



# Bio-Scope

Toepassingen en beschikbaarheid  
van duurzame biomassa



# Bio-Scope

## Toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa

Dit rapport is geschreven door:

CE Delft: Cor Leguijt, Reinier van der Veen, Anouk van Grinsven, Isabel Nieuwenhuijse, Martijn Broeren, Bettina Kampman, Emiel van den Toorn, Joeri Vendrik

RH DHV: Maarten van den Berg, Harry Croezen, Iris Pronk

Illustraties: Yulia Ink.

Delft, CE Delft, februari 2020

Publicatienummer: 20.190186.017

Biomassa / Duurzaamheid / Vraag / Aanbod / Behoeftte / Technologie / Maatschappelijke factoren / Industrie / Mobiliteit / Energievoorziening / Kwantiteit / Kwaliteit / Nationaal / EU / Mondiaal  
VT : Beschikbaarheid

Opdrachtgever: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Cor Leguijt (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

### CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Inhoud

|   |                                                                                        |     |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|   | Samenvatting                                                                           | 4   |
| 1 | Inleiding                                                                              | 18  |
|   | 1.1 Aanleiding                                                                         | 18  |
|   | 1.2 Relatie met de andere trajecten                                                    | 18  |
|   | 1.3 Onderzoeksvragen                                                                   | 19  |
|   | 1.4 Scope en afbakening                                                                | 20  |
|   | 1.5 Leeswijzer                                                                         | 23  |
| 2 | Toepassingen en behoefte                                                               | 24  |
|   | 2.1 Introductie                                                                        | 24  |
|   | 2.2 Feedstock chemische industrie                                                      | 25  |
|   | 2.3 Mobiliteit en transport                                                            | 42  |
|   | 2.4 Warmte voor de industrie                                                           | 54  |
|   | 2.5 Warmte voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw                                   | 59  |
|   | 2.6 Elektriciteitsproductie                                                            | 74  |
|   | 2.7 Materialen                                                                         | 80  |
|   | 2.8 Toepassing van biomassa in de landbouw                                             | 88  |
|   | 2.9 Negatieve CO <sub>2</sub> -emissies                                                | 94  |
|   | 2.10 Cascadering en bioraffinage                                                       | 94  |
|   | 2.11 Overzicht toepassingen en behoefte                                                | 99  |
| 3 | Beschikbaarheid duurzame biomassa                                                      | 102 |
|   | 3.1 Introductie                                                                        | 102 |
|   | 3.2 Gevolgde methodiek                                                                 | 104 |
|   | 3.3 Beschikbaarheid mondiaal                                                           | 107 |
|   | 3.4 Beschikbaarheid in de EU28                                                         | 118 |
|   | 3.5 Beschikbaarheid Nederland                                                          | 124 |
|   | 3.6 Discussie beschikbaarheid                                                          | 147 |
|   | 3.7 Overzicht beschikbaarheid                                                          | 154 |
| 4 | Behoefte versus beschikbaarheid                                                        | 157 |
|   | 4.1 Introductie                                                                        | 157 |
|   | 4.2 Vergelijking behoefte en beschikbaarheid van duurzame biomassa                     | 157 |
|   | 4.3 Vergelijking behoefte en beschikbaarheid van duurzame biomassa per JFF-perspectief | 159 |
| 5 | Conclusies en aanbevelingen                                                            | 161 |
|   | 5.1 Conclusies                                                                         | 161 |
|   | 5.2 Aanbevelingen over hoe om te gaan met de grote ranges                              | 169 |
| 6 | Bibliografie                                                                           | 172 |



|   |                                                               |     |
|---|---------------------------------------------------------------|-----|
| A | Toepassing mobiliteit en transport                            | 184 |
|   | A.1 Introductie                                               | 184 |
|   | A.2 Beschrijving van de toepassing                            | 184 |
|   | A.3 Behoeftte aan de toepassing                               | 185 |
|   | A.4 Productiecapaciteit                                       | 187 |
|   | A.5 Conversiefactoren                                         | 191 |
|   | A.6 Productiekosten                                           | 192 |
|   | A.7 Alternatieven per marktsegment                            | 194 |
|   | A.8 Beleidsontwikkelingen                                     | 195 |
|   | A.9 Cascaderingsmogelijkheden                                 | 199 |
| B | Beschikbaarheid Mondiaal                                      | 200 |
| C | Beschikbaarheid in EU28                                       | 201 |
| D | Beschikbaarheid in Nederland                                  | 202 |
| E | Bronnenbeschrijving biomassapotentieel mondiaal en EU         | 204 |
|   | E.1 Mondiaal                                                  | 204 |
|   | E.2 Europees                                                  | 208 |
| F | Relatie JFF-perspectieven en cijfers                          | 212 |
|   | F.1 Introductie                                               | 212 |
|   | F.2 Perspectieven op duurzame biomassa en relatie met cijfers | 212 |

# Samenvatting

## Introductie

In het [Klimaatakkoord](#) staat dat het kabinet ervan overtuigd is dat de inzet van biomassa nu en richting 2030 en 2050 noodzakelijk is voor de verduurzaming van de economie en het realiseren van de klimaatopgave, maar alleen als deze biomassa ook echt duurzaam is. Om dit laatste te faciliteren wil het kabinet een integraal duurzaamheidskader opstellen dat in principe van toepassing is op alle biomassa en alle toepassingen. Dit rapport is onderdeel van het traject richting dat integraal duurzaamheidskader. De twee andere onderdelen zijn de rapportage van een parallel uitgevoerde Joint Fact Finding studie (2020), en de rapportage over duurzaamheidscriteria (RH DHV, 2020).

Zoals in de rapportage van de Joint Fact Finding studie uitgebreid is geanalyseerd is er geen eenduidige definitie wat 'duurzame biomassa' precies is, ook niet in de wetenschap. Er bestaan verschillende zienswijzes. Studies naar beschikbaarheid van duurzame biomassa hanteren veelal verschillende criteria, soms ook gekoppeld aan de toepassingen van de biomassa. We zijn ons hier terdege van bewust. Daarom zetten we in deze studie de term 'duurzame biomassa' steeds tussen aanhalingstekens, dit om duidelijk te maken dat we expliciet noch impliciet hebben gekozen voor één bepaalde zienswijze.

## Scope en aanpak

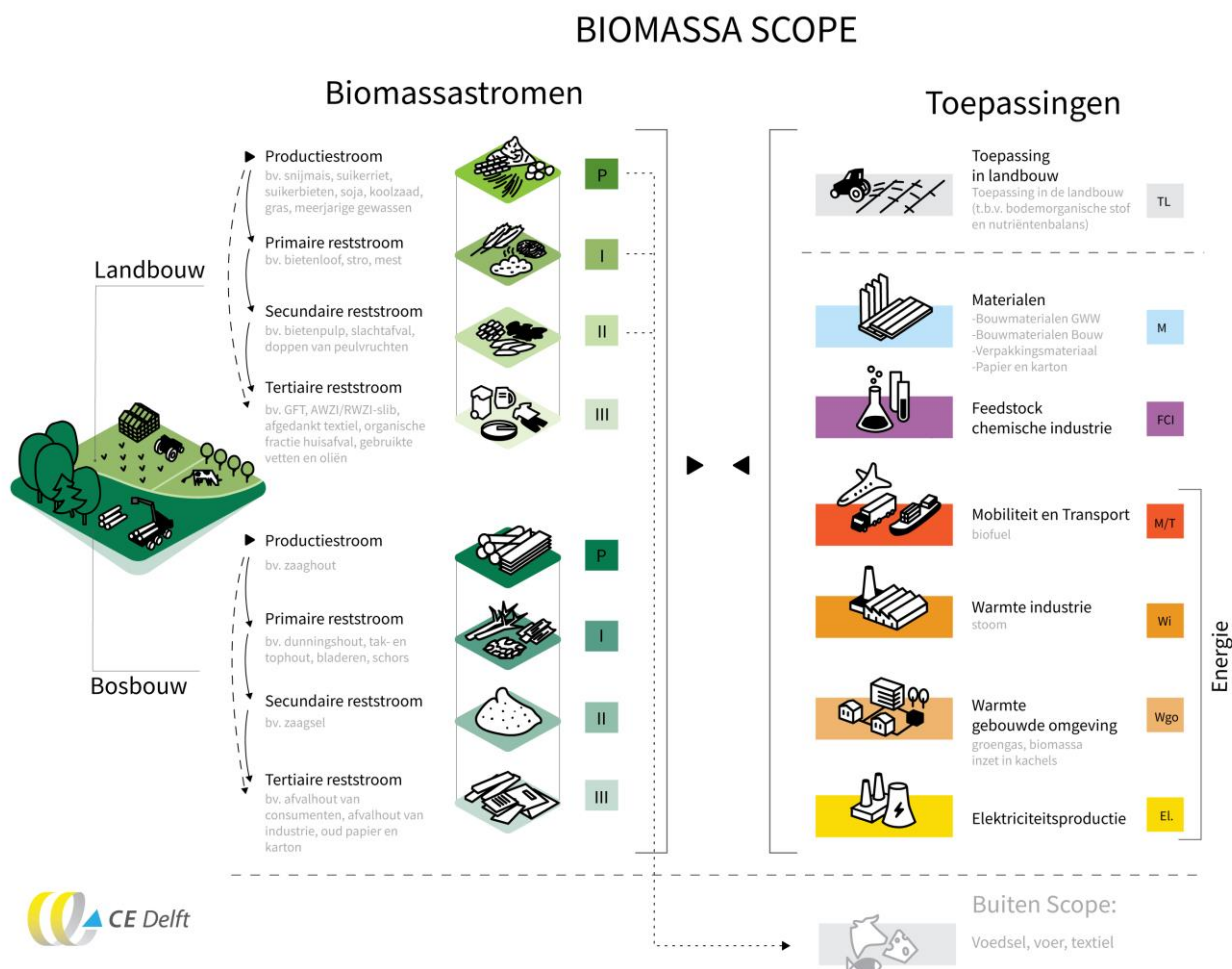
De scope van dit rapport, over beschikbaarheid en toepassingen van 'duurzame biomassa' in de zichtjaren 2030 en 2050, is breed (zie Figuur 1). De studie omvat de toepassing van biomassa voor materialen zoals bijvoorbeeld hout voor de bouw, voor feedstock voor de chemische industrie, voor energie en brandstoffen, en voor toepassing in de landbouw als grondverbeteraar. De cijfers tonen de behoefte in Nederland. Met daarbij de kanttekening dat deze cijfers niet zijn gecorrigeerd voor eventuele export van het eindproduct (bijvoorbeeld in het geval van feedstock voor de chemische industrie in Nederland) of als bunkerbrandstoffen worden ingezet voor internationale scheepvaart en luchtvaart. Aan de beschikbaarheidszijde omvat de scope biomassa uit landbouwstromen en bosbouwstromen. Met daarbinnen onderscheid naar productiestroom en naar primaire, secundaire en tertiaire reststroom.

- productiestromen zijn het beoogd product van landbouw of bosbouw;
- primaire reststromen zijn stromen die bij de productie vrijkomen op de akker of in het bos;
- secundaire reststromen zijn stromen die vrijkomen bij de verwerking;
- tertiaire reststromen zijn stromen die vrijkomen na gebruik.

Ook is gekeken naar de beschikbaarheid van aquatische biomassa (macro-alg, of 'zeewier'), echter de beschikbare literatuur bevat geen kwantificering die voor deze studie bruikbaar bleek. De cijfers tonen de beschikbaarheid van Nederlandse stromen, van de EU28 en mondiaal. Bij mondiale beschikbaarheid is ook een verdeling gemaakt naar mondiale regio's.

De behoeftes aan voedsel, veevoer en textiel zijn niet expliciet verkend, maar ze leggen wel een groot beslag op de beschikbare landbouwgrond<sup>1</sup>, en hebben daarom invloed op de beschikbaarheid van biomassa voor materialen, feedstocks en energie. In dit rapport is daarmee rekening gehouden door aan de beschikbaarheidszijde bij de landbouwproductiestromen alleen cijfers mee te nemen waarin reeds voorzien is in de behoefte aan voedsel en kleding van de wereldbevolking ('food, feed and fibre first principle').

Figuur 1 - Overzicht van de scope van de het project<sup>2</sup>



Voor de cijfers is gebruik gemaakt van beschikbare literatuur van gerenommeerde onderzoeksinstituten, waar nodig aangevuld met eigen analyses op basis van die literatuur. Het doen van modelberekeningen, of het ontwikkelen van een nieuw integraal rekenmodel, vormde geen onderdeel van deze studie.

<sup>1</sup> Zie ter illustratie van de relatieve verhoudingen het Sankey-diagram van biomassastromen in Nederland, dat getoond wordt in Figuur 10 op Pagina 5.

<sup>2</sup> Aquatische biomassa ('zeewier') is niet getoond in Figuur 1 en cijfers over de toekomstige beschikbaarheid daarvan, echter de literatuur bevat geen kwantificering die voor deze studie bruikbaar is.

De cijfers zijn steeds uitgedrukt in energie-eenheden (primaire energie), ook voor biomassa die wordt toegepast als materiaal. Dat is gedaan omwille van de leesbaarheid, omdat ze een gemakkelijke vergelijking mogelijk maken. Cijfers in gewicht droge stof zijn in bijlages opgenomen.

## **Biomassa: kans of risico?**

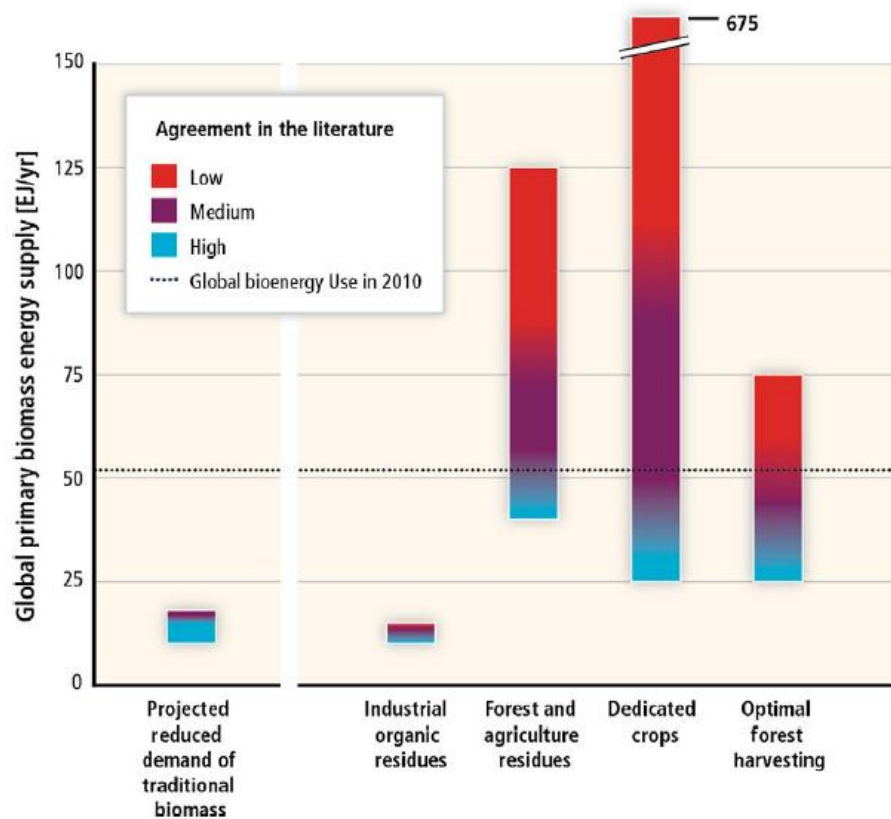
Zowel de cijfers over beschikbaarheid als over de behoefte vanuit de toepassingen laten grote ranges zien. Dit wordt veroorzaakt door de grote variatie in aannames die zijn gebruikt in de scenario's waar de cijfers op gebaseerd zijn. Die zijn onder te verdelen in twee soorten benaderingen. Aan de ene kant zijn dat 'kans-benaderingen', aan de andere kant zijn dat 'risico-benaderingen'.

Vanuit kans-benaderingen zijn scenario's ontwikkeld waarin is gezocht naar mogelijkheden om biomassabeschikbaarheid te vergroten, als mogelijke bron voor materialen, feedstock voor de chemische industrie, brandstoffen en energievoorziening, en ook als basis voor duurzame economische ontwikkeling van landen. Daarbij wordt rekening gehouden met de voedselbehoefte van de wereldbevolking en met het behoud van natuurgebieden. Die cijfers laten zien dat er met name bij landbouwstromen, maar ook bij bosbouw veel kansen zijn om de biomassabeschikbaarheid te vergroten. Kansen die hand in hand kunnen gaan met duurzame ontwikkeling in landen, waarbij gedegenerende landbouwgebieden gerevitaliseerd worden, boerenbevolking in die gebieden een betere bestaansgrond krijgt, de lokale voedselvoorziening wordt hersteld, en ook biomassa voor andere toepassingen beschikbaar komt. Studies laten zien dat dat in principe kan. Of het ook daadwerkelijk op die manier gebeurt hangt af van (geo)politieke beleidskeuzes. Het vergt langjarig volgehouden beleid en een goede governance op duurzaamheid van biomassa en op de andere genoemde aspecten.

In studies die vanuit een risico-benadering zijn opgesteld wordt vooral gewezen op de risico's voor ecologie en duurzaamheid. Die risico's zijn er als er wél grootschalig wordt ingezet op biomassa voor de hierboven genoemde toepassingen, maar niet de bijbehorende politieke keuzes worden gemaakt om te borgen dat biomassa daadwerkelijk duurzaam is. Men wijst ook op risico's voor lock-in indien dat gebeurt, en kiest er in die studies daarom voor om biomassa-inzet te minimaliseren en de energiebehoefte met andere technieken in te vullen. Vanwege de risico's wordt bijvoorbeeld hooguit ingezet op biomassa uit reststromen, uit de EU, uit eigen land of uit de lokale omgeving. Scenario's vanuit risico-benadering komen in vergelijking met 'kans-benadering' tot (veel) lagere waarden voor de beschikbaarheid, en ook tot lagere waarden voor de behoefte.

Zie Figuur 2 ter illustratie van de grote range in beschikbaarheid die deze verschillende aannames opleveren. De figuur is overgenomen uit een grote internationale overzichtstudie. De figuur toont een overzicht van wat verschillende studies zeggen over de mondiale beschikbaarheid van biomassa voor bio-energie in 2050, per soort biomassastroom, met in kleurcode de mate van overeenstemming ('*agreement*') in de literatuur over de gevonden waarden. De in Figuur 2 getoonde 675 EJ per jaar voor teelt van energiegewassen ('*dedicated crops*') heeft volgens Creutzig et al. (2015) een lage mate van overeenstemming, met de kanttekening dat in dat artikel ook nog studies worden genoemd die nog aanzienlijk hogere beschikbaarheidscijfers komen, tot boven de 1.000 EJ per jaar.

Figuur 2 - Ter illustratie van de grote ranges in de literatuur en de mate van overeenstemming daarover is deze figuur overgenomen uit een groot overzichtsartikel van Creutzig et al. (2015). De figuur toont de mate van overeenstemming in de wetenschappelijke literatuur over de mondiale beschikbaarheid van biomassa voor bio-energie in 2050, per soort biomassaastroom



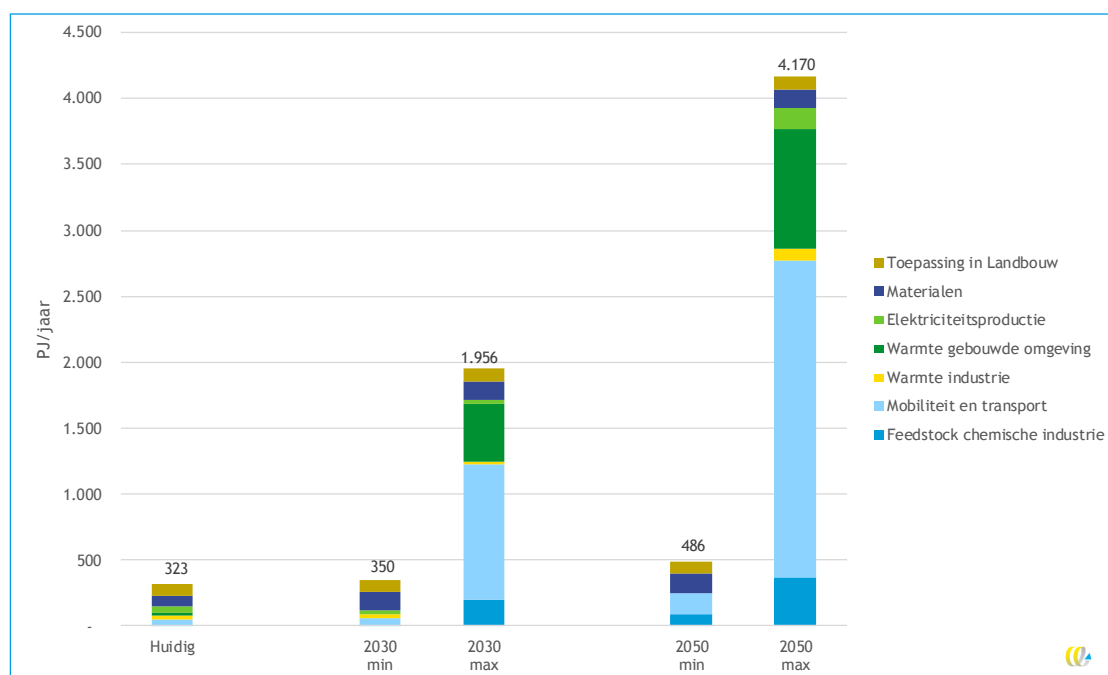
Beschikbaarheden in de literatuur die geen recht doen aan de duurzaamheidskaders van het Nederlandse en Europese beleid hebben we in de gepresenteerde tabellen en figuren buiten beschouwing gelaten. Een voorbeeld daarvan is de theoretisch mondiale beschikbaarheid in 2050 aan macro-alg ('zeewier') van ruim 2.000 EJ per jaar die wordt genoemd door Lehahn et al. (2016). 'Technisch-duurzame' beschikbaarheden die laten zien wat er mogelijk is binnen basale duurzaamheidscriteria, zoals het 'food, feed and fibre first principle' en behoud van oerbos, hebben we wel opgenomen. Daarnaast hebben we cijfers opgenomen uit studies waarvan de auteurs expliciet melden dat er in de scenario's rekening is gehouden met verdergaande duurzaamheidsbeperkingen. Aangezien het om verschillende scenario-aannames gaat levert dat ranges op aan beschikbaarheidscijfers; de laagste en hoogste waarde van die ranges hebben we respectievelijk 'duurzaam-min' en 'duurzaam-max' genoemd.

## Behoefte aan 'duurzame biomassa' in Nederland

Ook de beschikbare cijfers over de mogelijke behoefte aan 'duurzame biomassa' in Nederland in 2030 en 2050 leveren ranges op met een minimale en maximale waarde per toepassing. De cijfers hangen af van de aannames die zijn gedaan over de inzet van andere niet-biobased technieken (zoals elektriciteit uit wind en zon, van groene of blauwe waterstof, geothermie, etcetera), over importmogelijkheden van biomassa, en over de

ontwikkeling van de behoefte aan energie en grondstoffen, inclusief de mate van circulariteit bij materialen. De gepresenteerde cijfers komen vooral uit sectorale studies, die meestal geen rekening houden met de behoeftes vanuit andere sectoren (of andere landen), en/of met mogelijke schaarste van biomassa. De overzichtscijfers per toepassing zijn getoond in Figuur 3. De cijfers zelf staan in Tabel 34 op pagina 99. Voor het energie-deel in het overzicht: het betreft primaire energie in de biomassa, niet ‘energie geproduceerd met biomassa’. Ter illustratie kan worden vergeleken met het totale primaire energiegebruik in Nederland zoals dat in de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) is gerapporteerd (PBL, 2019b): 3.115 PJ in 2018 en naar verwachting 2.800 PJ in 2030.

**Figuur 3 - Totaalcijfers behoefte aan duurzame biomassa in Nederland, per toepassing, in PJ per jaar.**



De ranges in de behoeftes zijn groot. De som van de onderkant van de behoeftes groeit tot 2050 met een Factor 1,5, van 323 naar 486 PJ per jaar. De som van de bovenkant van de behoeftes groeit tot 2030 met een Factor 6 en tot 2050 met een Factor 13. Aan de bovenkant van de ranges hebben de energietoepassingen (incl. brandstof voor mobiliteit en transport) het grootste aandeel, van 46% huidig naar 77% in 2030 en 85% in 2050. Aan de onderkant van de range daalt dat aandeel ‘energie’ naar 33-34% en hebben de ‘materialentoepassingen’ het grootste aandeel in 2030 en 2050. In die onderkant van de ranges is de behoefte aan biomassa voor warmte voor de gebouwde omgeving, warmte voor de industrie en elektriciteitsproductie zowel in 2030 als in 2050 gelijk aan nul, doordat voor die toepassingen in die scenario’s andere technieken worden ingezet. Bij de cijfers hoort nog de kanttekening dat er geen scenariocijfers beschikbaar zijn over de ontwikkeling van de omvang van materiaaltoepassingen tussen 2030 en 2050. In de grafiek zijn die waarden om die reden op de 2030-waarden gehouden.

De grootste procentuele groei ontstaat bij de toepassing als feedstock in de chemische industrie: tot 2030 met een Factor 80 en tot 2050 met een Factor 150 (beide bij bovenkant van de range). De grootste ranges in omvang ontstaan bij de toepassingen ‘mobiliteit en transport’ en bij ‘warmte gebouwde omgeving’. Bij ‘warmte gebouwde omgeving’ is de onderkant van de range nul in zowel 2030 als 2050, en de bovenkant van de range stijgt van

de huidige 25 PJ/jaar naar ruim 400 en ruim 900 PJ/jaar in respectievelijk 2030 en 2050. Het betreft voor het overgrote deel inzet in de vorm van groengas, waarvoor in de betreffende scenario's grootschalige importstromen nodig zijn.

'Mobiliteit en transport' vormt het grootste aandeel in de bovenkanten van de ranges in 2030 en 2050. In absolute waarden zijn de ranges bij die toepassing het grootst.

Het grootste deel daarvan is voor bunkers van scheepvaart en luchtvaart (bovenkant range in 2050: in totaal 81% voor bunkers, waarvan circa 10% voor luchtvaart en circa 70% voor scheepvaart). De grote ranges bij die toepassing komen enerzijds door verschillen in aannames over de omvang van de totale brandstofbehoefte van met name luchtvaart en scheepvaart, en door verschillen in aannames over de mate waarin daarin door biogene brandstof wordt voorzien.

## Beschikbaarheid van 'duurzame biomassa'

Figuur 4 toont de beschikbaarheden aan 'duurzame biomassa' voor landbouw- en bosbouwstromen voor 2030 en 2050 voor materialen en energie-toepassingen, zoals gevonden in de literatuur. De cijfers zelf staan in Tabel 59 op pagina 156. Het benodigd grondgebruik voor de landbouwproductie van voedsel, veevoer en textiel is in de scenariostudies al verdisconteerd ('food, feed en fibre first principle'). De cijfers worden vergeleken met 'huidig gebruik'. In het blok 'huidig gebruik' zijn bij Mondiaal en bij EU28 de meest recente cijfers over gebruik van biomassa voor energie en materialen weergegeven. Bij Mondiaal is dat inclusief het zgn. 'traditioneel gebruik' van biomassa voor o.a. open kookvuren, een gebruik dat in de meeste studies niet als 'duurzaam' wordt gezien. De beschikbare cijfers voor Nederland zijn anders van aard en opbouw dan die voor de EU28 en voor mondiaal. Daarom is bij Nederland bij 'huidig gebruik' het deel van de huidige productiestroom landbouw getoond dat momenteel wordt ingezet voor energie en materialen, plus daarbij de reststromen, die momenteel voor een deel voor veevoer worden ingezet, maar ook voor vergisting t.b.v. productie van groengas.

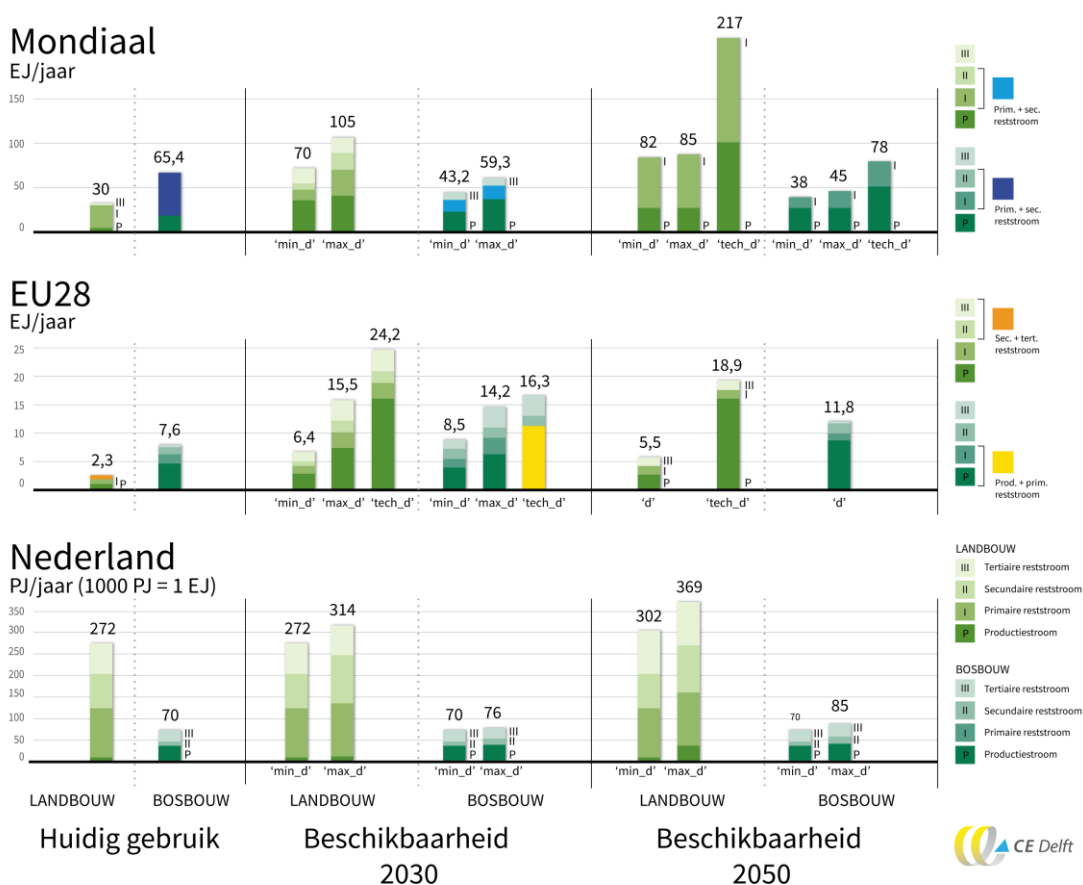
Voor de EU28 en voor mondiaal bestaan er verschillende scenariostudies die uitspraken doen over de beschikbaarheden van de verschillende biomassastromen. Het aantal bruikbare scenariostudies dat voldeed aan de criteria bleek echter zeer gering. Die criteria waren:

- bevat data voor de beoogde doorsnijdingen (zichtjaren, soorten biomassa, soorten stromen);
- bevat eigenstandig ontwikkeld nieuw cijfermateriaal, of is een omvangrijke review-studie;
- studie op EU28-niveau, mondiaal (met bij voorkeur ook indeling naar mondiale hoofdregio's), of Nederland.

Ook voor Nederland bleken er maar enkele scenariosstudies over toekomstige biomassa-beschikbaarheid te zijn. Die bevatten cijfers over (mogelijke uitbreiding van) bosbouw, maar niet over de toekomstige beschikbaarheid van de verschillende landbouwstromen. Daarnaast bleek een deel van de beschikbaarheidscijfers voor Nederland terug te voeren op een oudere studie (Koppejan, et al., 2009) die echter deels door nieuwere wet- en regelgeving achterhaald is. We hebben daarom enkele eigen analyses toegevoegd. Daarnaast zijn er voor Nederland enkele inschattingen van wat er additioneel beschikbaar zou kunnen komen aan bepaalde deelstromen, die we hebben aangevuld met eigen analyses. De resultaten aan additionele beschikbaarheid voor Nederland hebben we opgeteld bij de huidige beschikbaarheden om tot beschikbaarheden in 2030 en 2050 te komen. Die cijfers zijn daarmee te vergelijken met de beschikbaarheden in 2030 en 2050 van EU28 en mondiaal.

De geconstateerde schaarste aan scenariostudies die bruikbaar zijn voor het doel van deze Bio-Scope-studie is er in versterkte mate waar het gaat om de vraag tegen welke kostprijs de biomassa beschikbaar kan zijn. We hebben geen studies kunnen vinden die beschikbaarheidscijfers zoals hierboven beschreven combineren met bruikbare kwantitatieve gegevens over kosten, in de vorm van kostencurves. Bovendien bevatten studies over economische beschikbaarheid van biomassa inherent ook tal van aannames over de beoogde toepassingen en alternatieven. In Hoofdstuk 3.6 staan een tweetal voorbeelden van dergelijke kosten-curves opgenomen.

**Figuur 4 - Beschikbaarheid van 'duurzame biomassa' in 2030 en 2050 voor energie- en materiaaltoepassingen, voor landbouw- en bosbouwstromen; mondiaal, in de EU28 en in Nederland, afgezet tegen huidig. Min\_d betekent minimaal\_duurzaam (onderzijde van de range), max\_d betekent maximaal\_duurzaam (bovenzijde van de range), tech\_d betekent technisch-duurzaam.**



Noten bij Figuur 4:

- Niet voor elke stroom bleken cijfers beschikbaar op alle drie de niveaus en voor alle zichtjaren.
- De 65,4 EJ van 'huidig, Mondiaal, bosbouw' is inclusief traditioneel gebruik van biomassa.
- Lagere cijfers in 2050 dan in 2030 kunnen als oorzaak hebben dat in sommige scenario's met zichtjaar 2030 is gezocht naar wat maximaal mogelijk is waarbij die studie geen uitspraken heeft gedaan over beschikbaarheid in 2050.

De cijfers die getoond staan in Figuur 4 staan ook in Tabel 1, met daarbij ook de totalen. Ter illustratie kan worden vergeleken met het primair energiegebruik van de wereld als geheel (ordegrootte 600 EJ per jaar) en dat van de EU28 (circa 65 EJ per jaar).

De ranges in biomassabeschikbaarheid zijn vaak groot. De verschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in aannames over:

- landbouwproductiviteit (dichten van de ‘yield gap’), en welke landbouwgewassen er worden geteeld;
- de hoeveelheid land dat beschikbaar is voor de teelt van gewassen voor energie, materialen en chemie;
- hoeveel restmateriaal er op de landbouwgrond moet achterblijven t.b.v. bodemvruchtbaarheid;
- bosbouwproductiviteit (bosbouwmanagementmethodes);
- ingebruikname van gedegradeerde en marginale gronden, en over degradatie van huidige landbouwgrond;
- behoeftes vanuit biodiversiteit, en behoefte aan en beschikbaarheid van water.

Deze factoren zijn deels onderling van elkaar afhankelijk.

Tabel 1 laat zien dat er nog een beperkte groei aan beschikbaarheid van ‘duurzame biomassa’ in Nederland mogelijk is tot 2050, met circa 100 PJ per jaar (circa +33%).

Tabel 1 - Overzichtstabel biomassabeschikbaarheid (mondiaal en EU28 in EJ/jaar, Nederland in PJ/jaar)

|           |               | Huidig gebruik | Beschikbaarheid 2030 |                      | Beschikbaarheid 2050 |                      | Eenheid        |
|-----------|---------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|
|           |               |                | 'Duurzaam'           | 'Technisch-duurzaam' | 'Duurzaam'           | 'Technisch-duurzaam' |                |
| Mondiaal  | Landbouw      | 30             | 70-105               | Nb                   | 82-85                | 217                  | EJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 65,4           | 43,2-59,3            | Nb                   | 38-45                | 78                   | EJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>95,4</b>    | <b>113,2-164,4</b>   | <b>Nb</b>            | <b>120-130</b>       | <b>295</b>           | <b>EJ/jaar</b> |
| EU28      | Landbouw      | 2,3            | 6,4-15,5             | 24,2                 | 5,5                  | 18,9                 | EJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 7,6            | 8,5-14,2             | 16,3                 | 11,8                 | 11,8                 | EJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>9,9</b>     | <b>14,9-29,7</b>     | <b>40,5</b>          | <b>17,3</b>          | <b>30,7</b>          | <b>EJ/jaar</b> |
| Nederland | Landbouw      | 272            | 272-314              | Nb                   | 302-369              | Nb                   | PJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 70             | 70-76                | Nb                   | 70-85                | Nb                   | PJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>342</b>     | <b>342-390</b>       | <b>Nb</b>            | <b>372-454</b>       | <b>Nb</b>            | <b>PJ/jaar</b> |

De mondiale totalen laten een groeimogelijkheid zien met een Factor 3 tot 2050, van huidig gebruik naar technisch-duurzame beschikbaarheid in 2050. Bij mondiaal max\_duurzaam is die groeimogelijkheid een Factor 1,4.

Bij bosbouw mondiaal daalt de ‘duurzame’ beschikbaarheid ten opzichte van het huidig gebruik. Dit is terug te voeren op de genoemde huidige inzet van hout voor onder andere traditionele kookvuren, een gebruik dat meestal als niet duurzaam wordt beschouwd. De technisch-duurzame beschikbaarheid van bosbouwstromen laat wel een groei zien ten opzichte van huidig gebruik, door inzet van verbeterde bosbouwtechnieken en door vergroting van areaal.

De grootste groeimogelijkheden van de beschikbaarheid van ‘duurzame biomassa’ voor materialen en energietoepassingen zijn er in de EU28 en mondiaal bij landbouwstromen, en dan met name bij de technisch-duurzame beschikbaarheid. Bij de technisch-duurzame beschikbaarheid is onderzocht wat er mogelijk zou kunnen zijn wanneer met moderne landbouwtechnieken de opbrengsten van landbouwgronden worden vergroot waardoor zowel de wereldbevolking kan worden gevoed als ook teelt van energiegewassen (‘dedicated crops’) kan plaatsvinden.

Voor de EU28 zijn ook dergelijke studies gedaan voor 2030, echter (nog) niet voor 2050, met als gevolg dat de in de literatuur gevonden beschikbaarheidscijfers voor de EU28 in 2050 lager zijn dan in 2030.

De mondiale technisch-duurzame beschikbaarheid van 295 EJ per jaar wordt in de overzichtstudie (Creutzig (2015)) gekenschetst als de bovenwaarde van gemiddelde overeenstemming in de literatuur ('medium agreement', zie Figuur 2).

### *Beschikbaarheid vergeleken met behoefte in Nederland*

Als we de hoeveelheid biomassa die in Nederland beschikbaar kan komen (uitgedrukt in PJ per jaar) vergelijken met de verwachte behoefte aan biomassa, concluderen we dat Nederland in 2050 – en waarschijnlijk ook al in 2030 – een kleine tot grootschalige importeur van duurzame biomassa voor de beschouwde toepassingen zal zijn. Uiteraard tenzij er geheel andere beleidskeuzes worden gemaakt dan nu verondersteld bij de behoefteramingen. Bij deze conclusie geldt ook de kanttekening dat bij het bepalen van de som van de behoeftes geen economische verkenning is uitgevoerd van mogelijke prijseffecten tussen sectoren. De conclusie voor 2050 geldt echter al voor de som van de ondergrenzen van de behoeftes vanuit de verschillende sectoren.

De vergelijking van beschikbaarheid in de EU28 en mondiaal met de behoefte in Nederland leert dat de behoefte aan 'duurzame biomassa' lager ligt dan de beschikbaarheid in de EU28 en zeker lager dan de beschikbaarheid mondiaal, ook waar het de bovenkant van de range aan behoeftes betreft. Dat lijkt op het eerste gezicht wellicht een open deur maar is wel een belangrijk feit. Het betekent dat de benodigde importen althans fysiek mogelijk zijn, en dat het vervolgens een kwestie van ethiek (de 'fair share' discussie) en van markteconomische risico-afwegingen is waar Nederland met het beleid op in wil zetten.

Het punt van risico-afweging kan bij wijze van 'worstcasescenario' worden geïllustreerd door de som van de *bovenzijde* van de ranges van de behoefte delen door het totaal van de *minimaal*\_duurzame beschikbaarheid. Mondiaal komt die deling uit op 1,9% in 2030 en 4,2% in 2050. Wanneer de import wordt beperkt tot de EU28 komt die deling voor 2030 uit op 16% en voor 2050 op 45%. Deze percentages zijn fors lager wanneer gedeeld wordt door de maximaal\_duurzame of technisch-duurzame beschikbaarheid, en/of gerekend wordt met de som van de onderzijde van de behoeftes. Die combinaties komen in 2050 uit op 0,1% mondiaal respectievelijk 1,4% van het EU28 technisch-duurzaam potentieel. Vanwege die grote range met relatief hoge bovenzijdes bevelen we aan om te werken aan vergroting van de beschikbaarheid van duurzame biomassa en aan vermindering van de behoefte er aan.

### *Fair share*

De discussie over fair share sluit aan op het bovenstaande. De discussie handelt over de vraag hoe groot de claim is die Nederland op de mondiale duurzame biomassa mag leggen, aangezien ook andere landen in de wereld recht hebben op een duurzame ontwikkeling en daarbij ook biomassa moeten kunnen inzetten. Een maat om dat te berekenen zou bijvoorbeeld het aandeel van Nederland in het mondiaal bnp kunnen zijn (nu 1%), of het aantal inwoners ten opzichte van de wereldbevolking (nu 0,2%), of het aandeel in het mondiaal landoppervlak (0,03%).

'Fair share' is een ethisch vraagstuk. We zijn – mede op basis van de discussies in het Joint Fact Finding project – tot de conclusie gekomen dat de bovengenoemde sommen weliswaar kunnen worden gemaakt, maar het begrip 'fair share' niet operationaliseerbaar is als grondslag voor het beleid rond biomassa, waarwee we bedoelen: als harde limiet voor de hoeveelheid biomassa die wordt gebruikt in de Nederlandse economie. Die discussie wordt

bijvoorbeeld ook niet in dezelfde mate als bij biomassa gevoerd bij de verwerking door de Nederlandse industrie van de mondiale cacaoproductie (25%), ijzererts (0,5%) of soja (0,7%). In plaats van harde limieten ('share') af te spreken bevelen we aan om eerlijke handel na te streven ('fair'), waarbij de verhandelde biomassa ten eerste 'duurzaam' is inclusief de sociale aspecten van het begrip duurzaam, en na te streven dat de verdeling van de inkomsten over de keten ervoor zorgt dat duurzame ontwikkeling in andere landen mogelijk is.

### *Beschikbaarheid versus behoefte per stakeholderperspectief*

We hebben voor deze analyse de vijf stakeholderperspectieven uit de Joint Fact Finding-rapportage studie gekoppeld aan de cijfers voor beschikbaarheid en behoefte. De perspectieven zijn opgebouwd rond de vraag: 'Biomassa is een oplossing voor ...'. Uitgebreide beschrijven van de perspectieven zijn te vinden in de rapportage van het Joint Fact Finding project. De cijferkoppelingen omvatten per stakeholderperspectief een keuze voor:

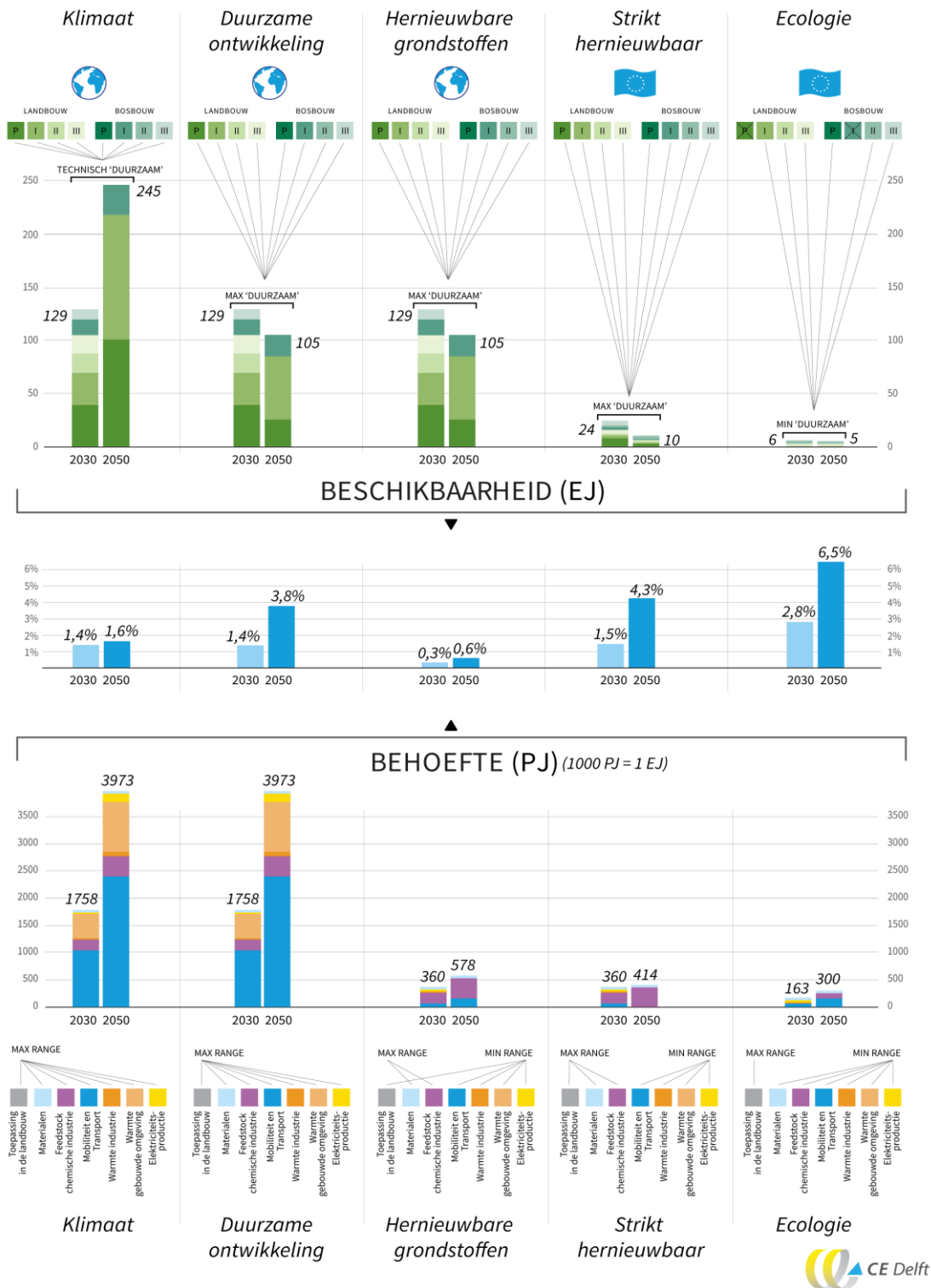
- de geografische scope voor importmogelijkheden (EU28 of mondiaal);
- welke biomassastromen wel of niet worden ingezet en van welke beschikbaarheid vervolgens wordt uitgegaan (duurzaam\_min, duurzaam\_max of technisch-duurzaam);
- voor welke toepassing de biomassa wordt ingezet en in welke mate; voor de onderkant of de bovenkant van de behoefte-range), met differentiatiemogelijkheid naar toepassing en naar zichtjaar.

Zie Bijlage F voor een nadere onderbouwing van de cijferkoppelingen per perspectief, die zijn samengevat in Tabel 2. In Figuur 5 staan de cijfermatige uitkomsten getoond van deze uitgangspunten.

Tabel 2 - Koppeling van cijfers beschikbaarheid en behoefte aan de vijf perspectieven

| Perspectief                                                       | Beschikbaarheid biomassa                                                                   | Toepassingen (behoefte aan biomassa)                                           |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Klimaat                                                           | Import: Mondiaal<br>Technisch-duurzaam                                                     | Bovenkant ranges                                                               |
| Duurzame ontwikkeling                                             | Import: Mondiaal<br>Max_duurzaam                                                           | Bovenkant ranges                                                               |
| Hernieuwbare grondstoffen                                         | Import: Mondiaal<br>Max_duurzaam                                                           | Onderkant ranges bij 'energie'<br>Feedstock en materialen:<br>bovenkant ranges |
| Strikt hernieuwbaar (met focus op zon, wind, en groene waterstof) | Import: EU28<br>Max_duurzaam                                                               | 2030: onderkant ranges<br>2050: geen biomassa-inzet meer voor 'energie'        |
| Ecologie                                                          | Import: EU28<br>Min_duurzaam<br>Niet productiestroom landbouw<br>Niet primaire reststromen | Onderkant ranges<br>Bovenkant range bij toepassing in de landbouw              |

Figuur 5 - Koppeling van de stakeholderperspectieven aan cijfers beschikbaarheid en behoefte.



De onderlinge verschillen tussen beschikbaarheden en tussen behoeftes in de perspectieven zijn groot. Maar de figuur laat tevens zien dat de percentages van behoefte gedeeld door beschikbaarheid minder uit elkaar liggen dan men op het eerste gezicht op basis van de beschikbaarheden zou verwachten. Dat komt doordat we bij de perspectieven ‘klimaat’ en ‘duurzame ontwikkeling’ zijn uitgegaan van zowel hoge behoeftes aan ‘duurzame biomassa’ als hoge beschikbaarheden. Bij de perspectieven ‘strikt hernieuwbaar’ en ‘ecologie’ zijn we uitgegaan van zowel lage behoeftes als lage beschikbaarheden, en met importen alleen uit de EU28. Het perspectief ‘hernieuwbare grondstoffen’ zit daar tussenin en koppelt een relatief hoge beschikbaarheid aan een relatief lage behoefte.

De figuur illustreert voor een deel de soms felle discussies over biomassa tussen personen die redeneren vanuit verschillende zienswijzes. Zoals tussen perspectief ‘klimaat’ met grote behoeftes aan ‘duurzame biomassa’ ten behoeve van het oplossen van het klimaatprobleem en het perspectief ‘ecologie’ met kleine beschikbaarheden vanuit het oogpunt van ecologie en biodiversiteit.

### *Cascadering*

Cascadering bij de inzet van biomassa is een manier om zoveel mogelijk toepassingen te bedienen met eenzelfde volume aan biomassa. Cascadering kan op vele manieren. Het kan ‘lineair in de tijd’, waarbij de ene gebruiker een component van een biomassaastroom benut op zo hoogwaardig mogelijke wijze, en de daarbij vrijkomende reststromen vervolgens door een andere gebruiker wordt benut. Of het kan ‘integraal’, waarbij bij een biomassaastroom door een groep gebruikers wordt bepaald hoe deze zo hoogwaardig mogelijk kan worden ingezet. Vervolgens moet worden aangegeven wat precies bedoeld wordt met ‘hoogwaardig’. Die keuze is nog niet helder gemaakt in het beleid. Vaak wordt een waardepiramide getoond, met in de top van de piramide toepassingen als farmacie met hoge economische waarde en lage volumes, en onderaan – in de basis van de piramide – energie, met relatief lage economische waarde (ten opzichte van farmacie en chemie) maar grote volumes. Zo’n piramide is gesorteerd op economische waarde. Het is echter ook mogelijk om te sorteren op CO<sub>2</sub>-emissiereductie, of op de vraag of er voor een toepassing alternatieven voor biomassagebruik beschikbaar zijn. In de JFF-rapportage (Gemeeynt, (2020)) wordt nader op cascadering ingegaan, echter niet cijfermatig. Vanwege de verschillende mogelijke grondslagen voor cascadering (op basis waarvan wordt geoptimaliseerd), de vele verschillende technische mogelijkheden om te cascaderen, in combinatie met de vele soorten biomassaastromen en de vele soorten toepassingen zijn cijfermatige analyses van cascadering in dit rapport niet uitgevoerd. Zodra een beleidsmatige keuze is gemaakt voor de grondslag van cascadering kan zo’n cijfermatige verkenning van de mogelijkheden het onderwerp van een vervolgstudie zijn.

### **Aanbevelingen**

De grote ranges in behoeftes, in beschikbaarheden, en tussen de verschillende perspectieven, vormen uitdagingen voor het te voeren beleid. De ranges zijn inherent aan het onderwerp ‘duurzame biomassa’. Gegeven de constatering dat Nederland niet in de eigen biomassa-behoefte kan voorzien, dat importstromen vanuit de EU28 of mondiaal nodig zijn, zelfs om in de ondergrens van de behoeftes te voorzien, bevelen we aan om in te zetten op wat we de **Trias Bio-Logica** hebben genoemd. De onderdelen daarvan zijn niet nieuw, de term en de onderlinge ordening wel.

De drie onderdelen zijn:

1. Verminder de behoefte aan duurzame biomassa<sup>3</sup>.
2. Vergroot de beschikbaarheid van duurzame biomassa.
3. Zet prioritair in op toepassingen waarvoor nog geen duurzame alternatieven zijn.

In het rechterdeel van Figuur 6 staan de drie stappen kort nader uitgewerkt, een uitwerking die nog een aanzienlijke nadere verdieping nodig heeft als de aanbeveling wordt overgenomen.

**Figuur 6 - Ordening in het omgaan met duurzame biomassa: Trias Bio-Logica.** Links de drie onderdelen, rechts de aanpak die daar bij hoort.

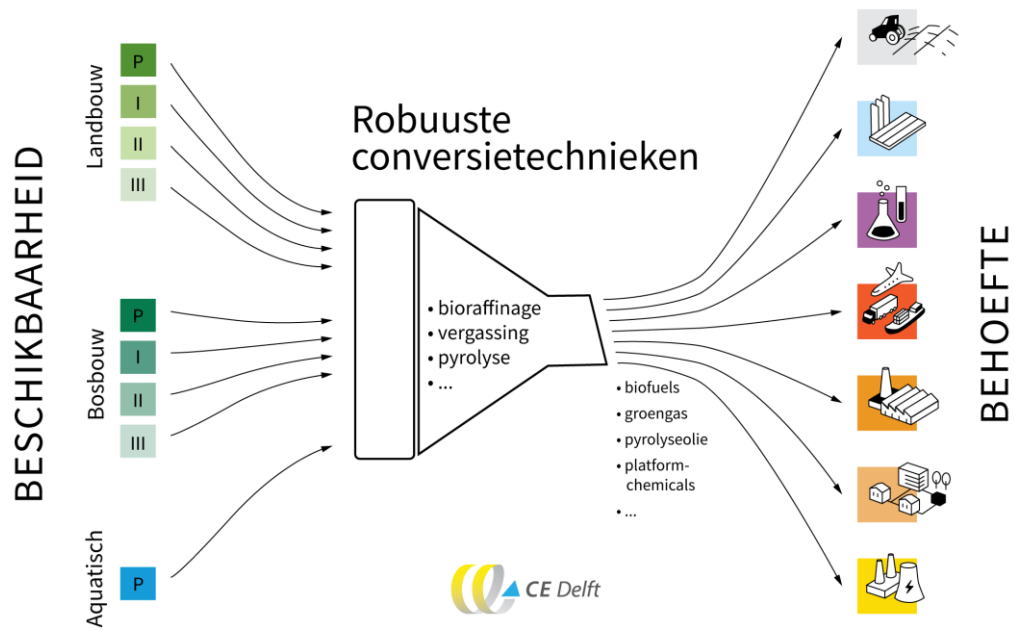
|                  |                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trias Bio-Logica | 1. Verminder behoefte aan duurzame biomassa       | Vraagvermindering (gedragsverandering, efficiency)<br>Biomassa in kringloop houden (circulair)<br>Eiwitvoorziening voedsel verschuiven naar plantaardig<br>Efficiency-verbetering (bij vraag en conversie), o.a. cascadering<br>R&D-agenda: ontwikkelen van alternatieven |
|                  | 2. Vergroot beschikbaarheid van duurzame biomassa | Binnen duurzaamheidskaders<br>Verbeterde Landbouwtechnieken<br>Verbeterde Bosbouwtechnieken<br>Bosaanplant<br>Duurzame ontwikkeling                                                                                                                                       |
|                  | 3. Inzet waar nog geen duurzaam alternatief is    | Uitgangspunt is duurzame biomassa<br>Prioritaire inzet sturen met beleid, over de toepassingen heen<br>Bij materialen sturen op langjarige vastlegging van koolstof<br>R&D-agenda: ontwikkelen robuuste biomassa-conversieroutes                                          |

We bevelen daarnaast aan om ontwikkelprogramma's in te richten die gericht zijn op het beschikbaar maken van robuuste biomassaconversietechnieken op industriële schaal. We bedoelen daarmee technieken die zowel een grote diversiteit aan biomassastromen kunnen verwerken, als een tussenproduct kunnen maken dat ingezet kan worden voor verschillende toepassingsmogelijkheden (zie Figuur 7). We denken daarbij bijvoorbeeld (maar niet uitsluitend) aan conversietechnieken als vergassing, pyrolyse, en bioraffinage-concepten die aan bovenstaande beschrijving voldoen. De beschikbaarheid van dergelijke technieken vermindert het risico op zowel mogelijke schaarstes op de wereldmarkten van een bepaalde soort biomassa, als op inzakken van de vraag naar een bepaald product als daar bijvoorbeeld een goedkoper alternatief voor gevonden wordt.

Tot slot bevelen we aan om beleid te ontwikkelen dat zorgt voor het ontstaan van markt-vraag naar groene moleculen, inclusief naar groene grondstof in de industrie. Dat kan bijvoorbeeld met beprijzing van CO<sub>2</sub>-emissies en het financieel of op andere wijze beleidsmatig waarderen van ketens met lage CO<sub>2</sub>-ketenemissies.

<sup>3</sup> Bedoeld is hier vooral de behoefte aan 'nieuwe' biomassa, niet de inzet op recycling van reeds in gebruik zijnde biomassa.

Figuur 7 - Schematische weergave van de inzet op robuuste conversietechnieken, als koppelpunt tussen enerzijds grote ranges aan de beschikbaarheid van de verschillende soorten biomassa, en anderzijds de grote ranges in de behoeftes.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In het klimaatakkoord staat dat het kabinet ervan overtuigd is dat de inzet van biomassa nu en richting 2030 en 2050 noodzakelijk is voor de verduurzaming van de economie en het realiseren van de klimaatopgave en dat alleen duurzame biomassa werkelijk bijdraagt aan verduurzaming van de economie. Om dit laatste te faciliteren wil het kabinet een integraal duurzaamheidskader opstellen dat in principe van toepassing is op alle biomassa en alle toepassingen. Zie ook Figuur 8.

