaat kan zetmeel in diervoeders vervangen en kan ook dienen als grondstof voor de productie van chemicaliën en ethanol via fermentatie; innovatief
3	a Productie Nederland, decentraal persen, olie naar PPO (transportbrandstof) schilfers naar rundvee	Bekend maar erg klein
	b schilfers raffineren naar eiwit (varkens), vezels (rundvee), mineralen	Hoge opbrengst van eiwit vrij van kalium en fosfaat. Het eiwit ten behoeve van diervoeder wordt niet gedroogd waardoor veel energie bespaard blijft. De lignocellulose wordt ontsloten en levert extra energie ten behoeve van rundvee. Demofase
	c schilfers raffineren en PPO kleinschalig naar biodiesel	Ook het biodiesel proces kan op kleine schaal voordelen hebben wanneer de vrijkomende glycerol als grondstof voor rundvee kan worden ingezet. Daardoor is een zuivering/concentratie zoals nu op grote schaal nodig is, overbodig. innovatief

Innovatieve processen zijn in grijs gearceerd

Toelichting bij de score van de toepassingen voor koolzaad inclusief scoringstabel

- Direct economisch voordeel: Kleinschalige bioraffinage tot hoogwaardig eiwit is nog nooit in de praktijk uitgevoerd, maar kan middels state of the art technologie verwezenlijkt worden.
- Indirect economisch voordeel: minder energie nodig, minder transport en meer werkgelegenheid en dus sterkere economie op het platteland
- Vermeden CO₂: als geen droging van producten nodig is om gebruik en hygiëne te garanderen leidt dit tot besparingen.
- Onverteerde delen van de lignocellulose gaan via de rundermest retour naar het veld. De mineralen kunnen kortcyclisch retour. De fosfaat kan ook via een tussenstap naar het buitenland worden afgezet.
- Des te hoogwaardiger het eiwit kan worden ingezet, des te meer schaarse eiwitbronnen worden behouden voor humane voeding. Het eiwit uit koolzaad kan ook na beschreven opzuivering goed dienen in de humane voeding. Een voorbehandeling van de lignocellulose bespaart 'energie' grondstoffen voor rundvee of varkens.
- Bij kleinschalige verwerking komen economische processen ook voor 'smallholders' in zicht, daardoor wordt landgrabbing afgeremd.

Tabel B1.6

Scoretabel met toepassingsopties voor koolzaad (voorbeeld)

		Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investerbaarheid en lock in risico		
		Hoogwaardig		Efficiënt		Duurzaam					
Gewichten (voorbeeld):		1	1	1	1	1	1	1	1		
Opties	Omschrijving	Scores								Gewogen score	Rang
1	Persen en olie naar voeding en rest naar rundvee	6	5	2	4	3	3	4	7	3.43	6
2 a	(import) Persen, olie naar biodiesel, glycerol naar biogas, schroot naar rundvee	5	5	2	3	3	3	4	3	3.14	7
b	idem, glycerol naar chemie	6	6	3	3	3	3	4	4	3.57	5
c	idem, schroot raffineren naar eiwit (varkens), vezels (rundvee), mineralen	5	5	4	6	5	3	5	4	4.29	4
d	idem, schroot raffineren tot lactaat, aminozuren, fosfaat, kalium (MIMOSA)	7	7	5	7	6	3	7	3	5.57	1
3 a	Decentraal persen, olie als PPO, schilfers naar rundvee	4	5	3	3	3	3	4	4	3.14	7
b	idem, schilfers raffineren naar eiwit (varkens), vezels (rundvee), mineralen	6	6	6	6	5	3	6	5	5.00	3
c	idem, schilfers raffineren en PPO kleinschalig naar biodiesel	7	7	7	7	5	3	6	6	5.57	1

Noten:

(a) Deze tabel is ingevuld door enkele experts (onderzoekers). De scores zijn bekrachtigd door begeleidingsgroep van beleidsambtenaren en wetenschappers.

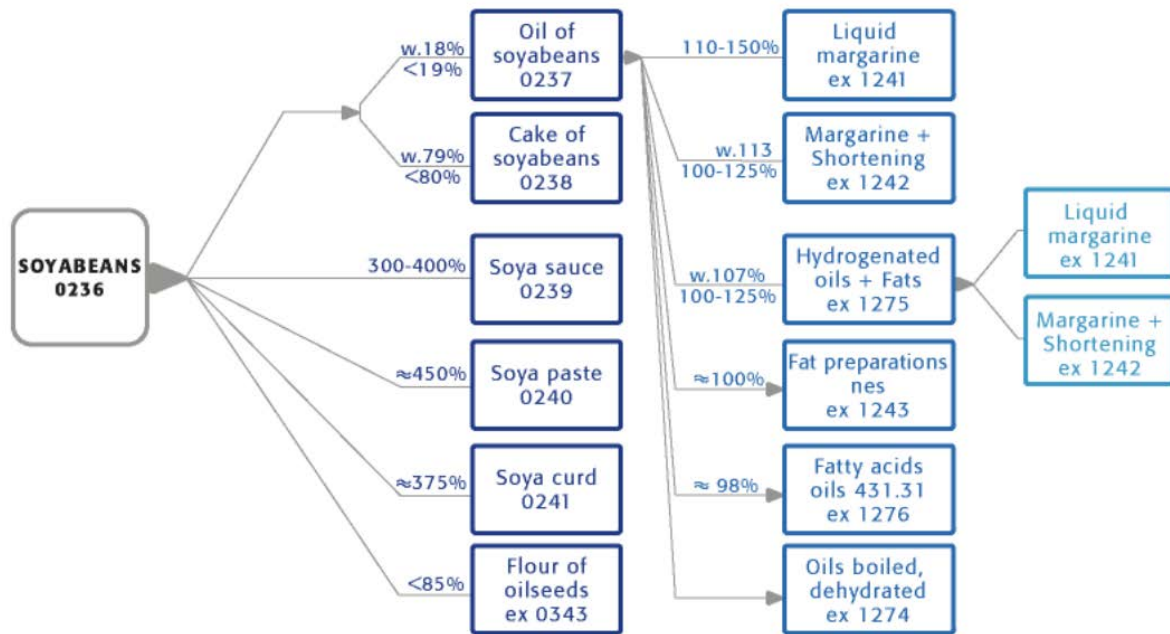
(b) Rang: genummerd op volgorde; 1 is de beste, 7 is de slechtste