Om daartoe te komen is in het klimaatakkoord een viertal elementen benoemd:

1. Een beschouwing door PBL van de maximale beschikbaarheid per in te zetten biomassaastroom;
2. Een beschouwing door PBL van toepassingsmogelijkheden per in te zetten biomassaastroom;
3. Het opstellen van duurzaamheidscriteria per in te zetten biomassaastroom;
4. Een advies door een speciale SER-commissie over draagvlak voor en uitvoerbaarheid van het duurzaamheidskader.

De uitvoering van elementen 1 en 2 is door het PBL opgedeeld in twee parallelle sporen:

- Een stakeholdersproces waarin onder andere met behulp van Joint Fact Finding (JFF) de verschillende posities van de stakeholders en de onderbouwing daarvan in kaart worden gebracht.
- Een cijfermatige beschouwing van duurzame biomassabeschikbaarheid binnen en voor Nederland - dus inclusief import - en de mogelijke toepassingen daarvan.

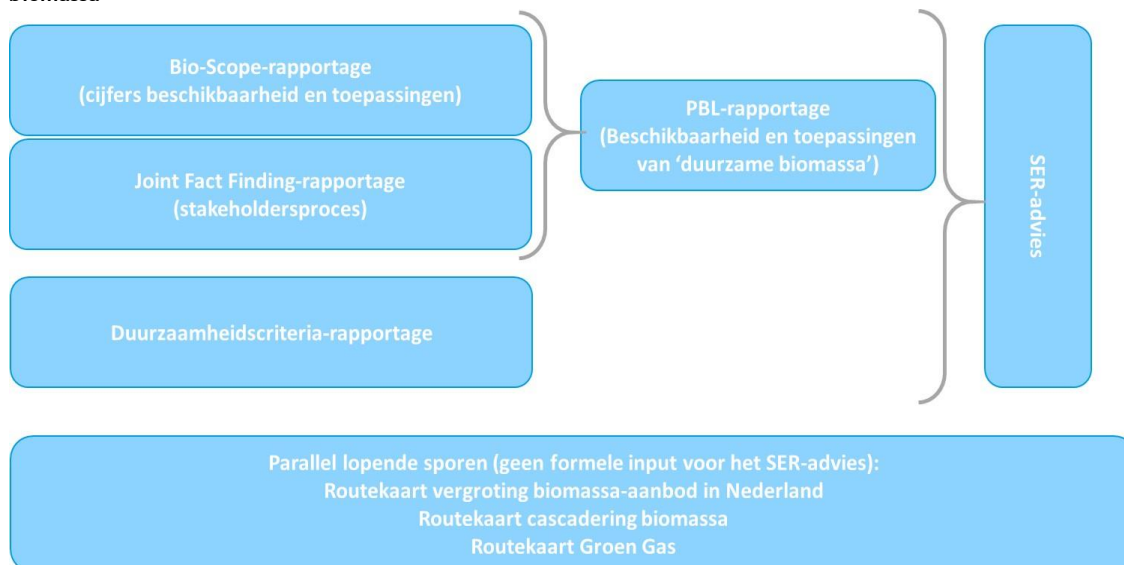
Dit rapport behandelt het tweede spoor: een cijfermatig georiënteerd rapport over beschikbaarheid en toepassingen van duurzame biomassa.

## 1.2 Relatie met de andere trajecten

Zie ook Figuur 8. De rapportage van dit Bio-Scope project is een bijlage van het bovengenoemde PBL-rapport. De andere bijlage is de JFF-rapportage (Gemeynt, (2020)). Het PBL-rapport en de rapportage van het project over duurzaamheidscriteria (RH DHV, (2020)) vormen beide input voor het SER-advies.

Parallel lopen verschillende routekaartprocessen: de Routekaart vergroting biomassa-beschikbaarheid in Nederland, de Routekaart cascadering biomassa, en de Routekaart Groen Gas. Met deze routekaartprocessen is overleg gepleegd over de gehanteerde cijfers. Ze vormen geen formele input voor het SER-advies.

**Figuur 8 - Deze Bio-Scope-rapportage in relatie tot de andere onderdelen van het duurzaamheidskader biomassa**



### 1.3 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen die in deze rapportage worden beantwoord zijn:

1. Wat is de behoefte aan 'duurzame biomassa', per toepassing?
2. Wat is de maximale beschikbaarheid aan 'duurzame biomassa' per in te zetten biomassaastroom?
3. Hoe verhouden behoefte en beschikbaarheid zich tot elkaar, gezien vanuit de verschillende stakeholderperspectieven?

De stakeholderperspectieven zijn uitgewerkt in het JFF-project.

#### Wat is biomassa?

In deze studie wordt onder 'biomassa' verstaan: materiaal afkomstig van levende organismen, zowel plantaardig als dierlijk. Het betreft planten en bomen, maar ook algen en wier, en reststromen zoals GFT, mest, slachtafval, RWZI-slib, et cetera. Biomassa kan groeien in gecultiveerde gebieden (landbouw, bosbouw) en in natuurlijke gebieden. Biomassa kent veel verschillende toepassingen, waaronder voedsel, veevoer, textiel, constructiehout voor de bouw en voor meubels, energie en brandstoffen (productie van onder andere elektriciteit, groengas, waterstof, warmte, vloeibare biobrandstoffen voor mobiliteit en transport), feedstock voor de chemische industrie, biobased materialen.

Er zijn veel verschillende vormen van biomassa, die totaal verschillende eigenschappen en totaal verschillende toepassingen kunnen hebben, en waarbij ook verschillende duurzaamheidsissues kunnen spelen. De breedte van het begrip 'biomassa' kan worden geïllustreerd met de volgende voorbeelden.

- Zaaghout als belangrijk product van de bosbouw is 'biomassa', en wordt onder andere gebruikt in de bouw. Bij sloop van het gebouw is het een reststroom, die soms nog kan worden hergebruikt als hout, en anders wordt verbrand voor energieproductie. Er wordt in demonstratieprojecten en andere R&D-inspanningen gepoogd om waardevolle stoffen

uit houtige biomassa te winnen voor chemie en/of voor productie van motorbrandstoffen.

- Rioolwaterzuiveringsslib is ook ‘biomassa’. Het is een reststroom, en kan deels worden vergist of vergast voor biogas- of syngasproductie. Dit gas kan direct worden gebruikt voor opwekking van elektriciteit en warmte, of, na opwaardering tot groengas, worden gebruikt als transportbrandstof, voor warmte in de gebouwde omgeving of als energiebron- of grondstof in de industrie. Het slib, of het digestaat na vergisting, moet in Nederland worden verbrand (een wettelijke verplichting) waarbij in de afvalverbrandingsinstallatie elektriciteit en warmte wordt geproduceerd. Er wordt in R&D-projecten gepoogd om nuttige stoffen uit het slib terug te winnen.

## 1.4 Scope en afbakening

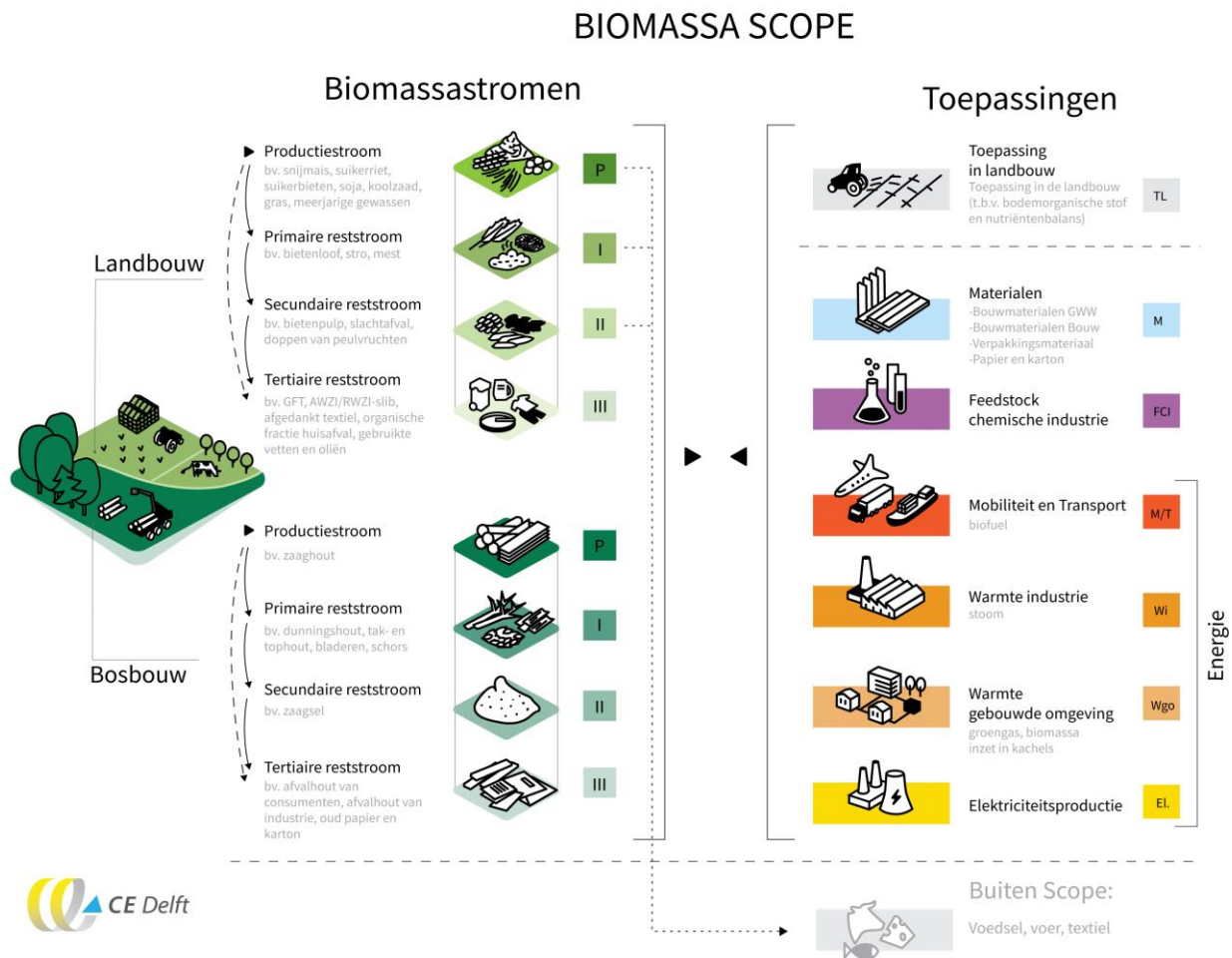
De studie omvat beschikbaarheid en toepassingen van ‘duurzame biomassa’. Import van biomassa valt binnen de scope. We maken onderscheid naar stromen uit de landbouw, stromen uit de bosbouw, en aquatische biomassastromen (‘zeewier’). Daarbinnen maken we een verder onderscheid naar productiestromen, en naar de verschillende reststromen. Zie Tabel 35 op pagina 105 voor een uitgebreider overzicht.

Qua toepassingen wordt gekeken naar toepassing in Nederland, door consumenten of door de industrie. De lijst met toepassingen binnen de scope is:

- feedstock chemische industrie (vooral kunststoffen);
- mobiliteit en transport;
- warmte voor de industrie (vooral stoombehoefte);
- warmte voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw (groengas en biomassa-inzet in kachels in de gebouwde omgeving en in stadswarmtenetten);
- elektriciteitsproductie;
- materialen:
  - bouwmaterialen GWW (Grond, Weg, Waterbouw);
  - bouwmaterialen Bouw;
  - verpakkingsmateriaal;
  - papier en karton.
- toepassing in de landbouw (t.b.v. bodemorganische stof en nutriëntenbalans).

Buiten scope zijn de toepassing van biomassa als voedsel, veevoer en als textiel, in die zin dat er binnen deze studie geen uitgebreide literatuuranalyses zijn gedaan naar de omvang van die toepassingen. Ze worden wel meegenomen in die zin dat de studies die zijn beschouwd expliciete aannames doen over de ontwikkeling van bevolkingsgroei en van het eiwitdieet, aangezien die van grote invloed zijn op de beschikbaarheid van land en dus op de beschikbaarheid van de verschillende biomassastromen. Ze worden meegenomen bij de duiding van de gevonden waarden in de literatuur over biomassabeschikbaarheid. Reststromen uit de landbouwproductie zijn nadrukkelijk wel binnen scope van de studie. Zie ook Figuur 9.

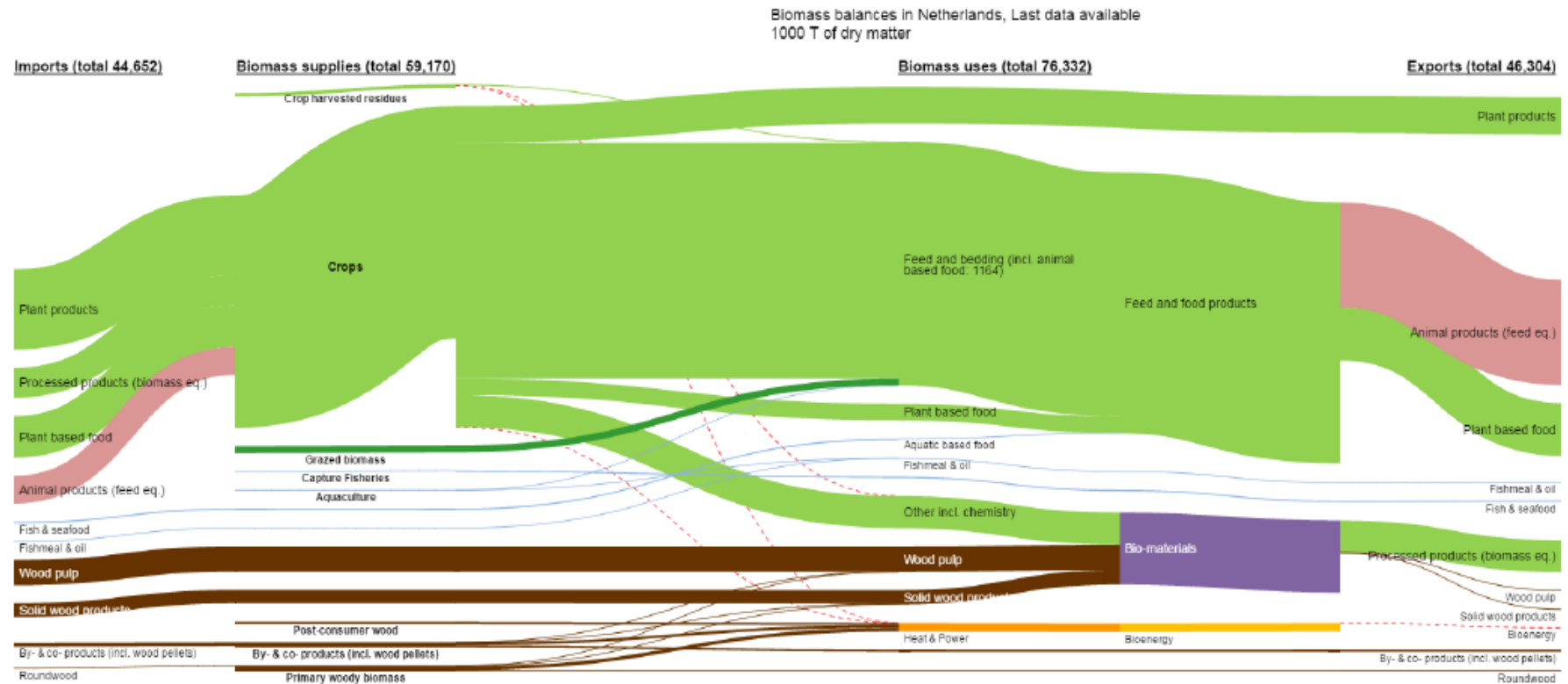
Figuur 9 - Scope van het project voor de beschikbaarheid en toepassing van 'duurzame biomassa'.



Bij de feedstock voor de chemische industrie ligt de focus op kunststoffen, en niet op de in volumes veel kleinere producties van de oleochemische toepassing van biomassa in cosmetica, zepen, smeermiddelen, en dergelijke.

Een overzicht van de huidige biogene stromen in en door Nederland worden geproduceerd, en hun toepassing, wordt gegeven in een zogenoemd Sankey-diagram in Figuur 10. De brede groene en roze stromen tonen het grote aandeel van voedsel en veevoer ten opzichte van de stromen voor energie en materialen.

Figuur 10 - Sankey-diagram van biomassastromen in en door Nederland, inclusief die voor voedsel en veevoer (overgenomen uit: JRC (2017))



Source: data from the BIOMASS project, European Commission – Joint Research Center  
Please note: Supply and use figures might not match due to estimation errors, stock changes, waste and/or loss of biomass or differences in the data sources used

## 1.5 Leeswijzer

In het rapport staat ‘duurzame biomassa’ overal tussen aanhalingstekens. Die keuze drukt uit dat er geen eenduidige definitie is van ‘duurzame biomassa’, en dat de meningen daarover verdeeld zijn. In deze rapportage wordt daarover geen positie ingenomen. Voor een beschrijving van issues die spelen rond ‘duurzame biomassa’ wordt verwezen naar een separate bijlage, zie Figuur 8 voor de samenhang van rapportages binnen het duurzaamheidskader.

De cijfers in de hoofdstukken van het rapport zijn omwille van de leesbaarheid steeds uitgedrukt in energie-eenheden. Deze keuze drukt geen voorkeur uit voor de ene toepassing (bijvoorbeeld energie of brandstoffen) ten opzichte van een andere (bijvoorbeeld materialen of feedstock chemische industrie), maar maakt het ten eerste mogelijk om cijfers met elkaar te kunnen vergelijken, en sluit ten tweede aan bij de gehanteerde cijferpresentaties in de meeste literatuurbronnen. In bijlages staan de cijfers uit de hoofdtabel van het rapport ook uitgedrukt in droge-stof-gewichten.

De opbouw van het rapport is als volgt: Hoofdstuk 2 bevat de informatie over toepassingen en behoeftes aan ‘duurzame biomassa’ in Nederland. Hoofdstuk 3 bevat de informatie over de beschikbaarheid, mondiaal, in de EU28 en in Nederland. In Hoofdstuk 4 worden behoefte en beschikbaarheid met elkaar vergeleken, ook vanuit de verschillende stakeholder-perspectieven. De conclusies staan in Hoofdstuk 5, en nadere details en cijfers in droge-stof gewichten zijn opgenomen in de bijlages. Van speciaal belang daarbij is Bijlage F, waarin staat uitgelegd hoe de koppeling is gelegd tussen de stakeholderperspectieven en de cijfers.

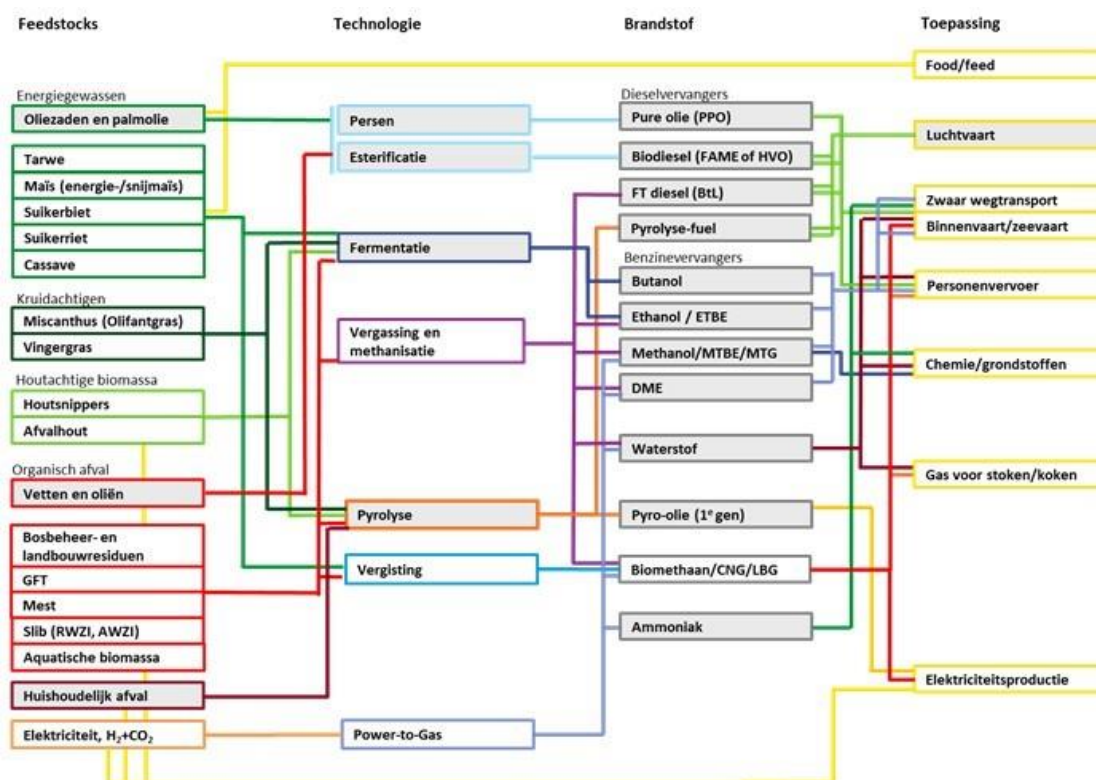
## 2 Toepassingen en behoefte

### 2.1 Introductie

Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende toepassingen van duurzame biomassa, binnen de scope van dit project (zie Paragraaf 1.4 op Pagina 20). Per toepassing wordt de huidige<sup>4</sup> inzet van biomassa gegeven, met ramingen van de behoefte in 2030 en een doorkijk naar 2050. Voor die ramingen is gebruik gemaakt van waarden uit de literatuur, waar nodig aangevuld met eigen analyses. De resultaten zijn weergegeven als ranges, met daarbij een nadere duiding van de aannames.

Er bestaan veel verschillende technieken om biomassa toe te passen. Denk bijvoorbeeld aan zagen voor toepassing als zaaghout in de bouw, aan bioraffinage, vergisting, vergassing, verbranding, torrefactie, fermentatie, pyrolyse, et cetera. De verschillende technieken stellen verschillende eisen aan de te verwerken biomassa'stroom. En voor de meeste toepassingen bestaan er ook alternatieve technieken die niet op biomassa gebaseerd zijn. Het geheel geeft een hoge mate van complexiteit, zie bijvoorbeeld Figuur 11, die een deel van die complexiteit laat zien.

Figuur 11 - Voorbeeld van een inzetkaart van biomassa (links) voor verschillende toepassingen (rechts), in dit overzicht met focus op brandstoftoepassingen



(Bron: CE Delft)

<sup>4</sup> Op basis van meest recente beschikbare cijfers.

We hebben er voor gekozen om dit hoofdstuk over toepassingen op te bouwen aan de hand van de behoefte vanuit de verschillende toepassingen. Bij elke toepassing wordt steeds besproken welke biomassaconversietechnieken relevant zijn, de daarbij horende soorten biomassa, en de alternatieven om in de behoefte te voorzien, evenals het beleid dat invloed heeft op die behoefte.

In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de volgende toepassingen behandeld:

- feedstock chemische industrie;
- mobiliteit en transport;
- warmte voor de industrie (hogetemperatuurwarmte);
- warmte voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw;
- elektriciteitsproductie;
- materialen (incl. hout voor de bouw);
- landbouwtoepassing (bodemorganische stof, nutriënten);
- negatieve CO<sub>2</sub>-emissies.

Tot slot is nog een aparte paragraaf gewijd aan cascadering over de verschillende toepassingen heen, en aan bioraffinage.

Het hoofdstuk eindigt met een cijfermatig totaaloverzicht.

## 2.2 Feedstock chemische industrie

### 2.2.1 Introductie

Biomassa kan gebruikt worden ter vervanging van fossiele brandstoffen als grondstof voor chemische stoffen en producten. Biomassa wordt in dat geval niet toegepast als energiebron, zoals in de paragrafen over biobrandstoffen, de gebouwde omgeving en de warmtebehoefte uit de industrie, maar als koolstofbron voor producten. Dit wordt ook wel ‘niet-energetisch gebruik van energiedragers’ of ‘feedstock’ genoemd. Ook in het deel over materiaaltoepassingen wordt biomassa op een dergelijke manier ingezet.

De chemische industrie bestaat uit verschillende subsectoren. We richten ons hier op de chemische basisproductenindustrie (NACE-code C20.1). Hier is voor gekozen omdat in deze subsector veel fossiele grondstoffen worden gebruikt (aardolie, aardgas) en vanwege de omvang van deze industrie (zie Sectie 2.2.3).

We kijken hier naar de consumptie van biomassa als grondstof van de Nederlandse chemische **industrie**, aangezien dat de behoefte in Nederland aan biomassa voor deze toepassing bepaalt. We kijken hier dus niet naar de consumptie van biochemische eindproducten van de Nederlandse **bevolking**. Dit is belangrijk, omdat het grootste deel van wat er in Nederland door de industrie wordt geproduceerd, uiteindelijk **niet** in Nederland terechtkomt voor ‘eindconsumptie’.

In dit hoofdstuk kijken we achtereenvolgend naar:

- factoren die de biomassabehoefte in de chemie beïnvloeden (Paragraaf 2.2.2);
- de huidige grondstofbehoefte van de chemie en verwachte biomassabehoefte in de toekomst, en een duiding daarvan (Paragraaf 2.2.3);
- deelconclusies voor de toepassing van biomassa als grondstof in de organische chemische industrie (Paragraaf 2.2.4).

## 2.2.2 Factoren die de biomassabehoeftte in de chemie beïnvloeden

Voorspellingen van de toekomstige behoefte naar biomassa als grondstof voor chemicaliën in de Nederlandse chemische industrie lopen sterk uiteen. Idealiter zouden studies een concreet beeld geven van hoeveel biomassa er grofweg benodigd zal zijn als grondstof voor de Nederlandse chemische industrie in 2030 en 2050. Dit blijkt echter lastig te voorspellen, onder andere door de complexiteit en de internationale oriëntatie van de chemische sector. In deze paragraaf gaan we in op verschillende redenen voor die complexiteit en onzekerheid. Deze duiding zal helpen om de bandbreedtes in de verwachte biomassabehoeftte (Paragraaf 2.2.3) te begrijpen.

### *Techniek*

#### **Diversiteit aan productieroutes (*drop-in* versus *specifiek*)**

Om in te schatten hoeveel biomassa er in de toekomst in de chemie gebruikt wordt, is het van belang te weten:

- a Welke eindproducten geproduceerd zullen worden. Dit is niet eenduidig: de eindproducten die de chemische industrie maakt zijn tot op zekere hoogte inwisselbaar (een nieuw soort biobased plastic kan een conventioneel fossiel plastic vervangen), en het aantal unieke eindproducten loopt in de tienduizenden.
- b Welke productieroute daarvoor gebruikt zal worden. Ook hier zijn meestal meerdere mogelijkheden: er bestaan verschillende biobased productieroutes om een bepaald eindproduct (bijvoorbeeld een kunststof) te maken, die op hun beurt vaak weer gebruik maken van verschillende soorten biomassa.

Gezien de onzekerheid van beide factoren is het lastig om te voorspellen welke biochemie-productieroutes dominant gaan worden, en daarmee wat de toekomstige biomassabehoeftte zal zijn.

Deze complexiteit kan geïllustreerd worden door te kijken naar ethyleen (ook etheen genoemd). Dit is de een van de meest geproduceerde platformchemicaliën<sup>5</sup> ter wereld. Ethyleen wordt in de chemische industrie omgezet tot veel verschillende producten, waaronder polymeren. Een voorbeeld hiervan is polyethyleen (PE), dat onder andere als verpakkingsmateriaal wordt gebruikt. Ethyleen wordt in Nederland vooral geproduceerd uit nafta, dat zelf weer uit aardolie gemaakt wordt in raffinaderijen.

Ethyleen kan echter ook worden geproduceerd uit biomassa. Dit kan via verschillende chemische routes, allemaal met een eigen efficiëntie en energiebehoefte. Zo wordt in Brazilië suiker uit suikerriet eerst omgezet tot ethanol, wat vervolgens gedehydrateerd kan worden tot bio-ethyleen (dat chemisch identiek is aan fossiel ethyleen). Het is echter ook mogelijk om biomassa te gebruiken om bio-nafta te produceren, die samen met fossiele nafta het kraakproces in kan gaan om ook (een deel) bio-ethyleen te produceren. Zolang het eindproduct nog steeds ethyleen is, wordt gesproken van *drop-in*-chemicaliën.

Er bestaan ook *specifieke* (*“dedicated”* of *“novel”*) biochemicaliën. Hierbij gaat het om biobased chemische stoffen die (doorgaans) niet via een petrochemische route gemaakt worden, die gebruikt kunnen worden om producten te maken met (grofweg) gelijkwaardige eigenschappen als de fossiele evenknie ervan. Een voorbeeld van een specifieke biobased

<sup>5</sup> Platformchemicaliën zijn chemicaliën die fungeren als bouwstenen voor andere chemicaliën en materialen. Ze worden soms ook basischemicaliën genoemd. Ze kunnen zowel op fossiele als biologisch grondstoffen gebaseerd zijn.



platformstof is melkzuur, dat gebruikt wordt om het polymeer polymelkzuur (PLA, van *polylactic acid*) te maken. PLA kan net als polyethyleen worden gebruikt als verpakkingsmateriaal, maar heeft door de andere chemische structuur ook andere technische eigenschappen. Als PLA meer gebruikt zou worden, zou een deel van de ethyleenproductie vervangen kunnen worden door de productie van (biobased) melkzuur.

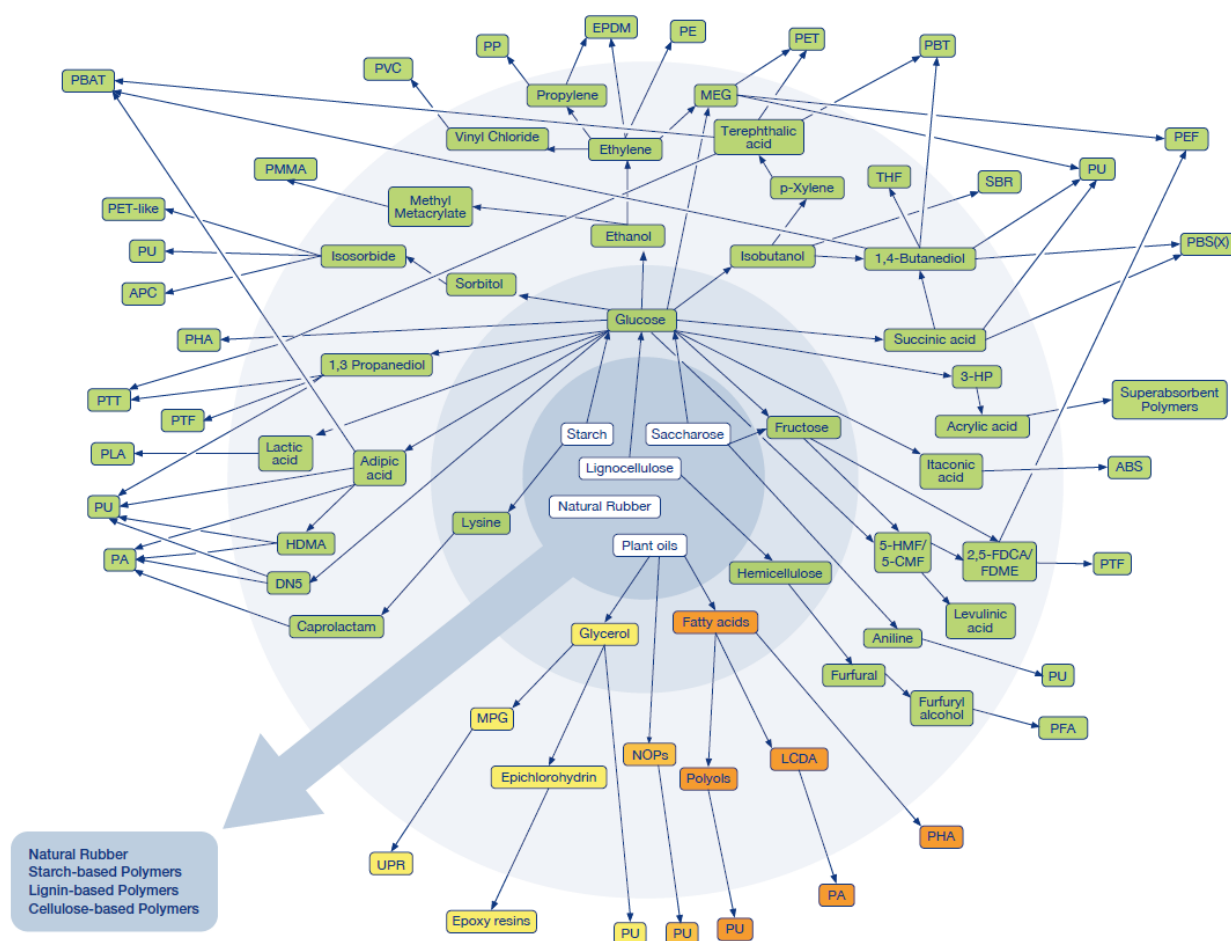
Nieuwe (“specifieke”) biochemische processen en producten zijn vaak gericht op het behoud van de atomen en chemische structuren (functionele groepen) die in biomassa aanwezig zijn. Hierdoor is het in principe mogelijk om een groter deel van biomassa om te zetten tot eindproducten, waarmee minder chemische stappen en vaak ook minder energie nodig zijn in het productieproces. Biomassa bevat bijvoorbeeld relatief veel zuurstofatomen vergeleken met fossiele grondstoffen zoals aardolie. Wanneer er drop-in biochemicaliën mee worden geproduceerd, moeten die zuurstofatomen van de biomoleculen worden verwijderd, omdat de drop-in producten zuurstofarm zijn. Dit kost vaak veel energie en laat een deel van de biomassa per definitie onbenut. Daarom wordt gezocht naar nieuwe verwerkingsroutes en producten van biomassa, waarin die zuurstofatomen behouden kunnen worden.

Figuur 12 geeft een overzicht van de mogelijke routes waarmee verschillende soorten biomassa omgezet kunnen worden tot verschillende biopolymeren<sup>6</sup> (nova-Instituut, 2019b). Dit geeft de complexiteit en veelheid aan mogelijkheden op het gebied van biochemie goed weer. Deze figuur geeft niet alle mogelijkheden weer en dient ter illustratie; er zijn nog meer routes mogelijk.

---

<sup>6</sup> ‘Biopolymeer’ en ‘bioplastic’ wordt vaak gebruikt als biobased *of* biologisch afbreekbaar. Wanneer wij deze termen hier gebruiken, bedoelen we ‘een plastic of polymeer op basis van biomassa’ en *niet* ‘een fossiel polymeer of plastic dat biologisch afbreekbaar is’.

Figuur 12 - Overzicht van routes van biomassa naar biochemicalïën en biopolymeren die momenteel wereldwijd worden geproduceerd of onderzocht (bron: (nova-Institut, 2019b))



## Veel technologieën nog in ontwikkeling

Een tweede factor die de invulling van de biomassabehoefte voor de chemische industrie onzeker maakt, is de stand van de techniek. Er zijn veel biochemicalïën en -polymeren die veelbelovend zijn, maar die nog niet op grote schaal worden geproduceerd en toegepast in eindproducten.

Daarnaast kan in sommige eindproductmarkten zoals de verfindustrie niet zomaar één fossiel ingrediënt van het product worden vervangen door een vergelijkbaar biobased ingrediënt. Dan moet vaak de hele formule worden veranderd wanneer wordt overgestapt op biomassa als grondstof. Deze complexiteit is een extra reden dat er veel onderzoek nodig is voordat deze overstap in sommige markten mogelijk is (E4Tech, nova-Institut, BTG, DECHEMA, 2019).

## Concurrentie met andere alternatieve koolstofbronnen

Om organische chemicaliën te produceren is altijd een koolstofbron nodig. Om af te stappen van fossiele koolstofbronnen zoals aardolie is dus een alternatieve bron nodig. Biomassa kan die rol vervullen maar er zijn ook andere alternatieven mogelijk. De volgende drie koolstofbronnen kunnen gebruikt worden om de behoefte aan organische chemie in te vullen:

1. Biomassa.
2. Afgevangen CO<sub>2</sub> (met *Carbon Capture and Utilization*; CCU).
3. Gerecycled koolstof (d.m.v. de recycling van koolstofhoudende producten).

De toekomstige verdeling over deze drie koolstofbronnen en het aandeel per route is nog onzeker (nova-Institut, 2018b). Het zou kunnen dat er in de toekomst veel biomassa ingezet wordt (bijvoorbeeld als het in veel gevallen de goedkoopste optie wordt), maar in theorie kan de koolstofbehoefte van de Nederlandse chemie ook volledig ingevuld worden zonder enige biomassa, door andere bronnen te gebruiken.

De technieken verschillen wat betreft ontwikkelingsniveau en voor sommige technieken is onderzoek op verschillende niveaus nog volop bezig – van laboratoriumschaal tot pilot plants. Er zit overigens ook overlap tussen de drie groepen: koolstof uit afgevangen CO<sub>2</sub> of gerecyclede producten kan zowel fossiel als op basis van biomassa zijn, afhankelijk van de bron van afvang of de aard van het product.

## Maatschappij

Er zijn een aantal maatschappelijke en marktfactoren die de overstap op een biobased chemische industrie beïnvloeden. Hier bespreken we de rol van de markt, het beleid en de consument hierin.

## Chemische industriemarkt

De Nederlandse chemische industrie opereert in een internationale markt. 80% van wat er door de Nederlandse chemie wordt geproduceerd, wordt geëxporteerd. 80% daarvan gaat naar Europese landen (VNCI, 2019). Niet alleen de behoefte vanuit Nederland, maar vooral dus ook de behoefte uit andere Europese landen beïnvloedt de Nederlandse chemische industrie.

Naast behoefte bepalen ook andere factoren of de industrie de overstap naar biomassa zal maken: een veilige/betrouwbare toeleveringsketen van biomassa, kennis in huis om een nieuw proces en nieuwe grondstof(fen) toe te passen en nieuw product(en) te produceren, vertrouwen dat biomassa met constante kwaliteit en volume geleverd kan worden en dat die voldoet aan (gecertificeerde) duurzaamheidseisen, en tot slot het kostenplaatje (Sederel, 2019).

De belangrijkste eis aan het biochemische product (naast de businesscase) is de functionaliteit: het biochemische product moet minstens zo goed presteren als z'n fossiele tegenhanger. Hier liggen ook kansen: nieuwe chemische structuren kunnen ook nieuwe of verbeterde functionaliteit aan producten toevoegen ten opzichte van fossiele producten (nova-Institut, 2018a). Hierbij kan gedacht worden aan de biologische afbreekbaarheid van bijvoorbeeld PLA in composteringsinstallaties (functionaliteit die nauwelijks voorkomt bij petrochemische producten) of de betere gasbarrière-eigenschappen van PEF.

Zoals genoemd bepalen de kosten in sterke mate in hoeverre biomassa als koolstofgrondstof meer ingezet zal worden in de markt. Hierin zijn verschillende aspecten van belang:

- R&D-kosten: Voor onderzoek en opschaling is geld nodig. Investerings in alle stappen van de ontwikkeling van nieuwe producten zijn van belang. Dit wordt geïllustreerd door cijfers uit onderzoeken van het nova-Institut: In een marktanalyse uit 2015 werd verwacht dat tussen 2013 en 2018 het Europese marktaandeel van de mondiale bioplastieproductie van 17,3 naar 7,6% zou dalen (nova-Institut, 2015a). In een analyse uit 2019 blijkt dat deze voorspelling niet is uitgekomen: het marktaandeel is gestegen naar 19%. Als reden hiervoor wordt investeringen genoemd. Er wordt zelfs verwacht dat naar 2023 toe, het Europese aandeel van de mondiale bioplastieproductie van 19 naar 25% stijgt, vooral vanwege groeiende productiecapaciteit voor specifieke biobased kunststoffen PLA, PHA en PEF (nova-Institut, 2019b).
- Businesscase: het uiteindelijke product moet een goede businesscase hebben om de biobased chemie echt van de grond te laten komen. In sommige gevallen hebben biochemische producten hierin een voordeel ten opzichte van bio-energie en biobrandstoffen: de prijs van bijvoorbeeld cosmetische producten ligt hoger, waardoor er meer marge in zit (en soms zijn consumenten bereid meer te betalen voor een biobased product, zie bij “consumenten” hieronder) (E4Tech, nova-Institut, BTG, DECHEMA, 2019). Ook zijn er gevallen dat de biobased variant van een chemicalie goedkoper is dan de fossiele variant, bijvoorbeeld barnsteenzuur (nova-Institut, 2015a)). Dit geldt natuurlijk niet voor alle biochemicaliën, waardoor de hiervoor genoemde R&D-kosten van belang zijn om zo optimaal mogelijke processen te ontwikkelen en kostenreducties te realiseren.
- Prijs van het alternatief: de alternatieve koolstofbronnen hebben ook een prijs en die speelt een belangrijke rol. Lage olieprijs temperen bijvoorbeeld investeringen in biobased chemie (nova-Institut, 2019b). Dit argument speelt minder voor specifieke biochemicaliën, omdat zij niet direct een petrochemische tegenhanger hebben. Wanneer de nieuwe alternatieven CCU en recycling verder zijn ontwikkeld, zal ook de prijs van deze alternatieve C-bronnen een rol spelen.

De verschillende marktgebonden factoren die invloed hebben op het gebruik van biomassa in de chemische industrie, zorgen ervoor dat productie van biochemicaliën ook buiten Nederland plaats kan gaan vinden. Dit kan te maken hebben met de (constante) beschikbaarheid van geschikte biomassa, kosten, investering in onderzoek, bestaande chemische industrie, et cetera.

## Beleid

Anders dan voor biobrandstoffen en bio-energie, is er nog weinig specifiek beleid op biobased chemie, zowel aan de consumptiekant als aan de productiekant. Zo bestaat er geen verplichting om in 2030 x% van de kunststof verpakkingen biobased te maken (zoals bij biobrandstoffen), en er is er bijvoorbeeld ook geen heffing op de inzet van fossiele koolstofbronnen in chemicaliën (zoals de CO<sub>2</sub>-prijs binnen het EU ETS). Wel zijn er door zowel de EU als door Nederland visies opgesteld over de bio-economie, waar ook toepassing van biomassa als grondstof voor chemische producten een onderdeel van is, zoals Biomassa 2030 (Rijksoverheid, 2015a) en de Bioeconomy Strategy van de EU (uit 2012, met update 2018) (European Commission, 2018). Daarnaast heeft het Biobased Industries Consortium (BIC) in 2017 voor de EU een ambitie gezet in haar Strategic Innovation and Research Agenda (SIRA) om in 2030 een aandeel van 25% biobased grondstoffen voor de productie van

chemicaliën en materialen<sup>7</sup> in de EU te hebben (BIC, 2017). BIC is een samenwerking tussen industrieën en de Europese Commissie.

Het huidige Europese politieke kader (incl. Nederland) wordt door veel studies als ongunstig gezien voor de ontwikkeling van de biobased chemie in de EU (E4Tech, nova-Institut, BTG, DECHEMA, 2019), (nova-Institut, 2018a), (Sederel, 2019). Het beleid richt zich op de toepassingen van biomassa als energie of brandstof. In bijvoorbeeld veel Aziatische landen is het politieke klimaat gunstiger voor biobased chemie (nova-Institut, 2019b).

Ook beleid op verschillende duurzaamheidsaspecten van de industrie of producten kan van invloed zijn op de biobased chemische industrie. Denk hierbij vooral aan lagere humane en ecotoxiciteit van producten en productieproces, biologische afbreekbaarheid van (tussen) producten, broeikasgasreductie, et cetera. Dit kunnen allemaal drijfveren zijn om op biomassa over te stappen, omdat veel biochemische productieprocessen/producten deze eigenschappen bezitten (E4Tech, nova-Institut, BTG, DECHEMA, 2019). Dit is echter niet per definitie het geval: biobased chemicaliën of producten scoren niet automatisch beter op het gebied van milieu-impacts en klimaatimpact in de keten, energiebesparing of biologische afbreekbaarheid dan fossiele producten. Hiervoor moet per geval worden gekeken wat de impact in de keten is (bijvoorbeeld met een levenscyclusanalyse) of wat de eigenschappen van het eindproduct zijn onder verschillende omstandigheden.

(Toekomstig) beleid op het gebied van de andere alternatieve koolstofbronnen (uit CCU of uit recycling) heeft ook invloed op de ontwikkeling van de biobased chemie. Een voorbeeld hiervan is het Plastic Pact tussen een groot deel van de Nederlandse kunststoffenindustrie en de Nederlandse overheid. Hierin wordt de ambitie uitgesproken om in 2025 70% hoogwaardige recycling van plasticafval en 35% recyclelaatplastic toe te passen in nieuwe eenmalig te gebruiken plasticproducten en -verpakkingen in 2025. Het doel is om eerst zoveel mogelijk kunststoffen te recyclen en vervolgens zou de nog overblijvende virgin grondstoffen zoveel mogelijk biobased moeten worden. Het opstellen van een actieplan biobased kunststoffen wordt ook genoemd in het Plastic Pact. Daarnaast zijn er Transitieagenda's (tussen overheid en verschillende andere organisaties/bedrijven) opgesteld voor de circulaire economie (waar ook inzet van biomassa als grondstof onder valt) en voor kunststoffen.

Regelgeving omtrent het gebruik van biomassa(rest)stromen is nodig om duidelijkheid te verschaffen over wat mogelijk is en wat niet, maar kan ook de ontwikkeling van de biobased chemie tegenhouden. Dit geldt zowel voor de grondstofkant (duurzaamheids-criteria voor biomassa, maar ook afvalstatus van reststromen) als voor de eindproductkant (het kost vaak veel tijd en (daarmee) geld om een nieuw product te certificeren).

## Consumenten

Soms wordt aangegeven dat consumenten in sommige gevallen bereid zijn om (iets) meer voor biobased chemische producten te betalen, denk bijvoorbeeld aan cosmetica of verf. De reden hiervoor is dat biobased producten aan sommige duurzaamheidsaspecten voldoen waar fossiele producten minder op scoren binnen die branche. Daarnaast is ook de perceptie van sommige consumenten over bioproducten positiever dan de fossiele variant (hoewel dit niet altijd gegrond is) (Quintel Intelligence, 2016).

<sup>7</sup> Materialen kan hier overlappen met zowel de chemie (biobased kunststoffen worden bijvoorbeeld ook onder de noemer materialen geschaard en zijn opgebouwd uit biochemicaliën) en materialen zoals beschreven in Hoofdstuk 2.7 (bijvoorbeeld voor in de bouw).

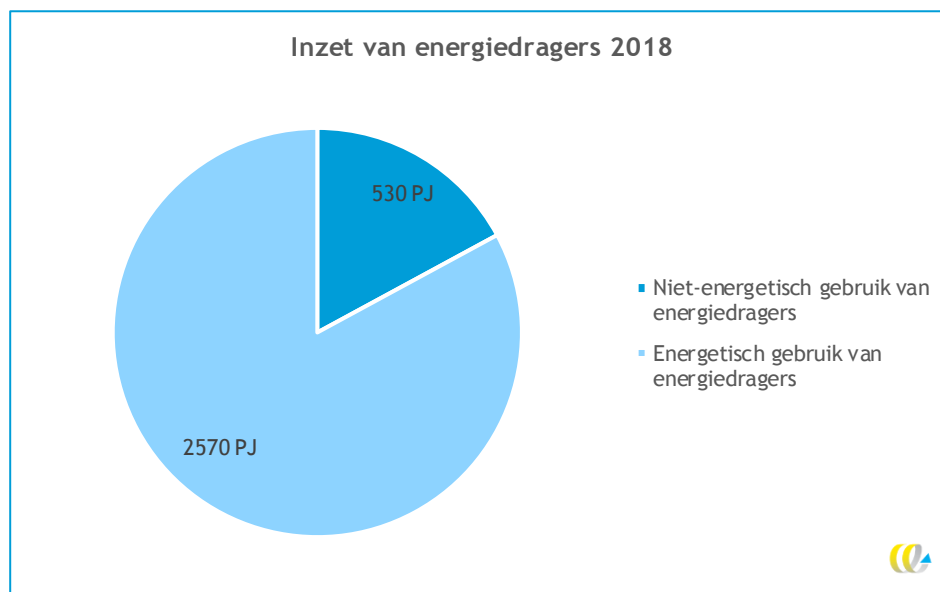
### 2.2.3 Behoefte aan biomassa als grondstof voor de Nederlandse chemische industrie

We gaan in deze paragraaf in op de huidige en verwachte behoefte aan biomassa als grondstof voor producten in de Nederlandse chemische industrie. We bekijken eerst in welke mate de chemie nu al biomassa als grondstof gebruikt (huidige behoefte). Daarbij wordt ook een overzicht gegeven van de product (groep)en waar al biomassa ingezet wordt. Vervolgens wordt een literatuuroverzicht gepresenteerd van studies waarin de inzet voor 2030 en 2050 is ingeschat. We beschrijven de achtergrond van deze onderzoeken en vatten samen hoeveel biomassabehoefte (in PJ) zij voor grondstoffen in de Nederlandse chemie voorzien. Dit overzicht van voorspellingen wordt verder geduid in paragraaf daarna.

#### *Huidige behoefte*

Het huidige (2018) gebruik van fossiele en biobased energiedragers in Nederland, voor zowel energetische als niet-energetische toepassingen, is 3.108 PJ volgens de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) van het PBL (2019b). In Figuur 13 is te zien dat van de totale energiedragers, ongeveer 17% (530 PJ) wordt gebruikt voor niet-energetische toepassingen. Hiervan werd 98% gebruikt in de (petro)chemische industrie (hieronder valt ook de productie van brandstoffen).

Figuur 13 - Verdeling over inzet van energiedragers over energetische en niet-energetische toepassingen in 2018, op basis van PBL (2019b).



Volgens de KEV wordt de gehele niet-energetische behoefte aan energiedragers ingevuld door aardolie, aardgas en kolen. Biomassa is hierin niet genoemd. Andere bronnen geven aan dat er in Nederland al wel biomassa voor niet-energetische toepassingen in de chemische industrie wordt ingezet.

In WUR (2019) wordt bijvoorbeeld aangegeven dat in 2017 46% van de biomassa die niet voor (vee)voedingsdoeleinden bestemd was, chemische- of materiaaltoepassingen had; de materiaaltoepassingen zoals papier overheersten hierin. De onderliggende studie aan deze cijfers toont dit in meer detail (CE Delft, 2017b): in 2016 werd ongeveer 0,5 PJ aan

zetmeel- en suikerhoudende biomassa en ca. 2 PJ aan plantaardige oliën in de chemische industrie niet-energetisch ingezet, dus in totaal 2,5 PJ (ca. 0,5% van het totaal niet-energetisch). Daartegenover werd ca. 43 PJ aan houtige biomassa als materiaaltoepassing gebruikt, voor bijvoorbeeld papier en meubels. In de EU-brede studie die ieder jaar wordt uitgevoerd (nova-Institut, BIC, 2019a) wordt ingeschat dat 8% van het organisch grondstoffengebruik<sup>8</sup> van NACE C20 Chemische Industrie<sup>9</sup> in Nederland in 2016 biobased was (hierin is de productie van bio-ethanol en biodiesel niet meegenomen). Dit is meer dan de inschatting van 2,5 PJ die hierboven is genoemd: uitgaande van het totale niet-energetisch grondstoffengebruik in de (petro)chemische industrie in 2018 zoals gegeven in Figuur 13, is dit 42 PJ. De verschillen kunnen komen door een verschil in methodiek en scope: (nova-Institut, BIC, 2019a) gebruikt een op economische productwaarde gebaseerde methodiek, terwijl CE Delft (2017b) een massagebaseerde methodiek gebruikt. Daarnaast valt zoals in (nova-Institut, BIC, 2019a) is aangegeven onder NACE C20 ook de productie van producten als houtskool en tallolie, wat in die studie is meegenomen in de data, maar in andere studies buiten scope kan worden gehouden als er alleen naar meer geavanceerde chemische productgroepen wordt gekeken. Een andere moeilijkheid is dat het gebruik van grondstoffen (fossiel en biobased) vaak als bedrijfsgevoelige informatie wordt gezien, of dat biobased productie niet als core business wordt beschouwd en daarom de monitoring ervan niet wordt gedaan of niet wordt gedeeld (CE Delft, 2013). Het vergelijken van verschillende cijfers is daardoor lastig.

Wij gaan ervan uit dat de hoeveelheid biomassa die momenteel in de Nederlandse chemische industrie wordt gebruikt, ongeveer 2,5 PJ is (ca. 0,5%), conform (CE Delft, 2017b). De reden hiervoor is dat deze studie op massastromen is gebaseerd.

Ook op Europees niveau vormt de biobased chemie een beperkt onderdeel van de gehele sector. Volgens inschattingen van Cefic uit 2017 was in 2015 ongeveer 10% van het organisch grondstoffengebruik in de chemische industrie van de EU biobased (Cefic, 2018). Het is onduidelijk op welke manier dit percentage is bepaald. Volgens de hierboven al genoemde studie (nova-Institut, BIC, 2019a) was het EU aandeel biobased in de NACE C20 Chemische Industrie op de totale hoeveelheid gebruikte organische grondstoffen in 2016 ~14%, maar dit is dus niet vergelijkbaar met de 0,5% die in Nederland wordt toegepast. Het verschil tussen de twee inschattingen kan komen door het gebruik van verschillende scopes zoals in de vorige alinea ook is aangestipt. Cefic geeft geen data per land, dus hoe dit zich tot Nederland verhoudt is niet bekend.

In de studie RoadToBio, die onderdeel is van het Horizon 2020-programma van de EU, is ook gekeken naar het huidige aandeel van biobased productie in de Europese chemische industrie. De focus hierbij lag niet op grondstofgebruik, maar op de samenstelling van chemische productgroepen (zoals kunststoffen, verf, oplosmiddelen). Dit is geïllustreerd in Figuur 14, waar links de opbouw van de totale Europese chemische industrie (naar eindproducten) weergegeven is, en rechts het biobased gedeelte daarvan. Het aandeel biobased in de chemische eindproducten komt uit op ~4% (E4Tech, nova-Institut, BTG, DECHEMA, 2019).

<sup>8</sup> Volgens dezelfde studie is ongeveer de helft van het grondstoffengebruik in de chemische industrie organisch (dit zijn de niet-energetisch gebruikte fossiele grondstoffen zoals aardolie) en de andere helft anorganisch.

<sup>9</sup> NACE is een Franse afkorting die staat voor “Statistische naamgeving van de economische activiteiten in de Europese Gemeenschap”. Onder de economische activiteit NACE C20 valt de “Productie van chemicaliën en chemische producten”, waar weer de productie van platformchemicaliën, kunstmest, kunststoffen, synthetisch rubber, de productie van pesticiden en andere agrochemische producten, de productie van verf, vernis, inkt en mastieken, de productie van zepen, schoonmaakmiddelen, parfums en cosmetica, de productie van andere chemische producten en de productie van synthetische vezels onder vallen.

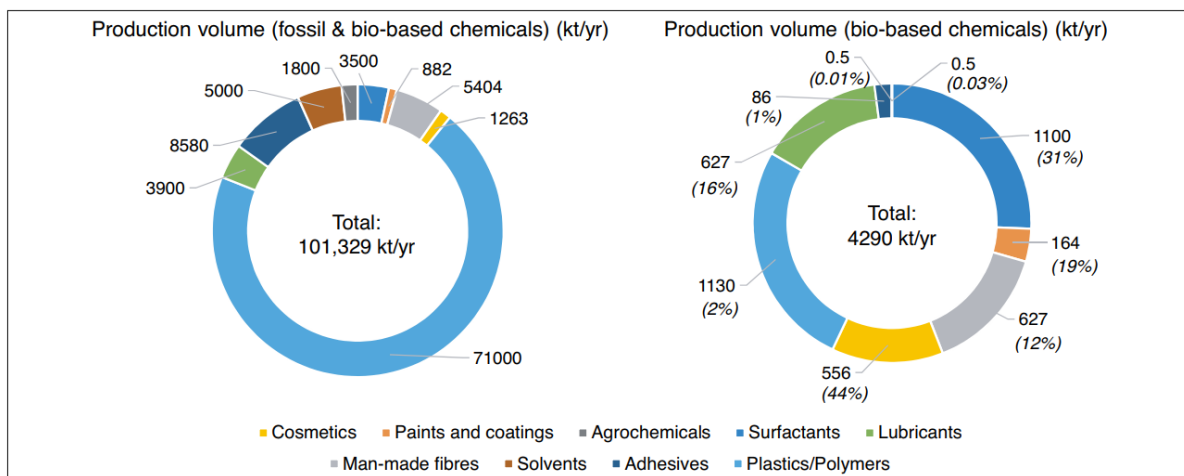
Uit Figuur 14 blijkt dat het aandeel biomassa in sommige chemische productgroepen al relatief hoog is (gebaseerd op cijfers over 2015, voor de EU). Dit geldt bijvoorbeeld voor cosmetische producten (44% biobased productie) en surfactanten (31% biobased). Een voorname reden hiervoor is dat deze producten goed uit biomassa gemaakt kunnen worden omdat de chemische structuur van de gebruikte biomassa goed aansluit bij de gewenste producten. Dit is bijvoorbeeld het geval voor surfactanten (zoals zeep), die deels bestaan uit lange hydrofobe ketens die van nature al voorkomen in plantaardige of dierlijke vetten. Deze productgroepen dragen echter beperkt bij aan de totale Europese chemische productie (zie linkergrafiek in Figuur 14), die voor ca. 70% uit kunststoffen bestaat.

Of deze aandelen ook voor Nederland gelden is niet bekend. Volgens (JRC, 2019) speelt Nederland vooral een rol op het gebied van de productie van productcategorieën

- bioplatformchemicaliën (melkzuur, geen exacte hoeveelheid, maar vergeleken met grootste producenten EU niet heel groot);
- biopolymeren voor plastics (PLA, ~5 kt/jaar; zetmeelpolymeren, ~40 kt/jaar);
- verf, coatings, inkt en kleurstoffen (alkydhars, geen exact getal gegeven); en
- smeermiddelen (isoalkanen, ~800 kt/jaar).

Volgens RVO (2018) zijn er 122 (voornamelijk MKB) bedrijven die zich bezighouden met biochemicaliën en in de chemische sector zitten en twaalf bedrijven in pharma. Naast de huidige productie in Nederland, zijn er meerdere regionale ontwikkelingen in Nederland op het gebied van op biomassa gebaseerde chemie. Twee regio's zijn er actief mee bezig: Biobased Delta<sup>10</sup> en Limburg, onder andere bij industriegebied Chemelot.

**Figuur 14 - Productievolume 2015 van verschillende takken binnen de chemische industrie van de EU, fossiel & biobased (linker grafiek). Productievolume 2015 van verschillende takken binnen de chemische industrie van de EU, alleen biobased (+aandeel biobased t.o.v. totaal) (rechter grafiek).**



Bron: (E4Tech, nova-Instituut, BTG, DECHEMA, 2019).