(c) Scores: Likertschaal 7 tot en met 1; 7 is de beste

(d) Gewogen score op basis van voorbeeldwegingen

Legenda:

	expertoordeel op basis van empirische cijfers
	expertoordeel op basis van ontwerprijfers



Figuur B1.2 Food commodity tree voor soja

Bron: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/methodology/tcf.pdf>

Selectie ketens op basis van bovenstaande lijst:

1. Gebruik hele boon voor voedsel toepassingen of als veevoer
2. Gebruik soja olie voor biodiesel en perskoek als veevoer
3. Gebruik soja olie voor voedsel en perskoek als veevoer

Toelichting bij de score van de toepassingen

- Toegevoegde waarde: Het gebruik van de hele boon lever meeste economische activiteit op want dit betreft hoogwaardige toepassingen in de voedselketen en soja is ook een hoogwaardig veevoer. Gebruik van sojaolie levert ook veel toegevoegde waarde op, maar toepassingen zijn minder specialistisch en hebben minder toegevoegde waarde. Ook veevoer is laagwaardiger vanwege de lagere vetconcentratie.
- Vermeden CO₂-eq per ton: dit is niet relevant voor voedsel ketens. CO₂-winst van soja is relatief beperkt, zeker als CO₂-emissies van landgebruikverandering worden meegenomen. Daarom is hier een score van 2 aan toegekend.
- Bodemkwaliteit en nutriënten: productie van soja is voor alle ketens gelijk. Verderop in de keten gaat het om de mate waarin nutriënten gerecycled worden en kunnen worden. De mate waarin dat gebeurt/kan gebeuren is niet bekend. Nutriëntengehalte van de olie is beperkt, dus het gaat vooral om wat er met de hele bonen dan wel cake gebeurt. In sommige gevallen kunnen nutriënten uit de voedselketen meer of minder hergebruikt worden dan uit de veevoerketen. Maar dat is afhankelijk van de casestudy en/of regio. In de tabel hebben alle ketens dezelfde score gekregen.
- Voedselzekerheid: De veevoer- en voedselketens scoren het best, uiteraard, omdat in beide gevallen soja uiteindelijk terechtkomt in de voedselketen. Hoewel directe consumptie efficiënter gebruik maakt dan indirecte consumptie van soja via dierlijke producten. Daarom heeft keten 1 hoogste score gekregen, gevolgd door keten 2 en daarna keten 3 waarin een deel van de soja als energie gebruikt wordt.
- Biodiversiteit en ecosystemendiensten: deze zijn gelijk in alle ketens, tenzij indirecte effecten meegenomen worden. Deze zijn hier uit praktisch oogpunt buiten beschouwing gelaten. Een score 3 is gegeven, gelet op het directe gebruik van cerrados in Brazilië voor sojaproductie.
- Landrechten, lonen, werk: dit onderwerp is vooral relevant voor de productie van soja en minder voor de verwerking van soja. Daarom hebben de drie ketens dezelfde score meegekregen. Deze

score is 3, gelet op de soms problematische situatie in Brazilië met betrekking tot landrechten, lonen en arbeidsomstandigheden.

- Handel, innovatie, topsectoren: Voedsel en veevoer ketens scoren het beste, gelet op innovatieve mogelijkheden en potentie van de voedselindustrie. Gebruik van soja olie voor productie van biodiesel en gebruik van soja als veevoer zijn minder kansrijk.

Tabel B1.7

Scoretabel met toepassingsopties voor soja (voorbeeld)

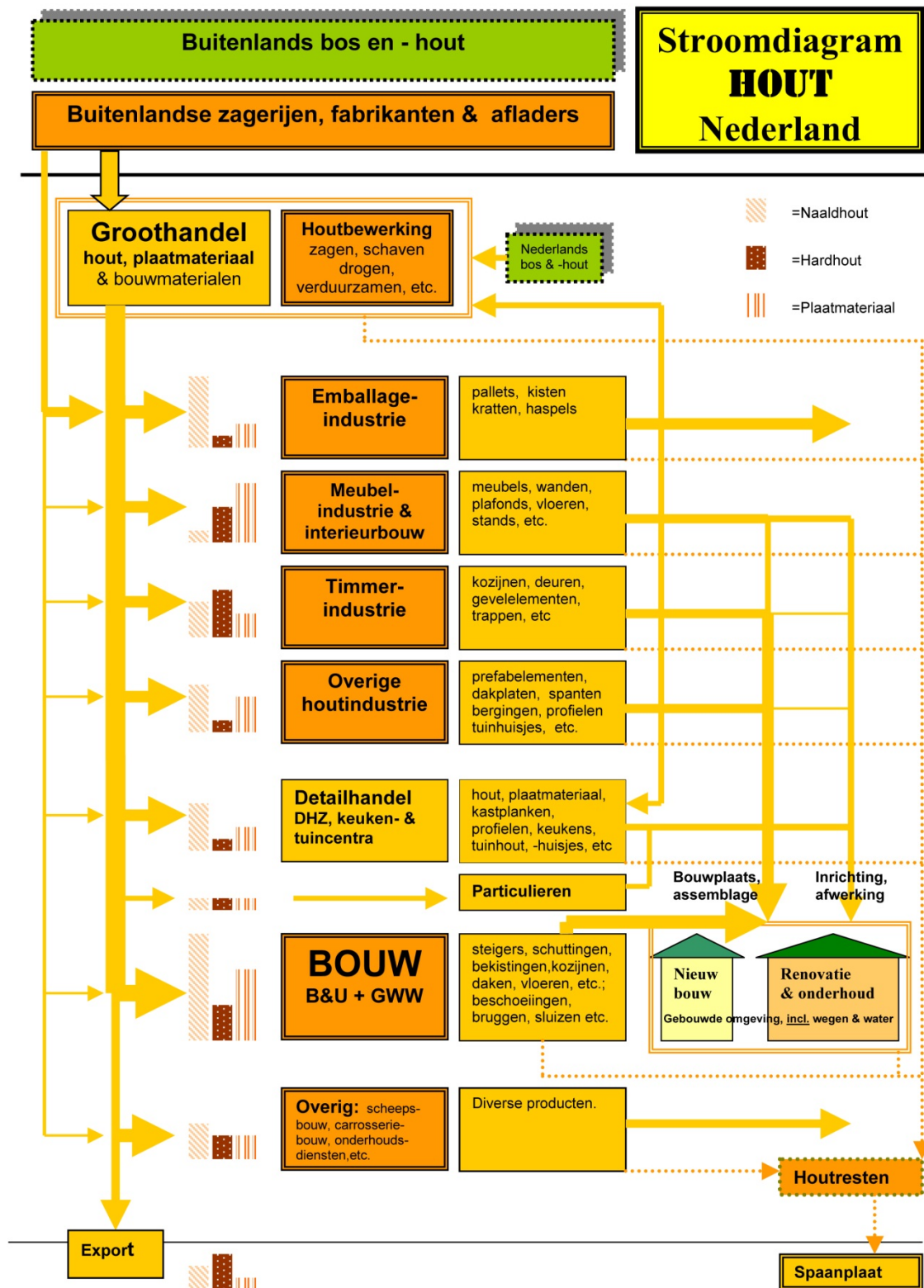
		Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investeerbaarheid en lock in risico		
		Hoogwaardig		Efficiënt	Duurzaam						
Gewichten (voorbeeld):		1	1	1	1	1	1	1	1		
Opties	Omschrijving	Scores								Gewogen score	Rang
1	Gebruik de hele boon als voedsel of als veevoer	7	1	1	5	7	5	3	7	4.50	1
2	Gebruik olie voor biodiesel en cake als veevoer	5	1	2	5	3	3	3	3	3.13	3
3	Gebruik olie als voedsel en cake als veevoer	5	1	1	5	5	5	3	7	4.00	2

Noten:

- (a) Deze tabel is ingevuld door enkele experts (onderzoekers). De scores zijn bekrachtigd door begeleidingsgroep van beleidsambtenaren en wetenschappers
- (b) Rang: genummerd op volgorde; 1 is de beste, 3 is de slechtste
- (c) Scores: Likertschaal 7 tot en met 1; 7 is de beste
- (d) Gewogen score op basis van voorbeeldwegingen

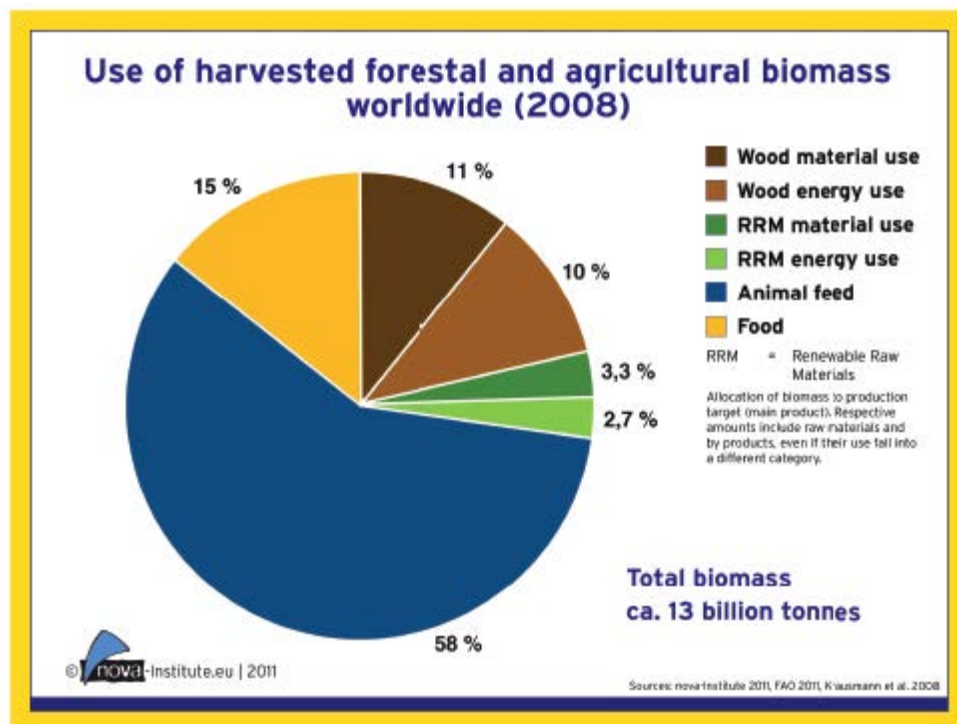
Legenda:

	expertoordeel op basis van empirische cijfers
	expertoordeel op basis van ontwerprijfers