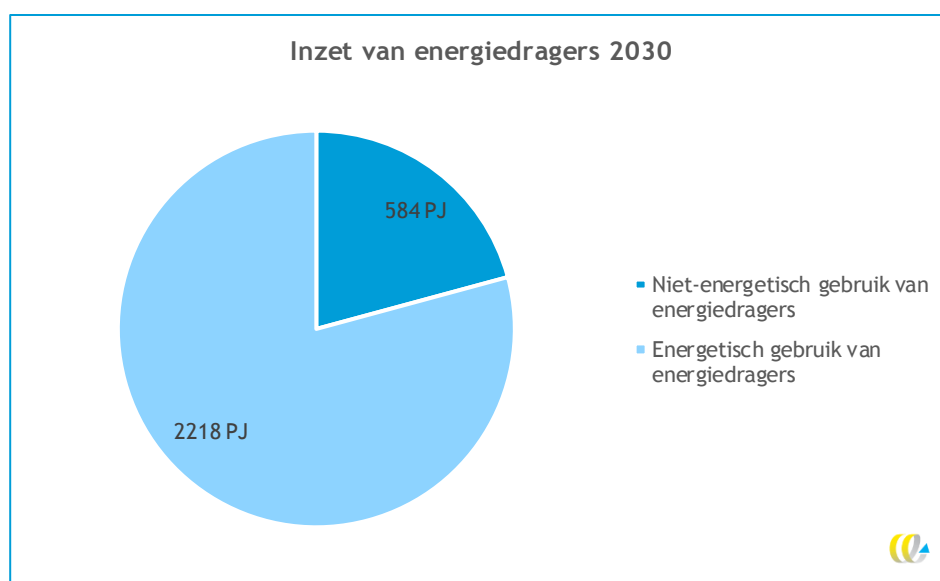
<sup>10</sup> De Stichting Biobased Delta is een samenwerking tussen de provincies Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland en bedrijven en kennisinstellingen in die provincies.

## Behoefte in 2030 en 2050

Volgens de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) van het PBL (2019b) is de totale behoefte aan energiedragers in Nederland 2802 PJ in 2030. In Figuur 15 is te zien dat van de totale energiedragers ongeveer 21% (584 PJ) wordt gebruikt voor niet-energetische toepassingen. Het is interessant om op te merken dat ten opzichte van 2018 (zie Figuur 13) de behoefte aan energiedragers voor energetische toepassingen afneemt (van 3.100 naar 2.802 PJ), terwijl die naar energiedragers voor niet-energetische toepassingen toeneemt (van 530 naar 584 PJ).

Voor 2050 zijn in de KEV geen cijfers gegeven.

Figuur 15 - Verdeling over inzet van energiedragers over energetische en niet-energetische toepassingen in 2030, op basis van KEV (PBL, 2019b)



We hebben verschillende studies geanalyseerd om een bandbreedte te bepalen voor de verwachte inzet van biomassa als grondstof voor de Nederlandse chemische industrie in 2030 en 2050. Bij de selectie van studies hebben we de volgende criteria gehanteerd:

- De studie geeft een indicatie van de behoefte aan biomassa als grondstof voor de Nederlandse chemie in 2030 en/of 2050.
- De behoefte aan biomassa wordt kwantitatief beschreven; er wordt niet alleen een visie opgesteld.
- De studie bestaat uit origineel eigen onderzoek of bouwt voort op eerder onderzoek, bijvoorbeeld door toevoeging van nieuwe inzichten of het samenvoegen van verschillende andere studies samenbrengen (literatuurreviews). Studies die alleen resultaten uit 1 eerdere studie laten zien, komen niet in aanmerking.
- De gegeven getallen moeten onderbouwd/transparant zijn.

Op basis van deze criteria zijn de volgende studies meegenomen:

- Visie op een duurzame bio-economie in 2030: de hoofdlijnen/Bijlage 1: Biomassavraag en -aanbod in Nederland in 2030 (Commissie Corbey, 2014).
- Biomassa 2030 - Strategische visie voor de inzet van biomassa op weg naar 2030 (Rijksoverheid, 2015a).

- Decisions on the Dutch industrial energy transition (VEMW, 2017) - gebaseerd op (McKinsey & Company, 2017).
- Chemistry for climate - roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050 (Ecofys : Berenschot, 2018) - in opdracht van VNCI.
- Peer review Nederlandse beschikbaarheid en behoefte aan voedsel, veevoer en biomassa voor non-food in 2030 en 2050 (WUR, 2019).

In Tabel 3 wordt een korte beschrijving van deze studies weergegeven. In de rest van deze paragraaf wordt naar de studies verwezen op basis van de (afgekorte) naam van de auteur of opdrachtgever die in de eerste kolom is weergegeven.

**Tabel 3 - Beschrijving meegenomen studies**

| Studie        | Jaar | Onderliggende bron(nen)                                                                                      | Beschrijving/doel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Corbey        | 2014 | (PGG, ECN, WUR, 2006); (PGG, 2007) + (Rijksoverheid, 2007); (PGG, UU, WUR, 2009); (ECN, CE Delft, TNO, 2014) | Doel van de hoofdrapportage: Aangeven visie van de Commissie Corbey op een duurzame bio-economie in 2030. Dit wordt gedaan door de rol van biomassa in een circulaire economie te beschrijven. Doel daarvan is om materialen zo nuttig, lang en hoogwaardig mogelijk in te zetten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Rijksoverheid | 2015 | (VNCI, 2012); JTI (joint technology initiatives) BIC                                                         | Visie van de Rijksoverheid op de rol van biomassa in een duurzame economie en “groene groei” van de Nederlandse economierichting 2030.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| VEMW          | 2017 | (McKinsey & Company, 2017)                                                                                   | Routekaart van de VEMW (gebaseerd op (McKinsey & Company, 2017)) over de bijdrage van de energie-intensieve industrie aan de Nederlandse energietransitie. Doel is om Nederland aantrekkelijk te houden voor deze industrie, en tegelijkertijd een leidende rol te spelen in het behalen van CO <sub>2</sub> -eq.-emissiereductiedoelen (80-95% reductie in 2050 ten opzichte van 1990).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| VNCI          | 2018 | (Ecofys : Berenschot, 2018)                                                                                  | Studie Ecofys/Berenschot in opdracht van de VNCI. Uitgangspunt: reductie van broeikasgasemissies in de Nederlandse chemische industrie van 80-95% in 2050 ten opzichte van 1990. Voor 2030 geldt een doel van 49% emissiereductie. Er worden twee scenario's opgesteld: 1) 2030 compliance at least costs, en 2) Direct action and high-value applications. Doel Scenario 1 - 2030 compliance at least costs: voor 2030 de meest kosteneffectieve maatregelen inzetten om de klimaatimpact met 49% te verlagen, en daarna naar 80-95% reductie in 2050. Doel Scenario 2 - Direct action and high-value application: Optimalisatie van het systeem om energie en grondstoffen zo hoogwaardig mogelijk te gebruiken. Er wordt rekening gehouden met potentiële restricties aan beschikbaarheid van bepaalde grondstoffen, zoals biomassa. |
| WUR           | 2019 | (Rijksoverheid, 2015a); (PBL, 2014b)                                                                         | Peer review van de studie 'Biomassa 2030' van de Rijksoverheid (zie hierboven). Op basis van nieuwe inzichten en met toevoeging van de vraag naar voedsel en veevoer levert deze peer review een update.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Tabel 4 geeft aan hoeveel biomassa er volgens de onderzochte studies in 2030 en 2050 ingezet zal worden als grondstof in de Nederlandse chemie. Uit deze tabel blijkt dat er in 2030 tussen de 0 en 200 PJ aan biomassabehoeftte vanuit de chemische industrie zal zijn voor inzet als grondstof. Voor 2050 ligt deze bandbreedte tussen (minimaal) 90-280 PJ. In de paragrafen die volgen wordt duiding gegeven aan deze getallen.

#### Tekstkader 1 - Gebruik van biobrandstoffen als grondstof voor de chemische industrie

Voor het presenteren van de gevonden behoefte aan biomassa als grondstof voor de chemische industrie, is het belangrijk op te merken dat het is niet altijd duidelijk of deze verwachte behoefte is uitgedrukt als **ruwe biomassa** (bijvoorbeeld hout) of als een al **verwerkte vorm van biomassa**. Dit betekent dat de gegeven resultaten niet helemaal één-op-één te vergelijken zijn; wanneer de behoefte is uitgedrukt als halffabricaat, is er meer ruwe biomassa nodig dan de gegeven waarde door verliezen in het productieproces.

De in de onderliggende studies genoemde halffabricaten zijn vaak biobrandstoffen, zoals biodiesel of bio-ethanol. Dit kan verwarrend zijn, omdat deze producten vaak eerder worden geassocieerd met transport- en mobiliteitstoepassingen dan met biochemie. Ze worden echter ook omgezet tot biochemicaliën, vandaar dat ze in sommige van de achterliggende studies zijn gebruikt om een inschatting te geven van de verwachte hoeveelheid gevraagde biomassa met grondstoftoepassing in de chemische industrie. Omdat we in deze studie vast willen houden aan de terminologie die is gebruikt in de achterliggende rapporten, noemen we hier 'biobrandstof' of 'bio-ethanol' wanneer dat ook in de bron is gedaan. Het gaat dan dus om het **niet-energetische** gebruik van biobrandstoffen.

**Tabel 4 - Bandbreedte verwacht biomassagebruik als grondstof in de chemische industrie, in 2030 en 2050.**  
Uitleg over terminologie biobrandstof/bio-ethanol in deze tabel is gegeven in het tekstkader boven de tabel.

| Studie        | Jaar | 2030 (PJ)                                                              |                                               | 2050 (PJ)                                                                        |                                                |
|---------------|------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Corbey        | 2014 | 0-200 PJ <sup>11</sup> biomassa                                        |                                               |                                                                                  |                                                |
| Rijksoverheid | 2015 | 58-116 PJ <sup>12</sup> biomassa                                       |                                               |                                                                                  |                                                |
| VEMW          | 2017 | 2040: 90 PJ (inzet biomassa in de vorm van biobrandstof als feedstock) |                                               | > 90 PJ (inzet biomassa in de vorm van biobrandstof als feedstock) <sup>13</sup> |                                                |
| VNCI          | 2018 | Scenario 2030 compliance at least costs.                               | 45 PJ biomassa / biobrandstof <sup>14</sup> . | Scenario 2030 compliance at least costs.                                         | 368 PJ biomassa / biobrandstof <sup>15</sup> . |
|               |      | Scenario Direct action and high-value                                  | 140 PJ biomassa / biobrandstof                | Scenario Direct action and high-                                                 | 280 PJ biomassa / biobrandstof.                |

<sup>11</sup> Deze bandbreedte (0-200 PJ) is door de auteurs van die studie bepaald na een literatuurstudie van de onderliggende bronnen, en is de verwachte behoefte aan biomassa vanuit de chemische- en metaalindustrie.

<sup>12</sup> In de studie wordt een hoeveelheid vermeden PJ fossiele grondstoffen gegeven o.b.v. de ambitiepercentages van (VNCI, 2012) en JTI (joint technology initiatives) BIC. Samen met het in de Visie genoemde rendement van 75% is dit omgerekend naar de door ons weergegeven bandbreedte.

<sup>13</sup> De studie geeft aan dat er 600 PJ biobrandstof nodig is om 100% van de ethyleenproductie te vervangen. Er wordt daarnaast verwacht dat 15% van de ethyleenproductie in 2040 o.b.v. biomassa kan zijn; dit komt overeen met 90 PJ biobrandstof. Het is niet duidelijk hoeveel biomassavraag de auteurs verwachten in 2050. Naast 15% ethyleenproductie op basis van biomassa wordt ook 50% van de 'specialty chemicals' met biomassa als grondstof geproduceerd, maar er wordt niet aangegeven hoeveel biomassa hiervoor nodig is, vandaar het '>'-teken.

<sup>14</sup> 71 PJ biomassa in totaal - 26 PJ biomassa in biomassaboilers = 45 PJ als grondstof. (Bron: Tabel Annex 1: Assumptions; Combination Pathway '2030 compliance at least costs').

<sup>15</sup> 435 PJ biomassa in totaal - 67 PJ biomassa in biomassaboilers = 368 PJ als grondstof. (Bron: Tabel Annex 1: Assumptions; Combination Pathway '2030 compliance at least costs').

| Studie | Jaar | 2030 (PJ)                        |  | 2050 (PJ)                         |  |
|--------|------|----------------------------------|--|-----------------------------------|--|
|        |      | applications.                    |  | value applications.               |  |
| WUR    | 2019 | 58-116 PJ biomassa <sup>16</sup> |  | 136-170 PJ biomassa <sup>17</sup> |  |

### Verklaring gevonden behoefte

De onderzochte studies geven een bandbreedte van biomassabehoefte voor niet-energetisch gebruik in de Nederlandse chemische industrie tussen de 0-200 PJ in 2030 en tussen (minimaal) 90-368 PJ in 2050. We beschouwen hier kort waar deze uiteenlopende bevindingen vandaan komen. Ter vergelijking: de huidige niet-energetische behoefte aan (fossiele) energiedragers door de chemische industrie is ca. 530 PJ (zie Figuur 13), voor 2030 is die behoefte ingeschat op 584 PJ (zie Figuur 15).

## 2030

- De ondergrens in (Commissie Corbey, 2014) van 0 PJ komt oorspronkelijk uit het rapport (PGG, UU, WUR, 2009). Als reden hiervoor wordt gegeven: dat ‘het gebruik van biobased chemie en innovatieve materialen nog in het begin van zijn ontwikkeling is en er ook nog weinig gericht beleid op gemaakt wordt.’ Daarnaast speelt beschikbaarheid een rol: ‘is er weinig biomassa voor Nederland beschikbaar, dan gaat er automatisch ook weinig biomassa naar chemie (en materiaal)’. We hanteren als ondergrens voor 2030 hier niet de bovengenoemde 0 PJ maar de 2,5 PJ op basis van huidige inzet van biomassa als feedstock in de chemische industrie, er is in onze ogen geen reden om aan te nemen dat die huidige inzet geheel wordt gestopt.
- Ook in het scenario ‘2030 compliance at least costs’ uit VCNI 2018 is de biomassa-behoefte aan grondstoffen relatief laag, 45 PJ. Er wordt aangegeven dat er geen drop-in biochemicalïen worden geproduceerd omdat dit niet nodig is om de 49% CO<sub>2</sub>-emissie-reductie te behalen. De behoefte aan biomassa bestaat in dit scenario slechts uit de productie van enkele specifieke biochemicalïen. Daarnaast speelt ook kosteneffectiviteit in dit scenario een rol, dat in de studie is gebaseerd op marktprijzen uit 2017.
- De bovengrens is in (Commissie Corbey, 2014) het hoogst: 200 PJ. De reden hiervoor kan zijn dat het niet-energetisch gebruik van fossiele grondstoffen in de metaalsector in sommige van de onderliggende studies is meegenomen terwijl dat buiten de scope van andere studies valt. Tegelijkertijd is in de Corbey-studie met de 200 PJ als bovengrens al een lagere bovengrens gegeven dan in de onderliggende studies lag; in PGG, UU, WUR (2009) wordt een bovengrens van 413 PJ gegeven. Die wordt door de Commissie Corbey als onrealistisch hoog afgedaan, omdat de bovengrens van de andere studie allemaal meer in de buurt van 200 PJ ligt en wordt daarom als redelijke, gemiddelde bovengrens gezien. In de studie wordt verder genoemd dat bepaalde economische omstandigheden tot deze bovengrens van 200 PJ kunnen leiden: ‘in een internationale gerichte economie is er hoge technologische ontwikkeling, ook in de biochemie’. Ook hier speelt – net als bij de ondergrens – de beschikbaarheid van biomassa een rol: ‘als er veel biomassa beschikbaar is, zal het een grotere rol (gaan) spelen in de chemische industrie’.

<sup>16</sup> Dit is door CE Delft overgenomen van de Biomassavisie 2030 van de Rijksoverheid (Rijksoverheid, 2015a) (zo hebben we alleen het deel met chemie overgenomen, en het materiaalgedeelte buiten beschouwing kunnen laten).

<sup>17</sup> In de onderliggende studie (PBL, 2014b) worden voor 2050 alleen gegevens over vraag voor plasticproductie gegeven. Deze cijfers zijn door de auteurs van (WUR, 2019) opgehoogd met de huidige biomassavraag voor materialen en chemie (3 Mton droge stof = 51 PJ). Aanname van ons is dat dit een goede benadering geeft voor de vraag vanuit de gehele chemische industrie (zonder de materiaalindustrie). Benodigde hoeveelheid biomassa is gegeven in Mton droge stofgehalte, wij hebben dit omgerekend met 17 PJ/Mton droge stof (bron omrekeningsfactor is dezelfde studie: (WUR, 2019) en wordt ook gebruikt in (Rijksoverheid, 2015a)).



- In het scenario ‘Direct action and high-value applications’ uit VNCI 2018 (Ecofys : Berenschot, 2018), wordt een biomassabehoefte van 140 PJ gegeven. Dit is door de auteurs van die studie overgenomen van een inschatting van de benodigde hoeveelheid biomassa om 25% van de chemicaliën met biomassa te produceren, door de Commissie Corbey uit 2012 (Commissie Corbey, 2012); dit wordt door de Commissie gezien als de maximale hoeveelheid beschikbare biomassa voor de chemische industrie in 2030 (dit is een andere studie dan de door ons meegenomen studie van de Commissie Corbey, die komt uit 2014). In dit scenario is deze hoeveelheid volledig ingezet als grondstof, niet als energiebron.

## 2050

- De > 90 PJ uit VEMW 2017 is de ondergrens in 2050, maar daar zit een onzekerheid in (vandaar het ‘>’-teken en de terminologie ‘minimaal’ 90 PJ in de gegeven bandbreedte). Volgens deze studie wordt, net als in 2030, 90 PJ biobrandstof ingezet voor de productie van ethyleen. Daarnaast zal in 2050 extra biomassa in de chemie worden ingezet als grondstof voor het vervangen van 50% van de productie van *specialty chemicals*. Er is hier echter geen benodigde hoeveelheid biomassa/biobrandstof voor gegeven, vandaar de onzekerheid.
- De studie van WUR voor het Ministerie van LNV uit 2019 geeft een ondergrens van 136 PJ biomassabehoefte aan grondstoftoepassingen in de chemische industrie in 2050. Deze is vergeleken met de andere studies relatief laag. De reden hiervoor is dat dit alleen gaat over plasticproductie, opgehoogd met de huidige behoefte aan biomassa voor materialen. Wellicht is de behoefte hoger wanneer er naar biochemicaliën voor de gehele chemische industrie wordt gekeken.
- In het scenario ‘2030 compliance at least costs’ uit VNCI 2018 (Ecofys : Berenschot, 2018) is de behoefte aan biomassa voor grondstoftoepassingen vanuit de chemische industrie relatief hoog: 368 PJ. In dit scenario is de kosteneffectiviteit van maatregelen leidend voor welke maatregelen worden gekozen, er is geen limiet gesteld aan beschikbaarheid van biomassa (of andere grondstoffen). Op basis van marktprijzen uit 2017 komt het gebruiken van biomassa als grondstof voor de chemische industrie er in dat opzicht op grote schaal uit.

### *Invulling biomassabehoefte*

Om de behoefte aan biomassa te kunnen koppelen aan de biomassabeschikbaarheid, is het relevant om te kijken hoe de verschillende studies denken dat deze behoefte zal worden ingevuld. Hierbij kan gedacht worden aan verschillende productieroutes waarvan de studies verwachten dat ze ingezet worden, of aan bepaalde soorten biomassa die gebruikt zullen worden - gaat het bijv. om suiker- of oliehoudende gewassen, en wat is de verhouding tussen reststromen en primaire productie?

In Tabel 5 wordt per onderzochte studie aangegeven hoe de verwachte biomassa-inzet wordt ingevuld (zie voor meer informatie over het gebruik van biobrandstoffen als grondstof voor het produceren van chemicaliën de Box boven Tabel 4). Na de tabel wordt een vergelijking gemaakt met de verwachtingen die in andere literatuurbronnen zijn uitgesproken.

Tabel 5 - Invulling van de biomassabehoeft in de beschouwde studies uit Tabel 4

| Studie                                                     | Invulling behoefte 2030                                                                                                                                                                                                                                | Invulling behoefte 2050                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Corbey                                                     | Geen invulling gegeven.                                                                                                                                                                                                                                | Geen invulling gegeven.                                                                                                                                                        |
| Rijksoverheid                                              | Geen invulling gegeven.                                                                                                                                                                                                                                | 2050 is niet onderzocht in die studie.                                                                                                                                         |
| VEMW                                                       | 90 PJ = 15% ethyleen uit biobrandstof (er wordt in (McKinsey & Company, 2017) gesproken over biodiesel). Geen informatie over het soort biomassa.                                                                                                      | 90 PJ = 15% ethyleen uit biobrandstof<br>Onbekende hoeveelheid PJ biomassa = 50% van specialty chemicals (niet aangegeven met welke soort biomassa).                           |
| VNCI Scenario 1: 2030 compliance at least costs            | In dit scenario worden specifieke biochemicaliën/-polymeren in volle potentie geproduceerd. Geen drop-in biochemicaliën in 2030. Geen informatie over het soort biomassa.                                                                              | Idem<br>En verder worden biodiesel en bioplastics geproduceerd (deel van ethyleen/propeen en BTX-productie (benzeen, toluen, xyleen). Geen informatie over het soort biomassa. |
| VNCI Scenario 2: Direct action and high-value applications | In dit scenario worden specifieke biochemicaliën/-polymeren in volle potentie geproduceerd. Wat er overblijft aan biomassa wordt gebruikt voor de productie van BTX (benzeen, toluen, xyleen) en bioplastics. Geen informatie over het soort biomassa. | Idem als 2030. Nu is er meer ruimte voor productie van plastics en BTX, omdat er meer biomassa beschikbaar is. Geen informatie over het soort biomassa.                        |
| WUR                                                        | Zie 'Rijksoverheid'.                                                                                                                                                                                                                                   | Geen specifieke invulling gegeven bij achterliggende bron.                                                                                                                     |

Uit Tabel 5 blijkt dat er in de studies geen invulling is gegeven aan het type biomassa die naar verwachting zal worden gebruikt. Dit hangt samen met de in het hoofdstuk beschreven factoren die de biomassabehoeft in de chemie beïnvloeden.

In de VNCI-route kaart (Ecofys : Berenschot, 2018) worden de verschillende manieren van invullen van de biochemie wel beschreven. Er wordt in de studie aangegeven dat biochemicaliën uit verschillende soorten biomassa kunnen worden geproduceerd, afhankelijk van de gekozen route. In de studie is voor het gemak uitgegaan van ethyleen uit bio-nafta (o.b.v. HVO of pyrolyseolie), BTX op basis van glycerine, plantaardige oliën en gebruikte bakolie, maar dit wordt niet als vaststaande keuze beschouwd. Daarnaast wordt aangegeven dat er geen verschil is gemaakt tussen de verschillende vormen van biomassa, zoals bijvoorbeeld biodiesel versus hout, terwijl voor 1 PJ biodiesel meer dan 1 PJ biomassa nodig is.

In Biomassa 2030 (Rijksoverheid, 2015a) wordt genoemd dat in de chemische industrie suikers, zetmeel en oliën worden toegepast als grondstof en dat er ontwikkeling plaatsvindt op het gebied van lignocellulosehoudende grondstoffen zoals agroreststromen en hout. Dit beeld wordt bevestigd wanneer wordt gekeken naar de huidige inzet van biomassa: zoals genoemd in Paragraaf 2.2.3 geeft (CE Delft, 2017b) aan dat er nu vooral plantaardige oliën en zetmeel- en suikerhoudende biomassa wordt ingezet.

In de studie 'Biomassa voor de Circulaire Economie' uit 2019 is een lijst van typen biomassa gelinkt met toepassingsgebieden. Voor de toepassing 'chemie' zijn volgens de schrijvers de volgende typen biomassa interessant:

- zeer geschikt: plantaardige oliën, suikerbieten en aardappels;
- geschikt: granen, fruit en reststromen, wieren, hout (granen en hout zijn voor toepassing in kunststoffen, die los is genoemd, 'zeer geschikt');
- redelijk geschikt: stro, groenten en reststromen, gras, mest, oud papier, slib uit RWZI.

Het is overigens niet ondenkbaar dat Nederland al verwerkte vormen van biomassa importeert om hier tot eindproducten te maken: als bijvoorbeeld bio-ethanol nodig is, kan dat worden geproduceerd uit Nederlandse suikerbieten, maar ook uit Braziliaans suikerriet. In dat laatste geval is het logischer om bio-ethanol te importeren dan suikerriet, zoals ook nu het geval is voor biobrandstoffen. Het maakt het wel lastiger om in dat geval de link met biomassabeschikbaarheid te leggen.

#### 2.2.4 Deelconclusie feedstock chemische industrie

De analyse uit dit hoofdstuk leidt tot een aantal deelconclusies wat betreft de (toekomstige) niet-energetische inzet van biomassa in de Nederlandse chemie.

Afhankelijk van de geraadpleegde studie heeft biomassa momenteel een aandeel van ongeveer ca. 0,5% (2,5 PJ) van de toegepaste niet-energetische organische grondstoffen in de Nederlandse chemische industrie. Dit zijn vooral biobased kunststoffen en producten voor de verfindustrie. Er zijn in verschillende regio's ontwikkelingen op het gebied van de bio-economie, vooral in Limburg en de Biobased Delta gaat het daarin om biochemie. Momenteel worden vooral plantaardige oliën en zetmeel- en suikerhoudende biomassoorten ingezet.

De toekomstige inzet van biomassa als chemische feedstock is afhankelijk van de eindproducten en de daarvoor gebruikte productieroutes. De chemie heeft een aantal kenmerken die het lastig maken dit in te vullen:

- er zijn veel eindproducten denkbaar, die elkaar soms wel en soms ook niet kunnen vervangen (bijv. biobased PEF en biobased PET);
- er zijn relatief veel productieroutes voor die eindproducten denkbaar (bijv. bio-ethyleen uit bionafta of bio-ethyleen uit bio-ethanol);
- veel biobased productieroutes zijn nog niet uitontwikkeld en/of grootschalig toegepast;
- naast biomassa kunnen ook recycling en CCU gebruikt worden als (niet-fossiele) koolstofbronnen;
- chemische producten worden relatief veel internationaal verhandeld; de productie in Nederland wordt daarmee beïnvloed door behoefte uit andere landen, en vice versa kan productie ook uit Nederland verdwijnen als productie elders aantrekkelijker is;
- er is (nog) geen (Europese) beleidslijn voor biobased eindproducten zoals kunststoffen uitgezet.

Dat deze kenmerken het gecompliceerd maken om gedetailleerde voorspellingen te doen over de niet-energetische inzet van biomassa in de Nederlandse chemie in 2030 en 2050 blijkt ook uit de hier besproken literatuur. De bandbreedte voor de biomassabehoefte loopt uiteen tussen de 2,5-200 PJ voor 2030 en tussen (minimaal) 90-368 PJ voor 2050. Dit is weergegeven in Tabel 6. De brede bandbreedte kan verklaard worden door de uiteenlopende aannames, uitgangspunten en beleidskaders van de studies, gecombineerd met de genoemde complexiteit van de sector (zie Paragraaf 2.2.2).

Tabel 6 - Overzichtstabel biomassabehoefte als feedstock in de chemische industrie in Nederland (in PJ/jaar).

| Zichtjaar | Biomassabehoefte in chemische industrie (PJ/jaar) |
|-----------|---------------------------------------------------|
| Huidig    | 2,5                                               |
| 2030      | 2,5-200                                           |
| 2050      | 90-368                                            |

Vanwege de vele eindproducten in de sector en de uiteenlopende functionaliteiten daarvan, is het lastig om aan te geven welke soorten biomassa er gebruikt gaan worden. Ook dit blijkt uit de analyse van de verschillende studies: er wordt in de meeste gevallen geen invulling aan de behoefte gegeven, of er is uitgegaan van 1 of 2 biomassasoorten als voorbeeld. Sommige studies geven daarnaast aan uit te gaan van biobrandstof als feedstock, wat gezien de omzettingsverliezen niet hetzelfde is als de behoefte aan ruwe biomassa. Dat Nederland een al deels verwerkte vorm van biomassa importeert om hier verder om te zetten tot eindproducten, is niet ondenkbaar: het vershippen van halffabricaten is vanuit transportkosten gezien logischer dan het vershippen van ruwe biomassa.

## **2.3 Mobiliteit en transport**

### **2.3.1 Introductie**

Momenteel wordt er nog vooral op fossiele brandstof gebaseerde diesel en benzine gereden, gevaren en gevlogen, maar ook de sector Mobiliteit en Transport staat voor de uitdaging om de transitie van fossiele brandstoffen naar hernieuwbare brandstoffen te maken. Biomassa wordt gezien als één van de opties om deze transitie te bewerkstelligen. De beschikbare alternatieven per modaliteit verschillen hierbij: de modaliteiten die zware goederen vervoeren en lange afstanden overbruggen vragen om een brandstof met een hoge energiedichtheid. Biobrandstof is daarvoor waarschijnlijk een van de weinige opties. Ook voor het lichte segment geldt dat er waarschijnlijk nog lange tijd behoefte zal zijn aan hernieuwbare brandstoffen aangezien verbrandingsmotoren nog een lange tijd de vloot zullen domineren dan wel in de vloot aanwezig zullen zijn.

### **Behoefte aan biomassa in Mobiliteit en Transport**

In deze sectie schatten we de mogelijke behoefte aan biomassa in Mobiliteit en Transport in voor 2030 en 2050. Deze inschatting is inclusief het finaal eindverbruik van het binnenlands transport zoals de gebunkerde volumes door de lucht- en zeevaart.

Volgens de KEV (PBL, 2019b) neemt het finaal binnenlands energieverbruik van fossiele brandstoffen in de sector (exclusief bunkerbrandstoffen) af van 472 PJ in 2020 naar 448 PJ in 2030. De KEV gaat voor 2020 naast de 472 PJ ook nog uit van 37 PJ aan biobrandstoffen en 8,1 PJ elektriciteit. Het finaal binnenlands energieverbruik bedraagt daarmee in 2020 517,1 PJ. Op basis van de KEV zal ook in 2030 meer dan de helft van deze behoefte nog bestaan uit behoefte aan diesel, al wordt het verschil tussen diesel en benzine kleiner. Voor 2030 wordt daarnaast nog 35 PJ aan biobrandstoffen en 14 PJ aan elektriciteit voorzien.

Waar de binnenlandse mobiliteit een lichte daling laat zien richting 2030, is dit niet het geval voor de afzet van bunkerbrandstoffen: de afzet stijgt naar verwachting met 8% van 638 PJ in 2020 naar 687 PJ in 2030 (PBL, 2019b). Belangrijke notie hierbij is dat de internationale scheepvaart circa twee keer zo groot is als de luchtvaart en de groei-verwachting per sector tegelijkertijd verschilt: de internationale luchtvaart wordt in de KEV geraamd op 215 PJ in 2030 ten opzichte van 163 PJ in 2018 (CBS). Dit komt neer op een groei van 32% ten opzichte van 2018. De internationale scheepvaart, welke nu circa twee keer zo groot is, blijft waarschijnlijk stabiel of zal licht dalen: 472 PJ (in 2030) ten opzichte van 498 PJ in 2019.

## Leeswijzer

Deze sectie start met een beschrijving van het overkoepelend beleid (Paragraaf 2.3.2). Vervolgens wordt ingegaan op de ontwikkeling van de behoefte per soort brandstof en de ontwikkeling van de behoefte biobrandstof daarbinnen, en tot slot de daaruit voortvloeiende behoefte aan biomassa. Aanvullende detailinformatie is opgenomen in Bijlage A.

### 2.3.2 Overkoepelend beleid

De verschillende toepassingen van biomassa in transport worden gedreven door het overkoepelend beleid gericht op een toename van hernieuwbare energie in de sector als geheel. De transitie naar klimaatneutraal transport wordt door een aantal factoren bepaald (zie Tabel 7). Voor elk van deze factoren is een aparte analyse te maken, maar we beperken ons in deze studie tot de CO<sub>2</sub>-intensiteit van de brandstof. Dit, omdat de inzet van biomassa binnen de transportsector gericht is op het verlagen van de CO<sub>2</sub>-intensiteit van de brandstoffenmix. Wel is het van belang dat op alle factoren beleid gevoerd wordt om de doelstellingen van het Parijs Akkoord te realiseren, en dat tegenvallende voortgang op het ene vlak automatisch zorgt voor een hogere opgave op de andere vlakken.

Tabel 7 - Factoren van invloed op CO<sub>2</sub>-uitstoot van transport

| Factor                                                                            | Eenheid                               | Beleids optie(s) voor verlaging CO <sub>2</sub> -uitstoot                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Totale behoefte aan transport                                                     | Tonkilometers en passagierskilometers | Minder aantrekkelijk maken van vliegen, nabijheid van voorzieningen, 'consuminderen'        |
| Transportvolume                                                                   | Voertuigkilometers                    | Logistieke optimalisatie, hogere bezetting, modal shift van auto naar OV, fiets of wandelen |
| Voertuigprestatie                                                                 | Liter/km, kWh/km                      | CO <sub>2</sub> -normering voertuigen, Zero Emission-beleid, Het Nieuwe Rijden              |
| CO <sub>2</sub> -intensiteit van de brandstof (over de keten/Well-to-wheel (WtW)) | gCO <sub>2</sub> /MJ                  | Hernieuwbare brandstoffen, emissiereductie bij fossiele brandstoffen                        |

Bij de sturing op hernieuwbare brandstoffen wordt de keuze voor de vorm van hernieuwbare energie veelal aan de markt overgelaten om zo technologieneutraal te blijven. Wel gaan beleidsdiscussies steeds vaker over modaliteitspecifieke inzet: enerzijds vanwege de discussies rond de duurzaamheid en beschikbaarheid van biomassa, anderzijds vanwege het feit dat de marktripheid van alternatieven voor fossiel sterk verschillen per modaliteit. Een aantal partijen vindt dat de duurzaamheid voldoende is afgedekt in de ILUC-Richtlijn en RED II-Richtlijn, maar niet elke partij vindt dit afdoende.<sup>18</sup> Het overkoepelend beleid geldt met name voor wegtransport en binnenlands transport: lucht- en zeevaart vallen hier deels ook onder, maar kennen ook elk aparte internationale gremia. Hierbij is het onderscheid naar Nederlands territorium en bunkering van belang.

<sup>18</sup> In dit kader wordt gerefereerd aan de duurzaamheid en beschikbaarheid van biomassa, maar soortgelijke discussies gelden voor andere vormen van hernieuwbare energie in transport, zoals de beschikbaarheid van grondstoffen voor elektrische mobiliteit en de beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit.

## Parijs en de route naar nulemissie transport

De opgave, die er ligt vanuit het Parijs Akkoord, vraagt om een zo snel mogelijke transitie naar klimaatneutraal transport. Niet alleen vanuit klimaatbeleid, maar ook vanuit luchtkwaliteitsbeleid is deze transitie wenselijk om de lokale emissies van NO<sub>x</sub> en fijnstof terug te dringen. Voor veel modaliteiten betekent dit een overstap van de conventionele verbrandingsmotor naar elektrische aandrijving en waterstof. Veel doelstellingen op nationaal niveau, zoals de afspraken in het [Klimaatakkoord](#), Green Deals en Bestuursakkoorden zijn dan ook geformuleerd als momenten waarop de vloot (of in ieder geval alle nieuwverkopen) nulemissie zouden moeten zijn. Eén van de belangrijkste voorbeelden is het streven om vanaf 2030 alleen nog maar nulemissie personenauto's in de nieuwverkoop te hebben. De transitie naar nulemissie doorloopt hierbij een aantal fases. Als eerste duurt het een aantal jaren voor het aandeel nulemissie in de nieuwverkoop de 100% bereikt. Vervolgens vergt het de nodige tijd voordat deze nieuwverkopen de gehele vloot hebben overgenomen. Om de eerste fase te doorlopen moet een nulemissievoertuig de meest aantrekkelijke optie zijn op het natuurlijke vervangingsmoment van een voertuig. Dit wordt bepaald door de betaalbaarheid in termen van total cost of ownership (TCO), beschikbaarheid van modellen (voldoende keuze) en betrouwbaarheid (bijv. met betrekking tot de actieradius, het aantal laadpunten en de levensduur van de batterij).

Het is een punt van discussie of verbrandingsmotoren in combinatie met biobrandstoffen ook onder nulemissievoertuigen zouden kunnen vallen. Dit is wellicht mogelijk als de luchtvervuilende emissies van verbrandingsmotoren tot een absoluut minimum beperkt kunnen worden of deze in staat zijn de lucht dermate te filteren dat er geen sprake is van schadelijke emissies. In deze analyse hanteren we de definitie, zoals deze momenteel vaak door beleidsmakers wordt gebruikt, oftewel voertuigen met een elektrische aandrijving en/of waterstofvoertuigen. Wanneer verbrandingsmotoren ook in aanmerking zouden komen, betekent dit alsnog dat er een bepaalde tijd benodigd is voor de ingroei in de vloot. Grote verschillen zijn dat de vraag voor biomassa dan sterk kan toenemen en de totale vraag naar energie wellicht hoger uitvalt (afhankelijk van de technologische vooruitgang in de efficiëntie van verbrandingsmotoren).

## Verduurzaming van de vloot op fossiele brandstoffen

Wanneer een substantieel deel van de nieuwverkopen nulemissie is, duurt het nog een aantal jaar voordat de volledige vloot vervangen is. Zo verwacht het ministerie van I&W dat er nog tot ten minste 2040 personenauto's op verbrandingsmotoren zullen rondrijden, wat ook in lijn der verwachting ligt bij een gemiddelde levensduur van elf jaar voor personenauto's (CBS, 2019b). Biomassa biedt technisch gezien een alternatief voor nulemissie vervoer op elektriciteit en waterstof. Dit betekent ook dat de ingeschatte behoefte aan biomassa hoger uit kan vallen wanneer ontwikkelingen rond de transitie naar nulemissie tegenvallen.

## Transitie naar klimaatneutrale brandstoffen

Waar bij de transitie naar nulemissie veel nadruk ligt op vlootvernieuwing, wordt de huidige en toekomstige inzet van biomassa in transport vooral bepaald door beleid gericht op de transitie van fossiele brandstoffen met een hoge CO<sub>2</sub>-intensiteit naar hernieuwbare brandstoffen met een lage CO<sub>2</sub>-intensiteit of volledig klimaatneutraal over de gehele keten (well-to-wheel). Al hanteert niet elke doelstelling hierbij dezelfde definitie. Samenvattend komt dit neer op de volgende doelstellingen, zoals weergegeven in Tabel 8. In het vervolg van de tekst wordt dieper op deze doelstellingen ingegaan.

Tabel 8 - Samenvatting geldende doelstellingen

| Europese doelen                                     |      |                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RED I                                               | 2020 | Tenminste 10% aandeel hernieuwbare energie in het finaal eindverbruik van transport (incl. dubbeltellingen) |
| RED II                                              | 2030 | Tenminste 14% aandeel hernieuwbare energie in het finaal eindverbruik van transport (incl. dubbeltellingen) |
| FQD                                                 | 2020 | Min. 6% reductie van de broeikasgasintensiteit van brandstoffen t.o.v. 2010                                 |
| Nederlandse doelen                                  |      |                                                                                                             |
| Energieakkoord                                      | 2020 | 36 PJ fysieke inzet biobrandstoffen                                                                         |
| Jaarverplichting<br>Hernieuwbare Energie<br>Vervoer | 2019 | 12,5% incl. dubbeltellingen                                                                                 |
|                                                     | 2020 | 16,4% incl. dubbeltellingen                                                                                 |
| Klimaatakkoord                                      | 2030 | Max. 27 PJ hernieuwbare inzet t.o.v. de NEV 2017 (fysieke inzet)                                            |
| Inschatting NEV 2017                                | 2030 | 33 PJ                                                                                                       |
| Inschatting KEV 2019                                | 2030 | 34 PJ                                                                                                       |

## Richtlijn Hernieuwbare Energie en Richtlijn Brandstofkwaliteit (RED en FQD)

Op Europees niveau zijn de Richtlijn Hernieuwbare Energie uit 2009 (2009/28/EC)(RED) en de Richtlijn Brandstofkwaliteit (2009/30/EC)(FQD) hier de afgelopen jaren de grootste drivers voor geweest. In 2015 zijn beide richtlijnen aangepast door middel van de ILUC-Richtlijn (2015/1513/EC) om indirect landgebruik te adresseren.

De RED kent naast een overall doelstelling voor het aandeel hernieuwbare energie in het Europese finaal energieverbruik ook een aparte transportdoelstelling van 10% in 2020.

De richtlijn kent ook een aantal multipliers om bepaalde type hernieuwbare brandstoffen extra te stimuleren. Deze multiplier moeten in de rapportage richting de Europese Commissie altijd worden toegepast, maar op nationaal niveau heeft elke lidstaat daar zijn eigen keuze in gemaakt. Nederland heeft er voor gekozen de dubbeltelling ook op nationaal niveau toe te passen. De FQD stuurt hiernaast op een reductie van de gemiddelde CO<sub>2</sub>-intensiteit van brandstoffen met 6% in 2020 (ten opzichte van 2010). Hoewel de scope breder is dan alleen biobrandstoffen, worden beide doelstellingen met name gerealiseerd door de inzet van biobrandstoffen. Dit is een keuze van de markt.

## Jaarverplichting Hernieuwbare Energie in Vervoer

Tot nu toe is in Nederland de toepassing van biobrandstoffen in het wegtransport met name het gevolg van de Jaarverplichting Hernieuwbare Energie in Vervoer. Deze verplicht brandstofleveranciers die brandstoffen op de Nederlandse markt afzetten om een aandeel hiervan uit hernieuwbare energie te laten bestaan. Op deze manier kan aan de Europese bindende doelstelling van 10% hernieuwbare energie in transport (uit de RED) in 2020 worden voldaan. Deze jaarverplichting loopt op tot 16,4% in 2020. De reden dat deze veel hoger ligt dan de 10% is dat de 16,4% deels rekening houdt met de op nationaal geïmplementeerde én succesvol gebleken dubbeltelling, maar ook met de doelstelling van 36 PJ, zoals vastgelegd in het Energieakkoord. Deze doelstelling van de 36 PJ bestaat onder andere om de overall doelstelling van de RED van 14% hernieuwbare energie in het finaal energieverbruik te kunnen realiseren.

Om de transitie naar geavanceerde biobrandstoffen te stimuleren zijn er naast deze overkoepelende verplichting ook minimum aandelen voor geavanceerde biobrandstoffen opgenomen in dit beleid, en maximum aandelen voor conventionele brandstoffen, zie Tabel 9.

Tabel 9 - Opbouw jaarverplichting (percentages op basis van energie-inhoud)

| Jaartal                           | 2018 | 2019  | 2020  |
|-----------------------------------|------|-------|-------|
| Totaal                            | 8,5% | 12,5% | 16,4% |
| Minimum geavanceerd <sup>19</sup> | 0,6% | 0,8%  | 1,0%  |
| Maximum conventioneel             | 3,0% | 4,0%  | 5,0%  |

Bron: (NEa, 2019).

## RED II

In de periode 2020-2030 zal naast de FQD-doelstelling (reductie CO<sub>2</sub>-intensiteit van brandstoffen) de RED ook worden voortgezet. Eind 2018 is de definitieve tekst van de herziening van de RED gepubliceerd, vaak aangeduid als RED II (Europese Commissie, 2018/2001/EU2018). De richtlijn kent een doelstelling voor hernieuwbare energie in transport van ten minste 14% in 2030, waaronder toepassing van biobrandstoffen. Om mee te mogen tellen voor de doelstelling moeten vloeibare en gasvormige biobrandstoffen net als bij de RED I aan een set duurzaamheidscriteria voldoen. Eisen hebben onder andere betrekking op de minimale CO<sub>2</sub>-reductie over de keten en op het land waarop de biobrandstoffen worden verbouwd.

Gedurende de looptijd van de RED I is er veel discussie geweest over de negatieve gevolgen van indirect veranderend landgebruik (indirect land use change, ILUC) (zie (Gemeynt en MSG Sustainable Strategies, 2020) voor uitleg). Om dit te ondervangen is er in 2015 een amendement op de RED en FQD geweest om het onderwerp ILUC te adresseren (2015/1513/EC) (Europese Commissie, 2015). Bij dit amendement is een systeem van caps en subtargets geïntroduceerd om de groei van landgebonden biobrandstoffen te beperken en te sturen op de inzet en groei van geavanceerde biobrandstoffen uit afval en residuen. Niet alle landgebonden biobrandstoffen zouden beperkt moeten worden: er wordt ook gewerkt aan het opzetten van certificering van zogenaamde low-ILUC biobrandstoffen, zodat deze categorie ook kan bijdragen aan de realisatie van de doelstellingen.

Specifiek komt dit neer op het volgende voor de REDII:

- In de RED I zijn duurzaamheidscriteria opgenomen voor biofuels en bioliquids. Ook de RED II kent duurzaamheidscriteria. Landen mogen niet zelf strengere eisen stellen. Convenanten afsluiten mag wel. (Europese Commissie, 2020).
- Een plafond (cap) op biobrandstoffen uit voedsel- en voedergewassen, die per lidstaat kan verschillen naar gelang het gebruik van deze biobrandstoffen in 2020, maar met een maximum van 7%.<sup>20</sup>
- DE RED II stuurt aan op het terugdringen van het gebruik van biobrandstoffen gemaakt van grondstoffen met een hoog ILUC risico tot nul in 2030. Alleen als die biobrandstoffen low-ILUC gecertificeerd zijn mogen ze alsnog ingezet (tot het maximum van de cap). In een delegated act is onlangs (door EC-JRC) vastgesteld dat alleen palmolie kwalificeert als een grondstof met hoog ILUC risico. Momenteel vindt nagenoeg geen

<sup>19</sup> Deze biobrandstoffen komen in aanmerking voor dubbeltelling. De percentages in deze tabel nemen deze dubbeltelling al mee.

<sup>20</sup> De werkelijke limiet vanaf 2021 wordt bepaald aan de hand van het percentage in 2020 in een lidstaat, met een opslag van 1%pt.



inzet van palmolie of sojaolie gebaseerde biobrandstofinzet in NL plaats.

In het Klimaatakkoord is opgenomen dat de low-iluc gecertificeerde biobrandstoffen niet mogen worden ingezet zolang er nog geen integraal duurzaamheidskader is.

- Lidstaten mogen een dubbeltelling toepassen bij biobrandstoffen uit grondstoffen van Annex IX (zie Tabel 10).
- Een cap op biobrandstoffen gemaakt uit Annex IX B grondstoffen van 1,7% zonder dubbeltelling. Het gaat hierbij gebruikt frituurvet (used cooking oil) en dierlijke vetten.
- Een subtarget voor geavanceerde biobrandstoffen uit Annex IX A grondstoffen (tenminste 3,5% inclusief dubbeltelling).

Naast biobrandstoffen mogen ook andere vormen van hernieuwbare energie en brandstoffen uit hergebruikt koolstof meetellen:

- In het geval van hernieuwbare elektriciteit ingezet in elektrische voertuigen gelden er multipliers voor de inzet in wegtransport van 4 keer, en 1,5 keer voor inzet op het spoor.
- Daarnaast kent de RED II ook een categorie voor hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong, Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBOs), zoals Power-to-X brandstoffen en waterstof.
- Naast RFNBOs kunnen lidstaten er voor kiezen om brandstoffen uit hergebruikte koolstof (recycled carbon fuels (RCF)) mee te laten tellen. Dit is echter niet verplicht. Het gaat dan bijvoorbeeld om brandstoffen uit niet-recycleerbaar plastic door middel van pyrolyse. Het gaat hierbij dus niet om hernieuwbare brandstoffen.

Als laatste kent de RED II ook een multiplier voor de inzet van hernieuwbare energie in de lucht- en zeevaart: deze hernieuwbare energie moet 1,2x meetellen voor de transportdoelstelling om de inzet in deze sectoren te bevorderen.

Het implementatieproces om de RED II om te zetten in Nederlandse wet- en regelgeving is gestart en moet voor 1 juli 2021 afgerond zijn. Het integraal duurzaamheidskader, zoals in het Klimaatakkoord is aangekondigd, is in principe leidend bij de implementatiekeuzes, tenzij dit door bepalingen uit de RED II of vanwege borging, uitvoerbaarheid of handhaving niet mogelijk is ([Klimaatakkoord](#)).

Tabel 10 - Richtlijn 2018/2001 Annex IX (EU, 2018)

**Deel A. Grondstoffen voor de productie van biogas voor vervoer en geavanceerde biobrandstoffen, waarvoor ervan mag worden uitgegaan dat hun bijdrage tot het behalen van de in Artikel 25, lid 1, eerste en vierde alinea, bedoelde minimumaandelen, het dubbele van hun energie-inhoud is:**

- a Algen wanneer zij worden gekweekt op het land in vijvers of fotobioreactoren.
- b De biomassafractie van gemengd stedelijk afval, maar niet gescheiden ingezameld huishoudelijk afval waarvoor de recyclingstreefcijfers gelden overeenkomstig Artikel 11, lid 2, onder a), van Richtlijn 2008/98/EG.
- c Bioafval als gedefinieerd in Artikel 3, punt 4, van Richtlijn 2008/98/EG van particuliere huishoudens, waarop gescheiden inzameling van toepassing is als gedefinieerd in Artikel 3, punt 11, van die richtlijn.
- d De biomassafractie van industrieel afval ongeschikt voor gebruik in de voeder- of voedselketen, met inbegrip van materiaal van de groot- en detailhandel, de agrovoedingsmiddelenindustrie en de visserij- en aquacultuursector, met uitzondering van de in Deel B van deze bijlage vermelde grondstoffen.
- e Stro.
- f Dierlijke mest en zuiveringsslib.
- g Effluënten van palmoliefabrieken en palmtrossen.
- h Talloliepek.
- i Ruwe glycerine.
- j Bagasse.
- k Draf van druiven en droesem.

- l Notendoppen.
- m Vliezen.
- n Kolfspillen waaruit de maïskiemen zijn verwijderd.
- o Biomassafractie van afvalstoffen en residuen uit de bosbouw en de houtsector, zoals schors, takken, precommercieel dunningshout, bladeren, naalden, boomkruinen, zaagsel, houtkrullen/spaanders, zwart residuloog, bruin residuloog, vezelslib, lignine en tallolie.
- p Ander non-food cellulosemateriaal.
- q Ander lignocellulosisch materiaal met uitzondering van voor verzaging geschikte stammen of blokken en fineer.

**Deel B. Grondstoffen voor de productie van biobrandstoffen en biogas voor vervoer waarvan de bijdrage tot het behalen van het in Artikel 25, lid 1, eerste alinea, vastgestelde minimumaandeel wordt beperkt en waarvoor ervan mag worden uitgegaan dat deze het dubbele van hun energie-inhoud is:**

Artikel I. Gebruikte bak- en braadolie.

- a Dierlijke vetten, ingedeeld als Categorieën 1 en 2 overeenkomstig Verordening (EG) nr. 1069/2009.

## Klimaatakkoord

Het Klimaatakkoord richt zich zowel op de transitie naar nulemissievoertuigen als op de inzet van hernieuwbare brandstoffen, zoals blijkt uit het onderstaande overzicht van hoofdpunten. Voor Elektrisch Vervoer bevat het Klimaatakkoord afspraken tot 2025: daarna is het beleid onzeker. Het beleid gericht op nulemissievoertuigen kent o.a. een groot aantal Green Deals, Convenanten en Bestuursakkoorden waarin streefcijfers voor nulemissie-ingroei en afspraken rond verduurzaming met de sector zijn vastgelegd. Dit is onder andere het geval voor bussen, contractvervoer en de reinigingsbranche, maar ook op het vlak van zakelijke mobiliteit (AndersReizen). Ook wordt sterk ingezet op milieuzones in steden (middelgrote zero-emissie zones in 30-40 steden in 2025) en stadslogistiek.

**Tabel 11 - Belangrijkste onderwerpen en subonderdelen op het gebied van mobiliteit in het [Klimaatakkoord](#) (2019)**

| Onderwerp                                                                 | Subonderdeel                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Duurzame energiedragers                                                   | Hernieuwbare energiedragers                                                                   |
|                                                                           | Stimuleren waterstof                                                                          |
|                                                                           | Duurzaam inkopen overheden                                                                    |
| Stimulering elektrisch (personen)vervoer                                  | Streven naar 100% emissieloze nieuwverkoop van personenauto's in 2030                         |
| Verduurzaming logistiek                                                   | Middelgrote zero-emissiezones stadslogistiek in 30 tot 40 grotere gemeenten in 2025           |
|                                                                           | Zero-emissie bouwverkeer en mobiele werktuigen                                                |
|                                                                           | Klimaatneutrale en circulaire grond-, weg- en waterwerken (GWW)                               |
|                                                                           | 30% reductie van de CO <sub>2</sub> -uitstoot door achterland en continentaal vervoer in 2030 |
|                                                                           | Binnenvaart                                                                                   |
| Verduurzaming personenmobiliteit (inclusief zakelijk reizen, OV en fiets) | 8 miljard zakelijke (auto)kilometers minder in 2030                                           |
| Verkenning andere vormen van bekostiging mobiliteit                       |                                                                                               |

Voor hernieuwbare brandstoffen is bepaald dat de inzet maximaal 27 PJ mag zijn bovenop de inzet die al voorzien was in de NEV (33 PJ). Hernieuwbare brandstoffen tellen hierbij als nulmissie, omdat het Klimaatakkoord op tank-to-wheel (TTW) basis kijkt en CO<sub>2</sub>-emissies van biomassa en biobrandstoffen niet worden meegeteld.<sup>21</sup> Deze aanpak op TTW-basis is nodig om dubbeltellingen tussen landen voorkomen en om per sector afspraken te kunnen maken. In het Europese beleid worden de gehele ketenemissies worden meegenomen. Dit is nodig om ook te kunnen sturen op de grondstoffen en de keten te kunnen optimaliseren. In het Klimaat-akkoord is afgesproken een verplichting hernieuwbare energie in transport vast te leggen in de Wet milieubeheer. Deze neemt zowel het aandeel hernieuwbare elektriciteit als hernieuwbare brandstoffen mee. Ook worden bepalingen opgenomen over hoe op CO<sub>2</sub>-emissies gestuurd gaat worden en zal in het integraal duurzaamheidskader bepaald worden hoe ILUC-emissies in de berekeningen in de CO<sub>2</sub>-berekeningen worden meegenomen.<sup>22</sup> Daarnaast is afgesproken dat niet meer additionele biobrandstoffen uit voedsel- en voeder-gewassen in Nederland worden ingezet dan het niveau van 2020 en zal dit bij de implementatie van de RED II in nationale regelgeving worden vastgelegd. Om de transitie naar geavanceerde biobrandstoffen te stimuleren wordt ook ingezet op de stimulering van productie: 200 miljoen euro via de nieuwe regeling Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE++).

### 2.3.3 Ontwikkeling behoefte aan biobrandstoffen en biomassa in deze sector

Een overzicht van de huidige inzet en verwachte toekomstige ontwikkeling van de behoefte aan biobrandstoffen in mobiliteit en transport is gegeven in Tabel 12. De cijfers van het huidige gebruik zijn hierboven al besproken en volgen uit de NEa rapportage (NEa, 2019). De verwachting voor 2030 en 2050 wordt hieronder toegelicht, voor de verschillende brandstofsoorten.

Let wel: we geven hier de behoefte aan biobrandstoffen voor de Nederlandse sector verkeer en vervoer, en de biomassa die nodig is voor de productie daarvan. Dit is niet hetzelfde als wat de Nederlandse (bio)brandstoffenindustrie aan biomassa zal gebruiken, en hoeveel biobrandstoffen zij produceren. Deze industrie kan ook voor export produceren, daarnaast kunnen de brandstofleveranciers de biobrandstoffen ook importeren (waarmee de productie zelf buiten Nederland valt). De ontwikkelingen in deze sector zijn op dit moment niet goed te voorspellen, en te onzeker om mee te nemen in deze cijfers.

Tabel 12 - Overzicht van het biobrandstofgebruik in mobiliteit en transport, in 2018, 2030 en 2050 (in PJ/jaar)

|      |                | Transport en mobiliteit over de weg |         |      |            |                                      |
|------|----------------|-------------------------------------|---------|------|------------|--------------------------------------|
|      |                | Diesel                              | Benzine | Gas* | Luchtvaart | Scheepvaart (zeevaart + binnenvaart) |
| 2018 | NEa rapportage | 16,5                                | 7,1     | 0,3  | 0,0        | 0,4                                  |
| 2030 | Laag           | 20,3                                | 14,0    | 0,7  | 6,2        | 0,0                                  |
|      | Midden         | 35,4                                | 23,8    | 0,8  | 26,0       | 163,0                                |
|      | Hoog           | 47                                  | 32,4    | 1,6  | 55,7       | 250,6                                |
| 2050 | Laag           | 30,1                                | 2,2     | 0,0  | 85,5       | 0,0                                  |
|      | Midden         | 66,1                                | 19,2    | 18,1 | 96,3       | 383,4                                |
|      | Hoog           | 102,1                               | 36,1    | 36,3 | 107,0      | 620,2                                |

\* LPG en aardgas.

<sup>21</sup> Elektriciteit en waterstof tellen ook als 0, ook als deze nog niet hernieuwbaar zijn.

<sup>22</sup> Er vinden momenteel ook veel nieuwe studies plaats, maar het Klimaatakkoord heeft het specifiek over het integraal duurzaamheidskader.

## *Verwachting finaal eindverbruik 2030 - Diesel, benzine en gas*

Voor het bepalen van de verwachte behoefte aan biobrandstoffen voor de sector verkeer en vervoer in 2030 baseren we ons op het Klimaatakkoord. Veel scenariostudies zijn minder bruikbaar voor deze inschatting, omdat ze al wat ouder zijn en voor de definitieve publicatie van de REDII en het Klimaatakkoord zijn gepubliceerd. Ook richten scenario-studies zich vaak op de Europese markt en niet specifiek op de Nederlandse situatie, terwijl de ambitie van Nederland (en een aantal andere Europese landen) momenteel veel hoger lijkt te worden dan in sommige andere landen.