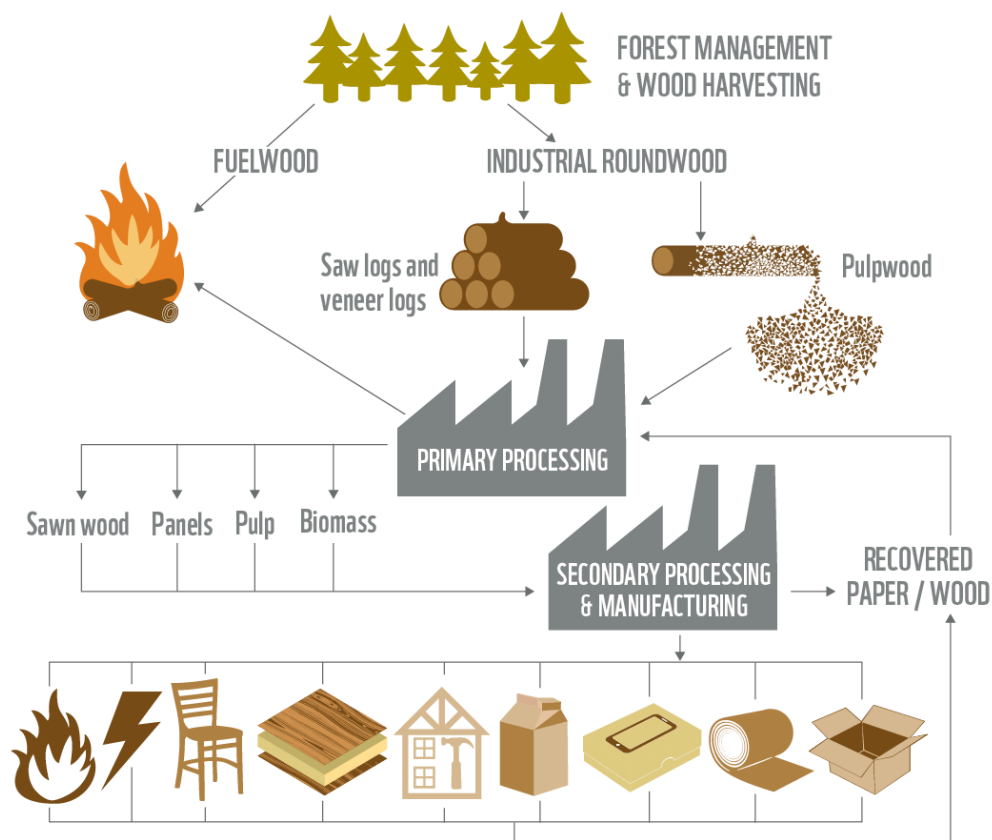


Figuur B1.3 De houtketen in Nederland

Bron: www.VVNH.nl



Figuur B1.4 Globaal gebruik van geoogste bosbouw- en akkerbouwproducten in 2008
 Bron: Raschka en Carus (2012).



Figuur B1.5 Waardeketens voor bosbouwproducten
 Bron: www.wwf.panda.org

Tabel B1.8

Overzicht toepassingen voor hout

	Toepassingsketen	Beschrijving en afbakening
1	Bouw: Planken, gezaagd hout, panelen, spaanplaat	
a	Onbewerkt - stammen	Gebruik van stammen voor fabricage van balken, planken en panelen. Deze worden ingezet in bouw of bijvoorbeeld emballage.
b	Onbewerkt - resthout & zaagsel gebruikt	Gebruik van restmateriaal voor fabricage bouwhout (plaatmateriaal)
c	Verharden zachthout (op basis van poly/epoxy/hars/azijnzuur)	Chemisch bewerken van zachthout tot hardhoutkwaliteit; daarna verwerken in bouwtoepassing.
d	Verharden zachthout (op basis van warmte)	Thermisch bewerken van zachthout tot hardhoutkwaliteit; daarna verwerken in bouwtoepassing
2	Vezeltoepassing	
a	eenmalig papier & karton	papier en karton dat niet wordt gemaakt voor recycling in papier/karton; bijvoorbeeld melkpakken of etiketten
b	papier/karton met recyclingmogelijkheid	papier en karton dat deels zal worden hergebruikt
c	bioplastic (houtvezels/cellulose onder andere) eenmalig	Houtvezels kunnen (verpulpt) gebruikt worden voor bioplastics. Dit is nog een niche markt en hiervoor worden tot nog toe vooral andere biomassavezels gebruikt. Sommige bioplastics zijn bioafbreekbaar en kunnen niet worden hergebruikt.
d	idem meermalig	Andere bioplastics zijn niet bioafbreekbaar en kunnen worden gerecycled.
3	Energie	
a	Torrefactie: bijvoorbeeld biocokes	Torrefactie van hout is een milde vorm van pyrolyse (thermochemische ontbinding zonder zuurstof) bij temperaturen tussen de 200 en 320°C. Tijdens torrefactie worden de eigenschappen van de biomassa veranderd in een veel betere brandstofkwaliteit voor verbranding en vergassing toepassingen. Torrefactie leidt tot een droog product zonder biologische activiteit zoals rotten. • Houtskool ofwel verkoold hout ontstaat door pyrolyse van stukken hout, meestal stamhout. • Biochar is synoniem met houtskool als het wordt gebruikt als bodemverbeteraar; kan ook uit ander plant(rest)materiaal of bijvoorbeeld mest worden gemaakt. Biocokes is getorreficeerde biomassa die na koeling zeer sterk is verdicht (verpulverd en geperst), bijvoorbeeld tot briketten. Toepassingen in ijzerindustrie worden op dit moment onderzocht.
b	Idem inclusief opwerken en benutten bijproducten (bijvoorbeeld acetic acid, alcohol, acetals, rook & teer)	Het afvangen en benutten van bijproducten bij torrefactie is wenselijk om schadelijke bijeffecten te voorkomen, de economie verder te verbeteren en is zo een belangrijk onderwerp voor onderzoek
c	Meestook van pellets voor stroom zonder warmtetoepassing	State of the art; vers hout is erg duur voor meestook, en wordt deels gedragen door subsidies (SDE) en/of bijmengverplichting.
d	Pellets voor WKK	Idem, maar inclusief warmtetoepassing; lokaal gebruikelijk maar veel centrales vernietigen restwarmte.
e	Houtblokken voor thuisgebruik	Haardhout
f	Meestook van biocokes	Meestook van koolstof, directe vervanging van steenkool
g	Meestook - WKK	Meestook van koolstof, idem met warmtetoepassing
4	Gas	
a	Houtgas	Vergassen van biomassa is een manier om biogas te produceren. Deze route wordt inmiddels op pilotschaal ingevoerd (HVC en ECN)
b	Vergassen met bijproducten (syngas of bio-olies)	Idem, en met benutting van bijproducten. Naast methaan (voor biogas) wordt ook syngas geproduceerd, een grondstof voor chemie; zwaardere koolwaterstoffen komen in bescheiden vorm vrij als teer of olie.