De cijfers zijn als volgt tot stand gekomen:

- De ondergrens van de bandbreedte voor de behoefte aan biobrandstoffen voor deze sector bepalen we aan de hand van de minimale inzet die nodig is om de RED II doelstelling te realiseren in 2030. Dit komt overeen met het aandeel opgenomen in de KEV 2019: 35 PJ<sup>23</sup>.
- Het Klimaatakkoord voorziet in een maximale inzet van 27 PJ hernieuwbare brandstoffen bovenop de KEV prognose, in 2030. Dit kan gezien worden als de middenwaarde:  $35+27 = 62$  PJ.
- Voor de bovengrens gaan we uit van een tegenvallende transitie naar elektrisch (en waterstof-elektrisch) vervoer, waardoor er meer biobrandstoffen moeten worden ingezet om de gewenste CO<sub>2</sub>-reductie in deze sector te bereiken. De ambitie voor elektrisch vervoer komt neer op vervanging van 33 PJ fossiel (gelijk aan 13 PJ elektriciteit uit de KEV 2019, bij vaststaand beleid). Voor waterstof is een vervanging van 5 PJ fossiel voorzien (0,19 PJ waterstof, dezelfde bron). Als deze technologieën toch niet van de grond komen, en er in plaats daarvan op biobrandstoffen wordt ingezet zou er daarom nog eens 38 PJ biobrandstoffen bij komen. Dat lijkt wat onrealistisch gezien de huidige technologische en beleidsmatige ontwikkelingen; we gaan daarom uit van maximaal de helft extra biobrandstoffen, oftewel 19 PJ. Tellen we dit op bij de 62 PJ van de middenwaarde komen we uit op een bovengrens van de behoefte van 81 PJ.

Deze cijfers voor de totale behoefte aan biobrandstoffen in 2030 kunnen nu vertaald worden naar een behoefte aan verschillende soorten biobrandstof. We hebben de verhouding tussen diesel, benzine en gas in de KEV 2019 gebruikt om tot een toedeling te komen, te weten:

- 58% diesel;
- 40% benzine;
- 2% gas.

Groengas wordt hierbij besproken als zijnde vervanger van fossiel gas in gasvoertuigen: dit impliceert dat groengas de reguliere inzet van gasvoertuigen vervangt, maar een voertuig op groengas kan ook een benzinevoertuig vervangen.

Voor de vervanging van deze brandstoffen zijn er in elke categorie hogere blends denkbaar. Bij diesel zal dit vooral afhangen van de ontwikkelingen in drop-in brandstoffen. Voor benzine is het onwaarschijnlijk dat er veel E85-voertuigen op de Nederlandse markt gaan komen, maar is het aan de andere kant wel denkbaar dat ED95 (een blend met ethanol, als benzinevervanger) meer wordt ingezet in dieselveertuigen. Daarmee wordt het meer een dieselvevanger dan een benzinevervanger. Voor gasvervangers is 100% vervanging geen probleem.

<sup>23</sup> Dit cijfer geldt voor de binnenlandse mobiliteit, inclusief mobiele werktuigen maar exclusief bunkerbrandstoffen voor internationale lucht- en scheepvaart, bij vaststaand beleid. Bij vaststaand en voorgenomen beleid is de verwachte vraag 34 PJ.

## Verwachting finaal eindverbruik 2050 - Diesel, benzine en gas

Er zijn in Nederland nog geen overall studies gedaan naar de verwachte behoefte aan biobrandstoffen in deze sector in 2050. Om toch tot een ruwe inschatting te komen gebruiken we resultaten van de WLO scenario's, in combinatie met resultaten van Europese scenario's die zijn ontwikkeld in het kader van het 'Clean Planet voor all' pakket van de Europese Commissie (EC, 2018a) (EC, 2018b)

- Van de WLO-scenario's gebruiken we de prognoses voor de energiebehoefte voor verkeer, in 2050. Dit levert drie schattingen op (hoog, laag en gemiddeld: 306,1 PJ, 334,3 PJ en 320,2 PJ. De WLO-scenario's maken hierbij onderscheid naar personenauto's, bestelauto's, vrachtauto's en trekkers.
- Van de Europese scenario's gebruiken we de resultaten voor de aandelen van biobrandstoffen in de EU. De verschillende scenario's geven ons een lage, gemiddelde en hoge schatting van dit aandeel:

Tabel 13 - Gebruikte percentages voor de aandelen biobrandstoffen in 2050 (EC, 2018a) (EC, 2018b)

|                          | Benzine |      | Diesel |      | Gas  |      |
|--------------------------|---------|------|--------|------|------|------|
|                          | Laag    | Hoog | Laag   | Hoog | Laag | Hoog |
| Personenauto's           | 1%      | 18%  | 1%     | 20%  | 0%   | 4%   |
| Bestelauto's             | 1%      | 2%   | 5%     | 50%  | 0%   | 0%   |
| Vrachtauto's en trekkers | 0%      | 0%   | 32%    | 51%  | 0%   | 35%  |

## Verwachting finaal eindverbruik 2030 - luchtvaart

Voor de lage waarde baseren we ons op (RH DHV, 2019) waarin het emissiereductie-potentieel in de Nederlandse luchtvaart wordt ingeschat. Voor biobrandstoffen geldt daarbij de inschatting dat het gebruik van UCO+advanced aviation biofuel van 2,1 PJ/jaar in 2025 tot 17,6 PJ per jaar in 2030 groeit. Luchtvaartbrandstoffen zijn hierbij goed voor 7% van het totale biobrandstofgebruik in 2025 en 35% van het biobrandstofgebruik in 2030. Dit resulteert in 6,2 PJ (17,6\*35%). Op basis van een analyse met het RESolve-Biomass model (ontwikkeld door ECN) groeit het gebruik van UCO+Advanced aviation biofuel van 2,1 PJ/jaar in 2025 tot 17,6 PJ/jaar in 2030. In 2025 zijn de luchtvaartbiobrandstoffen daarbij goed voor 7% van het totale biobrandstofgebruik en in 2030 voor 35% (de rest gaat naar wegtransport en scheepvaart).

Voor de inzet van biobrandstoffen in de luchtvaart is voor de middenwaarde uitgegaan van de 14% doelstelling. Deze 14% is onder andere onderdeel van het plan Slim én duurzaam van de sector om de luchtvaart te verduurzamen en de 14% is ook onderdeel van het proces om eventueel tot een mogelijke jaarverplichting te komen. Dit komt neer op 26 PJ.

Voor de hoge waarde wordt uitgegaan van een waarde van 55,7 PJ, wat neerkomt op 30% van het energieverbruik in de luchtvaart, in lijn met het aangenomen aandeel in (CE Delft, 2017c).

## Verwachting finaal eindverbruik 2050 - luchtvaart

RHDHV (RH DHV, 2019) geeft ook een inschatting voor het potentieel in 2050 en baseert zich hierbij op (ICCT, 2017) en (EC, 2019). Het ICCT-rapport gaat uit van een duurzaam biobrandstoffenpotentieel in 2050 van 4 EJ wereldwijd. Dit komt neer op 85,5 PJ voor Nederland uitgaande van het aandeel van Nederland in de bunkering van luchtvaart-brandstoffen in 2015 (2,1%).

De studie van de Europese Commissie (EC, 2019) komt uit op een hoger potentieel in 2050 van 44%-52% (gemiddeld en hoog scenario) bij een totale EU brandstofvraag van 2.479 PJ. Onder de aanname dat het Nederlandse aandeel in de totale EU-vraag gelijk blijft voor wat betreft luchtvaartbrandstoffen zou dit voor Nederland neerkomen op maximaal 107 PJ.

Voor de middenwaarde is het gemiddelde van de lage en hoge waarde genomen. Tevens is er een crosscheck gedaan met EU-scenario's (EC, 2018a; EC, 2018b).

### ***Verwachting finaal eindverbruik 2030 - scheepvaart***

Bij scheepvaart is voor 2030 uitgegaan van 0, omdat de inzet momenteel vooral nog op Green-Deal niveau wordt aangejaagd en daarmee nog niet voldoende verankerd is in bestaande wet- en regelgeving. Het risico bestaat daarmee dat het niet van de grond komt. Voor de middenwaarde is uitgegaan van de waarde uit het Klimaatakkoord en de Green Deal. Dit komt neer op 158 PJ voor de zeevaart en 5 PJ voor de binnenvaart en is tezamen 163 PJ.

Voor de hoge waarde gaan we uit van 250,6 PJ oftewel 50% van 501,3 PJ (het bunkervolume voor de zeevaart volgens de KEV2019. De 50% heeft betrekking op de reductiedoelstelling van de IMO. Bij de hoge waarde is de aanname dus dat de IMO-doelstelling al in 2030, dus versneld gerealiseerd wordt door middel van de inzet van biobrandstoffen.

### **Verwachting finaal eindverbruik 2050 - scheepvaart**

Voor de waarden voor 2050 is uitgegaan van een finaal eindverbruik op mondiaal niveau van 14-23 EJ (CE Delft, ongoing). De gemiddelde energievraag komt hierbij neer op 18,5 EJ.

Om het Nederlandse aandeel te bepalen is uitgegaan van het aandeel van de Rotterdamse haven in de totale energievraag wat neerkomt 1.128 PJ. Hierbij is de 1.128 PJ bepaald aan de hand van het energieverbruik in de scheepvaart in 2015 (523 PJ) en een energieverbruik van 8580 PJ wereldwijd (Shell, 2020). Ook uit andere bronnen blijkt een aandeel van 6 á 7% realistisch te zijn. We veronderstellen hierbij dat het aandeel van de Rotterdamse haven gelijk blijft.

Wegens de grote onzekerheid rond verankering van beleid is voor de lage waarde 0 aangenomen. Voor de midden en hoge waarde is wederom uitgegaan van de aandelen uit de EU-scenario's wat neerkomt op 37% en 54% (EC, 2018a; EC, 2018b).<sup>24</sup> Deze scenario's gaan niet naar volledig klimaatneutraal in 2050, maar zijn wel ambitieuzer dan het IMO-beleid.

### **Conversiefactoren**

Om de benodigde biomassa hoeveelheden te berekenen moeten de biobrandstofbehoeftes worden gedeeld door conversiefactoren van biomassa naar biobrandstof. Die conversiefactoren hangen af van de te gebruiken feedstocks en de te gebruiken conversietechnologieën. Hiervoor is niet één waarde te geven, zoals ook uiteengezet wordt in de analyses in Bijlage A. De conversiefactoren staan hieronder toegelicht. We gebruiken de ranges die zijn weergegeven in Tabel 14.

---

<sup>24</sup> Wegens afronding en combinatie van bronnen kunnen er lichte verschillen optreden tussen de gepresenteerde eindresultaten en een berekening op basis van de getallen in de tekst.

Tabel 14 - Range aan conversiefactoren voor berekening van de hoeveelheden benodigde biomassa (in energiehoeveelheid brandstof/energiehoeveelheid biomassa)

|                         | Transport en mobiliteit over de weg |         |      | Luchtvaart | Zeevaart + binnenvaart |
|-------------------------|-------------------------------------|---------|------|------------|------------------------|
|                         | Diesel                              | Benzine | Gas  |            |                        |
| Hoogste conversiefactor | 0,95                                | 0,47    | 0,60 | 0,67       | 0,81                   |
| Laagste conversiefactor | 0,38                                | 0,38    | 0,35 | 0,36       | 0,38                   |

## Benodigde biomassa

Als we de cijfers uit Tabel 12 en de conversiefactoren uit Tabel 14 gebruiken verkrijgen we tenslotte de ranges aan benodigde biomassa in Tabel 15.

Tabel 15 - Benodigde hoeveelheden biomassa (PJ/jaar)

|      |                | Transport en mobiliteit over de weg |       |         |      |      |       |            |       |                        |        |
|------|----------------|-------------------------------------|-------|---------|------|------|-------|------------|-------|------------------------|--------|
|      |                | Diesel                              |       | Benzine |      | Gas  |       | Luchtvaart |       | Zeevaart + binnenvaart |        |
| 2018 | NEa-rapportage | 17,4                                | 43,2  | 15,2    | 18,8 | 0,5  | 0,9   | 0,0        | 0,0   | 0,5                    | 1,1    |
| 2030 | Laag           | 21,4                                | 53,1  | 30,0    | 37,0 | 1,2  | 2,0   | 9,2        | 17,0  | 0,0                    | 0,0    |
|      | Midden         | 37,3                                | 92,6  | 51,0    | 62,9 | 1,3  | 2,3   | 38,7       | 71,7  | 201,4                  | 431,0  |
|      | Hoog           | 49,1                                | 121,9 | 65,3    | 80,7 | 1,7  | 2,9   | 83,0       | 153,7 | 309,6                  | 662,7  |
| 2050 | Laag           | 31,7                                | 78,8  | 4,7     | 5,8  | 0,0  | 0,0   | 127,4      | 235,9 | 0,0                    | 0,0    |
|      | Midden         | 69,7                                | 173,0 | 41,0    | 50,6 | 30,2 | 51,8  | 143,4      | 265,5 | 473,7                  | 1013,8 |
|      | Hoog           | 107,7                               | 267,2 | 77,4    | 95,5 | 60,4 | 103,6 | 159,4      | 295,2 | 766,2                  | 1640,0 |

### 2.3.4 Overzicht Mobiliteit en Transport

Uit Tabel 15 met de benodigde hoeveelheden biomassa halen we tot slot de ranges met waarden voor de overzichtstabel van alle toepassingen, door voor 2030 en 2050 de hoogste en laagste waarde uit de tabel te nemen. Voor 2018 nemen we het gemiddelde van de twee waarden. Die waarde dient vooral als vergelijk voor de verwachtingen voor 2030 en 2050.

Tabel 16 - Overzichtstabel biomassabehoeft mobiliteit en transport in Nederland (in PJ/jaar).

| Zichtjaar | Biomassabehoeft in mobiliteit en transport (PJ/jaar) |
|-----------|------------------------------------------------------|
| Huidig    | 49 (gemiddelde van range 34-64)                      |
| 2030      | 62-1.022                                             |
| 2050      | 164-2402                                             |

## 2.4 Warmte voor de industrie

### 2.4.1 Introductie

De warmtebehoefte van de industrie betreft vooral hogetemperatuurwarmte, op een temperatuur van meer dan 100°C. In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op de huidige en toekomstige hogetemperatuurwarmtebehoefte, de huidige en toekomstige inzet van biomassa om in de hogetemperatuurwarmtebehoefte te voorzien en de biomassa-technieken die hiervoor in aanmerking komen.

### 2.4.2 Huidige en toekomstige hogetemperatuurwarmtebehoefte

Van het totale finale energetische eindgebruik aan energie in de industrie komt meer dan 80% (ongeveer 504 PJ/jaar) voort uit warmtebehoefte in de vorm van stoom op verschillende drukniveaus of voor ondervuring van fornuizen. De industriële warmtebehoefte betreft bijna 20% van de totale Nederlandse primaire energieconsumptie. Volgens de KEV (PBL, 2019b) neemt de hogetemperatuurwarmtebehoefte tussen 2019 en 2030 met ongeveer 5% af als gevolg van efficiëntiemaatregelen.

Een onderverdeling naar temperatuurniveau en naar functie is gegeven in Tabel 17.

#### Hogetemperatuurwarmtebehoefte

De industriële warmtebehoefte heeft voor meer dan de helft – 259 PJ – een temperatuurniveau van meer dan 500°C. Dit betreft over het algemeen ondervuring in fornuizen in de procesindustrie of processen in de basismetaalindustrie:

- Hogetemperatuurwarmtebehoefte in de chemie is voornamelijk gerelateerd aan ondervuring van fornuizen van stoomkrakers en fornuizen van aardgas reformers voor productie van methanol, ammoniak en waterstof. Zeker bij stoomkrakers wordt de warmtebehoefte grotendeels gedekt door restgassen uit het proces zelf. Daarnaast zijn er specifieke bedrijven met hogetemperatuurwarmtebehoefte als Nedmag (aardgas) en ESD (elektriciteit).
- Raffinageprocessen als destillatie, ontwaveling, reforming, catcracking en visbreaking vragen hoge temperaturen, opgewekt in restgas of overige aardolieproducten onder vuurde fornuizen. Ondervuring is vaak geïntegreerd met stoomproductie uit restwarmte in de rookgassen van de fornuizen.
- In de basismetaalindustrie is de warmtebehoefte voornamelijk geconcentreerd bij productie en verwerking van ruwe staal bij Tata in IJmuiden. De behoefte bestaat voornamelijk uit energie nodig voor cokesproductie en voor verhitten van ijzererts en (zuurstof verrijkte) lucht tot de temperatuur waarop ijzererts kan worden gereduceerd tot ruwijzer. Deze behoefte wordt grotendeels gedekt met ‘restgassen<sup>25</sup>’, cokes en steenkool. Door temperatuur en de aard van de processen is gebruik van deze energiedragers zeer aantrekkelijk. Inzet van biomassa als energiebron (biocokes) is mogelijk (en wordt onderzocht) maar vooralsnog economisch onrendabel. Er zijn verder kleinere warmtevragen bij walserijen en andere bewerkingen. Hiervoor wordt naast restgassen ook aardgas gebruikt, wat vervangen kan worden door biogas.
- In de non-ferro industrie is hogetemperatuurwarmtebehoefte gekoppeld aan smelten en gieten van metalen. Dit kan op basis van elektrische energie waardoor geen biogas nodig is.
- In de bouwmaterialenindustrie is hogetemperatuurwarmte nodig in ovens voor productie van glas, glaswol, steenwol, keramische producten en cementklinker.

<sup>25</sup> Kooksovgas, hoogovengas en oxystaalovengas.



Behalve bij keramische producten gaat het vaak om specifieke bedrijven, zoals ENCI Maastricht voor cementklinker, Rockwool Roermond voor steenwol en Isover glaswol Etten-Leur. Een deel van deze warmtebehoefte is elektrisch en het resterende deel is alleen met biogas in te vullen vanwege de benodigde hoge vlamtemperatuur ( $> 2.000^{\circ}\text{C}$ ).

## **Warmtebehoefte voor temperaturen $>100^{\circ}\text{C} < 500^{\circ}\text{C}$**

De warmtebehoefte op temperaturen lager dan  $500^{\circ}\text{C}$  heeft vooral betrekking op drogen en destilleren.

Drogen zou naar schatting 80 PJ/jaar aan warmte vragen (RVO, 2015). Roogprocessen worden onder meer toegepast in voedingsmiddelenindustrie (indikken, drogen met warme lucht, sproeidrogen), chemie, papierindustrie (stoomdrogen) en bouwmaterialenindustrie. Voor drogen worden zowel stoom als hete lucht gebruikt - in beide gevallen met een temperatuur van minimaal ongeveer  $100^{\circ}$  tot maximaal ongeveer  $300^{\circ}$ .

De warmtebehoefte voor destillatie zou 4.500 MW oftewel 140 PJ/jaar bedragen. Destillatie wordt voor zover bekend enkel toegepast in raffinaderijsector en chemie.

Overige warmtevragende processen zijn bijvoorbeeld wassen, schillen, blancheren, pasteuriseren, koken en steriliseren in de voedingsmiddelenindustrie of wassen, bleken en verven in de textielindustrie. Bij de bovengenoemde schattingen voor drogen en destillatie blijft ongeveer 45 PJ/jaar aan warmtebehoefte over voor de hier genoemde processen.

## **Observaties uit praktijk**

Warmtevragen van verschillend temperatuurniveaus worden bij verschillende industrietakken gedekt door cascadering van warmte:

- Bij raffinaderijen worden ruwe olie en halffabrikaten in hogetemperatuur fornuizen verwarmd, bijvoorbeeld voor destillatie. De nog hete rookgassen van deze fornuizen worden vervolgens gebruikt voor productie van elders in de raffinaderij benodigde stoom.
- Bij brouwerijen wordt middendruk stoom gebruikt voor opwarmen van het wort. De restwarmte van stoomcondensaat en wort wordt vervolgens benut voor andere warmtevragende processen op de brouwerij, zoals flessen spoelen.

Daarnaast zijn er bij, bijvoorbeeld de voedingsmiddelenindustrie diverse warmtevragende batchprocessen. De warmteleverende installatie moet hierop snel kunnen inspelen. Beide aspecten (cascadering en batchprocessen) stellen randvoorwaarden aan eventuele verduurzamingsopties. Zo moet bijvoorbeeld de brandstof-techniek combinatie aansluiten op de regelbaarheid die nodig is voor het proces.

Tabel 17 - Overzicht warmtebehoefte in PJ Nederlandse industrie (CBS, 2013)

|                       | Naar temperatuurniveau °C |                       |                                                  |                       |            |                                                       |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|------------|-------------------------------------------------------|
|                       | Totaal                    | Waarvan stoom uit WKC | < 100                                            | 100-250               | 250-500    | > 500                                                 |
| Chemie                | 241                       | 88                    | 12                                               | 27                    | 65         | 138                                                   |
|                       |                           |                       | Destillatie, drogen, ondervuring procesfornuizen |                       |            | Fornuizen NH3/H2, stoomkraken,                        |
| Raffinage             | 111                       | 18                    | 0                                                | 0                     | 48         | 64                                                    |
|                       |                           |                       | Destillatie, drogen, ondervuring procesfornuizen |                       |            | Catcrackers, vergasser,                               |
|                       | 353                       | 106                   | 12                                               | 27                    | 113        | 202                                                   |
| Basismetaal ferro     | 30                        | 2,7                   |                                                  |                       | 3          | 27                                                    |
|                       |                           |                       |                                                  |                       |            | Hoogoven, cokesoven                                   |
| Basismetaal non-ferro | 3                         | 0,0                   |                                                  |                       |            | 3                                                     |
|                       |                           |                       |                                                  |                       |            | Smelten en gieten                                     |
| Metaalproducten       | 12                        | 0,1                   | 7                                                |                       |            | 5                                                     |
|                       |                           |                       |                                                  |                       |            | Moffelen, galvaniseren, smeden, etc.                  |
|                       | 45                        | 3                     | 7                                                |                       | 3          | 35                                                    |
| Papier en karton      | 18                        | 12                    |                                                  | 18                    |            |                                                       |
|                       |                           |                       |                                                  | Papier drogen, pulpen |            |                                                       |
| V&G                   | 55                        | 17                    | 27                                               | 27                    |            |                                                       |
|                       |                           |                       | Koken, indampen, drogen, bakken                  |                       |            |                                                       |
| Textiel               | 3                         | 0,4                   | 3                                                |                       |            |                                                       |
| Bouwmaterialen        | 19                        | 0,3                   |                                                  | 1                     |            | 18                                                    |
|                       |                           |                       |                                                  |                       |            | Cementoven, glasoven, keramiekovens, glaswol&steenwol |
| Overige industrie     | 12                        | 0,2                   |                                                  |                       | 7          | 5                                                     |
|                       |                           |                       |                                                  |                       |            |                                                       |
|                       | 107                       | 30                    | 30                                               | 47                    | 7          | 22                                                    |
| <b>Totaal</b>         | <b>504</b>                | <b>138</b>            | <b>49</b>                                        | <b>73</b>             | <b>123</b> | <b>259</b>                                            |

### 2.4.3 Inzet van biomassa voor hogetemperatuurwarmtebehoefte

Voor hogetemperatuurwarmte zijn meerdere duurzame alternatieven mogelijk:

- geothermie;
- biomassa:
  - biomassa (chips, pellets) gestookte ketel;
  - groengas/synthetisch aardgas;
  - voorschakelen vuurhaard of vergasser.
- elektrificatie van warmteopwekking gecombineerd met inzet van duurzaam opgewekte elektriciteit:
  - elektrische stoomketel;
  - elektrische luchtverwarmer.

In principe kan zonnewarmte ook als duurzame bron voor industriële warmte worden toegepast, met name voor de lagere temperaturen. Vanwege de wisselvalligheid van het weer en wolkendek en het beperkte vermogen van de instraling is deze optie als minder relevant beschouwd en buiten beschouwing gelaten.

De opties verschillen in:

- de vormen van industriële warmtebehoefte die kunnen worden verduurzaamd (stoom, drooglucht);
- het haalbare temperatuurniveau;
- de haalbare schaalgrootte;
- de mate waarin ze systeemveranderingen vergen - bijvoorbeeld de mate waarin vervanging van bestaande installaties als ketels en boilers nodig is;
- de mate waarin integratie met gebruik van biomassa als grondstof voor hoogwaardige producten als plastics en oplosmiddelen mogelijk is;
- de huidige technische rijpheid en verwachte ontwikkelingen;
- duurzaamheidsrisico's;
- risico's en limieten qua inzetbaarheid;
- de huidige en toekomstige directe investeringen en operationele kosten.

#### **Inzet biomassa voor huidige en toekomstige hogetemperatuurwarmtebehoefte**

Conform cijfers van het CBS<sup>26</sup> werd in 2018 in totaal 29 PJ biomassa ingezet voor WKK-installaties en ketels bij bedrijven. Dit is als volgt uitgesplitst:

- wkk-installaties: 17,5 PJ/jaar inzet van houtige biomassa voor de productie van 3 PJ<sub>e</sub>/jaar en 7 PJ/jaar aan warmte;
- ketels: 11,5 PJ/jaar inzet waarvan 7,6 PJ/jaar aan hout en 3,9 PJ/jaar aan vloeibare en gasvormige brandstoffen voor de productie van 9,6 PJ/jaar aan warmte.

Gecorrigeerd voor de elektriciteit opgewekt met de WKK-installaties telt de totale biomassa-inzet voor warmte op tot circa 24 PJ/jaar. Het is op basis van de beschikbare informatie niet mogelijk om de productie uit te splitsen naar warmte voor processen en warmte voor ruimteverwarming. Deze 24 PJ is gelijk aan ongeveer 5% van de totale hogetemperatuurwarmtebehoefte van de Nederlandse industrie.

De toekomstige hogetemperatuurwarmtebehoefte neemt tot 2030 volgens de KEV 2019 af met 5%. Voor 2050 zijn geen scenariogegevens voor Nederland bekend. Omdat er goede duurzame alternatieven zijn of worden ontwikkeld ter vervanging van aardgas die aantrekkelijker kunnen zijn dan biogas (namelijk elektrificatie, waterstof en geothermie), is het niet in te schatten of de behoefte aan biomassa voor hogetemperatuurwarmte in de toekomst toe of af zal nemen.

We gaan er daarom van uit dat de biomassabehoeft voor warmte voor de industrie in Nederland in 2030 gelijk is aan die van 2018 minus 5%, oftewel circa 23 PJ/jaar. In Net voor de Toekomst (CE Delft, 2017) wordt in vier scenario's een range gegeven van 8-88 PJ in 2050. Gezien het bestaan van mogelijke alternatieven, zoals waterstof, houden we voor 2050 een range aan van 0-88 PJ/jaar.

---

<sup>26</sup> Hernieuwbare energie in Nederland - 2018.

## 2.4.4 Biomassa technieken voor hogetemperatuurwarmte

### Stoomketel en houtstof stoken

Directe routes zijn biomassagestookte stoomketels en gebruik van houtstof als brandstof in fornuizen en drogers. Beide opties worden mondiaal grootschalig toegepast. Vanwege de huidige hoge gasprijzen en de beschikbaarheid van SDE+-subsidies zijn er sinds kort ook in Nederland initiatieven voor met name realisatie van grootschalige biomassa gestookte stoomketels<sup>27</sup>.

Nadeel van het plaatsen van een biomassagestookte stoomketel is dat de bestaande gas-gestookte ketel of WKC volledig moet worden ontmanteld. Bij verdwijnen van de WKC verdwijnt ook de flexibiliteit van deze installatie en de mogelijkheid voor productie van elektriciteit in perioden met piekvraag.

Gebruik van houtstof is beperkt tot toepassingen die weinig gevoelig zijn voor emissies en bijproducten – zoals vliegas – van houtstof stoken. Bekende toepassing in de EU is meestoken van verpoederde biomassa in cementovens. In landen als Vietnam wordt houtstof gebruikt als brandstof in de grof keramische industrie. Toepassingen in drogers voor hoogzuivere chemische of voedselproducten is niet realistisch.

### Omzetting in synthetisch aardgas

Een indirecte route is omzetting van biomassa in synthetisch aardgas (SNG) – waarbij via vergassing biomassa voor de koolstof en waterstof zorgen – en distributie van het SNG via het reguliere gasnet. Bijvoorbeeld het inmiddels gesloten GoBigas project in Göteborg. Doordat de biomassa wordt omgezet in een product dat identiek is aan aardgas kan bestaande infrastructuur en procesapparatuur behouden blijven. Het is daarmee ook de enige optie voor verduurzaming van processen die warmte van zeer hoog niveau vragen, zoals fornuizen van ammoniakfabrieken en glasovens. Houtskool is niet stevig genoeg om een grote hoogoven mee te vullen.

Productie van groengas geproduceerd door vergisting van natte biomassa is sinds meerdere decennia standaard technologie.

Productie van groengas geproduceerd uit syngas via vergassing van vaste biomassa is – anders dan productie van SNG uit steenkool en bruinkool<sup>28</sup> – echter technisch nog in ontwikkeling: er is wereldwijd pas sinds enkele maanden één demonstratie-installatie op semicommerciële schaal (20 MW<sub>SNG</sub>) operationeel.

De potentie voor groengas uit natte biomassa is beperkt tot ongeveer 2 miljard m<sup>3</sup>/jaar - circa 60 PJ/jaar (CE Delft, 2020)voornamelijk vanwege de beperkte houdbaarheid van natte biomassa. Er is echter significante concurrentie met andere toepassingen, met name gebruik als transportbrandstof.

<sup>27</sup> Er waren al sinds meerdere decennia biomassagestookte stoomketels in Nederland operationeel, maar vaak betrof het kleinere installaties voor lage temperatuur warmtevragen (bijvoorbeeld glastuinbouw) of installaties met binnen een bedrijf geproduceerde reststromen (bijvoorbeeld de sinds 1967 bestaande, met koffiedik gestookte ketel van Douwe Egberts/ Sara Lee Coffee in Joure: [RVO voorbeeldprojecten duurzame warmte](#)

<sup>28</sup> Zie bijvoorbeeld [de Great Plains Synfuel Plant in North Dakota, Verenigde Staten](#)

De potentie voor groengas via syngas uit vaste biomassa bedraagt ongeveer 35 PJ<sup>29</sup>. Met name bij de schonere houtstromen als houtsnippers uit landschapsbeheer en bosbeheer, maar ook bij resthout, is er echter sprake van significante concurrentie met gebruik van snippers voor stoom- en warmwaterproductie middels biomassaketels.

## Tussenopties

Tussen beide bovengenoemde opties liggen nog varianten waarin op basis van biomassa hete rookgassen worden geproduceerd in een cycloonfornuis of heet synthesesgas wordt geproduceerd. De rookgassen of het synthesesgas kunnen in de bestaande boiler of de afgassenketel van een bestaande WKC worden ingezet.

Voordelen van deze varianten is dat de bestaande WKC en de mogelijkheid voor pieklast elektriciteitsproductie behouden blijft en dat de investeringen beperkter zijn als bij plaatsen van een complete stoomketel met warmtewisselende oppervlakken en stralingsdeel. Dit geldt vooral voor voorschakelen van een cycloonoven (met hogetemperatuur rookgas ontstopping).

Een voorbeeld van een initiatief voor implementatie is de reject/RDF-vergasser die bij ESKA in Hogeveen wordt gebouwd. Een vergelijkbaar maar grootschaliger (2x80 MW) concept is sinds 2011 operationeel in Finland.

Tabel 18 - Overzichtstabel biomassabehoeftes voor warmte voor de industrie in Nederland (in PJ/jaar).

| Zichtjaar | Biomassabehoeftes voor warmte industrie (PJ/jaar) |
|-----------|---------------------------------------------------|
| Huidig    | 24                                                |
| 2030      | 23                                                |
| 2050      | 0-88                                              |

## 2.5 Warmte voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw

### 2.5.1 Introductie

Warmte voor 'lagetemperatuurtoepassingen' (hieronder vallen de gebouwde omgeving en glastuinbouw) wordt momenteel grotendeels (~90%) geproduceerd met behulp van aardgas. Met 'lagetemperatuur' wordt hier bedoeld: warmte van minder dan 100°C. Dit is ongeveer 45% van het totaal energetisch gebruik van aardgas in Nederland (cijfer voor 2018). Er zijn verschillende alternatieve warmtebronnen voor deze beide sectoren. Een deel van de alternatieven is op basis van biomassa. Die worden in dit hoofdstuk beschreven.

Het verwarmen van woningen, utiliteiten en kassen kan met relatief lage temperaturen, waardoor de warmtebron geen hogere temperatuur dan ca. 100°C hoeft af te geven. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld industriële processen die pas beginnen bij een temperatuur van > 100°C en niet zelden > 250°C en hoger. Dit wordt hogetemperatuur genoemd (het onderwerp van Paragraaf 2.4). Omdat warmte voor de gebouwde omgeving in sommige gevallen getransporteerd moet worden vanaf een centrale bron via een warmtenet en

<sup>29</sup> Er kan ongeveer 25 PJ uit bos worden gemobiliseerd (Probos, 2014). Er is daarnaast ongeveer 27 PJ aan resthout - die al grotendeels wordt benut voor productie van stoom en elektriciteit: (Brinkmann Consultancy, 2014).

De resulterende 52 PJ kan met een efficiëntie van ongeveer 70% omgezet worden tot 35 PJ SNG.



daarbij warmteverliezen optreden, moet de bron soms wel rond de 100 °C zijn – afhankelijk van het type gebouwen waaraan de warmte wordt afgegeven en de afstand tussen de bron en de afgifte. Daarom zijn ook in de gebouwde omgeving en glastuinbouw soms ‘hogetemperatuur’-warmtenetten nodig, maar die hogetemperatuur is niet te vergelijken met de hoge temperaturen die in de industrie vaak worden toegepast.

Koken gebeurt ook op aardgas. De hoeveelheid aardgas die daarvoor wordt gebruikt, is echter relatief klein (~5% van het totale verbruik) vergeleken met de hoeveelheid aardgas die wordt gebruikt voor warmte. Daarom zijn alternatieve kooktechnieken niet expliciet (als aparte toepassing) meegenomen in deze analyse. Dat neemt niet weg dat het niet vergeten moet worden. Elektrisch koken op inductieplaten is het meest bekende alternatief voor koken op aardgas en wordt steeds meer toegepast, zowel in woningen als in de horeca.

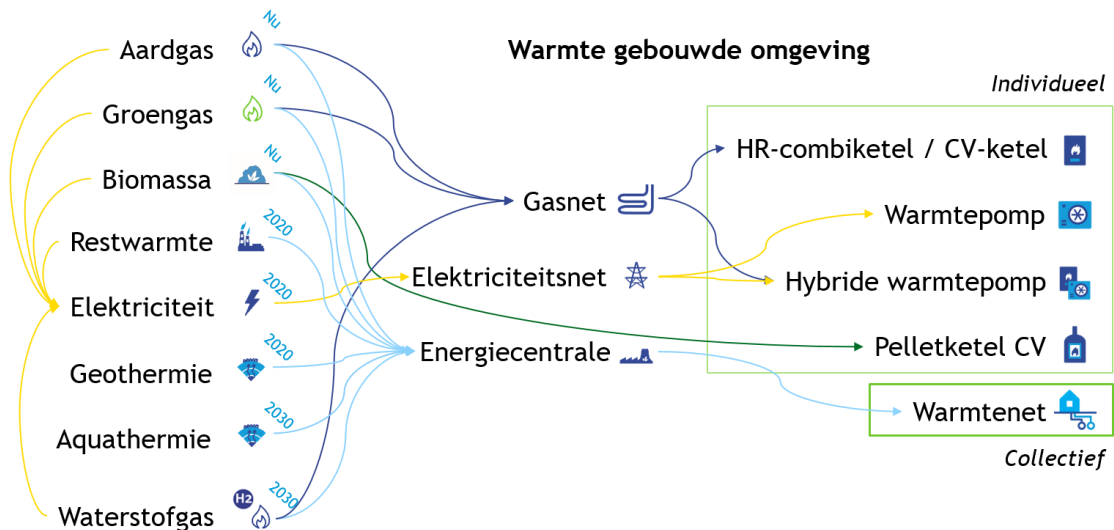
### 2.5.2 Inzet van biomassa in de gebouwde omgeving en glastuinbouw als warmtebron

Er bestaan verschillende mogelijke combinaties van warmtebronnen en -technieken om de gebouwde omgeving en glastuinbouw van warmte te voorzien. In Figuur 16 en Figuur 17 wordt van deze warmtebronnen (links, midden) en de voor de sector relevante warmte-technieken (rechts) een overzicht gegeven, respectievelijk voor de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Onder de figuren wordt hierover meer achtergrondgegeven. In de figuren is onderscheid gemaakt tussen individuele en collectieve warmtetechnieken.

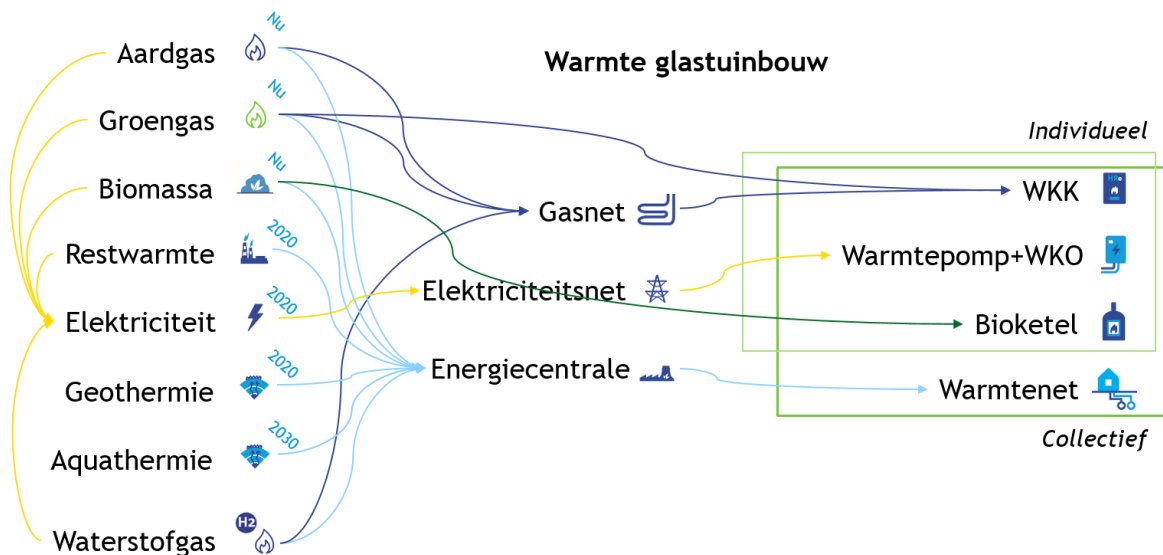
Met **individuele** warmtetechnieken worden installaties bedoeld die op de locatie staan waar de warmte wordt gevraagd (woning, gebouw, kas) en waar de warmtebron heen wordt getransporteerd. Met **collectieve** warmtetechnieken worden installaties bedoeld die op een centrale locatie warmte opwekken, waarna de warmte via een warmtenet naar de locaties met de warmtebehoefte toe wordt getransporteerd.

Naast de figuren en de duiding er van, zal in deze paragraaf verder in worden gegaan op de warmtetechnieken die (kunnen) werken met biomassa of groengas als warmtebron.

Figuur 16 - Warmtebronnen (links, midden) en warmtetechnieken (rechts) waarmee woningen en utiliteiten verwarmd kunnen worden<sup>30</sup>. Tijdsaanduidingen geven aan vanaf wanneer de bron naar verwachting grootschalig kan worden ingezet. Deze figuur laat een compleet overzicht zien, maar moet niet als uitputtend worden beschouwd



Figuur 17 - Warmtebronnen (links, midden) en warmtetechnieken (rechts) waarmee de glastuinbouw verwarmd kan worden. Tijdsaanduidingen geven aan vanaf wanneer de bron naar verwachting grootschalig kan worden ingezet. In plaats van groengas kan ook biogas direct in een WKK worden ingezet (ongezuiverd groengas). Deze figuur laat een compleet overzicht zien, maar moet niet als uitputtend worden beschouwd



<sup>30</sup> Ook waterstofgas staat in Figuur 16 en de Figuur 17. In theorie is het mogelijk dit gas bij te mengen in het aardgasnetwerk, maar het is van belang op te merken dat hierover nog onzekerheid bestaat.

Een aantal punten zijn belangrijk om te noemen bij deze figuren:

- ‘Energiecentrale’: met een energiecentrale wordt hier een centrale, collectieve installatie bedoelt die een warmtebron omzet in bruikbare warmte. (Bijvoorbeeld een collectieve warmtepomp om geothermische warmte op te waarden voor een LT-warmtenet, of een biomassawarmtecentrale waar biomassa wordt omgezet in warmte voor een HT-warmtenet).
- Groengas wordt voor de gebouwde omgeving als transitiewarmtebron gezien. Naar verwachting is het na 2030 hoogwaardiger in te zetten in andere sectoren zoals de industrie, terwijl *all electric*-woningen<sup>31</sup> en verwarming met behulp van groene of blauwe waterstof<sup>32</sup> de rol van groengas in de gebouwde omgeving kunnen overnemen (CE Delft, 2018a).
- Warmtenetten voor de gebouwde omgeving worden op dit moment veelal gevoed met warmte uit aardgas, restwarmte uit de (afval)industrie en elektriciteitscentrales (indirect dus met kolen en afval) en vaste biomassa. Er wordt verwacht dat energiecentrales na 2030 ook op andere warmtebronnen kunnen overstappen zoals waterstof of geothermie. Inzet van (primaire) biomassa voor de hoofdverwarming wordt vaak als transitiewarmtebron gezien (zoals bij de geplande biowarmtecentrale van Vattenfall in Diemen (Vattenfall, sd) en bij de biowarmteinstallatie (BWI) Lage Weide van Eneco in Utrecht (Eneco, sd)).
- Momenteel zijn er nog niet veel gebouwen *all electric*, maar dat zal naar verwachting gaan veranderen in de komende jaren. Daarom is ook de opwekking van elektriciteit belangrijk om te benoemen in dit hoofdstuk: elektriciteit kan ook uit groengas, biomassa of waterstof worden geproduceerd en daarmee ook indirect aardgas als warmtebron vervangen (naast de directe productie van warmte met biomassa en groengas).
- Waterstof: naar verwachting is (groene of blauwe) waterstof nog niet grootschalig beschikbaar voor 2030. Als dit na 2030 wel zo is, zou het kunnen dat het in de gebouwde omgeving wordt ingezet als warmtebron, via de bestaande gasinfrastructuur<sup>33</sup>. In de visie voor een klimaatneutrale glastuinbouw komt directe inzet van waterstof niet voor (Glastuinbouw Nederland, 2018). *All electric* kassen echter wel, waardoor eventuele door waterstof opgewekte elektriciteit wel zou kunnen worden ingezet in kassen. Ook zullen er kassen blijven met een aansluiting op het gasnetwerk, bijvoorbeeld om piekwarmtebehoefte op te kunnen vangen. Wanneer waterstof wordt bijgemengd in de landelijke gasinfrastructuur, komt het bij alle sectoren en dus ook bij kassen terecht.
- Glastuinbouw: collectieve en individuele warmtetechnieken lopen door elkaar heen, omdat verschillende glastuinbouwbedrijven een collectief kunnen vormen met bijvoorbeeld een gezamenlijke piekketel als back-up voor wanneer ze allemaal *all electric* zijn, of door collectief te investeren in een biogasinstallatie en daar met een klein gasnet gezamenlijk gebruik van maken. Daarnaast kunnen glastuinbouwgebieden ook worden aangesloten op een groter collectief warmtenet.

Op welk type warmtetechniek een woning of utiliteit kan overstappen, is afhankelijk van een paar factoren:

- (Mogelijke) isolatiegraad: sommige woningen zijn moeilijk te isoleren tot de hoogste energielabels. Voor sommige warmtetechnieken zoals *all electric* is een hoge isolatieraad van de gebouwen echter een vereiste, waarmee voor sommige gebouwen, sommige

<sup>31</sup> *All electric*-woningen gebruiken enkel elektriciteit om aan de energiebehoefte van de bewoners te voldoen.

<sup>32</sup> Blauwe waterstof is uit fossiele bronnen geproduceerde waterstof, in combinatie met CO<sub>2</sub>-opslag (*Carbon capture and storage, CCS*). Groene waterstof is uit hernieuwbare bronnen geproduceerde waterstof, bijvoorbeeld uit wind- of zonne-electriciteit in combinatie met elektrolyse. Beide vormen zijn naar verwachting nog niet grootschalig beschikbaar in 2030.

<sup>33</sup> Er moeten wel aanpassingen worden gedaan aan het gasnet om het gebruiksklaar te maken voor waterstof.

warmtetechnieken dus niet geschikt zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor oude, monumentale panden.

- Locatie: sommige warmtebronnen of -technieken zijn locatieafhankelijk. Restwarmte is bijvoorbeeld niet overal in grote hoeveelheden beschikbaar en warmtenetten zijn geschikter voor dichtbebouwde gebieden, vanwege de kosten van een warmtenet en omdat er in het transport van de warmte verliezen voorkomen.

Ook voor de glastuinbouw is voornamelijk de locatie bepalend voor de vraag welke warmtetechniek het meest geschikt is. Dit geldt zowel voor de potentiële warmtebronnen (restwarmte en geothermie, bijvoorbeeld) en in de vraag of een collectief met andere tuinders mogelijk is. Isolatie is ook vaak mogelijk en nodig wanneer wordt overgestapt op een nieuwe warmtetechniek om de kas mee te verwarmen.

### *Individuele gebouwverwarming met groengas of biomassa*

Woningen en utiliteiten kunnen met behulp van individuele installaties worden verwarmd door zowel groengas als houtige biomassa (vaak in de vorm van pellets).

**Groengas** is tot aardgaskwaliteit opgewerkt biogas. Het gas kan worden ingevoerd op het aardgasnetwerk en tot 100% worden bijgemengd. Het gas kan op twee manieren worden ingezet: in een conventionele cv- of hr-ketel en in een hybridewarmtepomp, in beide gevallen ter vervanging van aardgas (geheel of gedeeltelijk). Hoeveel biomassa er per woning voor warmte wordt gebruikt is afhankelijk van het aandeel groengas in de landelijke infrastructuur ten opzichte van aardgas.

Een **biomassaketel-cv** is een individuele installatie die een cv-ketel kan vervangen en daarmee het gebruik van fossiele warmtedragers terugdringt. Dit zijn biomassa gestookte ketels die niet slechts één ruimte verwarmen, maar het gehele huis. De gebruikte biomassa is meestal houtpellets, de installatie wordt daarom ook weleens pelletketel-cv genoemd. Bioketels kunnen een oplossing zijn voor moeilijk/kostbaar te isoleren gebouwen die in een dunbebouwd gebied liggen, omdat *all electric* en warmtenetten daar geen optie zijn (CE Delft, 2019).

### *Collectieve gebouwverwarming met groengas of biomassa*

#### **Warmtenet**

Een woning of utiliteitsgebouw kan worden aangesloten op een stadswarmtenet. Vanuit een centraal punt wordt warmte aan de gebouwen geleverd. Er kunnen 1 of meerdere bronnen van de warmte zijn. Voorbeelden van warmtebronnen zijn aftapwarmte van elektriciteitscentrales, restwarmte vanuit industrie en warmte uit afvalenergiecentrales (AECs). Ook een (grote) biomassaenergiecentrale (BEC) kan op een stadswarmtenet zijn aangesloten. Zowel AECs en BECs zijn relevant voor deze studie, waar bij die laatste onderscheid kan worden gemaakt tussen centrales die op B-hout (geverfd of verlijmd hout) draaien en centrales die op vers hout draaien.

Er zijn ook lagetemperatuurwarmtenetten (LT), die geschikt zijn voor gebouwen en woningen met een minimaal energielabel D. Met dit type warmtenetten zijn meer investeringen in de isolatie van woningen nodig, maar daar staat het voordeel tegenover dat er meer warmtebronnen geschikt zijn om te worden aangesloten op LT-warmtenetten. Het alternatief is een hogetemperatuurwarmtenet (HT), deze zijn wel geschikt voor moeilijk isoleerbare woningen. Voor HT-warmtenetten zijn minder warmtebronnen

geschikt. Een HT-warmtenet is het type net waar elektriciteitscentrales, AECs en BECs op zijn aangesloten.

### **Pieketels/back-up warmtenet**

De hoofdverwarmingsbron van een stadswarmtenet is meestal gedimensioneerd op een capaciteit die het grootste deel van het jaar de warmtebehoefte kan vervullen.

De hoofdverwarming inrichten op de grootste potentiële warmtebehoefte zou economisch onrendabel zijn vanwege de daarvoor vereiste grootte van buizen van het net. Daarom zijn er aan een warmtenet pieketels gekoppeld, die dicht bij de warmtevragers liggen en zogeheten pieken in de vraag op kunnen vangen. Ook wanneer er iets mis zou zijn met de hoofdverwarming, fungeren de pieketels als back-up.

Deze pieketels worden op dit moment verwarmd met aardgas. Deze zouden ook met groengas kunnen worden gestookt, of eventueel met andere vormen van biomassa.

### *Verwarming glastuinbouw met groengas, biogas of biomassa*

In de glastuinbouw kan biomassa worden ingezet in bio-WKK's en bioketels. Dit gebeurt al, vooral met houtige biomassa als warmtebron. Ook groengas kan worden ingezet, evenals (lokaal geproduceerd) biogas (niet opgewerkt tot aardgaskwaliteit). De installaties kunnen zowel bij één glastuinbouwbedrijf staan, of bij een collectief van bedrijven.

Glastuinbouwbedrijven kunnen ook op grotere collectieve warmtenetten aan worden gesloten, bijvoorbeeld als ze in de buurt van industrie met veel restwarmte liggen.

## **2.5.3 Behoeftte aan warmte door de gebouwde omgeving en glastuinbouw**

In deze paragraaf wordt gekeken naar de huidige behoefte aan biomassa voor lage-temperatuurwarmte in de gebouwde omgeving (woningen plus utiliteitsgebouwen) en de glastuinbouw en de verwachte behoefte in 2030 en 2050.

Ten eerste wordt met behulp van data van het CBS de huidige behoefte aan warmte, aardgas en biomassa voor deze toepassingen gegeven. Vervolgens wordt de verwachte behoefte aan warmte en biomassawarmtebronnen in de gebouwde omgeving en glastuinbouw in 2030 gegeven, zoals bepaald in de recent verschenen Klimaat- en energieverkenning 2019 (KEV) van het PBL (PBL, 2019b). De hierin verwachte behoefte aan biomassa is redelijk conservatief, mede doordat veel beleidsteksten op het gebied van warmte in de gebouwde omgeving nog bestaat uit visies en niet uit harde afspraken. Daarom geven we tot slot, op basis van de studie 'Richting 2050: Systeemkeuzes en Afhankelijkheden in de Energietransitie' van Berenschot (Berenschot, 2018b), cijfers over hoe de behoefte aan biomassa in 2030 en 2050 worden – afhankelijk van verschillende keuzes die hier invloed op hebben. In dat rapport is een overzicht gegeven van studies naar de energietransitie die in de afgelopen jaren zijn uitgevoerd.

### *Huidige behoefte aan warmte*

Op basis van data uit de Klimaat- en energieverkenning 2019 en van het CBS, is de warmtebehoefte van woningen, utiliteiten en de glastuinbouw voor 2018 in kaart gebracht (Tabel 19).

Opmerking: Veel van de biomassa die momenteel in individuele installaties in woningen wordt gebruikt, wordt toegepast in open haarden en vergelijkbare installaties. Deze installaties zijn meer bedoeld voor sfeerverwarming dan voor het opwarmen van een gehele

woning en kunnen aardgasverwarming niet vervangen. Deze biomassa wordt echter wel gemonitord en zit dus ook in het getal in Tabel 19.

Tabel 19 - Huidige (2018) behoefte aan warmte vanuit woningen, utiliteitsbouw en de glastuinbouw op basis van Klimaat- en Energieverkenning en CBS (PBL, 2019b)

|                | Totale warmtebehoefte (PJ) (2018) | Waarvan ingevuld met aardgas (PJ) (aandeel van totaal) (2018) | Waarvan ingevuld met biomassa (PJ) (aandeel van totaal) (2018) |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Woningen       | 331                               | 295 (89%)                                                     | 20 (6%)                                                        |
| Utiliteitsbouw | 141                               | 128 (91%)                                                     | 1 (0,7%)                                                       |
| Glastuinbouw   | 90 <sup>34</sup>                  | 76 <sup>35</sup> (84%)                                        | 10 (11%)                                                       |
| <b>Totaal</b>  | <b>575</b>                        | <b>499</b>                                                    | <b>31</b>                                                      |

### *Behoeftte aan warmte in 2030 en 2050*

#### **Lagetemperatuurwarmtebehoefte en invulling daarvan in 2030: volgens KEV 2019**

Op basis van vastgesteld beleid<sup>36</sup> in de KEV wordt verwacht dat de totale laag temperatuur-warmtebehoefte daalt richting 2030 met 109 PJ van 575 PJ naar 466 PJ (PBL, 2019b). Een deel van de warmtebehoefte zal worden ingevuld door elektrificering (bijvoorbeeld door een groei van het aantal warmtepompen), een deel zal verdwijnen door bijvoorbeeld toepassing van isolatiemaatregelen. Het aandeel aardgas dekt nog steeds ~85% van de warmtebehoefte in de gebouwde omgeving in 2030, maar vanwege de daling van de warmtebehoefte in deze sector daalt het verbruik wel van 423 PJ in 2018 naar 319 PJ in 2030. In de glastuinbouw daalt het aardgasverbruik van 80 PJ naar 54 PJ. In de woningen-sector is het gedeelte van warmte dat met behulp van biomassa wordt geproduceerd gedaald naar 15 PJ (t.o.v. 20 PJ in 2018), ofwel van 6% naar 5% van het totaal. Bij utiliteiten en de glastuinbouw wordt een stijging van de warmtebehoefte uit biomassa verwacht, respectievelijk van 1 naar 2 PJ (1 naar 2%) en van 10 naar 17 PJ (11 naar 20%) tussen 2018 en 2030.

Voor de glastuinbouw is de biomassabehoefte lang stabiel op het niveau van 2018, waarna tussen 2025 en 2030 iets minder dan een verdubbeling van de behoefte plaatsvindt. Voor utiliteitsbouw is er een piek in de behoefte aan biomassa in 2025 (3-4 PJ), waarna de behoefte weer daalt richting 2030.

<sup>34</sup> Dit blijkt uit totale warmtevraag landbouw (~98 PJ) (Figuur 5.19 uit de KEV 2019) en de tekst in de KEV: 'Het energieverbruik (met CO<sub>2</sub>-emissies) door veeteelt en akkerbouw (exclusief mobiele werktuigen) - voor verwarming van stallen en voor warm water - is beperkt, en wordt in 2018 geschat op 7,8 petajoule'. We gaan ervan uit dat dus ongeveer 90 PJ warmtevraag voor rekening van de glastuinbouw is. Figuur 2.6 uit het rapport 'Energemonitor Nederlandse glastuinbouw 2017' (Wageningen Economic Research, 2018) geeft ook een warmtevraag van ~ 90 PJ in 2017.

<sup>35</sup> 'Behoeftte aan warmte uit aardgas = totale warmtevraag glastuinbouw – warmte-invulling met biomassa – warmte-invulling met geothermie = 90 PJ - 10 PJ - 4 PJ = 76 PJ (allemaal op basis van KEV).

<sup>36</sup> De KEV geeft ook data voor 'vastgesteld en voorgenomen' beleid, maar omdat die data bijna gelijk zijn aan die voor 'vastgesteld' beleid, nemen we die eerste niet mee (ter illustratie: de totale warmtevraag van de drie subsectoren is bij vastgesteld beleid 466 PJ en bij vastgesteld en voorgenomen beleid 465 PJ in 2030).

Tabel 20 - Behoefte aan warmte vanuit gebouwde omgeving en glastuinbouw in 2030 bij vastgesteld beleid, op basis van Klimaat- en Energieverkenning (PBL, 2019b)

|               | Totale warmtebehoefte (PJ) (2030) | Waarvan aardgas (PJ) (aandeel van totaal) (2030) | Waarvan biomassa (PJ) (aandeel van totaal) (2030) | Waarvan vaste biomassa (PJ) | Waarvan gasvormige biomassa (PJ) |
|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Woningen      | 277                               | 235 (85%)                                        | 15 (5%)                                           | 15                          | 0                                |
| Utiliteiten   | 105                               | 84 (80%)                                         | 2 (2%)                                            | 2                           | 0                                |
| Glastuinbouw  | 85 <sup>37</sup>                  | 54 (64%)                                         | 17 (20%)                                          | 15                          | 2                                |
| <b>Totaal</b> | <b>466</b>                        | <b>376</b>                                       | <b>34</b>                                         | <b>32</b>                   | <b>2</b>                         |

Volgens de Klimaat- en energieverkenning zal een deel van de warmtebehoefte door de gebouwde omgeving (vooral woningen en utiliteitbouw) worden ingevuld met elektriciteit (vooral met warmtepompen). Een deel van de elektriciteitsopwekking wordt ingevuld met biomassa, vooral bestaande uit vaste biomassa en biogeen huishoudelijk afval. Dit deel van de biomassabehoefte wordt besproken in Paragraaf 2.6 van deze studie.

De KEV laat een beperkte behoefte aan warmte uit biomassa zien voor de gebouwde omgeving in 2030. Het totale verbruik van biogas in alle sectoren in Nederland is volgens de Tabel 31a van de KEV 15 PJ in 2030. In het Klimaatakkoord staat dat de groengassector streeft naar 2 bcm (ofwel 70 PJ) groengasbeschikbaarheid in 2030, vooral voor de gebouwde omgeving. In de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) is het Klimaatakkoord nog niet meegenomen, wat dit verschil verklaart. In de aanvullende notitie op de KEV 'Het Klimaatakkoord: Effecten en aandachtspunten' (PBL, 2019a) wordt hierover gezegd dat deze afspraken nog niet leiden tot een hogere verwachting van de beschikbare hoeveelheid groengas in 2030, omdat wordt verwacht dat 'de grootschalige vergassing van biomassa te duur is om SDE++-subsidie voor te krijgen'. Daarom wordt op basis van het Klimaatakkoord voor 2030 toch geen grotere beschikbaarheid van groengas verwacht dan in de KEV is voorspeld door het PBL.

Voor warmtenetten is ook een aanvullende berekening gemaakt in de KEV die uitkomt op 31 PJ warmtelevering uit warmtenetten in 2030 aan de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Hier komt door extra afspraken in het Klimaatakkoord nog 9-16 PJ bij. 70% van de warmtelevering moet uit hernieuwbare bronnen worden geproduceerd. Met een gemiddeld warmteverlies op jaarbasis van 25% is dan in totaal 37-44 PJ hernieuwbare warmteproductie nodig. Dit kan uit verschillende bronnen komen: biomassaketels, (on)diepe geothermie of aquathermie en wellicht ook restwarmte indien dat als klimaatneutraal gezien gaat worden. Er is volgens (PBL, 2019a) nog geen duidelijkheid over hoe de verdeling over de verschillende warmtebronnen zal zijn.