	Toepassingsketen	Beschrijving en afbakening
5	Innovatieve transportbrandstoffen	
a	Lignocellulose-ethanol	De zogeheten tweede generatie ethanol. Onduidelijk is of hout een rol gaat spelen in de productie van lignocellulose ethanol. De techniek is nog in ontwikkeling en er is weinig informatie openbaar. Lignocellulose ethanol is met enkele grote schaal fabrieken in opkomst.
b	FischerTropsch-diesel	FT-diesel wordt gesynthetiseerd uit methaan bijvoorbeeld uit biogas. Veel aspecten van FT diesel zijn onzeker. Op dit moment is het onduidelijk wanneer FT diesel op grote schaal zal worden geproduceerd.
c	Pyrolyse-olie + restmateriaal koolstof; HTU biocrude	Met pyrolyse kunnen ook diverse producten worden gemaakt die lijken op aardolie. Deze kunnen aardolie vervangen vooraan het kraakproces. Daaruit kan weer diesel of kerosine worden geproduceerd,

Innovatieve processen zijn in grijs gearceerd

Toelichting bij de score van de toepassingen voor diverse houtsoorten inclusief scoringstabellen

Het potentieel voor meer innovatief gebruik van hout versterkt de noodzaak voor nauwkeurige levenscyclus vergelijkingen van houtproducten met alternatieven afkomstig van fossiele brandstoffen, mijnbouw of steengroeven. De resultaten kunnen grote gevolgen hebben voor het beleid en de voorkeuren van de consument. De complexiteit van het evalueren van de hele footprint van de verschillende producten heeft geleid tot een overvloed aan levenscyclus assessment (LCA) methodieken met veel subjectiviteit in hun toepassing. Dit betekent dat LCA-studies moeilijk te vergelijken zijn en vaak met tegengestelde conclusies komen. De oorzaken van onderlinge inconsistentie bestaat uit verschillende benaderingen van kwantificering van de effecten, Vooral op de biodiversiteit, van grondstoffenwinning over sectoren en contexten, onzekerheden en ten tweede aan het gebrek aan representatieve en up-to-date standaardgegevens voor inputs. De ISO-richtlijnen op LCA (ISO 14040:2006 en herzieningen) benadrukken de noodzaak van transparantie in de rapportage- en LCA-richtlijnen afgestemd op specifieke productcategorieën (WWF International 2012).

Het recente rapport van CE Delft over cascadering van biomassa (Odegard, Croezen et al. 2012) biedt aanwijzingen van besparingen als gevolg van een aantal - maar niet alle, opties. Waar ze beschikbaar zijn worden deze cijfers gebruikt als een van de meest recente, relevante bronnen van informatie die van toepassing is op de Nederlandse markt

- De traditionele kartonindustrie is bereid om meer te betalen voor de grondstoffen dan de nutsbedrijven: blijkbaar wordt er nog steeds een overschot van gebruikt hout aangeboden aan de markt voor hernieuwbare energie (Van Benthem, Leek et al. 2005)
- Het type energietoepassing en mate van vervanging van ander energiebronnen kan grote effecten hebben op biodiversiteit via landgebruik en CO₂-emissies/-opslag.
- Gebruikt hout scoort op alle productiegerelateerde criteria zoals biodiversiteit (veel) beter dan vers hout. Zie tabellen.
- *Voedselzekerheid*: De meest grootschalig naaldhoutproductie in Europa en Noord-Amerika komt van land dat niet geschikt is voor landbouw en dus is de impact op voedselzekerheid niet hoog. Voor tropisch hout en hout uit warmere (gematigd klimaat) regio's zou dit wel een lagere score verdienen.
- *Biodiversiteit en ecosysteem diensten*: deze score is sterk gerelateerd aan de productiewijze, met een verschil tussen duurzaam (certificeerde) bossen die een hoger score krijgen en niet gecertificeerde bossen. Voor landschapshout zal deze score heel moeilijk te beoordelen zijn, tenzij de grootste bronnen bekend zijn.
 - Verharden van zachthout vervangt deels hardhout en scoort daardoor hoger op biodiversiteit! Verharden van zachthout kan slechts gedeeltelijk verschillende soorten hardhout vervangen. Belangrijke trade-offs hierbij zijn de mogelijke negatieve effecten op biodiversiteit en ecosystemen in landen waar het verharden plaatsvindt, vermindering van werkgelegenheid in de landen waar tropisch hout vandaan komt en het omgekeerde effect voor landen waar het verharden plaatsvindt.

- *Landrechten, lonen en werk*: Aangezien het voorbeeld uitgewerkt is voor Noord Europees hout, zijn deze aspecten nauwelijks relevant. Voor hout uit bepaalde landen, en vooral tropische hout uit ontwikkelingslanden waarvan kwesties over landrechten, loon en werk (bijvoorbeeld Kameroen, Gabon, Maleisië en Indonesië) zouden lagere scores van toepassing zijn.
- *Vermeden CO₂-eq per ton*: Voor veel materiaaltoepassingen van hout is dit cijfer niet bekend of staan verschillende referentiewaarden in de literatuur. De cijfers hier zijn zeer indicatief en moeten, bij verdere uitwerking van deze tabel, grondig onderzocht worden. Hier dienen de scores alleen als illustratie. Voor een aantal van de nieuwe biomassa types en pilots zijn cijfers wel beschikbaar maar de betrouwbaarheid van de bronnen varieert van heel goed tot matig.
 - Bij de niet-thermische technieken voor verharding van zachthout zijn de scores afhankelijk van scores voor productie van benodigde middelen zoals epoxy, azijnzuur enzovoort. Hiervoor zijn geen gegevens gevonden.
 - Huisgebruik van hardhout is minder efficiënt, dus dit scoort lager op vermeden broeikasgasemissies.
- *Toegevoegde waarde, investeerbaarheid & lock in*: dit hangt heel sterk af van de huidige prijs van alternatieven, vooral voor materialen (bijvoorbeeld hout als vervanging voor staal, plastic enzovoort) en energie bijvoorbeeld kolen of nucleaire energie.² De toenemende vraag naar op duurzaam hout gebaseerde materialen, hetzij dankzij wetgeving, beleid of persoonlijke keuze, zou kunnen leiden tot meer gebruik van op hout gebaseerde producten.
 - Hout in bouw-toepassingen verdient een relatief hoge 'investeerbaarheid'. Hoewel de bouw ten tijde van dit rapport een zware tijd doormaakt is houtbouw in opmars, mede vanwege de isolatiewaarde van hout.

Tabel B1.9

Scoretabel met toepassingsopties voor gecertificeerd Noord-Europees zachthout (voorbeeld)

		Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ -eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investeerbaarheid en lock in risico		
		Hoogwaardig	Efficiënt			Duurzaam					
Gewichten (voorbeeld):		1	1	1	1	1	1	1	1		
Opties	Omschrijving	Scores								Gewogen score	Rang
1	Bouw: Planken, gezaagd hout, panelen, spaanplaat										
a	Onbewerkt - stammen	6	5	2	4	4	3	7	6	4.63	5
b	Onbewerkt - resthout & zaagsel gebruikt	6	5.5	2	4	4	4	7	6	4.81	2
c	Verharden zachthout (op basis van poly/epoxy/hars/azijnzuur)	6	4	3	5	4	5	7	5.5	4.94	1
d	Verharden zachthout (op basis van warmte)	6	5	2	4	4	5	7	5.5	4.81	2

² Economist 27 januari 2013, 'Burning ambitions What is good news for miners is bad news for the environment' <http://www.economist.com/node/18010727>

	Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investeerbaarheid en lock in risico		
2 Vezeltoepassing										
a eenmalig papier & karton	3	6	2	4	4	3	7	3.5	4.06	18
b papier/karton met recyclingmogelijkheid	3	5	3	4	4	3	7	3.5	4.06	18
c bioplastic (houtvezels/cellulose onder andere) eenmalig	5	6	2	4	4	3	7	4	4.38	11
d idem meermalig	5	6	3	4	4	3	7	4	4.50	8
3 Energie										
a Torrefactie: bijvoorbeeld biocokes	3	5.5	6	4	4	3	7	2	4.31	16
b idem met bijproducten (bijvoorbeeld azijnzuur, alcohol, acetals, rook, teer)	3	6	6	4	4	3	7	2	4.38	11
c Pellets voor stroom zonder warmtetoepassing (is de norm)	3	3	6	4	4	3	7	5	4.38	11
d Pellets voor WKK	4	3	6	4	4	3	7	6	4.63	5
e Stukken hout - thuisgebruik	5	3	5	4	4	3	7	6	4.63	5
f Meestook van biocokes	3	5	6	4	4	3	7	3	4.38	11
g Idem, met WKK	4	5	6	4	4	3	7	3	4.50	8
4 Gas										
a Houtgas	5	5	4	4	4	3	7	3.5	4.44	10
b Vergassen met bijproducten (bio-energie: syngas of bio-olies voor warmte/energie of beide)	5	5	5	4	4	3	7	2	4.38	11
5 Innovatieve transportbrandstoffen										
a Lignocellulose ethanol	4	6	5	4	4	3	7	5	4.75	4
b FischerTropsch-diesel	2	5	4	4	4	3	7	3	4.00	20
c pyrolyse-olie + restmateriaal koolstof; HTU biocrude	2	5.5	4	4	4	3	7	4	4.19	17

Noten:

(a) Deze tabel is ingevuld door enkele experts (onderzoekers). De scores zijn bekrachtigd door begeleidingsgroep van beleidsambtenaren en wetenschappers. In bepaalde gevallen is besloten om halve punten te gebruiken, wat een indicatie is dat er diverse meningen bestaan mbt de criteria.

(b) Rang: genummerd op volgorde; 1 is de beste, 20 is de slechtste

(c) Scores: Likertschaal 7 tot en met 1; 7 is de beste

(d) Gewogen score op basis van voorbeeldwegingen

Legenda:

	expertoordeel op basis van empirische cijfers
	expertoordeel op basis van ontwerprijfers

Tabel B1.10

Scoretabel met toepassingsopties voor gebruikte houtproducten (voorbeeld)

		Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investeerbaarheid en lock in risico		
		Hoogwaardig		Efficiënt		Duurzaam					
Gewichten (voorbeeld):		1	1	1	1	1	1	1	1		
Opties	Omschrijving	Scores								Gewogen score	Rang
1	Storten	2	2	6	1	1	1	7	4	3.00	11
2	Energie										
a	Meestook = resthout en b-hout	6	5	6	7	7	7	7	3	6.00	6
b	idem met warmtetoepassing / WKK	6.5	5	4.5	7	7	7	7	4	6.00	6
3	a Upcycling in materialen (bijvoorbeeld meubels uit sloophout)	6	5	5	7	7	7	7	5	6.13	5
4	Hergebruik in innovatieve transportbrandstoffen										
a	Lignocellulose ethanol	6	6	4	7	7	7	7	3	5.88	8
b	FischerTropsch-diesel of cellulose-ethanol	2	5	3	7	7	7	7	3.5	5.19	10
c	pyrolyse-olie + restmateriaal koolstof; HTU Biocrude	3	5.5	3	7	7	7	7	3.5	5.38	9
5	a Hergebruik Papier & karton	6	4.5	5.5	7	7	7	7	6	6.25	2
b	Hergebruik Papier & karton als constructiemateriaal	6	5	5.5	7	7	7	7	6	6.31	1
c	Hergebruik in Spaanplaat	6	4	5.5	7	7	7	7	6	6.19	4
6	Recycling bioplastic	7	6	5.5	7	7	7	7	3.5	6.25	2

Noten:

(a) Deze tabel is ingevuld door enkele experts (onderzoekers). De scores zijn bekrachtigd door begeleidingsgroep van beleidsambtenaren en wetenschappers

(b) Rang: genummerd op volgorde; 1 is de beste, 11 is de slechtste

(c) Scores: Likertschaal 7 tot en met 1; 7 is de beste (d) Gewogen score op basis van voorbeeldwegingen

(d) Vermeden CO₂-eq per ton: Voor veel materiaaltoepassingen van hout is dit cijfer niet bekend of staan verschillende referentiewaarden in de literatuur. De cijfers hier zijn zeer indicatief en moeten, bij verdere uitwerking van deze tabel, grondig onderzocht worden. Hier dienen de scores alleen als illustratie.