## Lagetemperatuurwarmtebehoefte en invulling daarvan in 2030 volgens verschillende studies

In 2018 heeft Berenschot in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat een overzichtsstudie van verschillende toekomstscenario's van de energietransitie in Nederland gemaakt, als input voor het Klimaatakkoord (Berenschot, 2018b). De studie bevat

<sup>37</sup> Aanname dat in 2030 hetzelfde aandeel van het warmteverbruik van de landbouwsector voor rekening van de glastuinbouw is als in 2018 (in 2018: 90 PJ van de 98 PJ).

ook bandbreedtes van de verwachting van de behoefte aan biomassa voor de warmtevoorziening, voor zowel 2030 als 2050. De uitkomsten lopen zeer uiteen en zijn afhankelijk van de modellen, uitgangspunten en aannames die zijn gehanteerd voor het opstellen van de scenario's. Uit de onderzochte studies blijkt dat de bandbreedte van de biomassa-inzet voor warmte in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw tussen de 10-176 PJ zal liggen in 2030 (zie Tabel 22 en begeleidende tekst) en tussen de 0-345 PJ in 2050 (zie Tabel 23).

De belangrijkste factoren die invloed hebben op de lagetemperatuurwarmtebehoefte en de biomassabehoeftedaarbinnen zijn:

- Wat is het CO<sub>2</sub>-reductiedoel van de studie en in welk jaar moet dat bereikt zijn? Hoe minder ambitieus het doel of hoe verder het zichtjaar, hoe langer er aardgas ingezet kan blijven worden in de lagetemperatuursectoren. Er is dan minder van een alternatieve warmtebron nodig.
- Welke efficiëntieverbeteringen worden er gerealiseerd tussen nu en het zichtjaar in de gebouwde omgeving en glastuinbouw? Het belangrijkste voorbeeld hiervan zijn isolatiemaatregelen (aan bestaande bouw), waardoor zowel de warmtebehoefte daalt als ook bepaalde warmtetechnieken zoals elektrische warmtepompen op grotere schaal toe te passen zijn.
- Biomassainzet voor lagetemperatuurwarmte: hoe grootschalig wordt biomassa ingezet als (lagetemperatuur) warmtebron?
- Wordt er wel of geen biomassa geïmporteerd?
- Welke warmtetechnieken en -bronnen zijn (op grote schaal) beschikbaar in het zichtjaar van de studie (zowel technisch als kostentechnisch)?

De manier waarop deze factoren zijn ingevuld door de in (Berenschot, 2018b) geanalyseerde studies voor 2030 is weergegeven in Tabel 21.

Tabel 21 - Uitgangspunten en aannames biomassa-inzet voor lagetemperatuurwarmtebehoefte door voor 2030 geanalyseerde studies in (Berenschot, 2018b)

| Studie                    | Uitgangspunt/<br>doel voor 2030           | Biomassa-inzet voor<br>lagetemperatuurwarmte?                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Import van<br>biomassa/<br>groengas? | Opmerking                                                                                                                                             |
|---------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PBL<br>Pakket<br>3 (2017) | -49% CO <sub>2</sub> -eq.-<br>emissies NL | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Ja: in bio-energiecentrales (houtige biomassa) aangesloten op warmtenetten of in groengas op basis van vergassing van houtpellets.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Nee.                                                                                                                                                      | Ja                                   |                                                                                                                                                       |
| Gasunie<br>(2018)         | -54% CO <sub>2</sub> -eq.-<br>emissies NL | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Ja: Groengasinzet in (piekketels van) warmtenetten.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Nee.                                                                                                                                                                                                                                     | Ja                                   |                                                                                                                                                       |
| Urgenda<br>(2014)         | 100%<br>hernieuwbare<br>energie NL        | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Ja: Er wordt uitgegaan van 13 groengascentrales en vijf bio-energiecentrales die draaien op biokolen, alle in gebruik als back-upsysteem: de LT-warmtebehoefte wordt vooral door elektrificatie voorzien maar als het elektriciteitsaanbod te laag vangt biomassa- en groengascentrales het op.<br><b>Glastuinbouw:</b> | Ja                                   | In ontwikkeling zijnde technieken zijn niet in de studie zijn meegenomen. Wanneer deze technieken, zoals energieopslag, sneller worden ontwikkeld, is |

| Studie                 | Uitgangspunt/<br>doel voor 2030               | Biomassa-inzet voor<br>lagetemperatuurwarmte?                                                                                                                                                     | Import van<br>biomassa/<br>groengas? | Opmerking                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                        |                                               | Bestaande WKK's gaan over op biobrandstoffen zoals biogas. 5% groengas in de glastuinbouw<br>Dat is ongeveer 4 PJ op basis van de verwachte warmtebehoefte uit de KEV (zie Tabel 19 en Tabel 20). |                                      | volgens de auteurs minder tot geen (import van) biomassa meer nodig in 2030.                                                                                                                      |
| Natuur & Milieu (2016) | -67% CO <sub>2</sub> -eq.-emissies NL in 2035 | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Nee.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Nee.                                                                                                                                 | Onbekend                             | Biomassa wordt alleen ingezet waar geen alternatieven zijn, vanwege de veronderstelde beperkte beschikbaarheid van duurzame biomassa. In de glastuinbouw wordt geen biomassa of groengas ingezet. |

Zoals te zien in Kolom 2 van Tabel 22 zijn de doelen die de studies hebben in 2030 (of in 2035 in het geval van Natuur & Milieu), heel verschillend. Ze lopen uiteen van 49% emissiereductie in Nederland conform het huidige Regeerakkoord, tot 100% hernieuwbare energie in Nederland in 2030. Ook de totale energiebehoefte van Nederland in 2030/2035 verschilt sterk per studie. De lage energiebehoefte volgens Urgenda en Natuur & Milieu wordt o.a. behaald door vergaande efficiëntieverbeteringen (energiebesparing) in de gebouwde omgeving, bijvoorbeeld door isolatiemaatregelen. De keuze voor 100% hernieuwbare energie door Urgenda maakt dat aardgas geen optie meer is en de totale warmtebehoefte met een andere bron moet worden ingevuld, terwijl in de PBL-studie bij 49% emissiereductie een groot deel van de warmtebehoefte nog met aardgas wordt ingevuld. De bovengrens van warmtebehoefte uit biomassa voor heel Nederland is, op basis van de Urgenda studie, 176 PJ. Omdat de precieze verdeling over sectoren in die studie onduidelijk is, zijn we ervan uitgegaan dat de volledige 176 PJ voor de lagetemperatuurtoepassingen wordt gebruikt. Daarnaast wordt aangegeven dat er meer warmte uit groengas dan uit biokolen wordt geproduceerd. Daarom zijn we uitgegaan dat de invulling van de warmtebehoefte voor 75% (=132 PJ) door groengas is en 25% door bio-energiecentrales (= 44 PJ).

Samenvattend ligt daarmee de behoefte aan warmte uit groengas voor de lagetemperatuurtoepassingen op basis van deze studies tussen de 0-132 PJ in 2030 en de behoefte aan warmte uit vaste biomassa tussen de 0-44 PJ. Later in dit hoofdstuk wordt gegeven hoeveel biomassa hier voor nodig is.

Tabel 22 - Energie- en biomassabehoeft 2030 geheel NL en lagetemperatuurwarmte volgens verschillende studies, op basis van (Berenschot, 2018b). Laatste kolom door CE Delft ingevuld op basis van de achterliggende studies.

| Studie                 | Totaal finale energiegebruik (ook elektriciteit) (PJ) | Groengas/biomassa (totaal NL) (PJ) | Groengas/biomassa (lagetemperatuurwarmte-invulling) <sup>38</sup> (PJ) |
|------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| PBL Pakket 3 (2017)    | 1.605                                                 | 15 (1%)                            | Houtige biomassa vooral in de gebouwde omgeving                        |
| Gasunie (2018)         | 1.667                                                 | 140 (8%)                           | ~70 PJ groengas vooral in de gebouwde omgeving                         |
| Urgenda (2014)         | 942                                                   | 176 (19%)                          | Groengas en in mindere mate vaste biomassa (biokolen)                  |
| Natuur & Milieu (2016) | 1.102                                                 | 10 (1%)                            | -                                                                      |

## Lagetemperatuurwarmtebehoefte en invulling daarvan 2050

In Tabel 23 zijn de bevindingen uit (Berenschot, 2018b) voor 2050 samengevat, aangevuld met twee kolommen met informatie uit de achterliggende studies, door CE Delft. Voor 2050 zijn veelal andere studies meegenomen dan voor 2030 omdat veel studies slechts één zichtjaar hebben (óf 2030, óf 2050).

| Studie                        | Uitgangspunt/doel voor 2030                                        | Biomassa-inzet voor lagetemperatuurwarmte?                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Import van biomassa/groengas? | Opmerking                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RLI (2015)                    | 80-95% emissie-reductie NL                                         | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Nee.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Nee.                                                                                                                                                                                                                                                                      |                               | Inzet van biomassa daar waar geen alternatieven zijn, vanwege beperkte duurzame beschikbaarheid.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Gasunie verkenning (2018)     | CO <sub>2</sub> -neutrale energie-voorziening en gebouwde omgeving | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Ja, In 2050 wordt biomassa niet meer gebruikt als voeding voor warmtenetten, maar op plekken waar alternatieven zoals all electric niet mogelijk zijn.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Onduidelijk.                                                                                                            | Ja                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Berenschot elektronen (2018a) | 'CO <sub>2</sub> -emissies vrijwel naar 0'                         | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Ja, beschikbare groengas wordt verdeeld over sectoren waar het nodig is en kan er dus ook een deel in de gebouwde omgeving terecht komen.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Ja, beschikbare groengas wordt verdeeld over sectoren waar het nodig is en kan er dus ook een deel in de glastuinbouw terecht komen. | Nee                           | De aanname van 4 bcm is gemaakt door extrapolatie van het ECN-scenario 'Centralized Climate Action 2035' waarin een beschikbaarheid van 3 bcm voor 2030 wordt gegeven. Geen import omdat de kosten van biomassa op de wereldmarkt in 2050 moeilijk in te schatten zijn. Er is alleen invulling gegeven aan energiebehoefte van de industrie en de gebouwde |

<sup>38</sup> Dit is door CE Delft voor deze studie uit de achterliggende studies overgenomen.

| Studie                                                                    | Uitgangspunt/<br>doel voor<br>2030                   | Biomassa-inzet voor<br>lagetemperatuurwarmte?                                                                                                                                                                                                                                                                  | Import van<br>biomassa/<br>groengas? | Opmerking                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                           |                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                      | omgeving, landbouw (en andere sectoren) niet.                                                                                                                                                                                               |
| Berenschot<br>moleculen<br>(2018a)                                        | 'CO <sub>2</sub> -emissies<br>vrijwel naar 0'        | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Hybride elektrificatie van de<br>gebouwde omgeving, waar<br>groengas als energiebron wordt<br>ingezet wanneer er niet genoeg<br>elektriciteit beschikbaar is. De<br>totale beschikbare hoeveelheid<br>groengas gaat naar de<br>gebouwde omgeving.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Nee. |                                      | Idem opmerking als bij<br>'Berenschot elektronen'                                                                                                                                                                                           |
| KIVI (2017)                                                               | CO <sub>2</sub> -neutrale<br>energie-<br>voorziening | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Nee, want er is een te kleine<br>binnenlandse beschikbaarheid<br>van duurzame biomassa.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Nee.                                                                                                                                                           | Nee                                  | De gebouwde omgeving en<br>glastuinbouw worden verwarmd<br>met warmtepompen en<br>warmtenetten, die laatste<br>worden niet gevoed met<br>biomassa.                                                                                          |
| Net voor de<br>Toekomst<br>(nationaal) (CE<br>Delft, 2017a)               | CO <sub>2</sub> -neutrale<br>energie-<br>voorziening | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Ja.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Ja.                                                                                                                                                                                                                                                | Nee                                  | De gegeven data voor Net voor<br>de Toekomst zijn voor 'lage-<br>temperatuur', dus voor een<br>combinatie van de gebouwde<br>omgeving en de glastuinbouw<br>samen, daarom is aangenomen<br>dat biomassa in beide sectoren<br>wordt ingezet. |
| Net voor de<br>Toekomst<br>(generieke<br>sturing)<br>(CE Delft,<br>2017a) | CO <sub>2</sub> -neutrale<br>energie-<br>voorziening | <b>Gebouwde omgeving:</b><br>Ja.<br><b>Glastuinbouw:</b><br>Ja.                                                                                                                                                                                                                                                | Ja                                   | Idem opmerking als bij 'Net voor<br>de Toekomst (nationaal)'                                                                                                                                                                                |

Alle beschouwde studies voor 2050 hebben ongeveer hetzelfde doel: (minstens) naar 80-95% broeikasgasemissiereductie in 2050 en om dat te bewerkstelligen een CO<sub>2</sub>-neutrale energievoorziening. De warmtebehoefte van de gebouwde omgeving loopt uiteen van 199-589 PJ. Zoals aangegeven in de tabel is het hierbij niet altijd duidelijk is of de glastuinbouw hieronder valt. Waar het te achterhalen was, is dit aangegeven. De behoefte aan warmte uit groengas voor de lagetemperatuurtoepassingen ligt tussen de 0-310 PJ in 2050, de behoefte aan warmte uit vaste biomassa tussen de 0-18 PJ. Later in dit hoofdstuk wordt besproken hoeveel biomassa hier voor nodig zou zijn.

**Tabel 23 - Energie- en biomassabehoeftes 2050 gebouwde omgeving volgens verschillende studies, op basis van (Berenschot, 2018b). Laatste twee kolommen door CE Delft ingevuld op basis van de achterliggende studies.**

| Studie                                                     | Lagetemperatuur finale energiemix (ook elektriciteit) (PJ) <sup>39</sup> | Groengas/biomassa finale energiemix (ook elektriciteit) (PJ) | Waarvan vaste biomassa (finale behoefte lagetemperatuur, PJ) | Waarvan groengas (finale behoefte lagetemperatuur, PJ) |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| RLI (2015)                                                 | 230 (niet duidelijk waarvoor)                                            | 0 (0%)                                                       | -                                                            | -                                                      |
| Gasunie verkenning (2018)                                  | 355 (gebouwde omgeving)<br>105 (glastuinbouw) <sup>40</sup>              | 71 (20%)                                                     | -                                                            | 68                                                     |
| Berenschot elektronen (2018a)                              | 199 (alleen gebouwde omgeving, excl. omgevings-warmte)                   | 0 (0%)                                                       | -                                                            | Klein deel van 4 bcm = 140 PJ in glastuinbouw          |
| Berenschot moleculen (2018a)                               | 301 (alleen gebouwde omgeving, excl. omgevings-warmte)                   | 139 (46%)                                                    | -                                                            | 4 bcm = 140 PJ                                         |
| KIVI (KIVI, 2017)                                          | 497 (niet duidelijk waarvoor)                                            | 0 (0%)                                                       | -                                                            | -                                                      |
| Net voor de Toekomst (nationaal) (CE Delft, 2017a)         | 589 (lagetemperatuur-warmte)                                             | 65 (11%)                                                     | 10                                                           | 58                                                     |
| Net voor de Toekomst (generieke sturing) (CE Delft, 2017a) | 571 (lagetemperatuur-warmte)                                             | 345 (60%)                                                    | 18                                                           | 310                                                    |

#### 2.5.4 Invulling van de biomassabehoeftes

Uit de studies die in (Berenschot, 2018b) zijn geanalyseerd blijkt dat de invulling van de lagetemperatuurwarmtebehoefte vooral ingevuld gaat worden in de vorm van groengas en collectieve bio-energiecentrales.

##### *Groengas*

Groengas is gezuiverd biogas. Biogas kan worden geproduceerd door het vergisten van biomassa(rest)stromen. Groengas kan ook worden geproduceerd door methanatie van het syngas uit vergaste biomassa(rest)stromen. Vergisting gebeurt in Nederland vooral met mest, RWZI-slib en GFT. Voor vergassing in superkritisch water kunnen ook natte biomassa-stromen worden gebruikt, zoals RWZI-slib en – een nieuwere biomassastroom – zeewier na eiwitextractie. Met allotherme vergassing kunnen ook uit droge, veelal houtige biomassa-stromen syngas worden geproduceerd, zoals uit B-hout en reststromen uit de bosbouw.

<sup>39</sup> Tussen haakjes aangegeven of het om de finale vraag uit de glastuinbouw, de gebouwde omgeving of een combinatie van die twee gaat, op basis van achterliggende studies.

<sup>40</sup> Toegevoegd door CE Delft op basis van (Gasunie, 2018).

De hoeveelheid groengas die kan worden geproduceerd met een bepaalde hoeveelheid biomassa, is afhankelijk van het type biomassa en de conversieroute. Hier wordt aangenomen dat er uit 1 PJ biomassa, 0,35 PJ groengas kan worden geproduceerd (CE Delft, 2020).

### *Bio-energiecentrales*

Voor de opwekking van warmte in bio-energiecentrales wordt vooral hout (vaak in de vorm van snippers of pellets) gebruikt. Via een warmtenet wordt vervolgens de warmte bij de consument afgeleverd. Voor bio-energiecentrales in 2030 en 2050 is een rendement van 85% aangenomen. Bij de levering van de warmte gaat ook warmte verloren. Dit warmteverlies is op 15% ingeschat, oudere warmtenetten hebben nog wel eens hogere verliezen, maar omdat het over een toekomstbehoefte gaat wordt 15% als realistisch verlies gezien (CE Delft, sd).

### **Hoeveelheid biomassa nodig om aan verwachte groengas- en biomassa-behoefte 2030 en 2050 te voldoen**

In Tabel 24 en Tabel 25 is de behoefte aan warmte uit biomassa (opgesplitst in behoefte aan warmte uit groengas en de biowarmtebehoefte, oftewel de behoefte aan warmte uit bio-energiecentrales) naast de hoeveelheid biomassa er nodig is om aan deze behoefte te voldoen voor respectievelijk 2030 en 2050 weergegeven. Voor groengas is gerekend met 0,35 PJ groengas/PJ biomassa<sup>41</sup>. Voor vaste biomassa is gerekend met een collectieve bio-energiecentrale met een rendement van 85% en een warmtenet met een leveringsverlies van 15%. Het resultaat is te zien in Tabel 24 en Tabel 25.

Uit Tabel 24 blijkt dat met vaststaand beleid de warmtebehoefte uit biomassabronnen in de gebouwde omgeving en glastuinbouw volgens (PBL, 2019b) ongeveer 34 PJ is in 2030. Hiervoor is 50 PJ biomassa nodig. Door verschillende (beleids)keuzes zou de biomassa-behoefte voor warmte in de gebouwde omgeving en glastuinbouw uiteen kunnen lopen tussen 0-176 PJ in 2030, zoals is gebleken uit de analyse van (Berenschot, 2018b). Hiervoor is tussen de 0 en 438 PJ biomassa nodig. De voornaamste keuze die leidt tot de uiteenlopende cijfers, is of biomassa überhaupt wordt gebruikt voor laag temperatuurwarmtetoepassingen. Daarnaast is ook het doel van de studie van belang voor de uitkomst ervan, met als achterliggende gedachte of alle aardgas in de gebouwde omgeving en glastuinbouw moet worden vervangen of niet. Ook het type biomassa en de techniek waarmee groengas wordt geproduceerd is van belang: we hebben hier gerekend met 0,35 PJ groengas/PJ biomassa, maar dit is een gemiddelde. In de praktijk verschilt de hoeveelheid biomassa die nodig is om een bepaalde hoeveelheid groengas mee op te wekken.

<sup>41</sup> Gebaseerd op een nog te publiceren studie van CE Delft (CE Delft, 2020), waarin meer achtergrond over dit omzettingsrendement te vinden zal zijn.

Tabel 24 - Verwachte groengas- en biowarmtebehoefte in 2030 volgens (PBL, 2019b) en de analyse van verschillende studies in (Berenschot, 2018b) en de biomassabehoeft die daar uit volgt

|                                      | Warmtebehoefte                |                                | Biomassabehoeft                                    |                                                          |                                   |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                      | Groengasbehoefte<br>2030 (PJ) | Biowarmtebehoefte<br>2030 (PJ) | Biomassa-<br>behoefte uit<br>groengasvraag<br>(PJ) | Biomassa-<br>behoefte<br>uit<br>biowarmte-<br>vraag (PJ) | Totale<br>biomassabehoeft<br>(PJ) |
| (PBL, 2019b)                         | 2                             | 32                             | 6                                                  | 44                                                       | 50                                |
| (Berenschot,<br>2018b)<br>ondergrens | 0                             | 0                              | 0                                                  | 0                                                        | 0                                 |
| (Berenschot,<br>2018b)<br>bovengrens | 132                           | 44                             | 377                                                | 61                                                       | 438                               |

De biomassabehoeft die volgt uit de in (Berenschot, 2018b) gegeven verwachte groengas- en biowarmtebehoefte in 2050 is weergegeven in Tabel 25. Door verschillende (beleids) keuzes, zou de biomassabehoeft voor warmte in de gebouwde omgeving en glastuinbouw uiteen kunnen lopen tussen 0-911 PJ in 2050.

Tabel 25 - Verwachte groengas- en biowarmtebehoefte in 2050 volgens de analyse van verschillende studies in (Berenschot, 2018b) en de biomassabehoeft die daar uit volgt

|                                      | Warmtebehoefte                |                                | Biomassabehoeft                                      |                                                          |                                   |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                      | Groengasbehoefte<br>2050 (PJ) | Biowarmtebehoefte<br>2050 (PJ) | Biomassa-<br>behoefte uit<br>groengas-<br>vraag (PJ) | Biomassa-<br>behoefte<br>uit<br>biowarmte-<br>vraag (PJ) | Totale<br>biomassabehoeft<br>(PJ) |
| (Berenschot,<br>2018b)<br>ondergrens | 0                             | 0                              | 0                                                    | 0                                                        | 0                                 |
| (Berenschot,<br>2018b)<br>bovengrens | 310                           | 18                             | 886                                                  | 25                                                       | 911                               |

Tabel 26 - Overzichtstabel biomassabehoeft voor warmte voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw in Nederland (in PJ/jaar).

| Zichtjaar | Biomassabehoeft in gebouwde omgeving en<br>glastuinbouw (PJ/jaar) |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|
| Huidig    | 25                                                                |
| 2030      | 0-438                                                             |
| 2050      | 0-911                                                             |

## 2.6 Elektriciteitsproductie

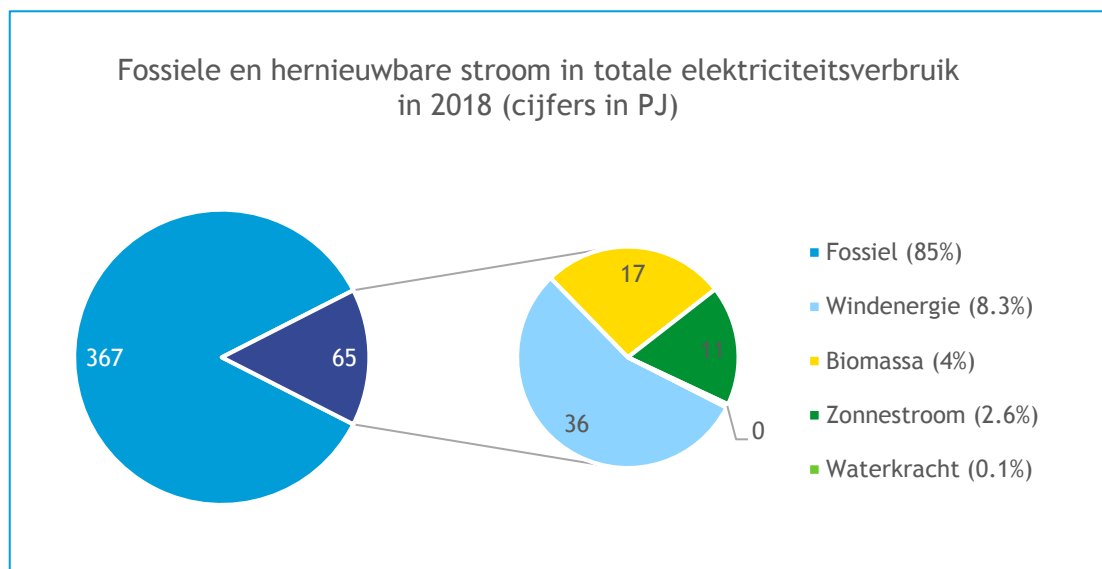
### 2.6.1 Introductie

In deze paragraaf behandelen we de huidige toepassing van biomassa voor elektriciteitsproductie en de verwachte toekomstige behoefte aan biomassa voor elektriciteitsproductie. In de Paragrafen 2.6.2-2.6.5 wordt ingegaan op de huidige productie van elektriciteit uit biomassa en de verwachte ontwikkelingen richting 2030 en 2050. In de Paragrafen 2.6.6-2.6.8 wordt de invloed van respectievelijk BECCS, kosten en cascadering op de ontwikkeling van de inzet van biomassa voor elektriciteit besproken.

### 2.6.2 Huidige behoefte aan elektriciteit

In 2018 kwam 15% van het totale Nederlandse elektriciteitsverbruik (432 PJ) uit hernieuwbare bronnen. In het totale verbruik had elektriciteit uit biomassa een aandeel van 4% (17 PJ), zie Figuur 18<sup>42</sup>.

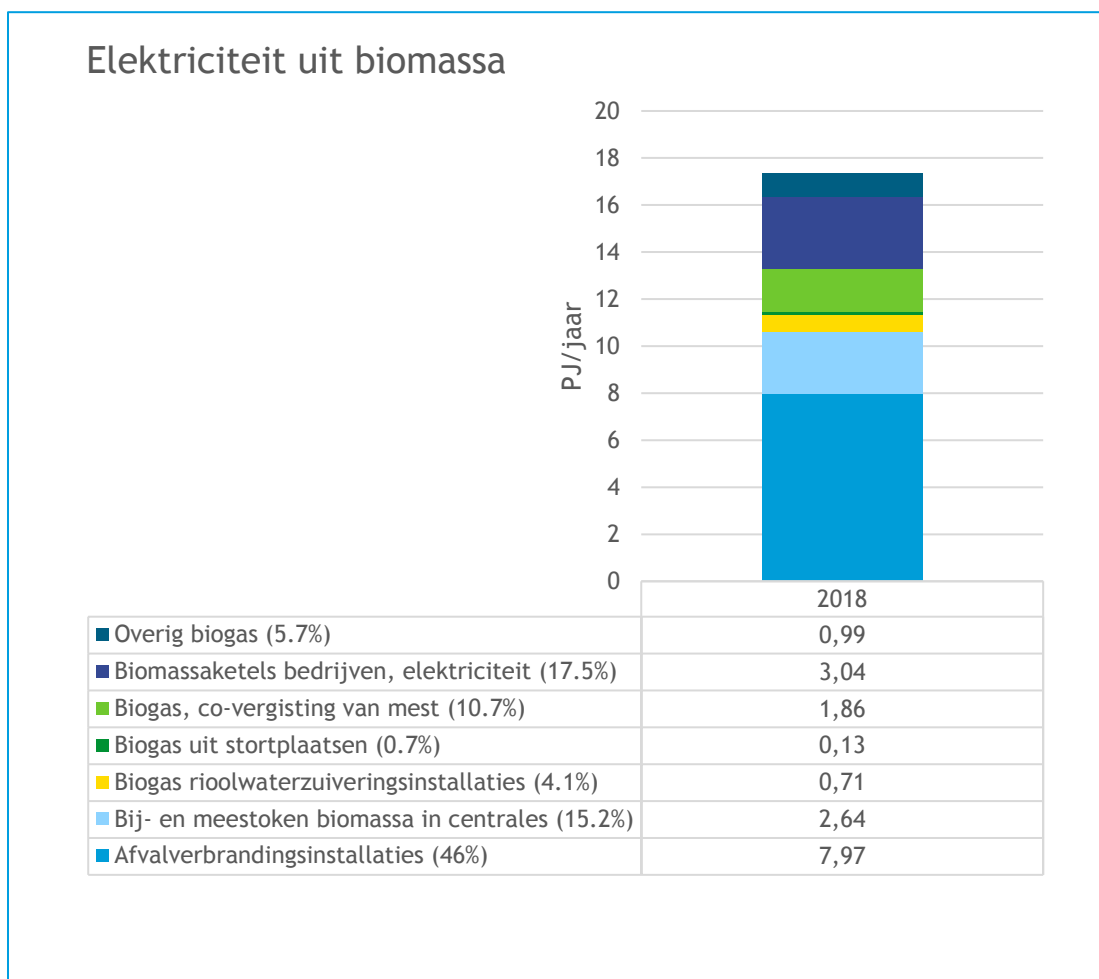
Figuur 18 - Nederlandse elektriciteitsproductie in 2018



De 17 PJ elektriciteit uit biomassa werd voor bijna de helft (46%) opgewekt in afvalverbrandingsinstallaties, uit de biogene fractie van afval (zie Figuur 19). Circa 33% was afkomstig uit verbranding van vaste biomassa, verdeeld over bio-wkk (17,5%) en biomassa bij- en meestook in kolencentrales (15,2%). Het resterende deel (21%) werd opgewekt uit de verbranding van verschillende vormen van biogas, met vergisting van mest (met co-vergisting van andere biomassa zoals maïs) als grootste bron (11%).

<sup>42</sup> CBS (2019) [Vooral meer groene stroom uit zon](#)

Figuur 19 - Uitsplitsing Nederlandse elektriciteitsproductie uit biomassa 2018



Het rendement waarmee de elektriciteit uit vaste biomassa of biogas wordt opgewekt verschilt per techniek en installatie. Voor vaste biomassa is het rendement meestal niet hoger dan 40% en voor biogas niet hoger dan 60%. Ook bij vergisting van biomassa tot biogas treden conversieverliezen op. De totale primaire biomassa-inzet voor de productie van 17 PJ elektriciteit uit biomassa zal daardoor al snel drie maal hoger liggen (circa 50 PJ).

### 2.6.3 Toekomstige behoefte aan elektriciteit

#### Algemene elektriciteitsbehoefte

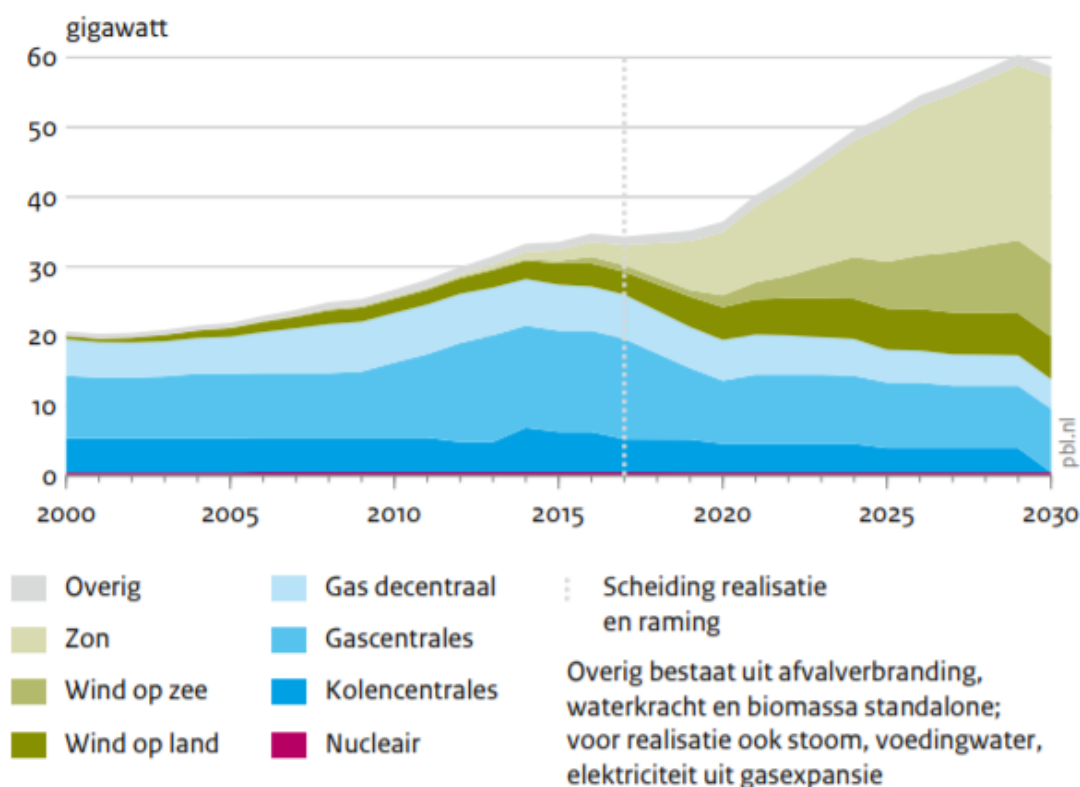
Het elektriciteitsverbruik in Nederland is de afgelopen tien jaar vrij stabiel gebleven op ongeveer 120 TWh per jaar (CBS, 2019). De effecten van efficiëntiemaatregelen en de (beperkte) economische groei hebben elkaar in deze periode in evenwicht gehouden. Volgens de KEV 2019 (PBL, 2019b) blijft de status quo de komende tien jaar bestaan. Wel groeit de nationale productie van elektriciteit met gemiddeld circa 2.5% per jaar in de komende tien jaar, waardoor Nederland van netto-importeur een netto exporteur van elektriciteit wordt. Elektrificatie van wegtransport en lagetemperatuurverwarming in de gebouwde omgeving heeft in deze periode nog geen grote invloed op de totale elektriciteitsbehoefte.

## Behoefte aan hernieuwbare elektriciteit

Op de middellange termijn (vanaf 2030) zal de behoefte aan hernieuwbare elektriciteit vanuit de transportsector mogelijk sterker toenemen, als ook vloeibare brandstoffen voor de lucht- en scheepvaart op steeds grotere schaal met behulp van elektriciteit geproduceerd gaan worden (power-to-liquids of electrofuels). Dit geldt eveneens voor de hogetemperatuurwarmtebehoefte vanuit de industrie. Elektriciteit zal nodig zijn voor (nog te ontwikkelen) hoge temperatuur elektrische warmtepompen en voor de productie van waterstof uit elektrolyse.

De in de klimaat- en energieverkenning 2019 van het Planbureau voor de Leefomgeving verwachte ontwikkeling van de opwekcapaciteit Nederland (Figuur 20) laat zien dat de groei voornamelijk door windenergie zal worden ingevuld.

Figuur 20 - Opgesteld elektrisch vermogen in Nederland

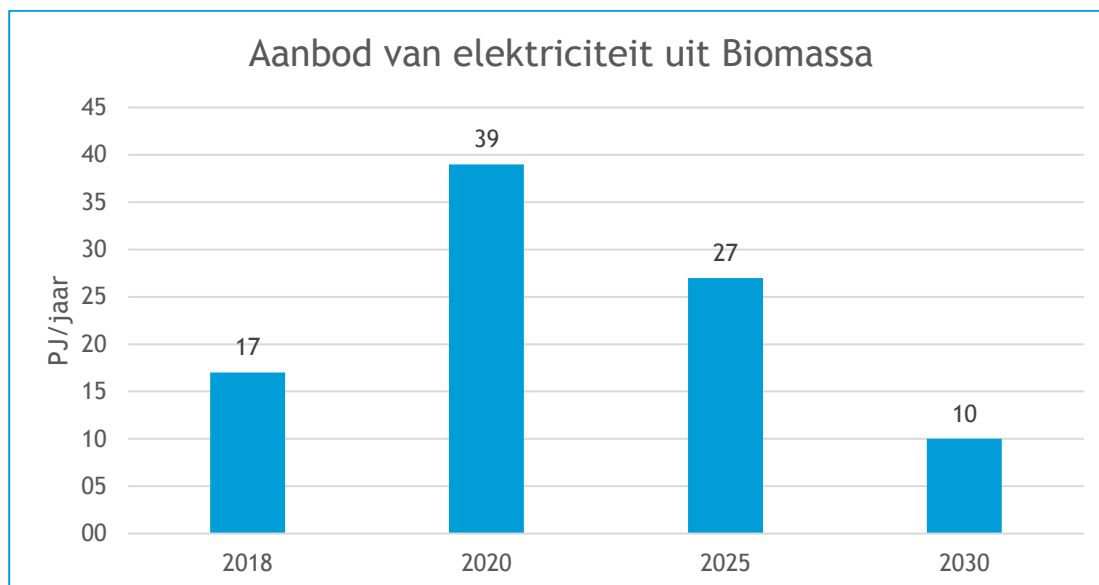


Bron: (PBL, 2019b).

### 2.6.4 Elektriciteitsbehoefte uit biomassa tot 2030

In de klimaat- en energieverkenning 2019 van het Planbureau voor de Leefomgeving (2019b) is tevens de verwachte ontwikkeling van de behoefte aan *biomassa* voor elektriciteitsproductie in de periode tot 2030 opgenomen. Op basis van vastgesteld en voorgenomen beleid groeit het aanbod van elektriciteit uit biomassa van 17 PJ in 2018 naar 39 PJ in 2020, om via 27 PJ in 2025 af te nemen tot 10 PJ in 2030 (zie Figuur 21). Rekening houdend met de eerdergenoemde conversieverliezen zal de primaire biomassa-inzet in 2030 circa 30 PJ bedragen.

Figuur 21 - Aanbod van elektriciteit uit biomassa



Bron: (KEV (PBL, 2019b)).

De groei van elektriciteit uit biomassa in de komende jaren komt grotendeels op het conto van biomassameestook in kolencentrales (de toename in 2020 t.o.v. 2018 in Figuur 21)<sup>43</sup>. In 2030 wordt in de klimaat- en energieverkenning 2019 geen productie van elektriciteit uit de meestook van biomassa in kolencentrales geraamd in verband met het wetsvoorstel op het verbod om elektriciteit uit 'kolencentrales' op te wekken.

### 2.6.5 Elektriciteitsbehoefte uit biomassa na 2030

Om de dagelijkse en seizoensfluctuaties van zon en wind op te vangen is een combinatie van energieopslag, demandside management en regelbaar vermogen nodig. Hoe het Nederlandse energiesysteem en in het bijzonder de elektriciteitssector zich na 2030 ontwikkelt valt moeilijk te voorspellen. Een grafiek met een vooruitblik op een typische dag in de toekomst (zie Figuur 8) illustreert dat de behoefte aan energieopslag groot gaat worden (zie groei van 'Energy storage' op het negatieve deel van de y-as).

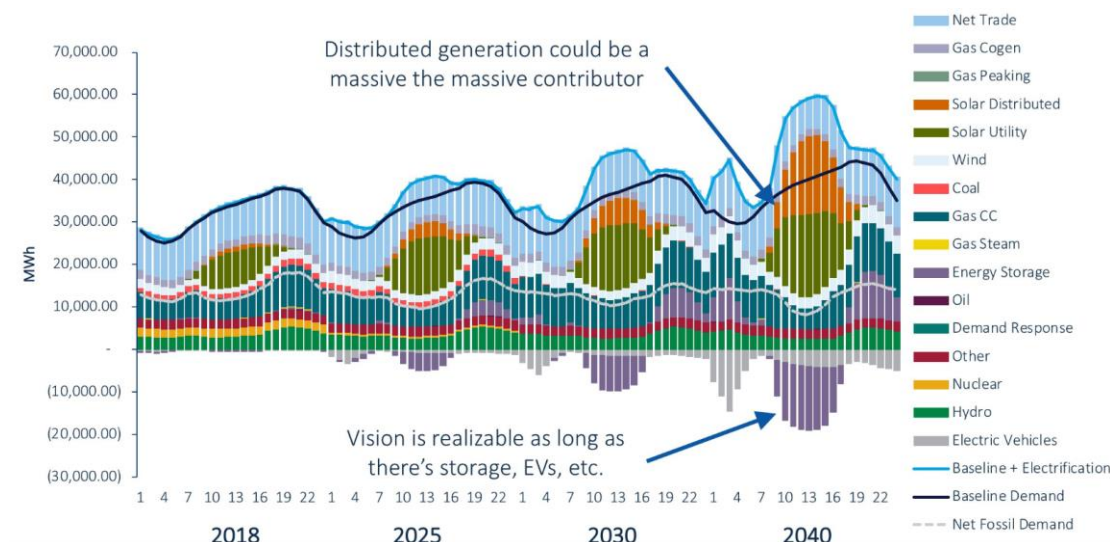
In de 'Net voor de Toekomst-studie' (CE Delft, 2017a) is op basis van expert judgement voor 2050 (in vier scenario's) een range van 33,6-55,5 PJ groen gas inzet in WKK-installaties opgetekend. Rekening houdend met de mogelijkheid dat biomassa voor elektriciteitsopwekking beleidsmatig wordt uitgesloten en met een conversie-efficiëntie van 35% komt de mogelijke primaire biomassabehoefte voor elektriciteitsopwekking in 2050 uit op 0-159 PJ.

Van de vele energie-opslagtechnieken is industriële elektrolyse het meest vergevorderd (Schmidt, et al., 2107). Vanwege de versatiliteit van waterstof – het kan zowel in (draagbare) brandstofcellen als in energiecentrales worden gebruikt én als bouwsteen dienen voor de industrie – is deze vorm van energieopslag een belangrijke pijler van de energietransitie.

<sup>43</sup> Zie KEV 2019 (PBL, 2019b, p. tabel 6).

De inzet van biomassa (vast of gasvormig) ten behoeve van baseload of regelbaar vermogen blijft mogelijk een belangrijke pijler van het elektriciteitsnet. Tegelijkertijd zullen de CO<sub>2</sub>-vrije alternatieven (power-to-x) in kostprijs dalen en steeds concurrerender worden.

**Figuur 22 - Profiel van de elektriciteitsmarkt op een typische dag in de toekomst (voorbeeld Californië (Spector, 2018))**



**Tabel 27 - Overzichtstabel biomassabehoefte voor elektriciteitsproductie in Nederland (in PJ/jaar)**

| Zichtjaar | Biomassabehoefte in elektriciteitsproductie (PJ/jaar) |
|-----------|-------------------------------------------------------|
| Huidig    | 50                                                    |
| 2030      | 30                                                    |
| 2050      | 0-159                                                 |

## 2.6.6 Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS)

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) heeft vier routes omschreven voor het mitigeren van CO<sub>2</sub> ter beperking van wereldwijde opwarming tot 1,5°C. Drie van deze routes<sup>44</sup> vertrouwen op Carbon Capture Storage (CCS) en bio-CCS<sup>45</sup>. Met andere woorden: 'negatieve emissies' zouden een belangrijke rol kunnen spelen in het behalen van de Parijse klimaatdoelen. In plaats van of aanvullend op CO<sub>2</sub>-opslag zijn er ook andere routes mogelijk voor het nuttig (her)gebruiken van de afgevangen CO<sub>2</sub>. Een overzicht voor Nederland staat in PBL (2018)

## 2.6.7 Kosten van elektriciteit uit biomassa

De kosten voor hernieuwbare elektriciteit per vermeden ton CO<sub>2</sub> zijn vanuit verschillende perspectieven te bekijken en verschillen sterk tussen individuele projecten en het type elektriciteit dat wordt vervangen. In algemene zin kan worden gesteld dat windenergie op dit moment de laagste kosten kent en dus de hoogste kosteneffectiviteit in €/tCO<sub>2</sub>

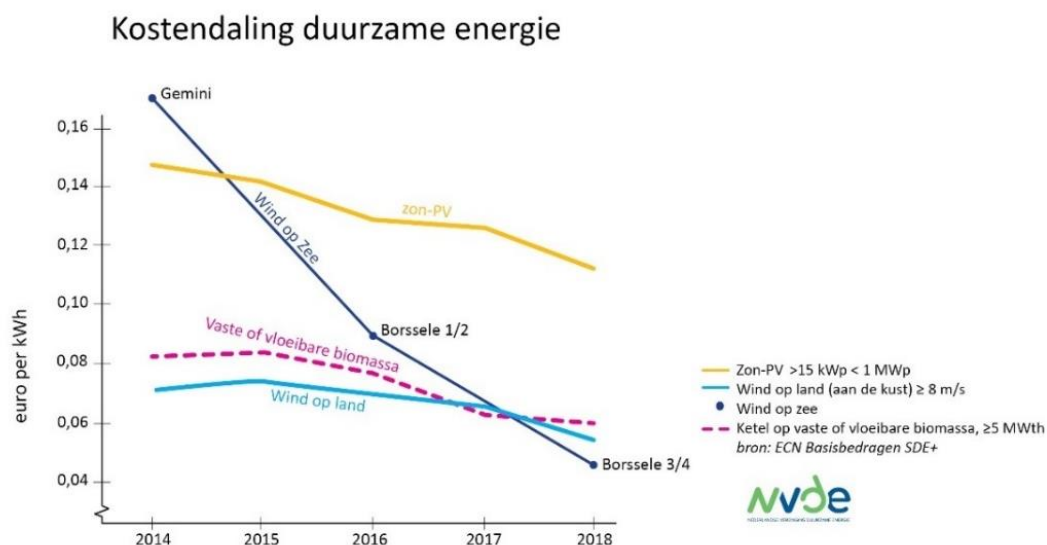
<sup>44</sup> Het VN-klimaatakkoord heeft als doel de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder de 2°C, met een duidelijk zicht op 1,5°C - om desastreuze gevolgen te voorkomen.

<sup>45</sup> IPCC. Characteristics of four illustrative model pathways.

vermeden. Grote offshore windparken worden sinds kort gerealiseerd zonder (noemenswaardige) productiesubsidie. Voor de andere technieken voor hernieuwbare elektriciteitsopwekking is het SDE+-basisbedrag een indicator voor de kosten per kWh CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit.

De Nederlandse Vereniging Duurzame Energie (NVDE) heeft de ontwikkeling van de basisbedragen van de SDE+ van verschillende duurzame elektriciteit technieken vergeleken (zie Figuur 23)<sup>46</sup>.

Figuur 23 - Ontwikkeling kosten opwekking elektriciteit in Nederland



In 2017 lag het basisbedrag voor elektriciteit uit bestaande capaciteit voor bij- en meestook op 0,108 €/kWh. Ter vergelijking, de basisbedragen voor wind op land (> 8 m/s) en zon PV ( $\geq 15 \text{ kW}_p$ ) lagen op respectievelijk 0,064 €/kWh en 0,125 €/kWh in datzelfde jaar. Twee jaar later (2019) waren de basisbedragen voor wind op land en zon PV met 19% en 24% gedaald tot respectievelijk 0,054 €/kWh en 0,101 €/kWh. Een trend die naar verwachting voorlopig door zal zetten. De categorie elektriciteit uit bestaande capaciteit voor bij- en meestook is inmiddels opgeheven. Om toch een vergelijking met biomassa te maken: voor een biomassaketel op vaste of vloeibare biomassa ( $\geq 5 \text{ MW}_{th}$ ) is het basisbedrag tussen 2017 en 2019 juist gestegen (van 0,044 €/kWh tot 0,047 €/kWh).

## 2.6.8 Cascadering

In het Klimaatakkoord en het Uitvoeringsprogramma Circulaire Economie worden partijen opgeroepen toe te werken naar inzet van enkel nog gecascadeerde biomassa op de middel-lange termijn. Biomassa voor energetische toepassingen staat onderaan de waardepiramide en bij een toename van de hoogwaardiger toepassingen zal de beschikbaarheid van biomassa voor elektriciteit (tijdelijk) afnemen. Tegelijkertijd neemt in een steeds circulairdere economie de absolute behoefte aan biomassa toe. Hoeveel gecascadeerde biomassa in 2050 overblijft voor energetische toepassingen is sterk afhankelijk van de technologische ontwikkelingen en de beleidsmatige keuzes in de komende decennia.

<sup>46</sup> [NVDE : Kosten van stroom uit wind en zon gaan richting die van kolen en gas](#)

## 2.7 Materialen

### 2.7.1 Introductie

In deze paragraaf behandelen we de huidige toepassing van biomassa als grondstof voor materialen in Nederland, met een focus op de grond-, weg- en waterbouw sector (GWW) (Paragraaf 2.7.2) en de burgerlijke en utiliteitsbouw (B&U) (Paragraaf 2.7.3), alsmede de verwachte toekomstige behoefte aan biomassa voor materialen in deze sectoren. Ook het gebruik van biomassa voor verpakkingsmaterialen komt aan bod (2.7.4).

### 2.7.2 Bouwmaterialen Grond-, Weg-, en Waterbouw

Van het totale gewicht aan materialen exclusief zand en grind dat in de bouw (GWW en B&U) wordt gebruikt (60 Mton) is ongeveer 3,3% hout, oftewel 2 Mton<sup>47</sup> (CE Delft, 2015). Daarvan wordt ongeveer 8% in de GWW gebruikt, hoofzakelijk hout. Het andere materiaalverbruik in de GWW wordt ingevuld door beton, asfalt, baksteen en staal (NIBE Research, 2019). De grootste belemmering voor het toepassen van biobased materialen in de bouwsector lijkt de prijs te zijn. Met traditionele materialen is door de bouwende partijen zoveel ervaring opgedaan dat het lastig is om met biobased materialen te concurreren op kosten-effectiviteit. Omdat naar verwachting de behoefte het aanbod gaat overstijgen wordt een nog grotere prijsdruk verwacht (NIBE Research, 2019).

#### *Beschrijving van de toepassing*

De GWW is een grootverbruiker van voornamelijk fossiele grondstoffen voor asfalt. Daarnaast wordt voor constructies zoals dammen, viaducten en bruggen ook vaak beton ingezet. Deze materialen zorgen circa voor een derde van de milieubelasting door aanleg, onderhoud en beheer van infrastructuur (Duurzaam GWW, 2019). Er is veel aandacht voor het verkleinen van de impact van deze sector door het gebruik van duurzame materialen. Biobased materialen vormen voor een aantal toepassingen een uitstekende optie om de milieu-impact te verminderen. In de GWW wordt biomassa steeds meer toegepast voor bijvoorbeeld bruggen, damwanden, beschoeiing, geluidsschermen, asfalt, smeermiddelen en vangrails.

#### *Relevante beleidsontwikkelingen*

Duurzaam aanbesteden wordt door de overheid gestimuleerd en in de GWW worden fictieve kortingen gegeven voor aanbiedingen met een lage MKI-waarde (Milieukosten Indicator). Biomassa komt in veel gevallen tot een lagere MKI-waarde dan conventionele materialen zoals beton, staal en plastic van fossiele grondstoffen.

#### *Behoefte aan de toepassing*

Van oudsher worden er al biobased materialen toegepast in de GWW-sector zoals in bruggen, damwanden of palen van hout. Momenteel is er veel aandacht voor toepassing op grotere schaal. Van het hout dat gebruikt wordt in de bouwsector gaat ongeveer 8% naar de GWW, wat neerkomt op 186 kton/jaar (Probos, 2017). Dat hout heeft vaak te maken met omstandigheden die het snel kunnen aantasten (zoals contact met water en grond). Houtsoorten met een hoge natuurlijke duurzaamheid die lang mee gaan worden geprefereerd waardoor vaak tropisch hardhout wordt gebruikt. Van die 8% hout is circa 69% gezaagd tropisch hardhout (Oldenburger, et al., 2016). Het totaal aan gezaagd hout in de GWW-sector bedraagt circa 92 kton/jaar.

<sup>47</sup> Aangenomen is een gemiddelde dichtheid van 600 kg/m<sup>3</sup>.

### *Nieuwe toepassing: bio-asfalt*

Een innovatieve manier van biomassa toepassen in de GWW is bio-asfalt. Hierbij wordt lignine gebruikt dat uit houtige biomassa gewonnen kan worden. Lignine komt in grote hoeveelheden vrij bij het pulpen van papier. Het heeft verlijmende eigenschappen waardoor het als alternatief voor bitumen gebruikt kan worden in asfalt. Tot nu toe is in Nederland 65 ton lignine toegepast in asfalt. Dit is slechts een zeer klein aandeel in de gehele asfaltsector. Lignine wordt echter al wel op grotere schaal geproduceerd in Nederland, momenteel 1.100 kton/jaar. Dit zal als gevolg van bioethanolproductie en isolatie bij pulpfabrieken in 2030 kunnen stijgen tot 4.000-12.000 kton/jaar. Veel van de hoogwaardige toepassingen (chemische bouwstenen voor polymeren, antioxidanten en surfactants) bevinden zich nog in de R&D fase (van der Velde & van Leeuwen, 2019). Toepassing van de vrijkomende lignine in asfalt heeft op de korte daarom termijn de beste 'papieren'.

### **Overige biomassatoepassingen in de GWW**

Andere biobased alternatieven die nog niet veel toegepast worden zijn houten geleiderails of geluidswanden, biobased verkeersborden of houten portalen. Cijfers over de volumes die hiermee reeds behaald worden zijn niet bekend.

### *Behoefte 2030/2050*

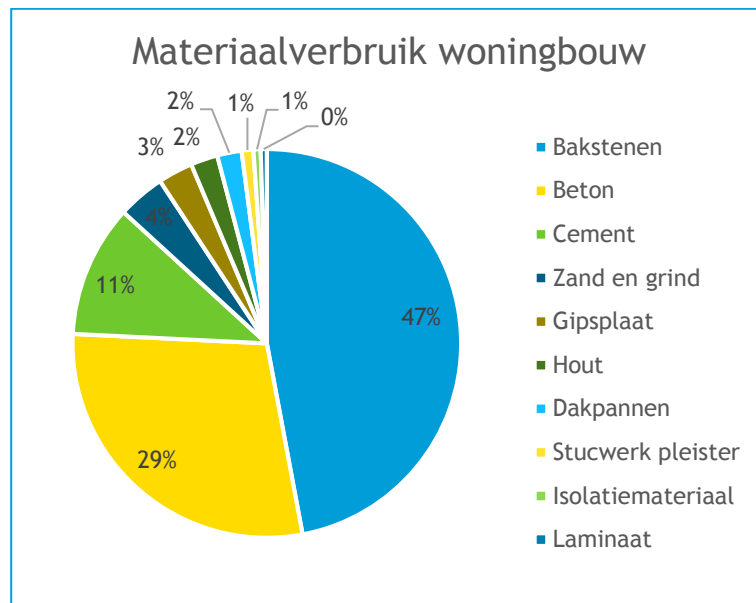
Wanneer in de GWW de jaarlijkse vervangingsopgave van elementen zoals vangrails, bruggen, viaducten en portalen wordt gerealiseerd met hout kan het houtgebruik in deze sector met 67% (73 kton/jaar) toenemen (NIBE Research, 2019).

In de toekomst kan verwacht worden dat 50% van het bitumen in asfalt vervangen gaat worden door lignine. Met een productie van de verwachte 4.000-12.000 kton lignine in 2030 door pulpfabrieken en tweede generatie bio-ethanol fabrieken (NIBE Research, 2019) is de toenemende behoefte geborgd. In 2015 werd volgens het MJA sectorrapport van de asfalt-industrie 7.700 kton asfalt geproduceerd (RVO, 2016).

## **2.7.3 Bouwmaterialen burgerlijke- en utiliteitsbouw**

Zoals reeds beschreven in Paragraaf 2.7.2 wordt slecht 3,3% van het totale gewicht aan materialen (excl. zand en grind) dat wordt gebruikt in de bouwsector ingevuld door biobased materialen (hout). Figuur 24 laat de verdeling van de top tien meest gebruikte materialen specifiek voor de woningbouw zien op basis van gewicht. Dit maakt duidelijk dat er voornamelijk minerale en fossiele grondstoffen worden gebruikt, en dat biobased materialen maar een kleine bijdrage leveren. De verdeling op basis van gewicht resulteert in slechts 2% houtgebruik en 0,1% andere biobased materialen (Cuéllar-Franca & Azapagic, 2012; NIBE Research, 2019).

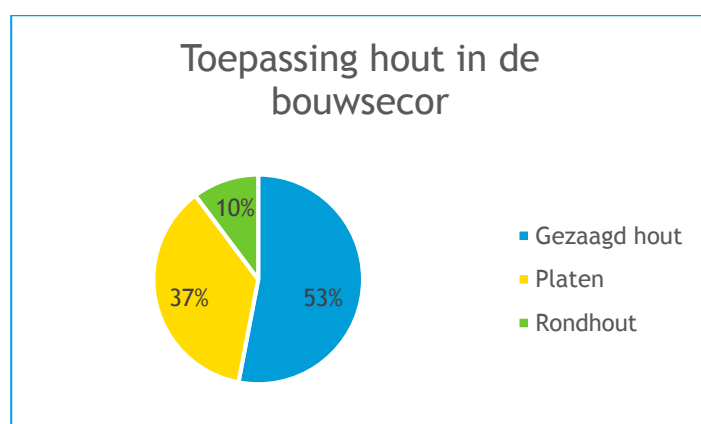
Figuur 24 - Materiaalgebruik in de woningbouw (in gewichtsprocenten)



### Hout in de B&U

In de bouwsector is hout het meest gebruikte biobased materiaal. Het komt in diverse vormen terug zoals bijvoorbeeld constructiehout, plaatmateriaal, gevelbekleding of kozijnen en deuren. Van al het hout dat in Nederland wordt gebruikt gaat 42% naar de bouwsector. Zoals eerdergenoemd gaat hiervan 8% naar de GWW-sector. Het overige volume wordt in de B&U toegepast. Figuur 25 geeft de verdeling weer van de toepassing van hout in de bouwsector. Waar in de GWW juist veel met zwaardere en duurzame houtsoorten wordt gewerkt, wordt in de B&U juist veel gewerkt met gezaagd hout dat lichter van gewicht is.

Figuur 25 - Toepassing van hout in de bouwsector (in gewichtsprocenten)

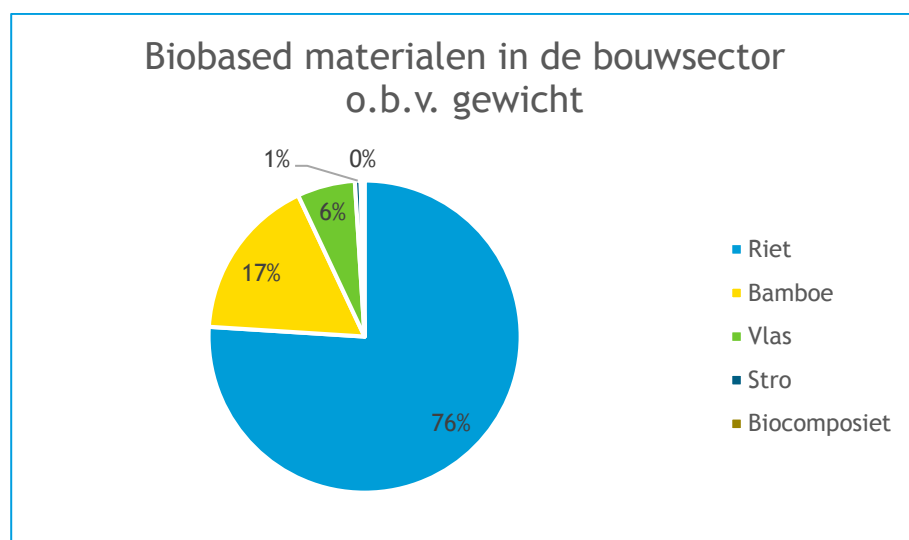


Het aandeel woningen gebouwd van hout in de grondgebonden woningen is 16% volgens een schatting van de sectie Houtskeletbouw van de NBvT. Hierbij zijn de vierkante meters hout in daken, vloeren en gevels ook meegerekend.

## Overige biobased materialen in de B&U

Figuur 26 geeft de verdeling van het type biomassa van de overige biobasedmateriaalgebruik in de bouwsector weer naast hout (NIBE Research, 2019).

Figuur 26 - Biobased materiaalgebruik in de bouw in Nederland



### Stro

In de bouw wordt stro onder andere gebruikt als constructiemateriaal. Momenteel staan er circa 180 gebouwen die gebouwd zijn met stro, waarbij ongeveer 1,2 kton stro is gebruikt. Op basis van de arealen met gewassen die stro produceren (op basis van CBS-cijfers) is dit minder dan 0,01% van de stroproductie in Nederland. Volgens NIBE Research (2019) is het huidige marktvolume 0.4 kton/jaar.

### Riet

Ongeveer 35% (18.5 kton) van de rietproductie in Nederland (54 kton/jaar in totaal) wordt gebruikt in de bouwsector om rieten daken te maken (RH DHV, 2017). Er is ook import van riet uit het buitenland, waaronder China, maar onbekend is hoeveel dit is. Volgens NIBE Research (2019) is het huidige marktvolume 35 kton/jaar.

### Vlas & hennep<sup>48</sup>

De vezels en scheven van vlas en hennep leveren input voor isolatie of bouwmaterialen. Er wordt 0.8 kton vlasvezel en 1.2 kton hennepvezel in Nederland gebruikt voor het maken van isolatiemateriaal. Daarnaast wordt 1.4 kton scheven van hennep in Nederland gebruikt voor constructiemateriaal (van Calker, et al., 2018). Volgens NIBE Research (2019) is het huidige marktvolume in de B&U 2.6 kton/jaar. De toepassing van hennep ligt grotendeels in

<sup>48</sup> De percentages van type toepassing zijn op basis van Europese getallen. De gewasproductiecijfers op basis van Nederlandse getallen.

de papierindustrie met 2.7 kton (57% van de Nederlandse productie) en van vlas voornamelijk in de textielindustrie met 4.6 kton (77% van de Nederlandse productie).

### *Behoefte 2030/2050*

Van de traditionele materialen die gebruikt worden in de bouw kunnen er vele vervangen worden door een biobased alternatief. Dit is echter niet voor alle materialen mogelijk zoals bijvoorbeeld een groot deel van het installatiewerk, glas, keramische delen of gipsvezel-platen in houtskeletbouw. In een scenario waar naar het technisch potentieel is gekeken betekent dit dat het gebruik van hout meer dan verdubbeld moet worden, stro 500x meer, vlas 20x meer en riet bijna 4x meer (NIBE Research, 2019). Dit geeft aan dat er een beduidend grotere behoefte zou kunnen komen naar biomassa voor de bouwsector.

Een gezonde ambitie kan zijn om te stellen dat in 2030 10% van de bouw van appartementencomplexen en kantoren in biobased materialen wordt uitgevoerd. Voor grondgebonden woningen kan houtskeletbouw worden toegepast. Er is een verwachting dat houtskeletbouw gaat groeien van een aandeel van 16% naar 21% in 2025 (van der Velde & van Leeuwen, 2019). De positieve milieueffecten gecombineerd met de toepasbaarheid als prefab-sector maakt dat de groei in de jaren daarna naar verwachting groter zal worden. Ook is er de verwachting dat meer inlands hout gebruikt kan worden voor de productie van kozijnen, gevels en CLT (Cross laminated timber) dat in de bouw toegepast gaat worden (van der Velde & van Leeuwen, 2019).

## **Isolatie**

De energieopgave van de bouwsector zorgt voor een uitdaging op gebied van isolatie. In nieuwbouw wordt er verplicht geïsoleerd, maar ook in de bestaande bouw moet veel nageïsoleerd worden om de doelstelling van aardgasvrij wonen in 2050 te realiseren. Een doorkijk naar 2050 vraagt om 94 miljoen m<sup>2</sup> isolatiemateriaal per jaar (NIBE Research, 2019). Voor het realiseren van deze isolatie-opgave (bestaande en nieuwbouw) met bioamassa zou 900 kton biobased isolatiemateriaal per jaar nodig zijn (op basis van een gemiddelde RC-waarde van 4,5 m<sup>2</sup>K/W). Isolatie op basis van glas- of steenwol bevat geen fossiele grondstoffen. Om die reden hoeft daar geen biobased alternatief voor gevonden te worden. Wel wordt (nu nog) fossiele brandstof gebruikt in het productieproces.

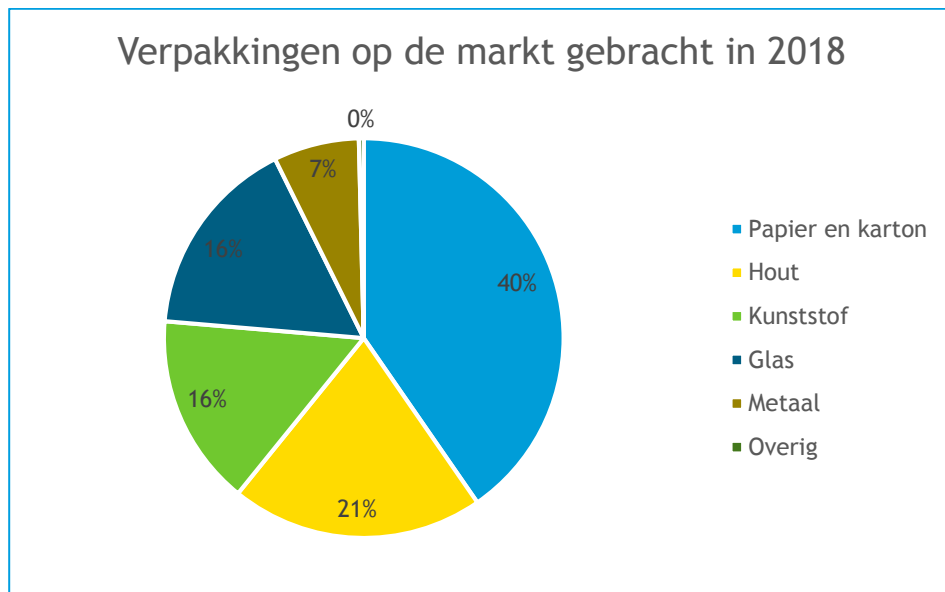
Tabel 28 - Isolatiebehoefte Nederlandse gebouwen t/m 2050

| Type bouw      | Isolatie nodig per jaar naar 2050 |
|----------------|-----------------------------------|
| Bestaande bouw | 70 miljoen m <sup>2</sup>         |
| Nieuwbouw      | 24 miljoen m <sup>2</sup>         |
| <b>Totaal</b>  | <b>94 miljoen m<sup>2</sup></b>   |

### **2.7.4 Verpakkingsmaterialen**

In Nederland wordt jaarlijks 3,1 Mton verpakkingsmateriaal op de markt gebracht (Afvalfonds Verpakkingen, 2019). Ruim 60% van de verpakking - oftewel 1.900 kton - is gemaakt van biobased materiaal zoals te zien is in Figuur 27.

Figuur 27 - Verpakkingen op de Nederlandse markt in 2018



Hout is een belangrijke grondstof voor de papier- en kartonindustrie in de vorm van houten verpakkingen (629 kton/jaar, inclusief logistieke hulpmiddelen zoals pallets en kratten) of als grondstof voor de papier en karton industrie (1245 kton/jaar). Naast hout wordt er via de kunststofindustrie ook biomassa (5 kton/jaar) toegepast voor verpakkingsmateriaal. Deze stromen worden hierna nader toegelicht.

### Papier en karton

Van het totale papier- en kartongebruik in Nederland wordt circa 45% gebruikt voor verpakkingsmateriaal. De overige 55% wordt gebruikt voor kranten, tijdschriften, kopieerpapier, wc-papier enzovoort (Milieucentraal, sd). Het totale volume aan papier en karton in Nederland is bijna 2.800 kton/jaar. Dus 1.260 kton is papieren of kartonnen verpakkingsmateriaal.

Door de groeiende consumptie van goederen nemen ook de transportbewegingen toe om de producten naar de consument te brengen. Hiervoor worden veel kartonnen dozen gebruikt. Het aandeel van papier en karton in de verpakkingsindustrie is circa 40%. Dit betekent een volume van 1.245 kton/jaar.

### Houten verpakkingen en logistieke hulpmiddelen

Houten verpakkingen worden voornamelijk in de transportindustrie toegepast. In de vorm van verpakkingsmateriaal vind je deze voornamelijk als pallets of transportkisten. Het aandeel in de markt is circa 20%, wat neerkomt op een volume van 629 kton/jaar.

## Biobased kunststoffen

Kunststoffen hebben 16% aandeel in de verpakkingindustrie, een volume van 477 kton (Krebbekx, et al., 2017). Er zijn veel verschillende types kunststof die gebruikt worden in deze industrie zoals bijvoorbeeld PET, PE, PP of PS.

De grondstoffen voor kunststof verpakkingen zijn voor ruim 80% afkomstig van fossiele grondstoffen, en slechts 1-1,5% afkomstig van biobased grondstoffen (Krebbekx, et al., 2017). De overige instroom is afkomstig van gerecyclede kunststoffen (fossiel en biobased). Dit betekent een aandeel van bijna 5 kton biobased kunststoffen per jaar.

Biobased kunststoffen kunnen gemaakt worden in de vorm van bijvoorbeeld PET of HDPE. De grondstoffen zijn dan afkomstig uit bijvoorbeeld aardappelzetmeel (PLA), suikerriet of suikerbieten.

De Transitieagenda Kunststoffen, de Green Deal Groencertificaten en de Routekaart materiaalverduurzaming kunststofverpakkingen zijn drie voorbeelden van de sturing op verduurzaming van de kunststofsector. Recyclen speelt een grote rol, maar ook het aandeel van biobased wordt gestimuleerd om te groeien.

### *Verwachtingen in 2030/2050*

De verwachting is dat de markt voor kunststof verpakkingen jaarlijks groeit met 1,5%. Dit betekent in 2030 een marktomvang van 596 kton (Krebbekx, et al., 2017). Om in de groeiende behoefte aan de grondstoffen voor de kunststoffen te voorzien wordt ingezet op recycling en biobased grondstoffen naar het gebruik van fossiele grondstoffen.

Door de groeiende behoefte aan verpakkingen neemt niet alleen de behoefte aan biobased kunststoffen toe maar ook de fossiele kunststofverpakkingen. De toenemende behoefte aan biobased kunststoffen resulteert in een verwachte groei van 10% per jaar. Echter blijft het aandeel nagenoeg gelijk door de groei van andere kunststoffen (ABN AMRO Sector Advisory, 2017). De Transitieagenda Kunststoffen heeft als doelstelling om in 2030 een aandeel van 15% in biobased kunststoffen te produceren (Rijksoverheid, 2018). Hiervan mag verwacht worden dat er ook een aanzienlijk deel in de verpakkingindustrie gebruikt gaat worden. De routekaart materiaalverduurzaming kunststofverpakkingen noemt een aandeel van 5-10% van biobased materialen in de kunststofsector (Krebbekx, et al., 2017). De verwachting is dat de kunststofsector in 2050 100% hernieuwbare grondstoffen gebruikt door een mix van recycling en biobased grondstoffen (Krebbekx, et al., 2017).

## 2.7.5 Overzicht materiaaltoepassingen

In onderstaand overzicht staan de hoeveelheden biomassa die in de verschillende type toepassingen, zoals beschreven in de voorgaande paragrafen, gebruikt worden. Voor 2030 zijn cijfers opgenomen op basis van de in de gebruikte bronnen aangegeven potentiëlen. Hoeveel daarvan wordt gerealiseerd hangt sterk af van de prijsontwikkeling van de verschillende alternatieven.

Tabel 29 - Overzichtstabel met biomassahoeveelheden per materiaaltoepassing

| Sector              | Type biomassa            | Huidig volume<br>(kton d.s./jaar) | Huidig volume<br>(PJ/jaar) | Geschat volume<br>in 2030 (kton<br>d.s./jaar)      | Geschat volume<br>in 2030<br>(PJ/jaar) |
|---------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>GWW</b>          |                          |                                   |                            |                                                    |                                        |
|                     | Hout                     | 186                               | 3.7                        | 248                                                | 4.9                                    |
|                     | Lignine                  | 65                                | 1.3                        | 50% van totale<br>bitumenvolume<br>(625 kton/jaar) | 12.4                                   |
| <b>B&amp;U</b>      |                          |                                   |                            |                                                    |                                        |
|                     | Hout                     | 2.135                             | 42.3                       | > 4.000                                            | 79.2                                   |
|                     | Stro                     | 1,2                               | 0.0                        | > 500                                              | 9.0                                    |
|                     | Riet                     | 20                                | 0.4                        | > 80                                               | 1.5                                    |
|                     | Bamboe                   | 8,1                               | 0,2                        | > 15                                               | 0,3                                    |
|                     | Vlas                     | 0,8                               | 0.0                        | > 1,5                                              | 0.0                                    |
|                     | Hennep                   | 2,6                               | 0.0                        | Nb (2.6)                                           | Nb (0.0)                               |
| <b>Verpakkingen</b> |                          |                                   |                            |                                                    |                                        |
|                     | Hout                     | 629                               | 12.5                       | Nb (629)                                           | Nb (12.5)                              |
|                     | Papier en karton         | 1.245                             | 22.7                       | Nb (1.245)                                         | Nb (22.7)                              |
|                     | Biobased<br>kunststoffen | 7                                 | 0.4                        | 60                                                 | 3.0                                    |
| <b>TOTAAL</b>       |                          | <b>4.300</b>                      | <b>83,5</b>                | <b>&gt; 7.400</b>                                  | <b>&gt; 145,5</b>                      |

Tabel 30 - Overzichtstabel biomassabehoeftes voor materiaaltoepassingen in Nederland (in PJ/jaar), exclusief gebruik aan verpakkingen van biobased kunststoffen<sup>49</sup>

| Zichtjaar | Biomassabehoeftes voor materiaaltoepassingen<br>(PJ/jaar) |
|-----------|-----------------------------------------------------------|
| Huidig    | 83                                                        |
| 2030      | 143                                                       |
| 2050      | > 143                                                     |

Voor de ontwikkeling van de behoefte aan hout in de gebouwde omgeving in 2030 en 2050 zijn geen scenariocijfers beschikbaar. Om toch een beeld te geven van het toepassings-potentieel kunnen enkele 'stel-dat'-aannames worden gedaan omtrent de ontwikkeling van houtskeletbouw. Momenteel is het overheidsdoel om 75.000 nieuwbouwwoningen per jaar te bouwen. Stel dat 25% van deze woningen in houtskeletbouw wordt uitgevoerd en rekenend met een gemiddelde van 13 ton d.s. hout per woning, dan zou de jaarlijkse behoefte aan hout in de woningbouw oplopen tot 244 kton/jaar. Dit correspondeert met ongeveer 4,8 PJ/jaar (berekening op basis van cijfers uit RHDHV (Jutte, et al., 2017)). Met andere woorden: vergroting van het aandeel houtskeletbouw in de woningbouw leidt tot een geringe toename van de vraag naar hout in de bouw (en daarmee tot geringe toename van de vastlegging van biogene koolstof). Een grootschalige vervanging van beton, baksteen en staal door hout in de bouw zou wellicht wel tot een aanzienlijke vraag naar hout voor materiaaltoepassingen kunnen leiden, met dito vastlegging van biogene CO<sub>2</sub>. Of dat realistisch is, en wat voor beleid daar dan voor nodig is, vergt nader onderzoek.

<sup>49</sup> Omdat dit zou leiden tot een dubbeltelling in de totaaltabel met cijfers van alle toepassingen; biobased verpakkingen zijn al meegeteld bij de toepassing feedstock voor de chemische industrie.

## 2.8 Toepassing van biomassa in de landbouw

### 2.8.1 Introductie

Biomassa vervult in de landbouw een rol als bron voor organische stof en nutriënten. Het behoudt of verbetert de bodemkwaliteit en heeft daarmee een positief effect op de productiviteit van de landbouwgrond en op de biodiversiteit.

#### Biomassa voor levering organische stof

Als bron van organische materiaal draagt biomassa bij aan de opbouw van bodemorganische stof (humus). De hoeveelheid bodemorganische stof in landbouwbodems is een belangrijke parameter voor de bodemkwaliteit en de bodemvruchtbaarheid. Organisch materiaal in de bodem is in staat nutriënten en watervast te houden (bindings- en filtercapaciteit) en bevordert de doorlatendheid van de bodem voor neerslag en zuurstof. Het draagt ook in belangrijke mate bij aan de biodiversiteit van de bodem.

Bodemorganische stof wordt door natuurlijke afbraak elk jaar voor een klein deel geoxideerd tot CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. Zonder toegift van organische stof in de vorm van gewasresten, dierlijke mest, groenbemester/vanggewas of andere organische stoffen (bijvoorbeeld compost) zou de hoeveelheid bodemorganische stof steeds verder afnemen en zou de bodem verschralen.

#### Biomassa voor levering nutriënten

Biomassa is ook een bron van nutriënten, met name P, K en N. De in de biomassa aanwezige nutriënten komen gedeeltelijk vrij bij vorming van bodemorganische stof. De vrijkomende nutriënten kunnen worden gebruikt voor groei van het akkerbouwgewas of gras. Nutriëntenlevering is niet altijd wenselijk omdat de nutriënten vrij kunnen komen in perioden waarin geen gewas op het veld (grasland of akkerbouwland) aan het groeien is. De nutriënten spoelen dan in hoge mate uit (met name op zandgrond) of worden omgezet in gasvormige verbindingen als N<sub>2</sub>O en NH<sub>3</sub>.

Vanwege de emissies naar bodem en lucht buiten het teeltseizoen is er door de Rijksoverheid tussen half september – half februari een uitrijverbod voor dierlijke mest ingesteld en is er na teelt van snijmaïs – en straks ook voor aardappelen – een verplichting om na deze hoofdgewassen een zogenaamd ‘vanggewas’ te telen, dat de in de gewasresten achtergebleven nutriënten gebruikt voor de eigen groei.

### 2.8.2 Huidige behoefte aan biomassa in de landbouw

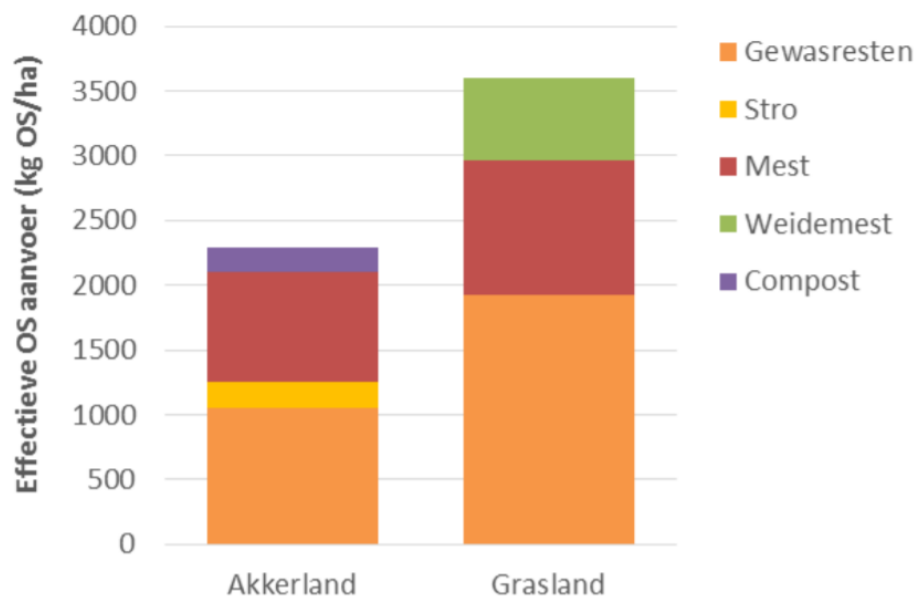
#### Huidige behoefte aan biomassa voor organische stof

De totale aanvoer aan effectieve organische stof (zie kader) in de landbouw bedroeg in 2009 naar schatting 5.000 kton/jaar (Lesschen, 2019)<sup>50</sup>. Een indicatie van de bijdragen van de verschillende typen biomassa die worden aangevoerd is gegeven in Figuur 28. De hoeveelheid compost, champost en overige van buiten de landbouwsector aangevoerde organische meststoffen is volgens de geraadpleegde bronnen beperkt (Lesschen, 2019).

<sup>50</sup> Teruggerekend uit de in het rapport gegeven gemiddelde aanvoer van 5.200 kton/jaar voor de periode 1995-2009 en rekening houdend met een gemiddelde afname van het areaal in deze periode van 0,44%/jaar.

De huidige behoefte aan organische stof is ongeveer gelijk aan de minimale duurzame behoefte aan organische stof. De huidige aanvoer is grosso modo voldoende om het gehalte aan bodemorganische stof op peil te houden, alhoewel er op regionaal niveau meer dan het minimum of juist minder dan de benodigde minimale toevoer wordt gebruikt (TCB, 2016).

Figuur 28 - Gemiddelde aanvoer organische stof



De genoemde hoeveelheid effectieve organische stof is in Tabel 31 omgerekend naar aangevoerde hoeveelheid organische stof.

Tabel 31 - Omrekening effectieve organische stof gebruik naar aanvoer organisch materiaal

|             | Effectieve organische stof |       | Humificatiecoëfficiënt (% opgebracht materiaal dat na één jaar nog in de bodem zit) |      | Aangevoerd aan org stof (d.s.) | Org   |
|-------------|----------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------------|-------|
|             | Akker                      | Gras  | Akker                                                                               | Gras |                                |       |
| Gewasresten | 1.050                      | 1.900 | 0,22                                                                                | 0,26 | 4.773                          | 7.308 |
| Stro        | 200                        |       | 0,31                                                                                |      | 645                            |       |
| Mest        | 850                        | 1.050 | 0,33                                                                                | 0,7  | 2.576                          | 1.500 |
| Weidemest   |                            | 600   | 0,33                                                                                | 0,7  |                                | 857   |
| Compost     | 200                        |       | 0,9                                                                                 | 0,9  | 222                            |       |

Bij mest is de humificatiecoëfficiënt van varkensdrijfmest voor akkerbouw en rundveedrijfmest voor grasland gebruikt. Voor gewasresten zijn gemiddelde humificatiecoëfficiënten voor gewasresten van suikerbieten, aardappelen en uien gebruikt.

## Tekstkader 2 - Wat is effectieve organische stof

Effectieve organische stof is het materiaal dat één jaar na het opbrengen en eventueel onderploegen van biomassa in de vorm van mest, gewasrest of groenbemester nog niet is verteerd en in de bodem achtergebleven is.

In Nederland vindt op grasland de aanvoer van verse OS, en daarmee van koolstof, voor de helft plaats via gewasresten (graswortels, grasstoppels en afgevallen blad) en voor de andere helft via dierlijke mest. Ook via levende wortels wordt door uitscheiding van organisch materiaal, zoals afgestorven worteldelen, mucigel (materiaal rond het wortelpunt) en wortellexudaten (kleine organische verbindingen die actief door wortels worden uitgescheiden), gemakkelijk afbreekbare koolstof aan de bodem toegevoegd. De meeste dierlijke mest is afkomstig uit de stal en wordt emissiearm via injectie aan de bodem toegediend; de overige mest is afkomstig van het in de wei grazende vee. In totaal wordt er op grasland per jaar ongeveer 3.500 kg effectieve OS per hectare aangevoerd

In Nederland wordt koolstof op bouwland vooral aangevoerd via dierlijke mest en gewasresten en in zeer beperkte mate ook via compost. In totaal wordt er op bouwland per jaar ongeveer 2.000-2.500 kg effectieve OS per hectare aangevoerd.

## Huidige behoefte aan nutriënten

De totale jaarlijkse gift aan nutriënten op landbouwbodems is volgens CBS circa 670 kton/jaar stikstof en circa 60 kton/jaar fosfaat. Hiervan is circa 370 kton stikstof en circa 55 kton fosfor afkomstig uit dierlijke mest, zie Tabel 32 (CBS, 2019a). De rest wordt toegevoerd als kunstmest. De in tabel 66 genoemde gewasresten (inclusief stro) kunnen gezien worden als tussentijdse opslag van nutriënten.

De gemiddelde rendementen voor benutting – het deel dat in het landbouwproduct wordt vastgelegd – bedragen 60% voor stikstof en 95% voor fosfor. Het rendement waarmee stikstof uit dierlijke mest, gewasresten en groenbemesters wordt benut is over het algemeen lager.

Doordat gewasresten en groenbemesters (onderdelen van) geteelde biomassa zijn, leidt achterlaten op het veld niet tot additionele toevoer.

De hoeveelheid compost, champost en overige van buiten de landbouwsector aangevoerde organische meststoffen is volgens de geraadpleegde bronnen minimaal en verwaarloosbaar. Dit is conform jaarverslagen van BVOR, waarin is aangegeven dat de hoeveelheid keurcompost afgezet in de landbouw slechts een fractie is van de totale productie.

Tabel 32 - Mineralenbalans landbouwgrond Nederland

|                                  |      | Stikstof (N) | Fosfor (P) |
|----------------------------------|------|--------------|------------|
| Totaal aanvoer naar cultuurgrond | kton | 667          | 61         |
| Dierlijke mest                   | kton | 372          | 53         |

### 2.8.3 Toekomstige behoefte

#### Toekomstige behoefte aan biomassa voor organische stof

Vanuit het beleid wordt gestreefd naar verhoging van het gehalte organische stof in landbouwbodems, deels middels verhoging van de toevoer van organische stof (zie Klimaatakkoord)<sup>51</sup>. Maatregelen op gebied van landbouwbodems en vollegrondsteelt moeten volgens het Klimaatakkoord 0,4 – 0,6 Mton CO<sub>2</sub>-reductie/jaar opleveren – onder andere door toenemende opbouw van bodemorganische stof.

Omdat niet precies is aangegeven hoeveel van genoemd bereik middels additionele toevoer van biomassa moet worden gerealiseerd is ook niet in te schatten hoeveel biomassa additioneel zou moeten worden aangevoerd.

Ter indicatie: een additionele vastlegging in de bodem van 0,5 Mton CO<sub>2</sub>/jaar vergt bij een gemiddelde humificatiecoëfficiënt van 50% circa 0,6 Mton d.s. aan organisch materiaal<sup>52</sup>. Samen met de huidige behoefte van 5.000 kton d.s. per jaar komt de toekomstige behoefte daarmee uit op 5.600 kton d.s. per jaar.

#### Toekomstige behoefte aan biomassa voor nutriënten

De huidige toevoer aan nutriënten in mest is hoger dan de maximale duurzame gift, gezien het gegeven dat op een deel van de zandbodems en lössbodems het nitraatgehalte in percolaat naar grondwater nog steeds boven de grenswaarde in de Kaderrichtlijn Water ligt. Voor fosfor is inmiddels evenwichtsbemesting bereikt. De hoeveelheid nutriënten die middels biomassa kan worden gegeven zal in de toekomst dus (moeten) afnemen.

Tabel 33 - Overzichtstabel biomassabehoefte voor toepassing in de landbouw in Nederland (in PJ/jaar)

| Zichtjaar | Biomassabehoefte voor toepassing in de landbouw (PJ/jaar) |
|-----------|-----------------------------------------------------------|
| Huidig    | 90                                                        |
| 2030      | 90-101                                                    |
| 2050      | 90-101                                                    |

De waardes in PJ in Tabel 33 zijn berekend door de droge-stof gewichten te converteren met een gemiddelde energiedichtheid van 18 GJ/kg d.s.

### 2.8.4 Conversietechnieken en biomassafeedstocks

Inzet van biomassa als bron van organische stof en nutriënten in de landbouw is over het algemeen een kwestie van het materiaal opbrengen/uitrijden of achterlaten op het land.

In verband met de beschikbaarheid van nutriënten voor het geteelde gewas kan het aantrekkelijk zijn om de organisch gebonden nutriënten om te zetten in goed beschikbare anorganische verbindingen als ammoniak en nitraat (in het geval van stikstof) en in fosfaat (in het geval van fosfor), waardoor er minder uitspoeling hoeft op te treden. Het gangbare proces hiervoor is vergisting. Vergisting wordt echter primair toegepast met het oog op biogasproductie, omdat het beschikbaar maken van nutriënten in biomassa geen prioriteit heeft in de landbouwsector.

<sup>51</sup> Er zijn bij grasland ook andere mogelijkheden, zoals minder scheuren van grasland.

<sup>52</sup> 500 kton CO<sub>2</sub> = 136 kton C = 300 kton biomassa (45% C). Bij humificatiefactor van 50% is 300 ÷ 50% = 600 kton/jaar aan biomassa nodig.

## 2.8.5 Relevante beleidsontwikkelingen

Volgens het Klimaatakkoord zal toekomstig beleid inzetten op cascadering en de volgende maatregelen:

- Mestraffinage met oog op productie van:
  - kunstmestvervangende concentraten;
  - organische stof voor additionele vastlegging van organische stof in de bodem;
  - grondstoffen voor textiel, papier en chemie;
  - hernieuwbare energie.
- toenemend gebruik van vanggewas/groenbemester en verbeteren van rotatieconcepten met oog op vastlegging van koolstof in de bodem;
- reductie van 0,5 Mton/jaar aan CO<sub>2</sub>-emissies door additionele vastlegging van koolstof in landbouwbodems.

Onderdeel van het Klimaatakkoord voor de landbouw is verdere ontwikkeling van een CO<sub>2</sub>-infrastructuur voor levering van circa 2,0 Mton/jaar aan CO<sub>2</sub> uit vooral biogene bronnen aan de glastuinbouw. De inzet en aanpak is gericht op kosteneffectieve afvang, transport en levering van CO<sub>2</sub>, realisatie van onafhankelijk CO<sub>2</sub>-transport, integratie en optimalisatie van CO<sub>2</sub>-opslag (CCS), maximale ontsluiting van CO<sub>2</sub> uit biogene bronnen. Vergisting of CO<sub>2</sub>-producerende fermentatie kan hier in principe goed op aansluiten.

### Mestraffinage

Als concrete maatregel met betrekking tot mestraffinage wordt genoemd dat alle verse varkensmest in gesloten regioclusters (van bedrijven) tot groene energie, vervangers van fossiele kunstmest en waardevolle meststoffen zal worden verwerkt. Belangrijke aspecten hierbij zijn een frequente afvoer van mest uit de stal en het scheiden van mest en urine bij de bron, waarna vervolgens de verse varkensmest in gesloten regionale clusters wordt verwerkt.

Ook voor rundveemest wordt gestreefd naar een toenemend aandeel raffinage. Producten hieruit zijn niet alleen kunstmestvervangers, organische stof en hernieuwbare energie, maar ook cellulosevezels voor toepassing als grondstof voor de chemische en textiel-industrie (zie Mestic initiatief)<sup>53</sup>.

### Vergroting hoeveelheid vastgelegde koolstof in bodemorganische stof

Voor verhoging van koolstof in de bodem op bouwland wordt gerefereerd naar de volgende concrete maatregelen:

- toename van areaal met minder intensieve grondbewerking;
- toename areaal van vanggewassen en groenbemesters;
- toename areaal van eiwit- en rustgewassen<sup>54</sup> en stimulering van veredeling van eiwit- en rustgewassen en concurrerend maken van teelt richting 2030;

<sup>53</sup> Zie bijvoorbeeld: [Omroep Brabant Holy shit: koeienpoep als grondstof voor plastic, papier en textiel](#) , [Nieuwe Oogst : Textiel uit mest spreekt Twentenaren aan](#)

<sup>54</sup> Rustgewassen zijn gewassen die een minder intensieve grondbewerking vergen vergeleken met hoog saldo gewassen (aardappelen, suikerbiet, uien). Met name diepwortelende vlinderbloemigen als luzerne en erwten zijn interessant als eiwit- en rustgewas met oog op koolstofvastlegging, maar ook met oog op biodiversiteit en stimulering van insectenpopulaties. Zie: [Deltaplan Agrarisch Waterbeheer : Gebruik diepwortelende en rustgewassen - factsheet](#), [Bodemacademie : De winst van een ruimer bouwplan](#) , [Natuurinclusief Landbouw Initiatief: Brede gewasrotatie](#)



- het stimuleren van toenemend gebruik van organische en andere circulaire meststoffen.

Met oog op grotere inzet van organische mest wil de Rijksoverheid op Europees niveau pleiten voor derogatie vanaf 1-1-2022 bij diepwortelende gewassen die bijdragen aan de koolstofvastlegging (bijvoorbeeld wintergranen, graszaad en winterkoolzaad).

Daarnaast wordt aangegeven dat er per 1-1-2020 binnen de fosfaatgebruiksnormen meer ruimte is voor de inzet van organische bodemverbeteraars conform het 6e Nitraat Actieprogramma en dat het pachtbeleid per 1-1-2021 zal worden herzien met oog op borging van duurzaam beheer van de verpachte gronden.

Gebruik van organische meststoffen zal verder worden gestimuleerd door:

- Ondersteuning van de ontwikkeling en implementatie van infrarood bemonsterings-apparatuur (NIRS) ten behoeve van het meten van de kwaliteit/samenstelling van dierlijke meststoffen in combinatie met precisiebemestingstechnieken.
- Een stimuleringsregeling voor realisatie van mestopslagcapaciteit in gebieden met een grotere behoefte aan organische meststoffen dan aanbod. Doelstelling is om de voorwaarden te scheppen dat mestaanwending op het juiste moment gebeurt ten behoeve van de gewasgroei door de mestplaatsingsdruk weg te nemen.
- Stimulering van regionale samenwerking tussen melkveehouders en akkerbouwers, onder andere middels ‘buurtcontracten’.

Andere benodigde innovaties ter versterking van de bodemkwaliteit en extra koolstof-vastlegging zijn de ontwikkeling van bijvoorbeeld plantenrassen die dieper of intensiever wortelen en met hoge opbrengst vroeg geoogst kunnen worden, nieuwe teeltsystemen met voldoende maaigewassen in de rotatie of mengteelten en strokenteelt en nieuwe stal-systemen die leiden tot een hoger organische stofgehalte in de mest.

## 2.8.6 Cascaderingsmogelijkheden bij de biomassaroutes

Toepassen van mest, gewasresten en groenbemesters voor energieproductie en grondstof-productie is in principe – afhankelijk van de toegepaste conversieroutes – te combineren met toepassing als bron van organische stof en nutriënten.

De combinatie kan worden gemaakt wanneer de niet-stabiele, in de bodem makkelijk afbreekbare componenten van deze biomassastromen wordt benut voor energieproductie of grondstofproductie en de stabielere componenten – het structuurrijke materiaal – en de nutriënten behouden blijven voor toepassing in de landbouw.

Technische routes waarbij deze combinatie kan worden gemaakt zijn (bijvoorbeeld):

- compostering met warmteterugwinning (bijvoorbeeld Biomeiler-concept);
- vergisting met uitrijden van gecomposteerd digestaat;
- fysische afscheiding van sappen uit gewasresten en groenbemesters voor winning van suikers (en opgeloste eiwitten) gecombineerd met uitrijden van perspulp en eventueel uit sap teruggewonnen nutriënten.

Bij vergisting kan ook CO<sub>2</sub> worden afgevangen voor bemesting in glastuinbouw of voor gebruik als grondstof bij productie van minerale grondstoffen. De CO<sub>2</sub> kan eventueel ook in de diepe ondergrond worden opgeslagen.

Bij vergisting geproduceerde groengas wordt in de huidige markt al afgezet als aardgas-substituut of als transportbrandstof en kan als aardgassubstituut worden gebruikt voor energieproductie, maar ook als grondstof (zoals bij methanolproducent BioMCN en mogelijk in toekomst ook bij kunstmestfabrikant OCI Nitrogen). Gebruik als transportbrandstof is

sinds kort ook mogelijk binnen de sector zelf, in mobiele werktuigen<sup>55</sup>, en als bioCNG of bioLNG in de transportsector (zie Paragraaf 2.3).

## 2.9 Negatieve CO<sub>2</sub>-emissies

Vanuit de klimaatwetenschap wordt gewezen op het belang van zogenoemde ‘negatieve CO<sub>2</sub>-emissies’. Daarmee wordt het actief verwijderen en vervolgens vastleggen van CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer bedoeld. In (PBL, 2018) staat een uitgebreid overzicht van zowel de inzichten vanuit de klimaatwetenschap over het belang van negatieve emissies om de in Parijs afgesproken klimaatdoelen te halen, als van de realisatiepotentiëlen van negatieve emissies en kosten daarvan. De benodigde omvang aan negatieve emissies hangt af van de omvang en het realisatietempo van broeikasgasemissiereducties die er mondiaal worden gerealiseerd. Hoe meer en hoe sneller de mondiale broeikasgasemissies dalen ten opzichte van het huidige niveau, hoe minder negatieve emissies er nodig zijn om de in Parijs afgesproken doelen te halen.

In (PBL, 2018) is zowel gekeken naar de potenties in Nederland van de combinatie van biomassa-inzet voor energiedoelen plus CCS (Carbon Capture and Storage), dat bekend staat als BECCS, als naar andere manieren om CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer af te vangen en vast te leggen. Zo is bijvoorbeeld gekeken naar landgebruik (koolstofvastlegging in de bodem, en bosaanplant), duurzaam bouwen, groene grondstoffen in de chemie, ‘groen beton’, naar vastlegging met het mineraal olivijn, en naar Direct Air Capture (DAC). Bij BECCS is naast verbranding van biomassa plus CO<sub>2</sub>-afvang ook gekeken naar vergisten of vergassen van biomassa in combinatie van het afvangen en vervolgens vastleggen van de daarbij gevormde CO<sub>2</sub> in het geproduceerde gas. Modelstudies van PBL in (PBL, 2018) laten zien dat BECCS in elf van de twaalf beschouwde scenario’s een substantieel onderdeel is om de klimaatdoelen te halen.

(PBL, 2018) geeft technische- en realistische potentiëlen van negatieve emissies in Nederland. Het genoemde PBL-rapport is een eerste verkenning zonder beleidsaanbevelingen. Om die reden hebben we in dit rapport de biomassabehoefte voor de realisatie van negatieve emissies niet opgenomen in de cijfermatige totaaloverzichten van behoeftes.

## 2.10 Cascadering en bioraffinage

### *Cascadering van biomassa*

In veel beleidsdocumenten rondom het inzetten van biomassa in verschillende toepassingen en voor verschillende doeleinden (zoals de Transitie-agenda circulaire economie (Biomassa & Voedsel) en het Klimaatakkoord), wordt gesproken over ‘het gecascadeerd inzetten van biomassa’. Cascadering bij de inzet van biomassa is een manier om zoveel mogelijk toepassingen te bedienen met eenzelfde volume aan biomassa. Vaak wordt echter geen duidelijke definitie van cascadering gegeven in deze documenten, net als termen die vaak in combinatie met cascadering worden gebruikt – zoals ‘hoogwaardige toepassingen’ en ‘efficiënt’ en ‘optimaal’ gebruik. In deze paragraaf wordt verder op cascadering ingegaan, welke doelen cascadering kan dienen en hoe gewenste cascadering van biomassa te stimuleren. De informatie in dit hoofdstuk is gebaseerd op de volgende bronnen: (European

<sup>55</sup> Zie bijvoorbeeld: [Boerderij : New Holland neemt methaantrekker in productie](#), [Trekkerweb : T6 Methane Power-tractor](#)

Commission, 2018), (Bioenergy Europe, 2019), (WWF, 2016), (BirdLife, EEB, 2015), (CE Delft, 2012a), (Rijksoverheid, 2018), (PBL, 2016).

Om meer vorm te geven aan wat de gewenste cascadering van biomassa is, is het belangrijk om te bepalen wat het doel is van de inzet van biomassa (ten opzichte van een ander materiaal) in een bepaalde toepassing. Dit kan bijvoorbeeld een lagere milieu-impact zijn, of er is simpelweg geen alternatief (dit is het geval bij voedsel), of (nog) geen economisch realistisch alternatief. Vervolgens kan verder op cascadering worden ingezoomd.

De algemeen gebruikte definitie voor cascadering is het zo optimaal mogelijk inzetten van een materiaal in zo hoogwaardig mogelijke toepassingen. Dit is geen eenduidige definitie: zowel over de definitie van 'optimaal' als over die van 'hoogwaardig' moet een keuze worden gemaakt, voordat verschillende cascaderingsopties met elkaar kunnen worden vergeleken. Een belangrijke opmerking hierbij is dat cascadering een middel is om een (beleids)doel te bereiken en geen doel op zich. De keuzes voor de hiervoor genoemde definities, kunnen gemakkelijker worden gemaakt wanneer het doel duidelijk is.

Er kunnen drie typen cascadering worden geïdentificeerd:

- Over de tijd: de biomassa blijft zo lang mogelijk in de materiaalcyclus, door het zo vaak mogelijk opnieuw in te zetten, zonder het te verbranden (het verbranden van materiaal wordt gezien als het verlies ervan uit de materiaalcyclus, ook wanneer er energie uit wordt teruggewonnen).
- Op functie: ieder materiaal bestaat uit componenten, zo ook ieder type biomassa. Cascadering op functie is het respecteren van de structuur en functies van de verschillende componenten van verschillende typen biomassa, zodat het zo slim mogelijk kan worden ingezet. Dit kan met behulp van bioraffinage.
- Op 'waarde': Men kan het materiaal zo hoogwaardig mogelijk inzetten. Hoogwaardig kan worden gedefinieerd op verschillende manieren:
  - met de laagste overall milieu-impact (dit kan op verschillende gebieden zijn: emissies, grondstofverbruik, effect op biodiversiteit, invloed op bodem- en water kwaliteit);
  - met de hoogste economische waarde;
  - met de hoogste maatschappelijke waarde (bijvoorbeeld inzet in toepassingen waar veel vraag naar is, maar (nog) weinig of geen alternatieve grondstoffen/technieken voor bestaan, of op basis van ethische wenselijkheid).

Deze drie typen van cascadering kunnen complementair zijn, maar gaan tegelijkertijd niet per definitie hand in hand. Uiteindelijk gaat het om de meest duurzame inzet van biomassa, waarbij duurzaam ook kan worden geïnterpreteerd op verschillende manieren (milieu-kundig, sociaal en economisch). Wanneer het (duurzaamheids)doel voor de inzet van biomassa duidelijk is, kan voor iedere optie van (gecascadeerd) inzetten van biomassa de balans worden opgemaakt over hoe die optie scoort op de verschillende vlakken, over de gehele levenscyclus. Het is een politieke keuze wat wordt gezien als de ideale balans. Verschillende keuzes kunnen leiden tot verschillende voorkeursvolgorden van inzet. Beleid kan de keuze beïnvloeden voor wat de hoogste waarde heeft, bedoeld of onbedoeld.

Aan de toepassingenkant wordt voor hoogwaardige inzet vaak gekeken naar de ladder van Moerman, de ladder van Lansink en de waardepiramide. Hierin is goed te zien dat waarde (hier vaak economisch of sociaal wenselijk) niet altijd overeenkomt met volume. Deze ladders kunnen gecombineerd worden gebruikt, maar niet blind worden gevolgd omdat ze misschien niet weergeven wat op dit moment het meest optimaal/hoogwaardig wordt geacht.

Uit verschillende bronnen blijkt dat er een aantal manieren te zijn om duurzame inzet van biomassa door middel van cascadering te stimuleren. Hierbij kan in beleid rekening worden gehouden.

Ten eerste is het belangrijk om alle relevante sectoren en beleidsterreinen te betrekken/ mee te nemen in beleid. Denk hierbij aan het kweken en oogsten van biomassa, afvalverwerking en de industrieën waarin de biomassa(reststromen) worden verwerkt tot producten. Het betrekken van verschillende beleidsterreinen is ook belangrijk, denk alleen al aan het feit dat (cascadering van) biomassa in beleid rondom klimaatverandering en de circulaire economie voorkomt. Ook bijvoorbeeld afvalbeleid (waaronder het voorkomen van afval) en voedsel- en landbouwbeleid zijn relevant. Naast beleid in deze sectoren is ook het stimuleren van innovaties op alle vlakken van belang.

Ideeën die veel worden genoemd rondom afvalbeleid zijn targets voor het terugwinnen van materiaal, verlengde producentverantwoordelijkheid (extended producer responsibility), pay-as-you-throw. Ook een taks op het gebruik van bepaalde bronnen of een CO<sub>2</sub>-prijs kunnen bijdragen aan het stimuleren van duurzame cascadering van biomassa (die laatste omdat zo cascaderingsopties die de hoogste overall broeikasgasreductie teweegbrengen, op verschillende manieren als meest hoogwaardig naar voren komen).

Er moet rekening gehouden worden met verschillende karakteristieken van de verschillende sectoren die betrokken zijn. Een voorbeeld hiervan is internationaliteit (van bijvoorbeeld de chemische industrie). Daarnaast is een level playing field tussen verschillende sectoren belangrijk – beleid bepaald soms onbedoeld de markt, waardoor de gewenste doelstelling niet wordt behaald.

Technologisch gezien zijn er nog veel ontwikkelingen mogelijk in alle relevante sectoren en kan worden gestimuleerd of beïnvloed met overheidsbeleid. Hiermee kan rekening worden gehouden in deze sectoren: flexibele processen kunnen inspelen op veranderende vraag en aanbod, maar ook makkelijk kunnen worden aangepast met nieuwe technologie zodat men gelijk voordeel uit deze ontwikkeling kan halen. Om materiaal zo goed mogelijk terug te kunnen winnen, is ook innovatie in productontwerp belangrijk: door een goed ontwerp kan materiaal in een later stadium beter worden teruggewonnen. Denk aan houten constructies in de bouw: als die modulair zijn, kunnen ze later makkelijk weer uit elkaar worden gehaald. Om cascadering mogelijk te maken is industriële symbiose nodig: de uitwisseling van reststromen en dergelijke en informatie daarover is essentieel.

Informatievoorziening is over het algemeen een belangrijke factor om (gecascadeerde) inzet van biomassa tot een succes te maken: voor bedrijven om te weten welke stromen beschikbaar zijn en waar (en tegen welke prijs), voor consumenten om het belang en de mogelijkheden van repareren producten, inleveren producten, et cetera. Daarnaast is het ook een middel om draagvlak en bewustzijn onder consumenten mee te creëren.

Tot slot is het altijd belangrijk om te onderzoeken of het beoogde doel met een bepaalde innovatie uiteindelijk ook wordt bereikt. Om een goede beoordeling te maken, is een duidelijke en realistische referentiesituatie nodig. Daarbij is van belang dat er vaak al bestemmingen zijn voor zijstromen op basis van de vigerende condities van economie en wet- en regelgeving.

In de JFF-rapportage (Gemeynt, (2020)) wordt ook op cascadering ingegaan, echter niet cijfermatig. Vanwege de verschillende mogelijke grondslagen voor cascadering (op basis waarvan wordt geoptimaliseerd), de vele verschillende technische mogelijkheden om te cascaderen, in combinatie met de vele soorten biomassastromen en de vele soorten

toepassingen zijn cijfermatige analyses van cascadering in dit rapport niet uitgevoerd. Zodra een beleidsmatige keuze is gemaakt voor de grondslag van cascadering kan zo'n cijfermatige verkenning van de mogelijkheden het onderwerp van een vervolgstudie zijn.

### *Bioraffinage*

Bioraffinage is een verzamelnaam voor processen die de cascadering van biomassa op functie (zie paragraaf hierboven) kunnen faciliteren. Bioraffinaderijen maken volgens de Bioenergy Task 42 on Biorefineries van het International Energy Agency 'de duurzame verwerking van biomassa in een breedspectrum van vermarktbare producten en energiedragers' mogelijk. Met verschillende processen kunnen de verschillende componenten van biomassa van elkaar worden gescheiden en zo optimaal worden ingezet. Zowel vanuit duurzaamheids- als economisch oogpunt kan bioraffinage voordelen bieden.

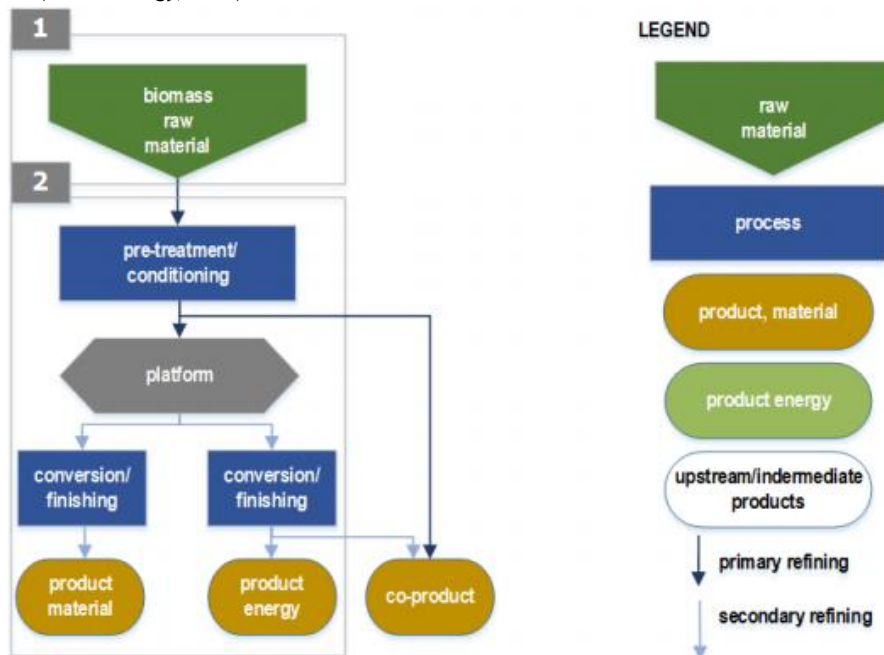
Er zijn veel verschillende bioraffinageconcepten mogelijk en veel is nog in ontwikkeling en op een laag Technology Readiness Level (TRL). Veel van de beschikbare data (zowel milieu als economische) is daarom specifiek voor één situatie en niet generiek te gebruiken voor alle bioraffinageconcepten.

Bioraffinaderijen zijn op verschillende manieren te categoriseren. Er is door IEA Task 42 een aantal factoren van de bioraffinaderij geïdentificeerd om ze mee te kunnen classificeren (deze zijn ook weergegeven in Figuur 29) (IEA Bioenergy, 2019):

- 'Platforms': de biomassagrondstof die in de bioraffinaderij wordt verwerkt bevat één of meerdere componenten (moleculen) die aan de basis van de vervolgreacties in de bioraffinaderij liggen. Voorbeelden hiervan zijn C5-suikers, lignine, cellulose, etc. Een platform kan een eindproduct van de bioraffinaderij zijn (dan wordt het ergens anders verder verwerkt, al dan niet in een andere bioraffinaderij) en het kan binnen de bioraffinaderij een tussenproduct zijn.
- Producten: hierin wordt onderscheid gemaakt tussen energieproducten en materiaalproducten. Onder energieproducten vallen biobrandstoffen en warmte en elektriciteit en onder materiaalproducten voedsel, chemische producten (waaronder platformchemicaliën en biopolymeren), biomaterialen, meststoffen glycerine en biowaterstof.
- Grondstoffen: welke biomassagrondstof is de input van de bioraffinaderij? Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen reststromen en verse gewassen.
- Processen: welke processen zetten de biomassa om in de producten? Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen thermochemische, biochemische, chemische en mechanische processen.

**Figuur 29 - Factoren binnen een bioraffinaderij op basis waarop deze kan worden gecategoriseerd**

Bron: (IEA Bioenergy, 2019) & VDI 6310.



Bioraffinaderijconcepten die op dit moment zijn geïdentificeerd (op basis van grondstoffen) zijn conventionele (granen en suikerhoudende gewassen en hout), gehele gewassen (graan-gewassen inclusief stengels e.d.), oleochemisch (oliehoudende gewassen), lignocellulose-houdende gewassen, groene (groene, natte gewassen zoals gras), marine (aquatische biomassa) (IEA Bioenergy, 2019). Er worden op dit moment vooral bioraffinaderijen ontwikkeld die als primair product biobrandstof of biochemicalïen hebben. Secundaire producten zijn dan vaak andersom (dus bij een op biobrandstoffen gerichte raffinaderij biochemicalïen als bijproduct, wat de businesscase van de productie van biobrandstof aanzienlijk kan verbeteren door de hogere economisch waarde per massa-eenheid van de biochemicalïen, en wanneer het hoofdproduct biochemicalïen zijn kunnen uit reststromen energiebronnen worden geproduceerd).

Er wordt verwacht dat bioraffinage in de toekomst een steeds grotere rol gaat spelen in de (gecombineerde) productie van bioproducten voor alle verschillende sectoren. Wanneer dit op een optimale manier wordt gedaan, biedt dit kansen voor de opschaling van de bio-economie, zowel in duurzaamheid (broeikasgasemissies over de hele keten, maar ook bijvoorbeeld landgebruik) als economisch. Er liggen nog uitdagingen om dit tot stand te laten komen, zowel op beleidsvlak (zie ook cascadering) als op technisch vlak (veel van de bioraffinageconcepten zijn nog niet op Technology Readiness Level 9 (marktrijp)). Daarnaast is samenwerking tussen verschillende partijen nodig om die te bewerkstelligen. Ook het bepalen of een bioraffinageconcept en de daarmee geproduceerde producten daadwerkelijk duurzamer zijn dan de referentieprocessen is lastig vanwege het multifunctionele karakter van een bioraffinaderij, maar het blijft een belangrijke stap in de realisatie ervan.

## 2.11 Overzicht toepassingen en behoefte

In de paragrafen van dit hoofdstuk staan de toepassingen stuk voor stuk beschreven, met daarbij de huidige inzet van biomassa voor die toepassing, en ramingen voor de behoefte aan biomassa voor elke toepassing in 2030 en 2050. De ranges tussen minimale en maximale behoefte lopen soms ver uiteen. In de afzonderlijke paragrafen staat uitgelegd wat de achterliggende aannames daarbij zijn.

Bij mobiliteit en transport heeft de grote range bijvoorbeeld te maken met enerzijds aannames over de beleidsontwikkeling, en anderzijds aannames over de omvang van de plek van biomassa in de markt naast alternatieven zoals elektrificatie. Bij lagetemperatuur-warmte heeft de range te maken met -ook hier- beleidsontwikkeling, met het vraagstuk of import van (biomassa voor) groengas wel of niet een grote vlucht zal gaan nemen, en met de vraag of waterstof richting 2050 de rol van groengas zal gaan overnemen voor die toepassing. Ook bij inzet als feedstock voor de chemische industrie is de range vooral een vraagstuk van beleidsontwikkeling.

De totalen per hoofdtoepassing staan getotaliseerd in Tabel 34.

Tabel 34 - Cijfermatig overzicht van de biomassabehoefte in Nederland voor de verschillende toepassingen (in PJ/jaar primaire energie)

|                                                  | Huidig     | 2030<br>min. | 2030<br>max. | 2050<br>min.    | 2050<br>max.      |
|--------------------------------------------------|------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|
| Feedstock chemische industrie                    | 3          | 3            | 200          | 90              | 368               |
| Mobiliteit en transport                          | 49         | 62           | 1.022        | 164             | 2.402             |
| Warmtebehoefte industrie                         | 24         | 23           | 23           | -               | 88                |
| Warmtebehoefte gebouwde omgeving en glastuinbouw | 25         | -            | 438          | -               | 911               |
| Elektriciteitsproductie                          | 50         | 30           | 30           | -               | 159               |
| Materialen                                       | 83         | 143          | 143          | > 143           | > 143             |
| Toepassing in Landbouw                           | 90         | 90           | 101          | 90              | 101               |
| <b>Totaal</b>                                    | <b>323</b> | <b>350</b>   | <b>1.956</b> | <b>&gt; 486</b> | <b>&gt; 4.170</b> |

De ranges in de behoeftes zijn groot. De som van de onderkant van de behoeftes groeit tot 2050 met een Factor 1,5, van 323 naar 486 PJ per jaar. De som van de bovenkant van de behoeftes groeit tot 2030 met een Factor 6 en tot 2050 met een Factor 13, naar circa 4.200 PJ/jaar. Aan de bovenkant van de ranges hebben de energietoepassingen (inclusief brandstof voor mobiliteit en transport) het grootste aandeel, van 46% huidig naar 77% in 2030 en 85% in 2050. Aan de onderkant van de range daalt dat aandeel 'energie' naar 33-34% en hebben de 'materialentoepassingen' het grootste aandeel in 2030 en 2050. In die onderkant van de ranges is de behoefte aan biomassa voor warmte voor de gebouwde omgeving, warmte voor de industrie en elektriciteitsproductie zowel in 2030 als in 2050 gelijk aan nul, doordat voor die toepassingen in die scenario's andere technieken worden ingezet. Bij de cijfers hoort nog de kanttekening dat er geen scenariocijfers beschikbaar zijn over de ontwikkeling van de omvang van materiaaltoepassingen tussen 2030 en 2050. In de grafiek zijn die waardes om die reden op de 2030-waardes gehouden.