Legenda:

	expertoordeel op basis van empirische cijfers
	expertoordeel op basis van ontwerpgegevens

Tabel B1.11

Scoretabel met toepassingsopties voor houtige reststromen (top- en takhout) (voorbeeld)

		Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investeerbaarheid en lock in risico		
		Hoogwaardig		Efficiënt			Duurzaam				
Gewichten (voorbeeld):		1	1	1	1	1	1	1	1		
Opties	Omschrijving	Scores								Gewogen score	Rang
1	Composteren / droogvergisten	5	3	5	7	4	3	4	6	4,63	1
2	Houtsnippers en chips - industrieel	6	5	4	4	4	3	4	6	4,50	2
3	Biochar (als bodemverbeteraar)	4	5,5	5	6	4	3	4	3	4,31	3

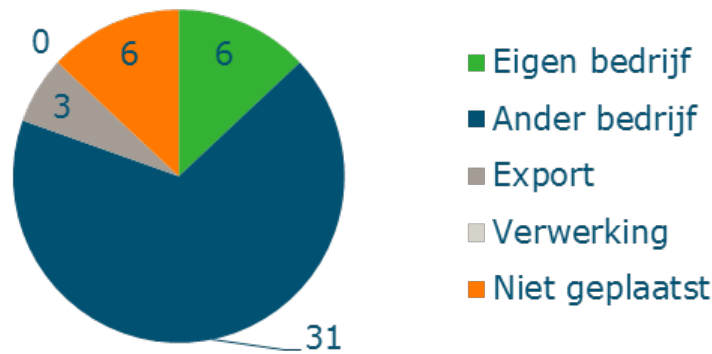
Noten:

- (a) Deze tabel is ingevuld door enkele experts (onderzoekers). De scores zijn bekrachtigd door begeleidingsgroep van beleidsambtenaren en wetenschappers
- (b) Rang: genummerd op volgorde; 1 is de beste, 3 is de slechtste
- (c) Scores: Likertschaal 7 tot en met 1; 7 is de beste (d) Gewogen score op basis van voorbeeldwegingen
- (d) Vermeden CO₂-eq per ton: Voor veel materiaaltoepassingen van hout is dit cijfer niet bekend of staan verschillende referentiewaarden in de literatuur. De cijfers hier zijn zeer indicatief en moeten, bij verdere uitwerking van deze tabel, grondig onderzocht worden. Hier dienen de scores alleen als illustratie

Legenda:

	expertoordeel op basis van empirische cijfers
	expertoordeel op basis van ontwerpcijfers

Varkensmest



Figuur B1.6 Bestemming van varkensmest, in mln. kg fosfaat, 2010
Bron: Luesink (2012).

Tabel B1.12

Overzicht toepassingen voor mest

Toepassingsketen		Beschrijving en afbakening
1	Direct uitrijden binnen quotum	De varkenshouder rijdt de mest uit op eigen land, binnen het geldende mestquotum; deze oplossing is beperkt toepasbaar voor varkensmest wegens beperkt beschikbare grond
2	Direct uitrijden binnen quotum, veevoer uit eigen regio	Ter vergelijking. Dit is een andere grondstof. Verder als de vorige. De standaard is voer uit grootschalige import, de inzet van voer uit eigen regio in de varkenshouderij is uitzondering. Vaak betreft dit reststromen uit de industrie.
3	Verhandelen aan akkerbouw	De meeste varkensdrijfmest wordt verkocht aan akkerbouwers, en toegepast als kunstmestvervanger. Kunstmest is standaardreferentie in de akkerbouw.
4	a Covergisten digestaat uitrijden binnen quotum	Traditionele route voor biogasproductie, inmiddels op zijn retour wegens slechte economische resultaten
	b idem, digestaat scheiden en osmose voor N/K fractie	Opwerken van digestaat is een manier om meer waarde toe te voegen en beter met nutriënten om te gaan. Pilotfase
5	a Decentraal scheiden zonder osmose, dikke fractie naar vergister	Standaardroute mestscheiding, toegepast op of nabij het erf. Dikke fractie wordt verkocht, bijvoorbeeld aan vergister, dunne fractie blijkt op boerderij.
	b dikke fractie pasteuriseren voor export	Alternatief voor dikke fractie, hygiëniseren is nodig voor export.
	c dikke fractie drogen voor export	Alternatief voor dikke fractie, nog verder drogen tot pellets. Nog geen bestaande markt (vgl. Promest)
	d dikke fractie naar akkerbouw	Alternatief voor dikke fractie.

		Toepassingsketen	Beschrijving en afbakening
6	a	Centraal scheiden met osmose, dikke fractie naar monovergister	Opwerken van digestaat is een manier om meer waarde toe te voegen en beter met nutriënten om te gaan. Kan vooral bij centrale installaties. Scheiding is voorbij pilotfase (Kumac, Mestac), monovergisting niet.
	b	idem, dikke fractie pasteuriseren voor export	Alternatief voor dikke fractie
	c	idem, dikke fractie drogen voor export	Alternatief voor dikke fractie; overwogen bij biocentrale Essent in Cuijk (Green Deal)
	e	idem, dikke fractie drogen en verbranden, as naar wegebouw	Recente overwogen optie: afvoer dikke fractie naar SNB Moerdijk vgl. verbranding kippenmest.
	f	idem, dikke fractie drogen en verbranden, as naar ICL	SNB brengt recentelijk steeds meer vliegas naar verwerkende industrie die waarde toevoegt, zoals ICL (kunstmest)
7		Rechtstreeks drogen tot pellets en export (systeem LT Eco)	Optie voor centrale bij Essent in Cuijk; is in demofase; vooraf geen mest gescheiden.
8		Geïntegreerd stalsysteem - directe scheiding, monovergisting enzovoort	Verschillende voorbeelden van innovatieve stalsystemen leiden tot meer afvang/opbrengst methaan. Studie/pilotfase.