De grootste procentuele groei ontstaat bij de toepassing als feedstock in de chemische industrie: tot 2030 met een Factor 80 en tot 2050 met een Factor 150 (beide bij bovenkant van de range). De grootste ranges in omvang ontstaan bij de toepassingen 'mobiliteit en transport' en bij 'warmte gebouwde omgeving'. Bij 'warmte gebouwde omgeving' is de

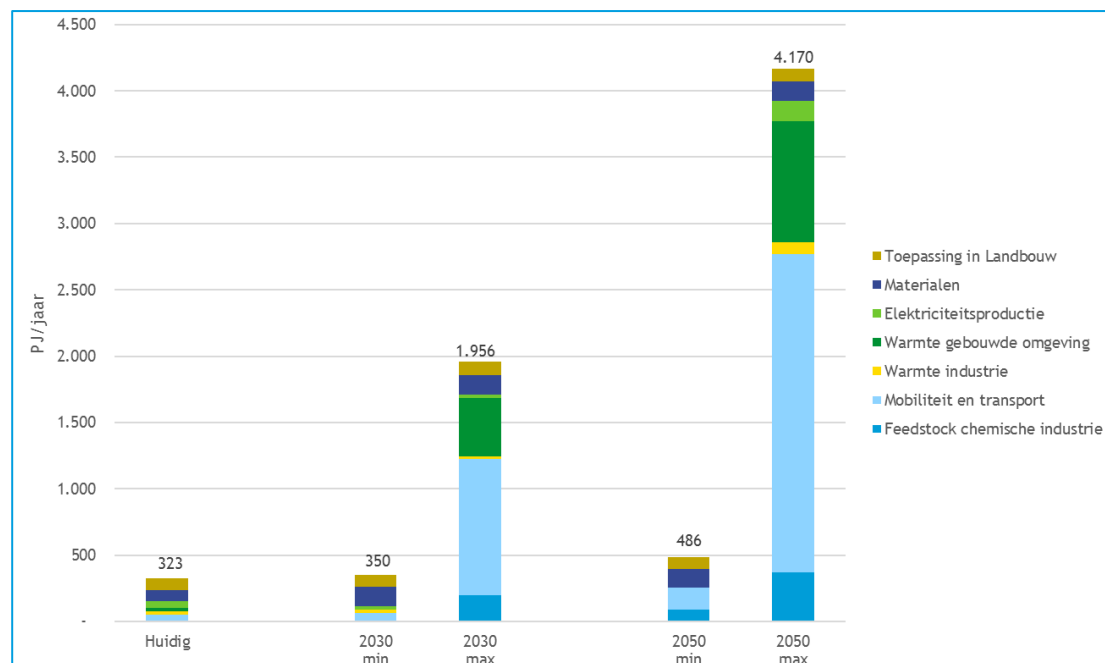
onderkant van de range nul in zowel 2030 als 2050, en de bovenkant van de range stijgt van de huidige 25 PJ/jaar naar ruim 400 en ruim 900 PJ/jaar in respectievelijk 2030 en 2050. Het betreft voor het overgrote deel inzet in de vorm van groengas, waarvoor in de betreffende scenario's grootschalige importstromen nodig zijn.

'Mobiliteit en transport' vormt het grootste aandeel in de bovenkanten van de ranges in 2030 en 2050. In absolute waarden zijn de ranges bij die toepassing het grootst. Het grootste deel daarvan is voor bunkers van scheepvaart en luchtvaart (bovenkant range in 2050: in totaal 81% voor bunkers, waarvan circa 10% voor luchtvaart en circa 70% voor scheepvaart). De grote ranges bij die toepassing komen enerzijds door verschillen in aannames over de omvang van de totale brandstofbehoefte van met name luchtvaart en scheepvaart, en door verschillen in aannames over de mate waarin daarin door biogene brandstof wordt voorzien.

Uitgezonderd de toepassing van hout als subcategorie bij materiaaltoepassingen, die gekoppeld is aan de productiestroom bosbouw, is er bij de andere toepassingen niet zo'n eenduidige koppeling. Verschillende soorten biomassa kunnen, via verschillende conversieroutes, worden ingezet voor de toepassingen. We kunnen om die reden wel een totale beschikbaarheid geven, met onderverdeling naar toepassing, maar niet een onderverdelen naar biomassastroom.

De cijfers uit Tabel 34 staan uitgezet in Figuur 30. In de figuur vallen duidelijk de grote ranges op, en de groei in de bovengrens van de behoefte die er tussen nu en 2050 optreedt.

**Figuur 30 - Totale biomassabehoeft in Nederland, naar hoofdtoepassing, in PJ/jaar**



Een toepassing die wel op enkele plekken bij de toepassingen benoemd is, maar niet separaat zichtbaar is in de figuur, is BECCS (Bio Energy Carbon Capture and Storage). BECCS is één van de mogelijkheden om negatieve CO<sub>2</sub>-emissies te realiseren, zie o.a. (PBL, 2018) die volgens veel klimaatstudies noodzakelijk zijn om de Parijs-klimaatdoelen te halen. Voor BECCS is een proces nodig waarbij de koolstof uit de biomassa geconcentreerd

vrijkomt, zoals bij verbranding van biomassa in energiecentrales, waarna de CO<sub>2</sub> uit de rookgassen kan worden afgevangen en vastgelegd. Ook bij vergassing en vergisting van biomassa komt de koolstof vrij in de vorm van CO<sub>2</sub> of CO, en kan het worden afgevangen uit het geproduceerde syngas of biogas.

# 3 Beschikbaarheid duurzame biomassa

## 3.1 Introductie

Dit hoofdstuk behandelt het antwoord op de vraag hoeveel ‘duurzame biomassa’ er is. Met een focus op 2030 en een doorkijk naar 2050. Als aanpak is gekozen voor een literatuurstudie. De reden voor deze keuze is dat er al heel veel studies zijn uitgevoerd, echter wel met sterk uiteenlopende cijfers over biomassabeschikbaarheid. Het is daarom relevanter om inzicht te genereren in wat er op dit moment bekend is over de beschikbaarheid van duurzame biomassa, en wat verschillende perspectieven zouden kunnen betekenen voor de beschikbaarheid. Bij dit laatste sluiten we aan bij de vijf verschillende perspectieven op biomassa zoals die zijn geïdentificeerd in het Joint Fact Finding-project<sup>56</sup> (Gemeynt, 2020). Die cijferkoppeling staat in Paragraaf 4.3.

De scope van deze analyse omvat biomassa die kan worden ingezet voor energietoepassingen, voor biobrandstoffen, als feedstock voor de chemische industrie en voor materialen (zoals bijvoorbeeld hout voor de bouw en voor papier). Biomassa voor toepassingen als voedsel, veevoer en textiel zijn buiten scope van deze studie, wel nemen we reststromen mee uit deze sectoren. De aannames die in de literatuur over die toepassingen worden gedaan hebben wel invloed op de gerapporteerde beschikbaarheidswaardes, zowel waar het gaat om productie als waar het gaat om reststromen. Dat omvat onder andere ook aannames over de groei van de wereldbevolking en over de ontwikkeling van het eiwitdieet. De effecten van dergelijke aannames op de beschikbaarheid van duurzame biomassa worden besproken in Paragraaf 3.6. Zie daarnaast ook het Sankey-diagram in Figuur 10 op Pagina 22 voor de onderlinge verhoudingen van de stromen die in deze studie worden beschouwd en de stromen van voedsel en veevoer.

Veel studies over biomassa(beschikbaarheid) hebben energetische toepassingen en klimaatbeleid als focus. De cijfers in die studies zijn daarom uitgedrukt in energie-eenheden. De scope van deze studie is nadrukkelijk breder, en omvat ook toepassing als materialen en als feedstock in de chemische industrie. Omwille van leesbaarheid en begrijpelijkheid is er toch voor gekozen om de cijfers in de hoofdstukken van het rapport steeds uit te drukken in energie-eenheden. In de bijlages worden de bijbehorende cijfers in droge-stof-gewichten gegeven, in dezelfde tabelopbouw als in de hoofdtabellen in de hoofdstukken.

Om de behoefte aan beschikbaarheid te kunnen beantwoorden, en om te kunnen vergelijken met de behoefte aan biomassa voor toepassingen, is het relevant om de beschikbaarheid op te delen naar soort biomassa.

Een andere dimensie bij de behoefte aan beschikbaarheid van biomassa is een geografische: wil Nederland in de toekomst alleen biomassa uit Nederland gebruiken, of rekent Nederland er op dat het biomassa of bio-producten blijft importeren, vanuit andere EU landen of

<sup>56</sup> Zie de uitleg bij Figuur 8 op Pagina 19 voor de samenhang met het JFF-project.

mondiaal? Om die reden is niet alleen naar beschikbaarheid in Nederland gekeken, maar ook naar de EU28<sup>57</sup> en naar mondiale beschikbaarheid.

Dit hoofdstuk behandelt achtereenvolgens:

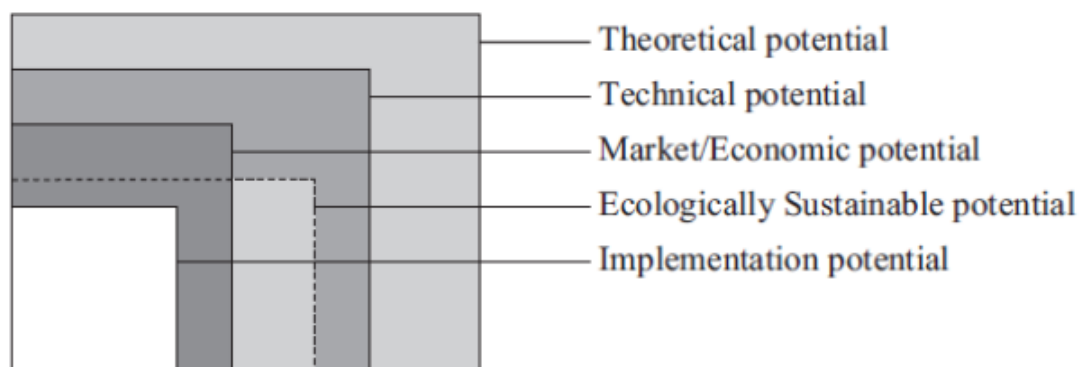
- Mondiale beschikbaarheid van biomassa. Eerst voor de wereld als geheel en vervolgens met een uitsplitsing naar regio's zoals die in de literatuur over mondiale biomassabeschikbaarheid regelmatig wordt gebruikt.
- Beschikbaarheid in de EU28 (productie in de EU28 en in de EU28 vrijkomende reststromen).
- Beschikbaarheid in Nederland (productie in Nederland en in Nederland vrijkomende reststromen).

Voor Nederland is er meer detailinformatie over biomassabeschikbaarheid dan over de beschikbaarheid mondiaal en in de EU, met een nadere uitsplitsing naar verschillende stromen en soorten biomassa.

## Soorten potentieel

Een belangrijke keuze bij de bepaling van biomassapotentieën voor energie en andere toepassingen is welke beperkingen er worden opgelegd aan het potentieel. Afhankelijk van de meegenomen beperkingen kan er gesproken worden van een theoretisch, technisch, ecologisch, economisch, implementatie of duurzaam implementatiepotentieel (BioSustainproject, (2017)). Voor die termen gelden echter geen formele definities, zij betekenen dan ook niet hetzelfde in verschillende studies. Dat maakt het lastig om de studies onderling te vergelijken. In het algemeen geldt dat een theoretisch of technisch potentieel hogere waarden geeft dan een 'duurzaam' potentieel, en dat een potentieel waarin daarnaast ook nog rekening wordt gehouden met economische beperkingen (zoals met prijsconcurrentie met huidige fossiele brand- en grondstoffen) nog lager uitkomt. Feitelijk zijn het drie verschillende assen (technisch, duurzaam, economisch) waarlangs het theoretisch potentieel kan worden ingeperkt, elk langs een eigen glijdende schaal zonder harde markeringspunten. Dit staat schematisch uitgedrukt in Figuur 31.

Figuur 31 - Soorten potentieel in de literatuur (figuur overgenomen uit (Faaij, 2018))



<sup>57</sup> EU28: de 28 lidstaten van de EU (incl. UK)

Om de literatuurwaardes goed te kunnen beschrijven hebben we drie potentieeltypen benoemd die we bij de in deze studie opgenomen beschikbaarheidscijfers gebruiken:

- **‘Technisch duurzaam’ potentieel:** Dit is de maximale hoeveelheid biomassa die mogelijk beschikbaar is als rekening gehouden wordt twee basale duurzaamheidseisen: met de behoefte aan landbouwgrond voor voedsel, veevoer en textiel om de wereldbevolking te voeden en te kleden (het zogenoemde ‘food, feed and fibre first principle’) en dat gebieden met beschermde natuur en oorspronkelijk bos niet worden aangetast. Het betreft een ‘kans-potentieel’, wat er mogelijk zou kunnen zijn met duurzame biomassa, met een daarop afgestemd beleid.
- **‘Duurzaam’ potentieel:** Om aan te geven dat er geen vaste definitie is van het duurzaam potentieel en verschillende studies verschillende duurzaamheidscriteria hanteren, is de term ‘duurzaam’ steeds tussen aanhalingstekens gezet. ‘Duurzaam’ potentieel is de hoeveelheid beschikbare biomassa rekening houdend met ecologische en sociale duurzaamheidscriteria, zoals bijvoorbeeld het vermijden van negatieve effecten op bodemkwaliteit, biodiversiteit en waterbeschikbaarheid, naast de basale duurzaamheidscriteria die al bij ‘technisch-duurzaam’ zijn meegenomen. De definitie van duurzaam verschilt echter tussen studies. Dit leidt tot ranges van potentiëlen, met onder- en bovengrenzen die we minimaal\_duurzaam en maximaal\_duurzaam hebben gelabeld. De ondergrens (minimaal\_duurzaam) is in het algemeen duidelijk aan te wijzen, de bovengrens (‘maximaal\_duurzaam’) soms niet (zie Figuur 2 op Pagina 7 ter illustratie). In dat geval hebben we alleen de ondergrens gegeven.
- **‘Duurzaam-economisch’ potentieel:** De hoeveelheid beschikbare biomassa waarbij niet alleen rekening wordt gehouden met ecologische beperkingen maar ook met economische beperkingen. In de regel gaat het bij economische beperkingen om het uitsluiten van biomassastromen die te duur zijn om beschikbaar te maken voor de productie van energie, materialen en grondstoffen. Wat precies als afkapgrens voor ‘te duur’ wordt aangenomen varieert per studie. ‘Duurzaam-economisch’ potentieel verschilt in die zin van ‘duurzaam’ potentieel dat er inherent ook aannames moeten worden gedaan over de toepassingen, over welke maximale prijs men accepteert voor die toepassingen (en daarmee ook welk beleid er wordt gevoerd), en over alternatieven om die in toepassingen te voorzien. We hanteren bij de gerapporteerde potentiëlen daarom geen ‘duurzaam economische’ potentiëlen, behalve wanneer het gaat om het beschrijven van relatieve verhoudingen waarbij geen absolute getallen nodig zijn.

Vaak wordt in potentieelstudies niet expliciet gemaakt welk van bovenstaande types potentieel wordt bepaald, maar valt dat wel goed af te leiden uit de beschrijving van de analyses en de scenario’s die zijn ontwikkeld in de studies.

## 3.2 Gevolgde methodiek

### Indelingen biomassastromen

We hanteren een in de literatuur gangbaar onderscheid naar bosbouw en landbouw (inclusief veeteelt), en daarbinnen een onderscheid naar productiestroom en primaire, secundaire en tertiaire reststromen. De cijfers worden gepresenteerd voor de huidige situatie<sup>58</sup>, 2030 en 2050. De focus in deze studie ligt op 2030, met een doorkijk naar 2050.

---

<sup>58</sup> Op basis van meest recent beschikbare cijfers, die altijd iets naijlen op de huidige werkelijkheid.

De verschillende stromen zijn als volgt gedefinieerd.

- **Productiestroom**  
De hoofdproducten waarop de landbouw of bosbouw is gericht (zoals graan, suikerbieten, micro-algen, melk, vlees, zaaghout, hout voor papierproductie).
- **Primaire reststroom**  
Stromen die in het veld vrijkomen bij de productie maar niet het hoofdproduct zijn (zoals stro, loof, mest, dunningshout, takken, tophout).
- **Secundaire reststroom**  
Stromen die vrijkomen bij het verwerkingsproces van de productiestroom, maar niet het hoofdproduct zijn bij die verwerking (zoals kaf, doppen, bietenpulp, slachtafval, zaagsel).
- **Tertiaire reststroom**  
Stromen die ontstaan na gebruik of consumptie (zoals rioolwaterzuiveringsslib, GFT, afvalhout uit de bouw).

Meerjarige gewassen, zoals wilgenteelt, vormen een tussencategorie tussen landbouw en bosbouw. In de literatuur worden ze bijna altijd bij landbouw geteld en niet apart onderscheiden. Om die reden zijn ze in dit hoofdstuk ook onder landbouw geteld.

Aquatische biomassa (macro-alg of ‘zeewier’) wordt apart benoemd in de verschillende paragrafen maar is niet apart in de tabellen en grafieken. De reden is dat er voor het potentieel van aquatische biomassa weinig studies beschikbaar zijn en er (nog) geen inschattingen zijn van de potentiële omvang van de reststromen.

Tabel 35 geeft een overzicht van de hier gebruikte classificering van biomassastromen.

Tabel 35 - Classificering van biomassastromen, met voorbeelden. De voorbeelden zijn niet uitputtend.

|                       | Landbouw                                                                                                     | Bosbouw                                                                  | Meerjarige gewassen <sup>(1)</sup>                 | Aquatisch                    | Overig <sup>(2)</sup>                                                               |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Productiestroom       | Snijmais, suikerriet, suikerbieten, soja, koolzaad, gras                                                     | Zaaghout                                                                 | Houtige gewassen (o.a. wilg), grasachtige gewassen | Algen, zeewier <sup>59</sup> | Bermgras, onderhoudsmaaisel uit rietlanden en waterlopen, snoeihout uit groenbeheer |
| Primaire reststroom   | Bietenloof, stro, mest                                                                                       | Dunningshout, tak- en tophout, bladeren, schors                          |                                                    | Nog onbekend                 | -                                                                                   |
| Secundaire reststroom | Bietenpulp, slachtafval, doppen van peulvruchten                                                             | Zaagsel                                                                  |                                                    | Nog onbekend                 | -                                                                                   |
| Tertiaire reststroom  | GFT, AWZI/RWZIslib, afgedankt textiel, organische fractie huisafval, gebruikte vetten en oliën, landfill gas | Afvalhout van consumenten, afvalhout van industrie, oud papier en karton |                                                    | Nog onbekend                 | -                                                                                   |

(1) Bij gebrek aan goed onderscheidbare cijfers in de studies hebben we ‘meerjarige gewassen’ onder landbouw meegeteld en waar beschikbaar separaat in de teksten benoemd.

(2) Van stromen als bermgras en maaisel van waterlopen zijn wel cijfers voor Nederland bekend, maar geen internationale cijfers. In de tabellen met internationale cijfers is deze kolom om die reden weggelaten.

<sup>59</sup> Zeewier is een term uit de spreektaal, in de literatuur wordt meestal het taxonomisch correcte ‘macro-algen’ gebruikt.

### **‘Appels en peren’**

Omdat verschillende studies verschillende biomassaströmen bekijken en elke studie uitgaat van andere uitgangspunten van wat duurzame biomassa is, gelden een aantal ‘disclaimers’ bij de interpretatie van de cijfers in dit hoofdstuk.

1. Cijfers uit verschillende studies kunnen niet simpelweg bij elkaar worden opgeteld om tot een totaal potentieel te komen.
2. Cijfers uit verschillende studies kunnen ook niet direct met elkaar worden vergeleken.

Door de verschillende aannames in de verschillende studies lopen we anders grote kans dat we ‘appels en peren vergelijken’. Zo kan bijvoorbeeld de ene studie bosbouw voorzien op een stuk grond waar de andere studie landbouw veronderstelt. De optelling van boven- en grenzen kan dan een incorrecte dubbeltelling op gebruik van grond betekenen. We zien ook dat verschillende definities van primaire, secundaire en tertiaire reststromen worden gebruikt. Vergelijken van verschillende bronnen geeft dan een vertekend beeld, en simpelweg optellen van het potentieel van deze stromen uit verschillende bronnen kan dan ook tot dubbeltelling, en daarmee overschatting van het potentieel leiden. De data laten een gedetailleerdere, genuanceerdere aanpak echter vaak niet toe.

Desondanks ontkomen we er niet aan om de cijfers van verschillende bronnen naast elkaar te laten zien in tabellen en grafieken, en tellen we soms de cijfers van verschillende bronnen bij elkaar op om een totaal potentieel te berekenen. Dit is naar onze inschatting te rechtvaardigen omdat de definities en aannames tussen de studies op veel punten wel vergelijkbaar zullen zijn. We realiseren ons echter dat hiermee een potentiële fout in de analyse komt, en vragen ook de lezer om dit in het achterhoofd te houden.

### **Literatuurbronnen**

Er is voor de beschikbaarheidscijfers gebruik gemaakt van een uitgebreide lijst van literatuurbronnen (zie het hoofdstuk ‘Geraadpleegde bronnen’ aan het eind van dit rapport), deels aangereikt vanuit het JFF-proces. Daarbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van ‘peer reviewed’ publicaties in wetenschappelijke tijdschriften, en van rapporten van gerenommeerde onderzoeksbureaus en instanties zoals CBS en JRC. Echter, veel publicaties geven weinig concrete, in verschillende biomassaströmen uitgesplitste biomassapotentieeldata. Sommige bronnen, zoals de scenariodatabase die gebruikt wordt voor de IPCC-rapporten (Huppmann, et al., 2018) bevatten zeer veel klimaatscenario’s waar biomassa-gebruik voor energietoepassingen een belangrijk onderdeel van is, maar deze biomassa-data betreffen geen potentieelinschattingen van biomassa-strömen maar een invulling van een duurzame energievoorziening in verschillende socio-economische toekomstscenario’s.

We hebben daarom uit deze lange lijst van scenario’s een selectie moeten maken van voor ons relevante data. Er is hierbij gekeken naar de volgende aspecten:

- De bron moet relevante data bevatten voor de beoogde doorsnijdingen (zichtjaren, indeling naar soort biomassa, indeling naar soort stroom).
- De bron moet eigenstandig ontwikkeld nieuw cijfermateriaal bevatten.
- Reviewstudies die meerdere bronnen hebben geanalyseerd zijn ook meegenomen.
- Bronnen die alleen cijfers van andere bronnen weergeven zonder een expliciet reviewdoelstelling te hebben, zijn wel onderzocht maar niet meegenomen als bron voor cijfers.
- Specifieke landenstudies (uitgezonderd Nederland), of studies die alleen naar een specifiek deel van de wereld kijken (anders dan de EU of de onderscheiden hoofdregio’s), zijn niet meegenomen in de cijfers in de tabellen, omdat die niet passen

in de voor dit overzicht relevante doorsnijdingen. Indien relevant voor duiding van de gepresenteerde waarden of ranges wordt er naar verwezen.

De studies die zijn gebruikt voor de beschikbaarheidscijfers staan kort beschreven in Bijlage E.

Als studies verschillende soorten of stromen biomassa bij elkaar geteld hebben zonder een uitsplitsing te geven, is dat in de tabellen met beschikbaarheden getoond door de betreffende cellen samen te voegen en een toelichting in een voetnoot onder de tabel te zetten. Soms was het daarvoor nodig om een aparte kolom in de tabellen toe te voegen met 'mix' in de kolomnaam, om de leesbaarheid te vergroten.

Daarnaast geldt de volgende kanttekening voor het omgaan met cijfers uit de publicaties:

- Zoals hierboven toegelicht beschrijven klimaatscenario studies niet de potentiële *beschikbaarheid* van biomassa, maar de benodigde *inzet* van biomassa, gegeven de aannames in dat klimaatscenario. Daarbij is in de integrale scenario's wel gekeken of die benodigde inzet ook daadwerkelijk mogelijk is, bij de in de betreffende studie gestelde beperkingen of duurzaamheidseisen waaraan moet worden voldaan. Bij dit laatste wordt bijvoorbeeld geëist dat ten minste een significante CO<sub>2</sub>-emissiereductie over de gehele keten wordt bereikt, maar vaak zonder *expliciet* in te gaan op zaken als bijvoorbeeld koolstofschuld en ILUC. Impliciet houden de integrale klimaatscenario's daar echter wel rekening mee, omdat de scenario's bijvoorbeeld als randconditie aanhouden dat er geen oerbos gekapt mag worden voor landbouw of energieteelt. Er zijn ook klimaatscenario's waarbij expliciet gezocht is naar *minimale* inzet van biomassa, en die om die reden tot zeer lage biomassa-inzet komen. Dergelijke cijfers zijn hier niet mee genomen als 'biomassapotentieel' omdat ze geen zinvolle informatie geven over de daadwerkelijke biomassabeschikbaarheid.

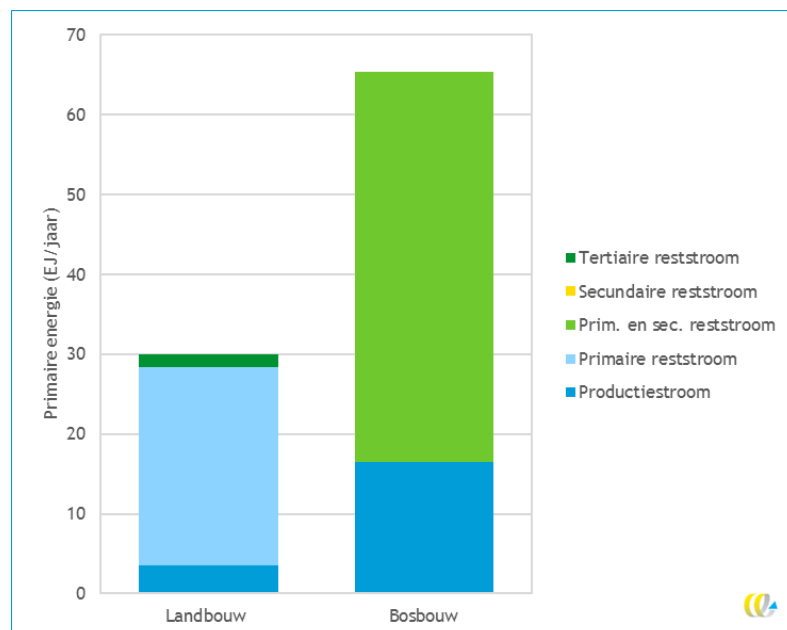
### 3.3 Beschikbaarheid mondiaal

In deze paragraaf worden de huidige inzichten over mondiale beschikbaarheid van biomassa gepresenteerd. De gevonden cijfers in de literatuurbronnen worden daarbij waar nodig gegeven in de vorm van ranges voor de verschillende biomassastromen. Onder de tabellen met cijfers staat steeds een korte toelichting (met noten) uit welke bron de cijfers afkomstig is en wat voor soort potentieel het betreft. Een uitgebreidere bespreking staat dan in de teksten onder de tabellen. De paragraaf begint met de mondiale beschikbaarheid, onderverdeeld naar zichtjaar (huidig, 2030, 2050). Voor de huidige situatie wordt de daadwerkelijke biomassaproductie beschouwd en voor 2030 en 2050 het biomassapotentieel. Daarna bekijken we de verhoudingen van beschikbare biomassahoeveelheden in verschillende wereldregio's (Paragraaf 3.3.5).

#### 3.3.1 Huidige mondiale biomassaproductie

De meest recente cijfers van de huidige geproduceerde wereldwijde biomassahoeveelheden voor energie- en materiaaltoepassingen zoals gevonden in de literatuur zijn weergegeven in Figuur 32 en Tabel 36. De som van productie- en reststromen van landbouw en bosbouw telt op tot een totaal van 95,4 EJ/jaar.

Figuur 32 - Biomassaproductie wereldwijd, huidig (meest recente cijfers) (EJ/jaar)



Tabel 36 - Biomassaproductie mondiaal, huidig (meest recente cijfers) (in EJ/jaar).

| Biomassastromen                    | Landbouw          | Bosbouw           |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Productiestroom                    | 3,5 <sup>2</sup>  | 16,5 <sup>3</sup> |
| Primaire reststroom                | 24,8 <sup>1</sup> | 48,9 <sup>4</sup> |
| Secundaire reststroom <sup>5</sup> |                   |                   |
| Tertiaire reststroom <sup>5</sup>  | 1,7 <sup>2</sup>  |                   |
| <b>Som</b>                         | <b>30</b>         | <b>65,4</b>       |

<sup>1</sup>: Piotrowski et al (Piotrowski, et al., 2015). Productie in 2011.

<sup>2</sup>: WBA (2016). Productie in 2012.

<sup>3</sup>: FAO (2017) Dit betreft de industriële stamhoutproductie in 2016. Omgerekend naar EJ met behulp van een energieinhoud van stamhout van 8,8 PJ/Mm<sup>3</sup> van BioSustain Project (2017).

<sup>4</sup>: WBA (2016). Productie in 2012. Dit is alleen de productie voor energie, zonder zaaghout en pulphout voor papier.

<sup>5</sup>: Geen mondiale cijfers beschikbaar van productie van secundaire reststromen landbouw en van tertiaire reststromen bosbouw.

WBA (2016) geeft cijfers uit 2012 voor de wereldwijde productie van energie uit energiegewassen, organisch afval en bosbouwstromen. Voor primaire reststromen landbouw was de productie van biomassa voor verschillende toepassingen in 2011 gelijk aan 1,38 miljard ton, ofwel 24,8 EJ (Piotrowski, et al., 2015)<sup>60</sup>.

De productie van bosbouwstromen voor energiegebruik van 48,9 EJ uit WBA (2016) omvat primaire en secundaire reststromen. Meer dan de helft (~55%) van die biomassa bestaat uit 'traditionele' biomassa die in ontwikkelingslanden wordt gebruikt om te koken<sup>61</sup>. De huidige productie van stamhout is ca. 16,5 EJ (FAO, 2017).

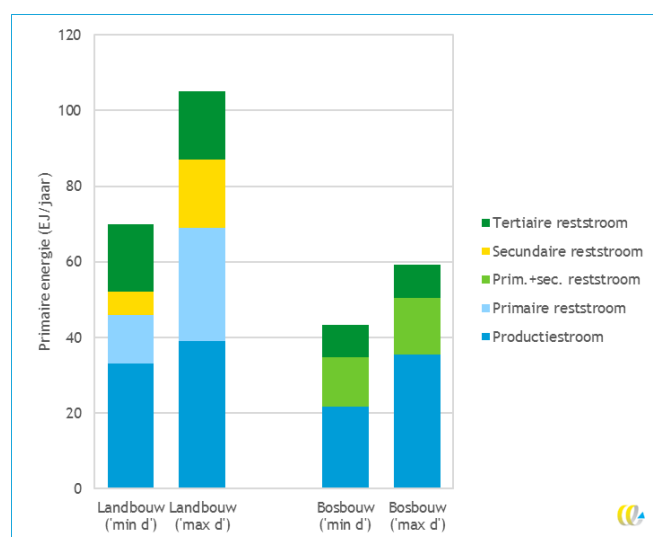
<sup>60</sup> Voor de omrekening naar EJ zijn we uitgegaan van een energie-inhoud van 18 MJ/kg droge stof, voor zowel hout als primaire reststroom landbouw.

<sup>61</sup> [IEA : Bioenergy](#)

### 3.3.2 Beschikbaar potentieel mondiaal in 2030

De ranges van beschikbare biomassa-hoeveelheden wereldwijd in 2030 die zijn gerapporteerd in de literatuur zijn weergegeven in Figuur 33 en Tabel 37. De productie- en reststromen van landbouw en bosbouw tellen op tot een totaalrange van 113-164 EJ/jaar 'duurzaam' potentieel<sup>62</sup>. De onderwaarde van die range is ruim 40% hoger dan de huidige mondiale productie van 79 EJ. Dit suggereert dat bij lage groei van productiviteit van landbouw en veeteelt en hoge duurzaamheidseisen voor biomassa het potentieel in 2030 aanzienlijk hoger is dan de huidige biomassa-productie in de wereld.

Figuur 33 - 'Duurzaam' biomassapotentieel wereldwijd in 2030 (EJ/jaar)



Noot: 'min./max. d' = onderwaarde/bovenwaarde van 'duurzaam' potentieel.

Tabel 37 - Biomassapotentieel wereldwijd in 2030 (in EJ/jaar)

| Biomassastromen       | Landbouw                     | Bosbouw                        | Mix (land- en bosbouw)        |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Productiestroom       | Duurzaam: 33-39 <sup>1</sup> | Duurzaam: 22-36 <sup>2</sup>   | Duurzaam: 32-114 <sup>6</sup> |
| Primaire reststroom   | Duurzaam: 13-30 <sup>4</sup> | Duurzaam: 13-15 <sup>1</sup>   |                               |
| Secundaire reststroom | Duurzaam: 6-18 <sup>1</sup>  |                                |                               |
| Tertiaire reststroom  | Duurzaam: 18 <sup>5</sup>    | Duurzaam: 8,4-8,8 <sup>3</sup> |                               |
| <b>Som</b>            | <b>Duurzaam: 70-105</b>      | <b>Duurzaam: 43,2-59,3</b>     |                               |

<sup>1</sup>: Uit IRENA (2014), gebaseerd op data van de FAO voor 118 landen, wat tweederde van het mondiale biomassapotentieel omvat.

<sup>2</sup>: Gebaseerd op IRENA (2014) en FAO (2017). De huidige industriële stamhoutproductie van 16,5 EJ uit FAO (2017) is opgeteld bij de waarden van IRENA (2014). Aanname hierbij is dat het duurzaam stamhoutpotentieel in 2030 gelijk is aan de huidige stamhoutproductie.

<sup>3</sup>: Uit IRENA (2014). Is omschreven als 'houtafval'.

<sup>4</sup>: Uit IRENA (2014). Betreft oogstresiduen; mest is niet opgenomen in deze inschatting, maar is in die studie bij de tertiaire reststroom geteld. Dit wijkt af van de indeling van biomassa-stromen in deze studie en in de rest van de bekeken literatuur, waarin mest onderdeel uitmaakt van de primaire reststroom landbouw.

<sup>5</sup>: Uit IRENA (2014). Mest zit hier ook bij inbegrepen, maar het aandeel daarvan in het totaal is niet bekend.

<sup>6</sup>: Uit Huppmann et al (2018) Omvat landbouw en reststromen bosbouw.

<sup>62</sup> Het optellen van potentieelcijfers uit verschillende studies is methodologisch niet geheel zuiver, omdat de studies op verschillende aannames kunnen zijn gebaseerd. Zie Paragraaf 3.2 voor verdere toelichting. De som geeft wel een indicatie van het totale biomassapotentieel.

De ‘duurzame’ potentieelinschattingen mondiaal voor 2030 voor afzonderlijke stromen komen uit IRENA (2014) dat is gebaseerd op data van de Food and Agriculture Organization (FAO) voor 118 landen. Het beslaat circa tweederde van het totale mondiale potentieel. Het potentieel was dus hoger uitgekomen als alle landen waren meegenomen. In IRENA (2014) wordt een ‘duurzaam’ biomassapotentieel gegeven van landbouw- en bosbouwstromen in de wereld en wereldregio’s in 2030. Deze cijfers kunnen dus goed bij elkaar worden opgeteld. Voor landbouw leidt dit tot een ‘duurzaam’ potentieel van 70-105 EJ en voor bosbouw van 43-59 EJ, in totaal 113-164 EJ. Het verschil tussen de onder- en bovenwaarde is het resultaat van het onderscheid dat in de analyse van IRENA (2014) is gemaakt tussen twee aanbodscenario’s. In het ‘high range of supply’-scenario worden marginaal geschikte tot zeer geschikte landtypes ingezet voor additionele biomassa-productie, terwijl afgesloten bossen, sterk beschermde gebieden en land gereserveerd voor infrastructuur en huizenbouw worden uitgesloten. Bij beide aanbodscenario’s is aangenomen dat 25% van de primaire landbouwreststromen kan worden onttrokken. Bij deze stromen is de behoefte aan veevoer afgetrokken van het potentieel. Bij bosbouw is aangenomen dat 25% van de totale reststroom van houtkap en 75% van de reststroom van houtverwerking en houtafval op duurzame wijze beschikbaar kan komen.

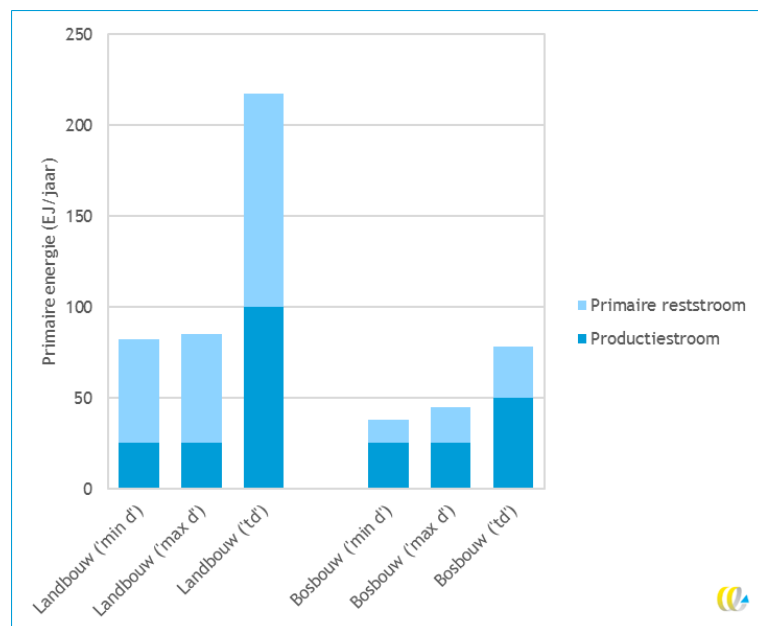
Resultaten van verschillende klimaatstudies geven een range voor de som van alle landbouwstromen plus reststromen bosbouw van 32-114 EJ (Huppmann, et al., 2018). Dit is aanzienlijk lager dan de 113-164 EJ gebaseerd op FAO (2017) en IRENA (2014) zeker als je bedenkt dat het potentieel geschat door IRENA (2014)(exclusief industrieel stamhout) tweederde van het mondiale totaal beslaat. Dit kan worden verklaard door het feit dat klimaatstudies niet primair zijn gericht op de berekening van het potentieel, maar ook zijn gedreven door de behoefte aan biomassa. Die scenario’s berekenen in feite de biomassa-productie voor verschillende toepassingen in specifieke mondiale socio-economische scenario’s.

### 3.3.3 Beschikbaar potentieel mondiaal in 2050

De ranges van beschikbare biomassahoeveelheden wereldwijd in 2050 zoals gevonden in de literatuur zijn weergegeven in Figuur 34 en Tabel 38. Het totaal telt op tot een wijde range van 120 tot 295 EJ. Dat is nog zonder het potentieel van aquatische biomassa waar apart op ingegaan wordt. De grote ranges in de cijfers kunnen deels worden verklaard doordat de lage waarden rekening houden met duurzaamheidscriteria, terwijl de hoge waarden een ‘technisch duurzaam’ potentieel betreffen.

De ondergrens van het ‘duurzaam’ potentieel van 120 EJ ligt hoger dan de ondergrens van 113 EJ die is gevonden voor 2030. De verdere toename van de productiviteit van landbouw en bosbouw is een belangrijke verklarende factor. De groeiende behoefte aan voedsel zet een rem op de toename van het ‘duurzaam’ potentieel.

**Figuur 34 - Biomassapotentieel wereldwijd in 2050 (EJ/jaar)**



Noot: 'min./max. d' = onderwaarde/bovenwaarde van 'duurzaam' potentieel; 'td' = 'technisch duurzaam' potentieel.

**Tabel 38 - Biomassapotentieel wereldwijd in 2050. Cijfers zijn in EJ/jaar**

| Biomassa-stromen                  | Landbouw                                                | Bosbouw                                                | Mix <sup>4</sup> (land- en bosbouw) | Mix <sup>5</sup> (land- en bosbouw)                     |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Productie-stroom                  | Duurzaam: 25<br>Technisch duurzaam: 100 <sup>1</sup>    | Duurzaam: 25<br>Technisch duurzaam: 50 <sup>1</sup>    | Duurzaam: 16-213 <sup>4</sup>       |                                                         |
| Primaire reststroom               | Duurzaam: 57-60<br>Technisch duurzaam: 117 <sup>2</sup> | Duurzaam: 13-20<br>Technisch duurzaam: 28 <sup>3</sup> |                                     | Duurzaam: 83-93<br>Technisch duurzaam: 125 <sup>5</sup> |
| Secundaire reststroom             |                                                         |                                                        |                                     |                                                         |
| Tertiaire reststroom <sup>6</sup> |                                                         |                                                        |                                     |                                                         |
| Som                               | Duurzaam 82-85<br>Technisch Duurzaam 217                | Duurzaam 38-45<br>Technisch Duurzaam 178               |                                     |                                                         |

<sup>1</sup>: Deze waarden komen uit Creutzig et al (2015) (bovenkant van range 'medium agreement'). De productiestroom bosbouw omvat hout voor alle toepassingen.

<sup>2</sup>: Uit Daioglou et al (2016), waarin gebruik wordt gemaakt van klimaatscenario's van het Integrated Assessment Model (IAM) IMAGE van PBL.

<sup>3</sup>: Uit Daioglou et al (2016) gebaseerd op het IMAGE-model.

<sup>4</sup>: Uit Huppmann et al (2018). Gebaseerd op klimaatscenario's die ten grondslag liggen aan het 1.5 graden rapport van IPCC (2018). Omvat landbouw en reststromen bosbouw.

<sup>5</sup>: De 'duurzaam' potentieelrange komt uit Daioglou et al (2016). Het 'technisch duurzaam' potentieelcijfer komt uit Creutzig et al (2015). Alle cijfers omvatten primaire en secundaire reststromen van landbouw en bosbouw.

<sup>6</sup>: De mondiale cijfers voor 2050 geven geen separate waardes voor tertiaire reststromen.

De range van de productiestroom landbouw is afkomstig uit Creutzig et al (2015) en omvat zowel voedselgewassen als meerjarige gewassen. Het artikel is gebaseerd op een analyse van tientallen studies met uiteenlopende ecologische beperkingen, waarin verschillende typen potentieel zijn opgenomen. De wijde range vindt niet alleen haar oorsprong in het verschil tussen deze potentiëlen, maar ook in verschillende aannames over haalbare gewasopbrengsten, verschuivingen in dieet (meer of minder vleesconsumptie) en efficiëntie van gebruik van veevoer. De 100 EJ-waarde is afkomstig van een analyse waarin de mondiale landbouwproductiviteit sterk stijgt, in combinatie met verminderde vleesconsumptie en efficiëntere veeteelt. Daardoor wordt in het scenario én de wereldbevolking gevoed, én productieve landbouwgrond worden ingezet voor productie van energy crops. Deze relatief hoge waarde kan worden beschouwd als een kans-potentieel dat realiseerbaar is als daar mondiaal gericht en effectief beleid op wordt gevoerd, in (Creutzig, 2015) wordt het gekenschetst als bovenzijde van waardes met gemiddelde overeenstemming ('*medium agreement*') in de literatuur. Zie daarvoor ook de van Creutzig (2014) overgenomen grafiek in Figuur 2 op Pagina 7.

De 25 EJ-waarde komt uit een analyse met strenge ecologische beperkingen en met ontwikkelingen van voedselvraag en landbouw die ongunstig zijn voor de beschikbaarheid van biomassa uit landbouw voor materialen en energie.

De hoeveelheid primaire reststromen landbouw heeft een direct verband met de productiehoeveelheid van gewassen. De verhouding tussen de opbrengst van primaire reststroom en productiestroom ('*residue to product ratio*') is voor veel gewassen in de orde van 1-1,5 (Esteban, et al., 2008). De primaire reststroom zou dus even hoog kunnen zijn als de productiestroom, zeker omdat ook de primaire reststroom van gewassen voor de voedsel- en veevoerproductie hier meetelt. De bovenwaarde van 117 EJ uit Daioglou et al (2016) is gebaseerd op een scenario met minder gunstige socio-economische en technologische ontwikkelingen dan in het scenario dat op 100 EJ uit komt.<sup>63</sup> De onderwaarde van 57 EJ is een 'duurzaam' potentieel, waarbij is aangenomen dat circa 50% van de landbouwreststromen en 30% van de bosbouwreststromen op het veld moet blijven ten behoeve van bodemkwaliteit en andere ecologische functies (Daioglou, et al., 2016).

De productiestroom bosbouw in Creutzig et al (2015) betreft 'optimaal oogsten van bos' (optimal forest harvesting). Dit is een inschatting van het potentieel van productiehout voor 'andere bosproducten' (incl. voor pulp- en papierproductie). De potentie van deze categorie hangt o.a. af van de eigendom van bossen, economische prikkels en de structuur van de bosbouwindustrie. De bovenwaarde van 50 EJ is een 'technisch duurzaam' potentieel en de onderwaarde van 25 EJ een 'duurzaam' potentieel, welke in verschillende studies zijn ingeschat.

De hoeveelheid primaire reststroom van bosbouw is direct gerelateerd aan de omvang van de productiestroom. Deze reststroom komt immers vrij tijdens de productie van stamhout. Gewoonlijk wordt bij het oogsten van bomen slechts 25-50% van het biomassavolume onttrokken, en blijft de rest achter als primaire reststroom (Zafar, 2019). Een deel van deze primaire reststroom kan duurzaam worden onttrokken. De range van 13-28 EJ komt uit Daioglou et al (2016) waarin potentiëlen van reststromen zijn berekend met het Integrated Assessment Model IMAGE (zie bijlage E.1). De 28 EJ 'technisch duurzaam' potentieel valt laag uit ten opzichte van de 50 EJ voor productiestroom bosbouw zoals gerapporteerd door Creutzig et al. (2015). Dit kan worden verklaard doordat de productie van stamhout aangenomen in Daioglou et al. (2016) géén formeel potentieel is, maar is afgestemd op de

<sup>63</sup> Omdat in Creutzig et al (2015) niet staat vermeld welk potentieel primaire reststroom landbouw hoort bij het scenario als waaruit de 100 EJ hoofdstroom landbouw komt, kon dit hier niet worden opgenomen.

in dat scenario ingeschatte verwachte behoefte en daarmee een *ondergrens* vormt van de beschikbaarheid van reststromen bosbouw.

## Aquatische biomassa<sup>64</sup>

Omdat energiegewassen geproduceerd op land kunnen concurreren met voedselproductie en kunnen leiden tot indirect land use change (ILUC) met allerlei potentieel negatieve gevolgen voor het milieu, bespreken we hier ook resultaten van literatuur over de potentie van de teelt van aquatische biomassa (macroalgen) op zee. De voordelen van de teelt van macroalgen zijn dat deze planten sneller groeien dan planten die op land en dat er geen landbouwgrond en zoet water nodig zijn om de algen te produceren. Bovendien bevatten macroalgen geen, of minder, lignine, waardoor er geen energie-intensieve processtap nodig is om de lignine te verwijderen. In vergelijking met microalgen, welke in reactors op het land worden gekweekt, is de teelt van macroalgen minder kapitaal- en energie-intensief, is de potentiële opbrengst hoger en zijn de planten gemakkelijker te oogsten. De productietechnologie van biomassa uit macroalgen zit echter nog in de ontwikkelingsfase, wat inschatting van de potentie bemoeilijkt (Lehahn, et al., 2016).

Lehahn et al (2016) geeft een theoretisch potentieel van de productie van algen op zee voor verschillende wereldregio's voor de komende 50 jaar. Het gaat om 'mogelijke maar marginaal economische volumes' van algen. De modelresultaten laten zien dat in theorie (zonder technologische of ecologische beperkingen) de *Ulva* macroalg in ca. 10% van het wereldwijde oceaangebied kan worden geteeld, in gebieden rijk aan nitraat en fosfaat. Als in alle mogelijke oceaangebieden wordt geteeld, is het potentieel zeer groot: 2.052 EJ per jaar. Dit is ruim twee maal zo groot als het totaal van landbouw en bosbouw in Tabel 38. Als echter alleen wordt geproduceerd in gebieden met waterdieptes minder dan 100 meter en maximaal 400 kilometer uit de kust, dan leidt dat volgens Lehahn et al tot een meer realistisch potentieel van 'slechts' 18 EJ/jaar.

De daarvoor benodigde productie- en verwerkingstechnologie is echter nog niet beschikbaar, de auteurs spreken daarom van een theoretisch potentieel. Daarnaast zijn er milieuroisico's verbonden aan de grootschalige offshore teelt van macroalgen, zoals negatieve effecten op ecosystemen en migratiestromen van zeedieren. De algenproductie kan bijvoorbeeld nutriënten uit de omgeving onttrekken die essentieel zijn voor ecosystemen. Aan de andere kant is eutrofiëring (teveel nutriënten) ook een risico, bijvoorbeeld als het oogsten vertraagd is of als macroalgen uit het productiesysteem 'lekker'. Het 'duurzaam' potentieel zal daarom naar verwachting lager zijn dan het theoretisch potentieel, maar dit is (nog) niet gekwantificeerd. Hetzelfde geldt voor de omvang aan mogelijke reststromen.

---

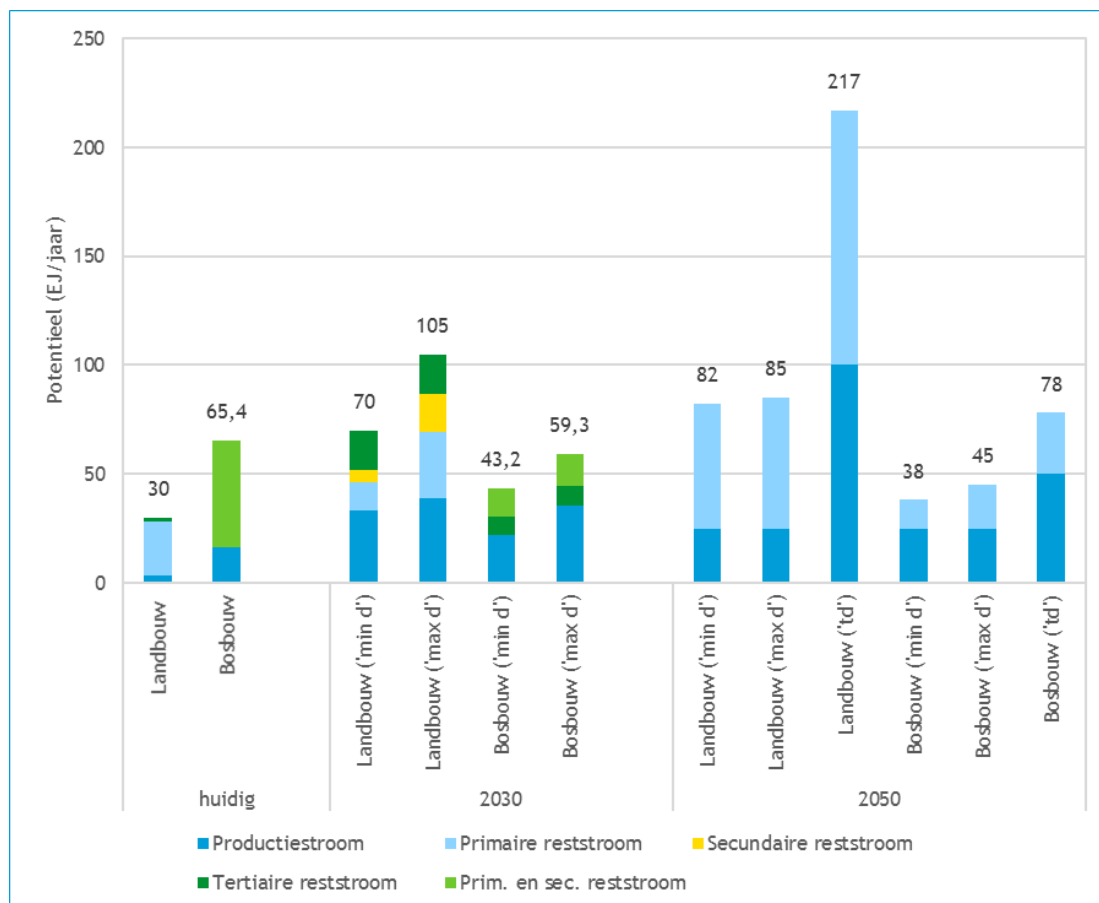
<sup>64</sup> We bedoelen hier teelt op zee van macroalgen. Macroalgen is de taxonomisch correcte term voor 'zeewier'. Niet te verwarren met 'micro-algen', die op land worden gekweekt in reactoren, en als vorm van landbouw tellen.



### 3.3.4 Overzicht mondiale beschikbaarheid

In Figuur 35 zijn ten behoeve van een handzaam overzicht de figuren van mondiale beschikbaarheid per zichtjaar bij elkaar in één figuur geplaatst.

Figuur 35 - Overzicht mondiale beschikbaarheid (huidig, 2030, 2050)



### 3.3.5 Verdeling beschikbaarheid over de mondiale regio's

Niet alle wereldregio's hebben evenveel biomassa beschikbaar. Om inzicht te krijgen in de verdeling van biomassa voor energie en materialen over de wereld, behandelen we hier potentieelcijfers voor verschillende wereldregio's<sup>65</sup>.

Er zijn een zestal bronnen in deze literatuurstudie opgenomen waarin een verdeling wordt gemaakt tussen verschillende wereldregio's. Deze zijn lastig met elkaar te vergelijken, omdat ze verschillen in opgenomen jaren, regiodefinities, de biomassastromen die worden onderscheiden, en het type potentieel dat wordt gegeven (zie Tabel 39).

<sup>65</sup> Een alternatief zou zijn geweest om de focus te leggen op landen waar Nederland op dit moment handelscontracten mee sluit over biomassa-importen. Hier is niet voor gekozen. Het betreft vooral de Baltische staten, Canada en de VS. Dit zijn echter alleen handelstromen van houtpellets voor energiedoeleinden (elektriciteit en warmte), zodat maar een beperkt deel in beeld zou komen van de scope van biomassa. Overigens wel het deel van de biomassastromen dat nu de meeste aandacht krijgt in het publieke debat.

Tabel 39 - Scope van studies waarin biomassapotentieeldata voor verschillende wereldregio's worden gegeven

| Bron                   | Zichtjaar          | Type potentieel                                   | Biomassastromen                                        | Gebieden                                                                                                           |
|------------------------|--------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Daiglou et al (2016)   | 2050               | Technisch duurzaam, duurzaam, duurzaam-economisch | Landbouw en primaire en secundaire reststromen bosbouw | Azië, N-Am, C&Z-Am, Europa en Turkije, Oost-Europa en Rusland, Afrika en M-O, Oceanië                              |
| Daiglou et al (2019)   | Huidig, 2030, 2050 | Duurzaam-economisch                               | Landbouw (alle stromen), reststromen bosbouw           | Azië, OECD-regio's, L-Amerika, voormalige Sovjet-Unie, Afrika en M-O                                               |
| IRENA (2014)           | 2030               | Duurzaam                                          | Landbouw en bosbouw (alle stromen)                     | Azië, N-Am, L-Am, Europa, Afrika, OECD Pacific                                                                     |
| Lehahn et al (2016)    | 2050               | Technisch duurzaam                                | Aquatisch                                              | Oost-Azië-wateren, Noord-Atlantische wateren, Z-Am wateren - Oost, Z-Am wateren - West, West-Afrika wateren - Zuid |
| Offermann et al (2011) | Huidig, 2030, 2050 | Technisch duurzaam                                | Landbouw (alle stromen) en reststromen bosbouw         | Azië, OECD N-Am, Caraïben en L-Am, OECD Europa, gemenebest-landen en non-OECD Europa, Afrika, OECD Pacific         |
| IIASA en IAMC (2019)   | Huidig, 2030, 2050 | Duurzaam                                          | Productie en primaire reststromen landbouw             | Azië, L-Am, OECD-regio's en EU, voormalige Sovjet-Unie, Afrika en M-O, rest van de wereld                          |

Noot: C&Z-Am = Centraal en Zuid-Amerika; L-Am = Latijns-Amerika; M-O = Midden-Oosten; N-Am = Noord-Amerika.

Het verschil in scope tussen de studies maakt het lastig om de studies goed te vergelijken. Desondanks helpt het bekijken van meerdere studies om een beter beeld te krijgen van de verhoudingen van biomassabeschikbaarheid in verschillende regio's. We richten ons hier op Daiglou et al (2019) en IRENA (2014) omdat beide studies een 'duurzaam' of 'duurzaam-economisch' potentieel geven van zowel landbouwstromen als bosbouwreststromen in 2030. Daiglou et al (2019) geven productiecijfers voor de productiestroom landbouw en reststromen landbouw en bosbouw in 2030 voor verschillende socio-economische klimaat-scenario's. Omdat deze studie een analyse van daadwerkelijke inzet van biomassa betreft, kunnen deze waarden enkel als ondergrens van het 'duurzaam-economisch' potentieel<sup>66</sup> worden beschouwd. We bekijken de waardes voor de inzet van biomassa uit het scenario met de hoogste mondiale biomassaproductie, omdat deze de beste benadering geven van het potentieel. Deze zijn gegeven in Tabel 40. Dit zijn waardes uit een specifiek SSP1-scenario, waarin de uitdagingen van klimaatadaptatie en -mitigatie relatief klein zijn, als gevolg van onder andere een vleesarm dieet en doorlopende verbeteringen van de productiviteit van landbouw en veehouderij.

<sup>66</sup> De waardes van Daiglou et al (2019) betreffen een 'duurzaam-economisch' potentieel, omdat het concurrentievermogen van biomassa wordt meegenomen in het bepalen van de biomassavraag.

Tabel 40 - 'Duurzaam-economisch' potentieel van biomassa in wereldregio's in 2030, op basis van Daioglou et al (2019)

|                         | Productie landbouw | Reststromen landbouw en bosbouw | Totaal per regio | Aandeel regio |
|-------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------|---------------|
| Azië                    | 3,7                | 19,8                            | 23,5             | 33%           |
| Latijns-Amerika         | 7,5                | 2,6                             | 10,1             | 14%           |
| Afrika en Midden-Oosten | 5,4                | 5,7                             | 11,2             | 16%           |
| OECD-regio's            | 2,2                | 16,3                            | 18,5             | 26%           |
| Voormalige Sovjetstaten | 0,9                | 6,5                             | 7,4              | 10%           |
| <b>Totaal (wereld)</b>  | <b>19,7</b>        | <b>50,9</b>                     | <b>70,6</b>      | <b>100%</b>   |

In Tabel 41 staan ranges van het 'duurzaam' potentieel per wereldregio in 2030 uit IRENA (2014). Deze corresponderen met de twee scenario's in IRENA (2014) die leiden tot verschillende potentieelwaarden. Zo worden in het 'high range of supply'-scenario ook marginaal geschikte landtypes ingezet voor additionele biomassa-productie en is een groter deel van de secundaire landbouwstromen winbaar dan in het 'low range of supply'-scenario (25-90%, tegenover 25%).