Innovatieve processen zijn in grijs gearceerd

Toelichting bij de score van de toepassingen voor mest inclusief scoringstabel

De tabel is als volgt ingevuld:

- Uitrijden van (natuurlijke) mest op verzadigde grond - ook al is het binnen het quotum - levert niets met betrekking tot bodemvruchtbaarheid.
- Indien de mest afkomstig is van geïmporteerd voer (soja) draagt dit bij aan de nutriëntenonbalans. Voeer uit eigen regio betekent circulatie van nutriënten binnen de eigen regio dus een betere balans.
- Het vervangen van kunstmest leidt tot een positief effect op:
 - Vermeden CO₂-uitstoot (de productie van de stikstofcomponent in kunstmest vraagt veel aardgas)
 - Behoud van fossiele fosfaat en kalibronnen voor latere toepassingen
 - Bodemkwaliteit (in beperkte mate komt met varkensmest ook enige organische stof mee)
 - De Nederlandse economie: import van ertsen wordt vervangen door inkoop in eigen land.
- Energieproductie uit mest (stroom en/of warmte uit biogas) vervangt aardgas of kolen en levert dus CO₂ winst op. De mate waarin dit winst oplevert is afhankelijk van cosubstraten en de toepassing van restwarmte bij stroomproductie.
- De mest afkomstig van voer uit de eigen regio scoort economisch minder: productie van voldoende voer is namelijk niet overal goed mogelijk door te grote veedichtheid, en het is niet voor niets dat grootschalige import domineert.
- De koerierster voegt nog mineralen toe aan de mest. Voor zover deze uit de eigen regio komen (dat is in de meeste gevallen zo) voegt dat echter weinig toe aan de regionale mineralenbalans. Voor zover de mineralen anders in waterzuiveringen zouden worden afgevangen, ofwel afkomstig zijn uit buitenlandse mineralenbronnen (sommige food en feed industrie) dan is het wel een toevoeging aan de problematiek.
- Bij drogen en pasteuriseren van mest zijn de toegevoegde waarde en investeerbaarheid - en de CO₂-balans sterk afhankelijk van het gebruiken van restwarmte.
- Mestverbranding is een bijzondere route. Het met geld toe scheiden (drijfmest) en verbranden van de mest en vervolgens storten van de as (via wegebouw) scoort niet hoog op veel van de indicatoren. De balans wordt verzacht doordat verzadigde bodems worden ontzien en er bij verbranding energie wordt geproduceerd. Het recyclen van de fosfaten uit de as via Thermphos of andere afnemers is juist relatief kansrijk op het gebied van economie, en leidt tot een zeer hoge score op de nutriëntenbalans. Andere fracties (stikstof en organische stof) worden nog steeds wel vernietigd.

Tabel B1.13

Scoretabel met toepassingsopties voor varkensdrijfmest (voorbeeld)

		Direct economisch effect	Indirect economisch effect	Vermeden CO ₂ eq per ton	Bodemkwaliteit en nutriënten	Voedselzekerheid	Biodiversiteit en Ecosysteemdiensten	Landrechten, lonen, werk	Investeerbaarheid en lock in risico		
		Hoogwaardig		Efficiënt		Duurzaam					
Gewichten (voorbeeld):		1	1	1	1	1	1	1	1		
Opties	Omschrijving	Scores								Gewogen score	Rang
1	Direct uitrijden binnen quotum	7	6	3	3	3.5	3	7	7	5.64	5
2	Direct uitrijden binnen quotum, veevoer uit eigen regio	5	7	3	7	3.5	5	7	5	6.07	2
3	Verhandelen aan akkerbouw	3	6	3	7	5	5	7	4	5.71	4
4	a Covergisten, digestaat uitrijden binnen quotum	3	4	6	3	3.5	3.5	7	3	4.71	15
	b idem, digestaat scheiden + osmose N/K	4	5	6	4	3.5	3.5	7	4	5.29	11
5	a Decentraal scheiden zonder osmose, dikke fractie naar vergister	5	4	6	3	3.5	3.5	7	6	5.43	8
	b idem, dikke fractie pasteuriseren voor export	4	4	3	3	5	3.5	7	5	4.93	13
	c idem, dikke fractie drogen voor export	3	6	3	6	6	3.5	7	4	5.50	7
	d idem, dikke fractie naar akkerbouw	5	6	5	7	5	5	7	3	6.14	1
6	a Centraal scheiden met osmose, dikke fractie naar monovergister	4	4	4	4	3.5	3.5	7	5	5.00	12
	b idem, dikke fractie pasteuriseren voor export	4	4	3	4	5	3.5	7	3	4.79	14
	c idem, dikke fractie drogen voor export	4	6	3	6	6	3.5	7	2	5.36	9
	e idem, dikke fractie (drogen en) verbranden, as naar wegenbouw	1	1	4	3	1	3.5	7	6	3.79	16
	f idem, dikke fractie (drogen en) verbranden, as naar industrie	4	4	4	7	6	3.5	7	2	5.36	9
7	Rechtstreeks drogen tot pellets (LT Eco) en export	5	6	4	6	6	3.5	7	2	5.64	5
8	Geïntegreerd stalsysteem - direct scheiding, monovergisting enzovoort	5	7	7	5	3.5	3.5	7	3	5.86	3

Noten:

- (a) Deze tabel is ingevuld door enkele experts (onderzoekers). De scores zijn bekrachtigd door begeleidingsgroep van beleidsambtenaren en wetenschappers
- (b) Rang: genummerd op volgorde; 1 is de beste, 11 is de slechtste
- (c) Scores: Likertschaal 7 tot en met 1; 7 is de beste (d) Gewogen score op basis van voorbeeldwegingen
- (d) Experts verschilden van mening over de score van optie 6f (verbranden en upcyclen) ten aanzien van het criterium nutriënten (omdat kali, stikstof en koolstof verloren gaan)

Legenda:

-  expertoordeel op basis van empirische cijfers
-  expertoordeel op basis van ontwerpgegevens

LEI Wageningen UR
Postbus 29703
2502 LS Den Haag
T 070 335 83 30
E publicatie.lei@wur.nl
www.wageningenUR.nl/lei

LEI 14-010



LEI Wageningen UR verricht sociaaleconomisch onderzoek en is de strategische partner voor overheden en bedrijfsleven op het gebied van duurzame en economische ontwikkeling binnen het domein van voeding en leefomgeving. Het LEI maakt deel uit van Wageningen UR (University & Research centre). Daarbinnen vormt het samen met het Departement Maatschappijwetenschappen van Wageningen University en het Wageningen UR Centre for Development Innovation de Social Sciences Group.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