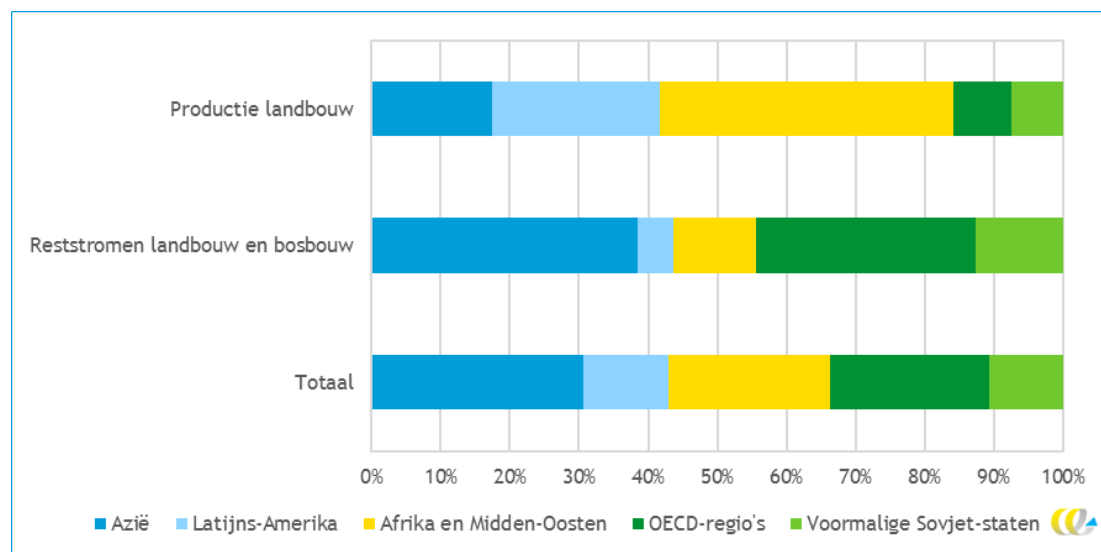
Tabel 41 - 'Duurzaam' potentieel van biomassa in wereldregio's in 2030 (IRENA, 2014)

|                        | Productie landbouw | Reststromen landbouw | Productie-stroom bosbouw | Reststromen bosbouw | Totaal per regio  | Aandeel regio |
|------------------------|--------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| Azië                   | 0,4-0,6            | 15,9-32,1            | 1,6-2,2                  | 3,8-4,3             | 21,7-39,2         | 22-27%        |
| Latijns-Amerika        | 14,2-16,2          | 5,0-9,4              | 0,0-0,3                  | 1,5-1,5             | 20,7-27,4         | 19-21%        |
| Afrika                 | 4,5-5,2            | 3,5-5,7              | 0,0-0,0                  | 0,8-1,1             | 8,8-12,1          | 8-9%          |
| Europa                 | 5,7-7,1            | 5,8-8,3              | 0,3-13,1                 | 6,6-7,7             | 18,5-36,2         | 19-25%        |
| Noord-Amerika          | 6,6-7,5            | 5,8-8,8              | 3,3-3,4                  | 7,7-7,7             | 23,4-27,4         | 19-24%        |
| OECD Pacific           | 1,7-1,9            | 0,8-1,3              | 0,1-0,2                  | 1,0-1,3             | 3,7-4,7           | 3-4%          |
| <b>Totaal (wereld)</b> | <b>33,1-38,6</b>   | <b>36,9-65,7</b>     | <b>5,3-19,0</b>          | <b>21,4-23,6</b>    | <b>96,7-146,9</b> | <b>100%</b>   |

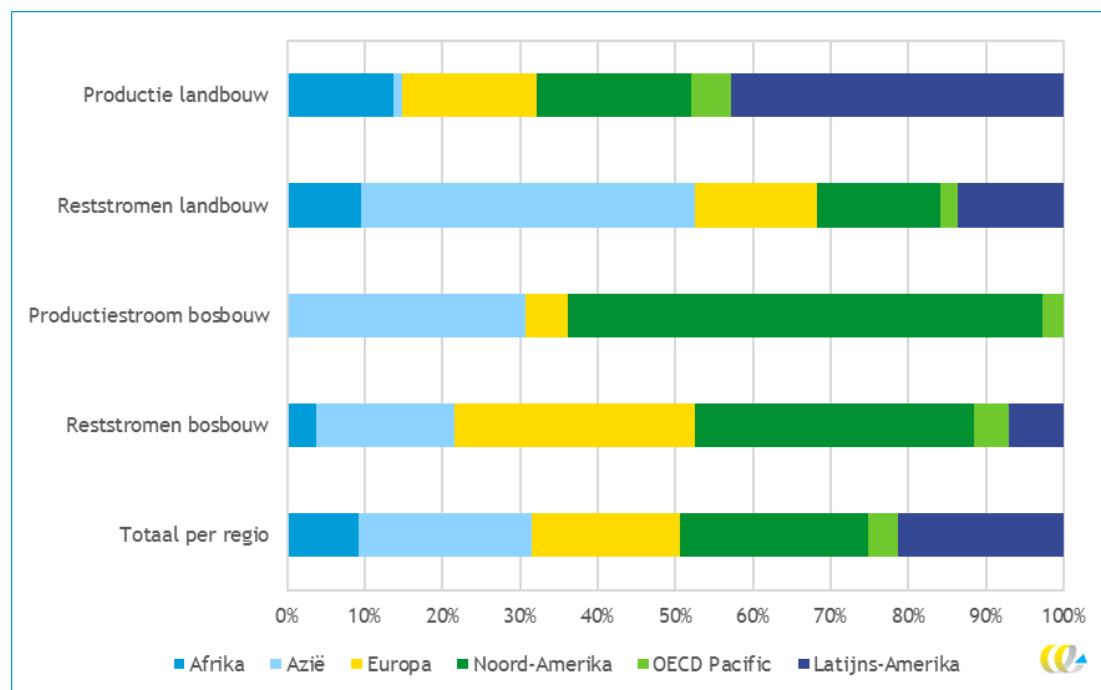
Daioglou et al (2019) komen tot een mondiaal 'duurzaam-economisch' biomassapotentieel van 70,6 EJ/jaar in 2030, terwijl IRENA (2014) een 'duurzaam' potentieel van 97-147 EJ/jaar in 2030 geeft. Meewegend dat Daioglou et al (2019), in tegenstelling tot IRENA (2014), geen productiestroom van bosbouw hebben ingeschat en juist wel economische restricties, lijken deze mondiale waarden wel in verhouding.

De aandelen van het duurzaam/duurzaam-economisch biomassapotentieel voor verschillende wereldregio's zijn grafisch weergegeven in Figuur 36 (Daioglou et al (2019)) en Figuur 37 (IRENA, 2014). Omdat de twee bekeken studies een andere indeling van wereldregio's hanteren (zie Figuur 38) is een vergelijking per regio niet eenvoudig. Een algemene observatie die hier kan worden gemaakt is dat in beide studies tussen ca. een kwart tot een derde van het mondiale potentieel zich in Azië bevindt en dat OECD-regio's voor 25 tot 55% bijdragen aan het totale potentieel. De verdeling van het potentieel over de regio's verschilt echter tussen de verschillende stromen.

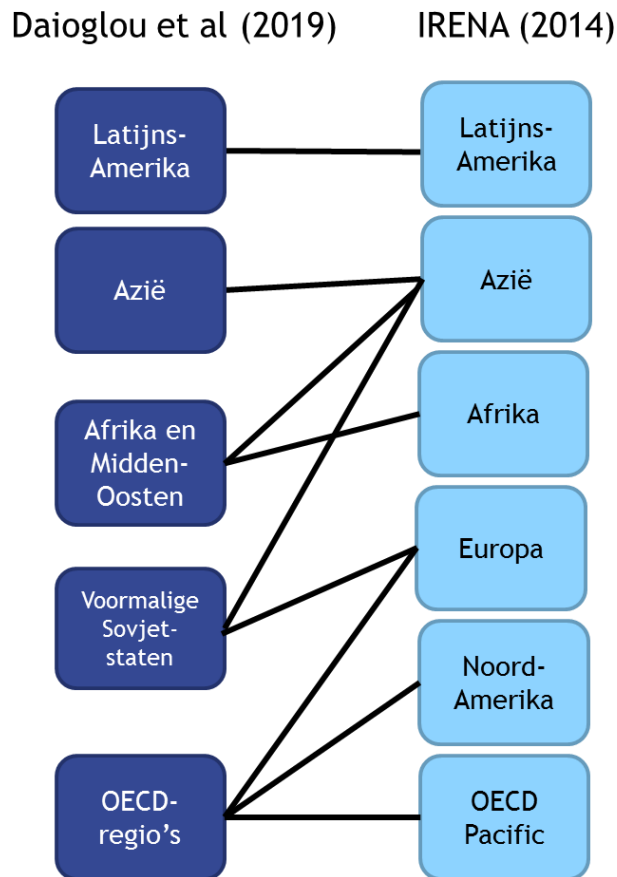
Figuur 36 - Verhouding van 'duurzaam-economisch' biomassapotentieel in wereldregio's in 2030, op basis van Daiglou et al (2019)



Figuur 37 - Verhouding van 'duurzaam' biomassapotentieel in wereldregio's in 2030, op basis van de waarden van het 'low range of supply'-scenario van IRENA (2014)



Figuur 38 - Verschil in indeling in wereldregio's tussen Daioglou et al (2019) en IRENA (2014)



### 3.4 Beschikbaarheid in de EU28

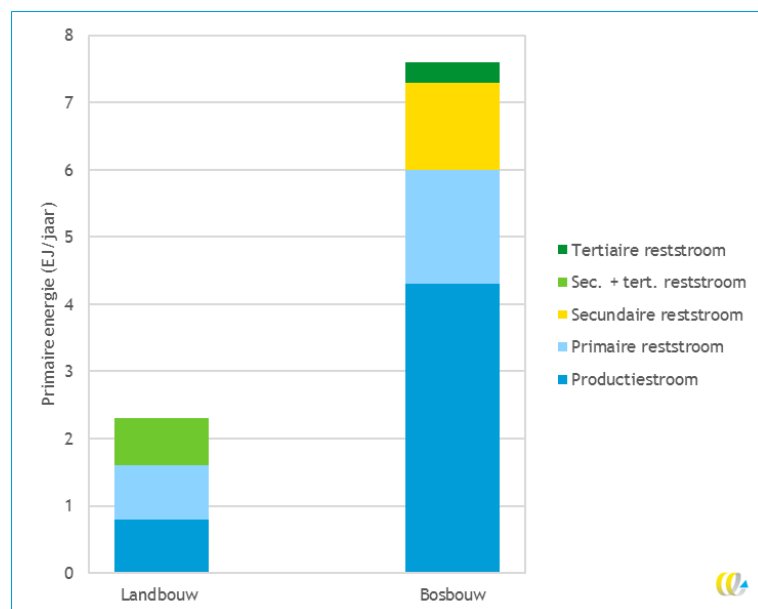
In dit hoofdstuk wordt de beschikbaarheid van biomassa in de Europese Unie gepresenteerd. Het betreft de productie van biomassastromen in de EU zelf, en de beschikbaarheid van in de EU vrijkomende reststromen (waarbij de productie van de biomassa ook elders op de wereld kan plaatsvinden).

De gevonden cijfers in de vele literatuurbronnen worden gegeven in tabellen in de vorm van ranges voor de verschillende biomassastromen. Onder de tabel staat steeds kort – met noten- geduid uit welke bron de cijfers afkomstig is en wat voor soort potentieel het betreft. Een uitgebreidere bespreking staat vervolgens in de teksten onder de tabellen. Het hoofdstuk is onderverdeeld naar zichtjaar (huidig, 2030, 2050).

### 3.4.1 Huidige biomassaproductie in de EU28

De meest recente cijfers van huidige geproduceerde biomassahoeveelheden in de EU zijn weergegeven in Figuur 39 en Tabel 42. De productie- en reststromen van landbouw en bosbouw tellen op tot een totaal van 9,9 EJ/jaar.

Figuur 39 - Biomassaproductie in EU, huidig (meest recente cijfers) (EJ/jaar)



Tabel 42 - Biomassaproductie in de EU, huidig (meest recente cijfers) (in EJ/jaar)

| Biomassastromen       | Landbouw         | Bosbouw          |
|-----------------------|------------------|------------------|
| Productiestroom       | 0,8 <sup>1</sup> | 4,3 <sup>2</sup> |
| Primaire reststroom   | 0,8 <sup>3</sup> | 1,7 <sup>2</sup> |
| Secundaire reststroom | 0,7 <sup>1</sup> | 1,3 <sup>4</sup> |
| Tertiaire reststroom  |                  | 0,3 <sup>2</sup> |
| <b>Som</b>            | <b>2,3</b>       | <b>7,6</b>       |

<sup>1</sup>: EU (2019). Productie in 2016.

<sup>2</sup>: JRC (2018). Productie in 2013. De productiestroom bosbouw omvat de industriële stamhoutproductie.

<sup>3</sup>: Uit EU (2019) (productie in 2016), gebaseerd op de National Renewable Energy Action Plans (NREAPs) van de verschillende landen in combinatie met nationale voortgangsrapportages en Eurostat-data.

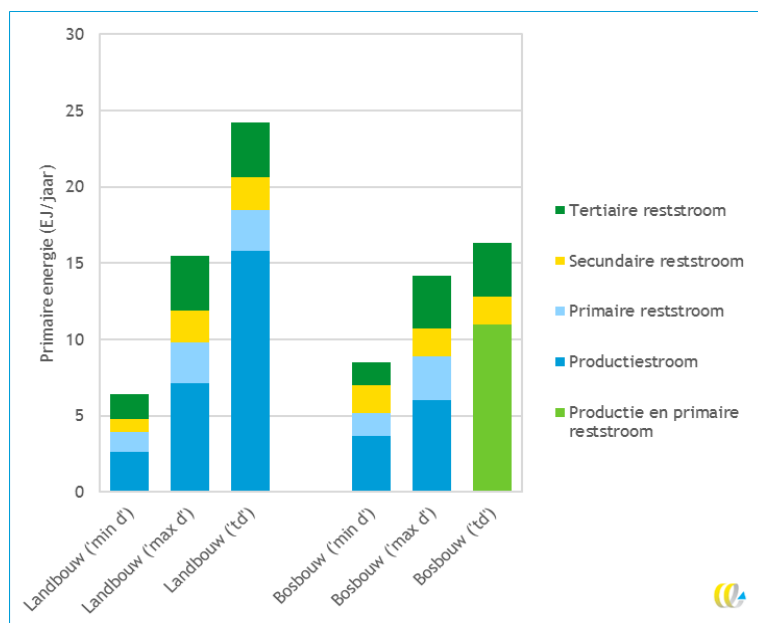
<sup>4</sup>: Gebaseerd op EU (2019). Productie in 2016. Deze bron geeft een waarde van 1,6 EJ voor secundaire en tertiaire reststroom bosbouw. De tertiaire reststroomschatting van JRC (2018) is hier van afgetrokken.

JRC (2018) geeft een productiecijfer voor de primaire reststroom in de landbouw van 1,8 EJ. Dit is meer dan tweemaal zo hoog als de 0,8 EJ gerapporteerd door EU (2019). Het verschil heeft waarschijnlijk zijn oorsprong in het gebrek aan data over daadwerkelijke onttrekking van primaire reststromen, waardoor de productie moet worden ingeschat. JRC (2018) hanteert hiervoor een set van ‘onttrekkingscoëfficiënten’ voor verschillende gewastypes, variërend van 0% voor katoen tot 25% voor granen en 50% voor suikerbiet, en met de meeste coëfficiënten op 10%. EU (2019) geeft niet aan hoe het productiecijfer tot stand is gekomen.

### 3.4.2 Beschikbaar potentieel EU in 2030

De ranges van beschikbare biomassahoeveelheden in de EU voor zichtjaar 2030 zijn weergegeven in Figuur 40 en Tabel 43. We zien dat de som van productie- en reststromen van landbouw en bosbouw optellen tot een range van 15 tot 41 EJ/jaar. De onderwaarde is niet veel hoger dan de huidige productie van 9,9 EJ. Dit suggereert dat bij voor biomassa-beschikbaarheid ongunstige ontwikkelingen van productiviteit van landbouw en veeteelt en hoge duurzaamheidseisen voor biomassa het potentieel in 2030 voor materiaal- en energie-toepassingen niet veel hoger is dan de huidige biomassaproductie in de EU. Aan de andere kant kunnen voor biomassabeschikbaarheid gunstige ontwikkelingen juist tot een verdriedubbeling leiden.

Figuur 40 - Biomassapotentieel in EU in 2030 (EJ/jaar)



Noot: 'min./max. d' = onderwaarde/bovenwaarde van 'duurzaam' potentieel; 'td' = 'technisch duurzaam' potentieel.

Tabel 43 - Biomassapotentieel in EU in 2030. Cijfers zijn in EJ/jaar

| Biomassastromen       | Landbouw                                                   | Bosbouw                                      | Mix <sup>9</sup> (bosbouw)                |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Productiestroom       | Duurzaam: 2,6-7,1<br>Technisch duurzaam: 15,8 <sup>1</sup> | Duurzaam: 3,7-6,0 <sup>4</sup>               | Technisch duurzaam: 5,0-11,0 <sup>9</sup> |
| Primaire reststroom   | Duurzaam: 1,3-2,7 <sup>2</sup>                             | Duurzaam: 1,5-2,9 <sup>5</sup>               |                                           |
| Secundaire reststroom | Duurzaam: 0,9-2,1 <sup>8</sup>                             | Duurzaam: 1,8 <sup>6</sup>                   |                                           |
| Tertiaire reststroom  | Duurzaam: 1,6-3,6 <sup>3</sup>                             | Duurzaam: 1,5-3,5 <sup>7</sup>               |                                           |
| Som                   | Duurzaam 6,4-15,5<br>Technisch duurzaam 24,2               | Duurzaam 8,5-14,2<br>Technisch duurzaam 16,3 |                                           |

<sup>1</sup>: De 2,6 EJ is uit Biomass Policies Project (2014) en de 7,1 EJ uit IRENA (2014). Het 'technisch duurzaam' potentieel komt uit Faaij (2018) en is met name gebaseerd op Kluts et al (2017), waarin meerdere studies gereviewd worden.

<sup>2</sup>: Uit IRENA (2014). Het gaat om reststromen van de oogst; mest zit hier niet bij.

<sup>3</sup>: Onderwaarde van Biomass Policies project (2014) en bovenwaarde van IRENA (2014). Mest is opgenomen in het potentieelcijfer van IRENA (2014).

<sup>4</sup>: Beide waarden zijn van Biomass Policies project (2014) en omvatten ook de industriële stamhoutproductie.

- <sup>5</sup>: Uit BioSustain project (2017). Het potentieel voor materialen is niet opgenomen in deze waardes.
- <sup>6</sup>: Uit BioSustain project (2017).
- <sup>7</sup>: De onderwaarde is gebaseerd op BioSustain project (2017) en de bovenwaarde op IRENA (2014). Bij beide waardes is 0,8 EJ 'duurzaam' potentieel van hout uit landschapsbeheer uit BioSustain Project (2017) opgeteld bij de tertiaire reststroom bosbouw.
- <sup>8</sup>: De onderwaarde is van Biomass Policies Project (2014) en de bovenwaarde van IRENA (2014).
- <sup>9</sup>: De onderwaarde is uit Faaij (2018) gebaseerd op Mantau et al (2010) en de bovenwaarde is van Verkerk (2015). Omvat productie en primaire reststromen bosbouw.

De onderwaarde van de productiestroom landbouw van 2,6 EJ omvat zowel houtachtige gewassen als voedselgewassen. In de analyse van Biomass Policies project (2014) wordt verlaten, vrijgekomen en braakliggende landbouwgrond gebruikt voor teelt van energiegewassen. Er wordt niet gerept over een aanname over gewasproductiviteit. De 7,1 EJ van IRENA (2014) is mede het resultaat van een groei van landbouwopbrengsten van 0,7% per jaar en teelt op het deel van beschikbaar 'resterend land' dat geschikt is om energiegewassen op te verbouwen, rekening houdend met ecologische restricties. Het 'technisch duurzaam' potentieel van 15,8 EJ is terug te voeren op een scenario van De Wit en Faaij (2010) met teelt van houtachtige gewassen en sterke groei van gewasproductiviteit.

Met het oog op de verhouding tussen de opbrengst van de primaire reststroom en productiestroom landbouw, welke in de orde van 1-1,5 is (Esteban, et al., 2008) is de range voor de primaire reststroom aan de lage kant, zeker gezien het feit dat de primaire reststroom ook van voedselproductie komt. De range is een 'duurzaam' potentieel, waarbij de behoefte aan veevoer is afgetrokken van het potentieel. Verder is aangenomen dat 25% van de primaire reststroom aan het land kan worden onttrokken en is het potentieel van mest niet opgenomen (IRENA, 2014). Dit mestpotentieel is betrokken bij de tertiaire reststroom landbouw, en de bovenwaarde van 3,6 EJ voor deze stroom is om die reden juist aan de hoge kant.

Verkerk (2015) geeft een 'duurzaam' potentieel van de productiestroom bosbouw van 4,9-5,5 EJ op basis van een onderzoek waarin 24 Europese landen zijn opgenomen. Dit ligt binnen de range van 3,7-6,0 EJ zoals gevonden in de andere literatuur.

De hoogte van de range van primaire reststroom bosbouw van 1,5 tot 2,9 EJ klopt in verhouding tot de range van de productiestroom (3,7-6,0 EJ). Circa 50% van de houtmassa in het bos blijft achter als primaire reststroom. Als de volledige primaire reststroom beschikbaar zou komen dan zou deze hoeveelheid dus grofweg gelijk zijn aan de productiestroom. Echter, een deel moet achterblijven om de bodemkwaliteit en biodiversiteit te beschermen.

BioSustain project (2017) geeft een 'duurzaam' potentieel van hout uit landschapsbeheer van 0,8 EJ voor de EU in 2030. Deze stroom valt formeel niet onder landbouw of bosbouw, maar is ondergebracht bij de tertiaire reststroom van bosbouw. Het potentieel van hout uit landschapsbeheer is niet bekend voor 2050 en ook niet mondiaal.

## Meerjarige gewassen

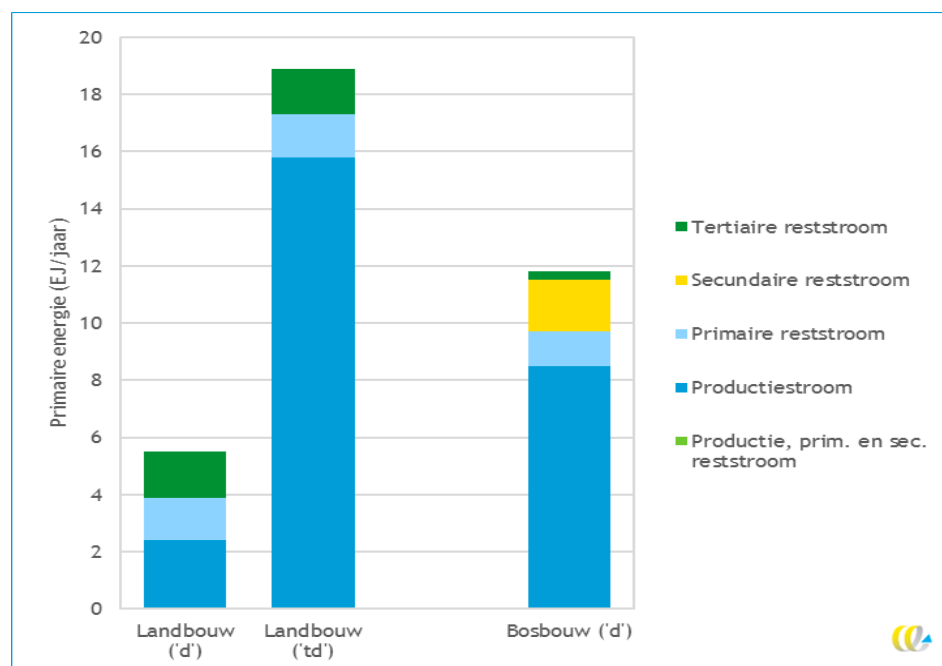
BioSustain project (2017) geeft een ‘technisch duurzaam’ potentieel van meerjarige gewassen van 4,7 EJ. Duurzaamheidsbeperkingen voor meerjarige gewassen zijn niet meegenomen in dit cijfer. Biomass Policies project (2017) geeft een ‘duurzaam’ potentieel van deze biomassastroom van 1,9 EJ. Deze 1,9 EJ is onderdeel van de 2,6 EJ uit Tabel 43. Dit gaat om houtachtige gewassen die worden verbouwd op verlaten, braakliggend en vrijgekomen landbouwgebied. Alhoewel deze studies verschillende hoeveelheden land voor de productie van meerjarige gewassen en opbrengstwaarden per hectare hebben aangenomen, lijken deze waarden in verhouding: De toepassing van duurzaamheids-restricties leidt tot een ‘duurzaam’ potentieel dat aanzienlijk lager is dan het ‘technisch duurzaam’ potentieel.

### 3.4.3 Beschikbaar potentieel EU in 2050

De ranges van beschikbare biomassa-hoeveelheden in de EU in 2050 zoals gevonden in de literatuur zijn weergegeven in Figuur 41 en Tabel 44. De som van productie- en reststromen van landbouw en bosbouw is 17-31 EJ/jaar<sup>67</sup>.

Als deze range en de waarden in Tabel 44 worden vergeleken met de waarden voor EU 2030 in Tabel 43, dan is te zien dat het ‘duurzaam’ potentieel in 2050 (17,3 PJ) aan de onderkant van de ‘duurzaam’ potentieelrange voor 2030 (15-30 PJ) ligt. Dit heeft te maken met onvolledige data en verschillende inschattingen van de reststromen van landbouw en bosbouw, dus hier kan niet uit worden geconcludeerd dat het ‘duurzaam’ potentieel zal afnemen tussen 2030 en 2050.

Figuur 41 - Biomassapotentieel in EU in 2050 (EJ/jaar)



Noot: 'd' = 'duurzaam' potentieel; 'td' = 'technisch duurzaam' potentieel.

<sup>67</sup> Om tot deze waarden te komen is gebruik gemaakt van de potentiële schattingen voor de som van productiestromen en primaire en secundaire reststromen, zoals opgenomen in de tabel in de 'mix'-kolommen.

Tabel 44 - Biomassapotentieel in EU in 2050 in EJ/jaar

| Biomassastromen       | Landbouw                                                     | Bosbouw                    |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Productiestroom       | Duurzaam: 2,4 EJ<br>Technisch duurzaam: 15,8 EJ <sup>5</sup> | Duurzaam: 8,5 <sup>1</sup> |
| Primaire reststroom   | Duurzaam: 1,5 <sup>2</sup>                                   | Duurzaam: 1,2 <sup>7</sup> |
| Secundaire reststroom |                                                              | Duurzaam: 1,8 <sup>7</sup> |
| Tertiaire reststroom  | Duurzaam: 1,6 <sup>3</sup>                                   | Duurzaam: 0,3 <sup>4</sup> |

<sup>1</sup>: Gebaseerd op EC (2017) en JRC (2018). De huidige industriële stamhoutproductie van 4,3 EJ uit JRC (2018) is opgeteld bij de waarde van EC (2017), omdat de stamhoutproductie niet is meegenomen in EC (2017). Aanname hierbij is dat het duurzaam stamhoutpotentieel in 2050 gelijk is aan de huidige stamhoutproductie.

<sup>2</sup>: Uit EC (2017) Alleen op basis van stro en snoeisel.

<sup>3</sup>: Uit EC (2017). Alleen de organische natte fractie van huisafval is hier meegenomen.

<sup>4</sup>: Uit EC (2017) Alleen houtafval van consumenten is hier meegenomen.

<sup>5</sup>: Het 'duurzaam' potentieel is uit EC (2017) aarin is uitgegaan van teelt van hout- en grasachtige gewassen. Het 'technisch duurzaam' potentieel komt uit Faaij (2018) en is met name gebaseerd op Kluts et al (2017), waarin meerdere studies gereviewd worden. Deze waarde is in de publicatie bepaald voor 2030, maar gaat ook op voor 2050<sup>68</sup>.

<sup>6</sup>: Uit JRC (2015). Betreft productiestromen en primaire en secundaire reststromen bosbouw.

<sup>7</sup>: Uit EC (2017).

De productiestroom landbouw plus primaire en secundaire reststromen landbouw is voor de EU in 2050 geschat op 4,9-9,6 EJ door JRC (2015). Deze range heeft dezelfde ordegrrootte als de range gebaseerd op de productiestroom en primaire reststroom landbouw uit Tabel 43 van 3,9-17,3 EJ.

## Meerjarige gewassen

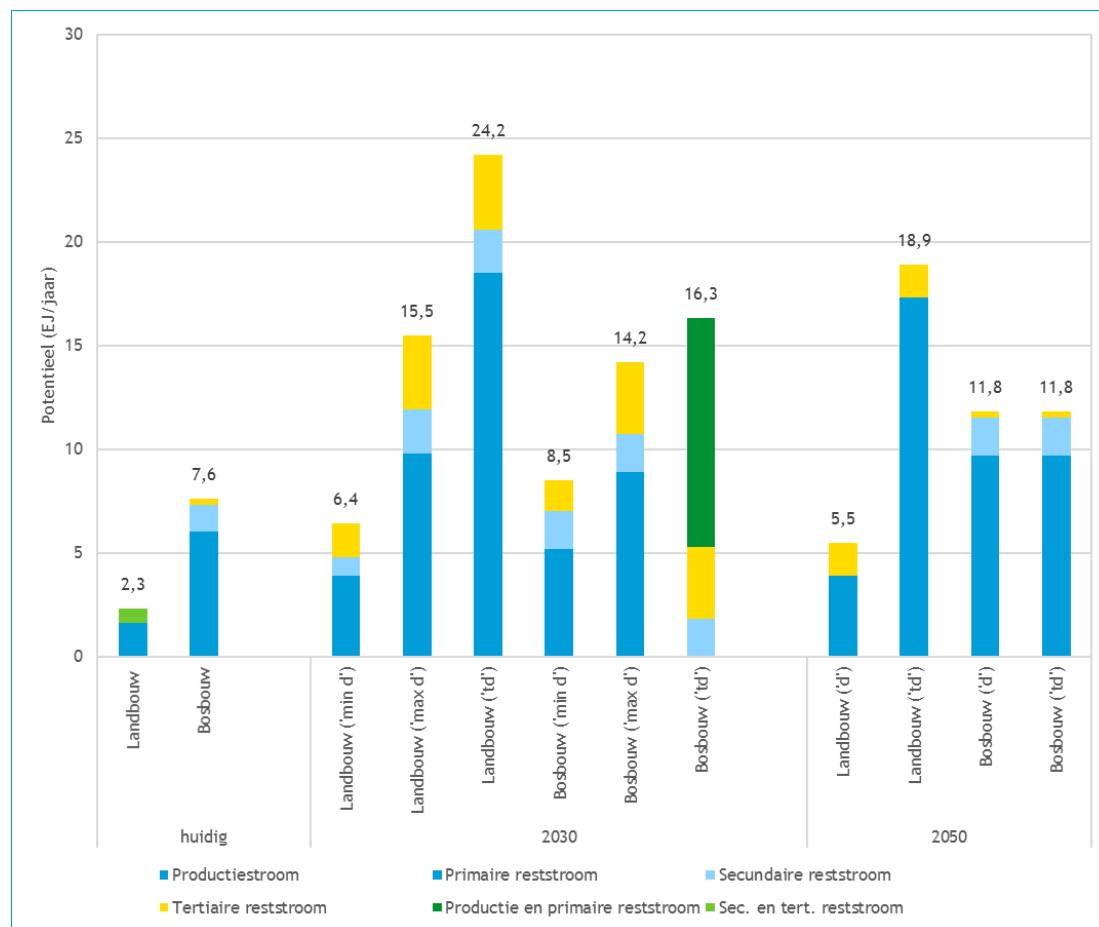
EC (2017) geeft een 'duurzaam-economisch' potentieel van meerjarige gewassen (lignocellulosehoudende en kruidachtige gewassen) in de EU in 2050 van 2,2-2,4 EJ. Er is aangenomen in die studie dat alleen meerjarige gewassen worden geteeld, op braakliggend of vrijgekomen landbouwgrond. Deze hoeveelheid is van dezelfde ordegrrootte als de 1,9 EJ 'duurzaam' potentieel van meerjarige gewassen in 2030 van Biomass Policies project (2014).

### 3.4.4 Overzicht beschikbaarheid EU28

In Figuur 42 zijn ten behoeve van een handzaam overzicht de figuren van de beschikbaarheid in de EU28 per zichtjaar bij elkaar in één figuur geplaatst.

<sup>68</sup> Persoonlijke correspondentie met de heer Faaij.

Figuur 42 - Overzicht beschikbaarheid in de EU28 (huidig, 2030, 2050)



## 3.5 Beschikbaarheid Nederland

### 3.5.1 Introductie

#### Beschikbaarheid cijfers

Voor de raming van het huidige en toekomstige beschikbaarheid van biomassa voor energie en grondstoffen in Nederland is uitgegaan van bestaande inventarisaties, waar mogelijk en beschikbaar aangevuld met schattingen uit scenario's voor toekomstige beschikbaarheid in 2030 en 2050.

Het toekomstig potentieel in Nederland wordt in de op Nederland gerichte literatuur alleen beschreven voor houtige biomassa in 2030 en 2050 maar niet voor de andere biomassa-stromen. Daarentegen is over, vooral de huidige, Nederlandse biomassastromen wel meer detailinformatie gepubliceerd dan het geval is bij overzichten van mondiale en Europese biomassacijfers, zodat een nadere uitsplitsing gegeven kan worden. De paragraafindeling van het hoofdstuk over biomassa-beschikbaarheid in Nederland is om die reden anders dan die voor mondiale en Europese beschikbaarheid: niet een indeling in tijd, maar een indeling naar soort stroom.

In eerste instantie is ook voor de bepaling van de biomassabeschikbaarheid Nederland een selectie aan bronnen gebruikt voor het verzamelen van gegevens over huidige en toekomstige beschikbaarheid. Omdat sommige literatuurbronnen inmiddels vijf tot tien jaar oud zijn en schattingen in een aantal bronnen een grote spreiding hebben, is waar nodig geverifieerd of de in de geraadpleegde literatuur opgegeven cijfers nog actueel en representatief zijn. Voor een aantal stromen bleek dat niet het geval, bijvoorbeeld omdat de wet- en regelgeving inmiddels is gewijzigd. Een voorbeeld daarvan is de situatie bij groenbemesters ('vanggewas'), waar door een wijziging van de regelgeving eerdere beschikbaarheidscijfers achterhaald zijn. Waar mogelijk is in die gevallen een aangepaste inschatting opgenomen, gebaseerd op combinaties van bronnen.

## Biomassapotiënten

Voor Nederland zijn de volgende potentiënten onderscheiden:

- huidige productie in de praktijk of de in de huidige situatie ingezamelde hoeveelheid;
- 'vrij beschikbaar potentieel' in de huidige situatie, waarmee bedoeld wordt op het deel van de huidige stromen dat nu geen nuttige toepassing heeft.

Daarnaast gaan we in op ontwikkelingen die mogelijk van invloed zijn op de toekomstige beschikbaarheid. Nadere details zijn gegeven in de analyses per afzonderlijke biomassa-stroom.

### 3.5.2 Totaal beschikbaarheid Nederland

In is een schatting gegeven van de huidige productie voor energie en materialen en het vrij beschikbare potentieel in Nederland voor energie en grondstoftoepassingen. De cijfers zijn omwille van de leesbaarheid uitgedrukt in PetaJoule (PJ), in tegenstelling tot de cijfers voor beschikbaarheid mondiaal en in de EU die zijn uitgedrukt in ExaJoule (EJ); één ExaJoule is 1.000 PetaJoule.

De cijfers in Tabel 45 tellen op tot een range van 342-379 PJ/jaar voor de huidige beschikbaarheid, waarbij de onder- en bovengrens deels het gevolg zijn van variaties in weersgesteldheid en teeltkeuze in de periode 2016-2018, maar ook van de inschattingen van de beschikbaarheid aan vanggewas<sup>69</sup>. Van de reststromen wordt een deel in de huidige situatie ingezet als veevoer. Of dat in de toekomst ook zo blijft hangt af van marktontwikkelingen en van ontwikkelingen m.b.t. de omvang van de veestapel. Voor 2050 is een range gevonden van 372-454 PJ/jaar. De ondergrens van deze range reflecteert het minimale duurzame potentieel voor inzet van biomassa voor materialen en energie en de bovengrens reflecteert het maximale duurzame potentieel voor inzet van biomassa voor materialen en energie. Het 'vrij beschikbare potentieel' bij de Nederlandse reststromen is voor de meeste stromen nihil, omdat de meeste stromen al een toepassing hebben. Dat betekent overigens niet dat ze geen andere toepassing zouden kunnen krijgen. Het totale huidige 'vrije potentieel' is circa 50 PJ/jaar.

<sup>69</sup> In de overzichtstabellen en -figuren is de onderzijde van deze range getoond voor huidige 'beschikbaarheid'.

Tabel 45 - Schatting huidige productie voor energie en materialen in de praktijk, 'vrij beschikbaar potentieel' en (bij houtige biomassa) additionele beschikbaarheid in 2030/2050. Cijfers staan in PJ/jaar primaire energie

|                                                | Keten<br>landbouwproducten             | Houtketen                                               | Overig                                                                                |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Productiestroom</b>                         |                                        |                                                         | -                                                                                     |
| – Huidige productie voor energie en materialen | > 7* - > 9 <sup>1</sup>                | 35 <sup>6</sup>                                         | 30 <sup>1</sup>                                                                       |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0                                      | 5 <sup>6</sup>                                          | > 30 <sup>8</sup>                                                                     |
| – Additioneel beschikbaar in 2030 resp. 2050   | 0 - 25 <sup>2</sup>                    | 1 resp. 5 <sup>6</sup>                                  |                                                                                       |
| Typen biomassa:                                | Akkerbouwgewassen, groenbemester, gras | Hout uit bos, landschap, bebouwde omgeving - gesommeerd | Groenafval                                                                            |
| <b>Primaire reststroom</b>                     |                                        |                                                         |                                                                                       |
| – Ingezameld of achtergelaten                  | 115 - 115 <sup>1</sup>                 |                                                         |                                                                                       |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel gewasresten    | 0 - 3 <sup>1</sup>                     |                                                         |                                                                                       |
| – Additioneel beschikbaar in 2030/2050         | 0 - 10 <sup>5</sup>                    |                                                         |                                                                                       |
| Typen biomassa:                                | stro, gewasresten akkerbouw, mest      |                                                         |                                                                                       |
| <b>Secundaire reststroom</b>                   |                                        |                                                         |                                                                                       |
| – Vrijkomend                                   | 80 - 110 <sup>1,3</sup>                | 10 - 15 <sup>6</sup>                                    |                                                                                       |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0 - 10                                 | 0 - 5 <sup>**6</sup>                                    |                                                                                       |
| Typen biomassa:                                | Bijproducten VGI, DDGS                 | Resthout houtverwerkende industrie                      |                                                                                       |
| <b>Tertiaire reststroom</b>                    |                                        |                                                         |                                                                                       |
| – Vrijkomend                                   | 10 <sup>4</sup>                        | 25 <sup>7</sup>                                         | 30 <sup>1</sup>                                                                       |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0                                      | 0 - 5 <sup>**7</sup>                                    | 0                                                                                     |
| – Beschikbaar in 2030/2050                     | Neemt af (circulair beleid)            | Neemt af (circulair beleid)                             | Neemt af (circulair beleid)                                                           |
| Typen biomassa:                                | Gescheiden ingezameld GFT              | Afvalhout, papierresiduen en papierslib                 | RWZI-slib, grove organische fractie huishoudelijk afval, organische fractie KWD-afval |

\* De totale huidige productie is vanwege de onbekende hoeveelheden granen en koolzaad (geteeld voor gebruik als grondstof voor biobrandstoffen of zetmeel) weergegeven met een ">" teken om te signaleren dat de productie-omvang waarschijnlijk groter is dan de voor zetmeelaardappelen, snijmaïs en vezelgewassen bekende hoeveelheden.

\*\* Wordt momenteel geëxporteerd.

<sup>1</sup> CBS (cijfers voor 2016 - 2018), de primaire reststroom 'ingezameld of achtergelaten' bestaat voor >80% uit mest.

<sup>2</sup> Betreft groenbemester, inschatting op basis van vakliteratuur, zie Paragraaf 2.5.3 B.

<sup>3</sup> 75-100 PJ is VGI, uit Koppejan et al. (2009).

<sup>4</sup> Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2017 (Werkgroep Afvalregistratie, 2018).

<sup>5</sup> Gewasresten (met name suikerbietenloof, maar ook aardappelloof), schatting op basis van DNV-GL (2016).

<sup>6</sup> (Boosten, et al., 2018)).

<sup>7</sup> (Nabuurs, et al., 2016) (DNV-GL, 2017).

<sup>8</sup> Betreft groenafval (bermgrass, natuurgas, maaisel) uit Brinkmann (2014) zie Paragraaf 2.5.3 E.

De cijfers van het huidige gebruik en de biomassabeschikbaarheid in Nederland zijn samengevoegd in de vier hoofdcategorieën (primaire productie, en drie typen reststromen), vergelijkbaar met de weergave voor mondiaal en EU.

De beschikbaarheidscijfers in Tabel 45 worden in de volgende subparagrafen uitgesplitst naar specifieke biomassastromen en geduid.

### **Relatie wetgeving met biomassabeschikbaarheid in Nederland**

Het aanbod van biomassastromen in Nederland wordt sterk beïnvloed door wetgeving en overheidsbeleid. Dit geldt bijvoorbeeld voor:

- De wijze waarop bestaand bosareaal wordt beheerd en de hoeveelheid hout die daaruit wordt geoogst als grondstof en brandstof.
- De vrijkomende hoeveelheden mest en de bestemming daarvan die bepaald wordt door onder andere de kader richtlijn water, Actieprogramma's Nitraatrichtlijn, fosfaatbeleid en het Europese gemeenschappelijke landbouwbeleid (GLB).
- De vrijkomende hoeveelheid groente- en fruitafval dat gescheiden wordt ingezameld (als GFT) of in restafval van huishoudens en bedrijven achterblijft. De omvang en de wijze van inzameling worden bijvoorbeeld beïnvloed door Nederlandse en Europese wetgeving op gebied van afval, maar ook op gebied van voedselconsumptie.

Om het duurzame potentieel aan biomassa in Nederland te duiden is onderstaand globaal aangegeven hoe duurzaamheid in de wetgeving is opgenomen.

### ***Wet Natuurbescherming***

Bosbeheer -maar ook beheer van andere 'houtopstanden' zoals houtwallen, heester- en struikheiden, struwelen of beplantingen van bosplantsoenen buiten de bebouwde kom en groter dan 10 are of 20 rijbomen- vindt plaats binnen het wettelijk kader zoals vastgelegd in de Wet Natuurbescherming (Rijksoverheid, 2015b)<sup>70</sup>. Conform de in deze wet opgenomen regels is er een verplichting om bij kap binnen 3 jaar op 'bosbouwkundig verantwoorde wijze' bomen te herplanten. Regels bij herplanting zijn onder andere: De nieuwe beplanting moet kwalitatief en kwantitatief in verhouding staan tot de gekapte houtopstand (Rijksoverheid, 2015b)<sup>71</sup>.

### ***SNL-subsidie***

Een aanzienlijk deel (40%) van het Nederlandse bos ligt in de EHS (Ecologische HoofdStructuur). Het wordt voor een groot deel beheerd met SNL-subsidie (het Subsidie-stelsel Natuur en Landschap) met nadruk op natuur, met gemiddeld ruim € 110 subsidie per ha per jaar. Vanuit de SNL-subsidie worden nadrukkelijk grenzen gesteld aan de intensiteit waarmee het bos mag worden beheerd en welk deel van de bijgroei mag worden geoogst.

<sup>70</sup> Zie: [RVO Agrarisch ondernemen : Bos en bomen kappen](#)

<sup>71</sup> Zie: [RVO Agrarisch ondernemen : Bos en bomen kappen](#)

Een (langzaam groeiende) gekapte eik mag bijvoorbeeld niet worden vervangen door een (snelgroeiende) populier of een wilg, maar wel door een beuk.

## Biodiversiteit en bosbeheer

De biodiversiteit in het nog relatief jonge Nederlands bos is al jaren constant waarbij het niveau van de soortenrijkdom ligt op circa 40% van het natuurlijke niveau (Nabuurs, et al., 2016). Het volume aan staand en liggend dood hout – belangrijk voor biodiversiteit – neemt bij huidig beheer nog steeds jaarlijks toe (Nabuurs, et al., 2016), terwijl bij kap oudere en dikkere bomen worden ontzien. Ook de koolstofvoorraad neemt volgens geraadpleegde bronnen nog steeds jaarlijks toe (zie Tabel 46).

Tabel 46 - Ontwikkeling koolstofvoorraden in Nederlands bos (alle cijfers in Mton) (Probos, -a)

|                                                | 1990        | 2000        | 2005        | 2010        | 2015        |
|------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Koolstof (Mton) in:                            |             |             |             |             |             |
| Levende biomassa bovengronds                   | 17,1        | 20,2        | 21,0        | 24,1        | 26,9        |
| Levende biomassa ondergronds                   | 3,4         | 4,0         | 4,2         | 4,8         | 5,4         |
| Bodem                                          | 37,0        | 39,0        | 40,0        | 40,0        | 40,0        |
| Strooisel                                      | 9,0         | 9,0         | 9,0         | 9,0         | 9,0         |
| Dood hout                                      | 0,5         | 0,6         | 1,4         | 1,7         | 2,0         |
| <b>Totaal vastgelegd aan CO<sub>2</sub></b>    | <b>21,0</b> | <b>24,8</b> | <b>26,6</b> | <b>30,6</b> | <b>34,3</b> |
| Jaarlijks toename CO <sub>2</sub> -vastlegging |             | 1,4         | 1,3         | 2,9         | 2,7         |

Bosbeheer in Nederland kan gezien bovenstaande regelgeving in principe als duurzaam worden beschouwd. Houtvoorraden, koolstofvoorraden en biodiversiteit zullen bij voortzetting en naleving van het huidige beleid – conform de duurzaamheidseisen in bijvoorbeeld het Verificatieprotocol – toenemen of minimaal constant blijven. De toenemende behoefte aan houtige biomassa voor energie heeft in Nederland niet geleid tot een minder duurzaam beheer, zoals ook geconcludeerd door de Bomenstichting<sup>72</sup>. Desondanks is de biodiversiteit ten opzichte van een natuurlijke systeem suboptimaal, met name naaldbos op zandbodems is gevoelig voor stikstofdepositie en verdroging.

In tegenstelling tot bosbeheer is de akkerbouw over het algemeen niet duurzaam<sup>73</sup>:

- emissies van met name stikstof naar lucht en bodem veroorzaken milieuschade en aantasting van de beschikbaarheid van oppervlaktewater en grondwater van voldoende kwaliteit;
- de biodiversiteit en met name de soortenrijkdom en populatieomvang van vliegende insecten is de afgelopen decennia sterk afgenomen, waardoor natuurlijke bestuiving en plagenbestrijding onder druk zijn komen te staan;
- er ontstaat schade door verdroging.

Overigens ontwikkelt het Europees en nationaal beleid wel richting duurzame teelt, zie bijvoorbeeld de ontwikkeling van natuurinclusieve landbouwconcepten en de actualisering van het Gemeenschappelijke Landbouwbeleid (GLB).

<sup>72</sup> Subsidie op bio-energie lijkt niet schadelijk voor de natuur (Bomenstichting, 2017).

<sup>73</sup> Zie: (Rijksoverheid, 2016) en achterliggende bronnen.

### 3.5.3 Productiestromen Nederland

De volgende productiestromen komen aan bod:

- A. Akkerbouwgewassen
- B. Groenbemester
- C. Gras
- D. Houtachtige biomassa
- E. Groenafval
- F. Aquatische biomassa

#### A. Akkerbouwgewassen

Een overzicht voor akkerbouwgewassen van de verschillende potentiëlen is gegeven in Tabel 47.

Tabel 47 - Potentiëlen voor akkerbouwgewassen (in PJ/jaar)

| Keten landbouwproducten                                           |     |     |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| Productie akkerbouwgewassen                                       |     |     |     |
| – Maximaal produceerbaar                                          | 110 | -   | 115 |
| – Huidige productie in praktijk voor energie en materialen        |     | > 7 |     |
| – ‘Vrij beschikbaar’ potentieel                                   |     | 0   |     |
| – Additioneel beschikbaar in 2030/2050 voor energie en materialen |     | ?   |     |

De volledige Nederlandse productie van snijmaïs, suikerbieten, aardappelen en granen – 95% van het akkerbouwareaal – vertegenwoordigt 7 Mton d.s./jaar met een energie-inhoud van circa 110-115 PJ/jaar. Deze producten zijn toepasbaar als grondstof in de productie van brandstoffen en chemische producten maar worden grotendeels gebruikt als voedsel een veevoer. Deze cijfers kunnen dan ook niet beschouwd worden als ‘vrij beschikbaar’ potentieel.

In theorie kan de opbrengst per hectare van de belangrijkste gewassen nog worden vergroot. De zogenaamde yield gap – het verschil tussen maximale theoretische opbrengst en opbrengsten in de praktijk – bedraagt voor wintertarwe zonder irrigatie bijvoorbeeld circa 2 ton/ha/jaar (11 versus 9 ton/ha)<sup>74</sup>.

#### Toepassingen voor energie en grondstoffen

In de praktijk wordt in de Nederlandse landbouw 375-475 kton d.s./jaar (7-9 PJ/jaar) aan zetmeelaardappelen geteeld<sup>75</sup>. Een deel van het zetmeel wordt in industriële applicaties toegepast. Daarnaast worden jaarlijks 20-25 kton d.s. aan vezelgewassen geteeld en circa 0,16 PJ/jaar aan snijmaïs toegepast als cosubstraat in vergisting (alle cijfers afkomstig van CBS Statline).

<sup>74</sup> Zie bijvoorbeeld: [Global Yield Gap Atlas : Data download](#)

<sup>75</sup> De aangegeven spreiding is gerelateerd aan verschillen in jaarlijks met zetmeelaardappelen bebouwd areaal en aan verschillen in de specifieke opbrengst per hectare tussen verschillende jaren.



Gegevens over Nederlandse teelt van granen en koolzaad voor zetmeelproductie en biobrandstoffen zijn niet gevonden en zijn niet te extraheren uit beschikbare bronnen (zie ook (CE Delft, 2017b)). Er is geen 'vrij beschikbaar' potentieel, alle stromen hebben reeds een toepassing.

## Marktprijzen

Teelt van zetmeelaardappelen en vezels voor grondstoffen is rendabel voor de volgende typen producten (CE Delft, 2012b; CE Delft, 2017b) : oplosmiddelen en oppervlakte-behandelingsmiddelen (zie bijvoorbeeld Croda's Atlas Point 30 kton/jaar etheenoxide-fabriek bij Philadelphia):

- smeermiddelen, coatings, lijmen en inkten;
- technische kunststoffen (DSM, Arkema).

Teelt voor brandstoftoepassingen vergt subsidies of, zoals in het huidige beleid voor mobiliteit en transport, een verplichting om een bepaald aandeel hernieuwbare energie toe te passen, zoals in de wet- en regelgeving voor Energie voor Vervoer.

In principe is teelt in Nederland met de huidige gemiddelde bedrijfsvoering niet duurzaam. De stikstofuitstoot in de landbouw is hoog, waardoor behoud van waterkwaliteit en biodiversiteit onder druk staan. Opbrengsten per hectare van akkerbouwgewassen lijken bij duurzamere teelt beperkt lager of vergelijkbaar te zijn als bij de nu gangbare teelt (CLM, 2019).

## Trends en ontwikkelingen

Er zijn in de geraadpleegde bronnen geen kwantitatieve indicaties gevonden voor de toekomstige ontwikkeling van het totale akkerbouwareaal en voor de mate waarin gewasteeit voor productie van brandstoffen en/of grondstoffen zal toenemen of afnemen.

Echter, volgens cijfers van het CBS neemt de hoeveelheid landbouwgrond jaarlijks af met gemiddeld 0,5% sinds 2000 (CBS, 2019c). Als deze trend doorzet dan gaat het om een afname van ca. 15% tussen nu en 2050.

Een relevante beleidsontwikkeling met betrekking tot het aanbod van biomassa en akkerbouwareaal is de geplande ontwikkeling van nieuw bos en nieuwe natuur:

- In het kader van Europees beleid dient voor realisatie van het landelijk Natuurnetwerk in de periode tot 2027 nog circa 44.000 hectaren land in natuur te worden omgezet<sup>76</sup>. In de praktijk wordt dit gerealiseerd door aankoop en omzetting van landbouwareaal. In het Klimaatakkoord is een doelstelling opgenomen voor een additioneel areaal van 6.000 ha buiten het landelijk Natuurnetwerk op grond in eigendom bij publieke en private grondeigenaren. Omdat de verhouding tussen akkerbouwland en (blijvend) grasland conform Gemeenschappelijk LandbouwBeleid dient te worden gehandhaafd zou 59% van het om te zetten areaal moeten bestaan uit tijdelijk grasland of akkerbouwland<sup>77</sup>.
- In het Actieplan bos en hout uit 2016 is een ambitie opgenomen voor realisatie van 100.000 hectare nieuw bos in bijvoorbeeld de Veenkoloniën en het Oldambt. Deze ambities zijn overigens niet overgenomen in het Klimaatakkoord.

<sup>76</sup> Zie: [Trouw : De groene puzzel raakt maar niet gelegd](#)

<sup>77</sup> [RVO Agrarisch ondernemen : blijvend grasland 2019](#)

Ook door uitbreiding van het stedelijk gebied neemt het landbouwareaal af.

Het netto-effect van verbetering in opbrengsten door betere rassen en betere bedrijfsvoering, een duurzamere teeltwijze en veranderingen in areaal is op basis van historische ontwikkelingen als beperkt ingeschat. Klimatologische veranderingen (temperatuur, veranderende neerslagpatronen en CO<sub>2</sub>-concentratie), beïnvloeden eveneens de toekomstige opbrengsten. Het netto-effect hiervan is in deze studie niet onderzocht.

## B. Groenbemester

Een overzicht van de verschillende potentiëlen voor groenbemester is gegeven in Tabel 48.

Tabel 48 - Potentiëlen voor groenbemester (in PJ/jaar)

| Keten landbouwproducten                                           |    |   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|---|----|
| Productie groenbemester                                           |    |   |    |
| – Maximaal produceerbaar                                          | 30 | - | 35 |
| – Huidige productie in praktijk voor energie en materialen        | ?  | - | ?  |
| – ‘Vrij beschikbaar’ potentieel                                   |    | 0 |    |
| – Additioneel beschikbaar in 2030/2050 voor energie en materialen | 0  | - | 25 |

Onder groenbemesters (of vanggewas) wordt verstaan: een gewas geteeld tussen twee hoofdgewassen, ter bevordering van de bodemkwaliteit. Groenbemesters worden in de regel ondergeploegd. Een gedeelte zou echter geoogst kunnen worden zonder verlies van bodemkwaliteit. De belangrijkste type groenbemesters zijn klaver, grassen en bladrammenas.

Het technisch potentieel aan groenbemester is, op basis van gegevens in verschillende bestaande bronnen, grofweg geschat op 1,6-2,2 Mton d.s./jaar:

- Een indicatieve opbrengst van 2-3 ton d.s./ha per teeltseizoen<sup>78</sup> geeft voor het totale areaal aan akkerland - circa 660.000 ha (zie CBS Statline)<sup>79</sup> - een eerste orde schatting van 1,6 Mton/jaar.
- Teelt van rogge na snijmaïs tussen eind september en eind april zou bij een opbrengst van 4-6 ton d.s./ha<sup>80</sup> op snijmaïs areaal een technisch potentieel van 204.000 ha x 5 ton d.s./ha = ± 1 Mton d.s./jaar geven.

De overeenkomstige energie-inhoud zou bij een stookwaarde van 17 GJ/ton d.s. naar schatting 28-36 PJ/jaar bedragen, afgerond 30-35 PJ/jaar. Verdere detaillering geeft mogelijk hogere waarden (bij optimale afstemming tussen hoofdteelt en groenbemester zijn significant hogere opbrengsten te halen).

<sup>78</sup> Zie bijvoorbeeld: [Goedbodembeheer : Groenbemesters](#)

<sup>79</sup> Zie bijvoorbeeld: <https://www.goedbodembeheer.nl/groenbemesters>

<sup>80</sup> Zie: [Nieuwe Oogst nieuws : KWS: mais is financieel aantrekkelijker dan gras](#)

In de geraadpleegde bronnen zijn geen actuele schattingen te vinden van de totale jaarlijkse opbrengst aan groenbemesters in Nederland<sup>81</sup>. Een niet langer representatieve schatting uit (Koppejan, 2009) bedraagt 70 kton d.s./jaar, circa 1 PJ/jaar.

De groenbemester levert nutriënten en organische stof aan de bodem en daarmee is er in principe geen vrij beschikbaar potentieel. Volgens (DNVGL, 2016) zou het echter ecologisch verantwoord zijn tot 70% van gewasresten te oogsten. Toegepast op groenbemester zou dit een potentieel van maximaal circa 25 PJ/jaar geven.

## Marktprijzen

Teelt van groenbemester kost bij eigen mechanisatie grofweg € 100-200 per hectare (KWIN, 2012). Er is geen bedrijfseconomische evaluatie gevonden, inclusief benutting voor energie of als grondstof. Het is daarom niet duidelijk in hoeverre teelt van groenbemester rendabel is of zal zijn.

## Trends en ontwikkelingen

Het potentieel aan groenbemester is mede afhankelijk van het van kracht zijnde beleid. Zo is het telen van een groenbemester na snijmaïsteelt op zandgrond verplicht. Vanaf 2021 zal het voor het zuidoostelijk zandgebied en op lössgrond verplicht zijn om een vanggewas in te zaaien na de teelt van consumptie- of zetmeelaardappelen<sup>82</sup>.

## C. Gras

Een overzicht van de verschillende potentiëlen voor gras is gegeven in Tabel 49.

Tabel 49 - Potentiëlen voor gras (in PJ/jaar)

| Keten landbouwproducten                |      |
|----------------------------------------|------|
| Productie gras                         |      |
| – Maximaal produceerbaar               | > 10 |
| – Huidige productie in praktijk        | 10   |
| – ‘Vrij beschikbaar’ potentieel        | 0    |
| – Additioneel beschikbaar in 2030/2050 | ?    |

In Nederland werd in 2018 circa 5.500 kton d.s. aan gras geoogst voor toepassing als ruwvoer voor runderen en andere herkauwers. Het geoogste gras wordt ten behoeve van houdbaarheid vaak tijdelijk ingekuuld.

<sup>81</sup> Wel is aangegeven dat anno 2014 op een areaal van circa 180.000 hectare graan, ongeveer 50.000 hectaren met groenbemester was ingezaaid. Daarnaast wordt conform wetgeving op tienduizenden hectaren (op een totaal van 220.000 ha) snijmaïsareaal op zand en löss groenbemester geteeld.

<sup>82</sup> Zie: [Akkeerwijzer: Vanggewas na aardappels op zuidelijk zand en löss](#)

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Een deel van het jaarlijks geoogste gras is volgens een aantal bronnen ingeval van neerslag kort voor de oogst te nat voor inkuilen of drogen. In dat geval wordt het een niet bruikbare reststroom<sup>83</sup>. Het percentage gras dat bij oogst te nat is wordt in de geraadpleegde bronnen geschat op ongeveer  $10\% \pm 4\%$ <sup>84</sup>.

Een andere potentiële bron is zogenaamd 'najaarsgras'. Dat is het gras van na de zomer dat soms niet goed eetbaar is voor vee, omdat het gras dan te veel stengels heeft.

## Marktprijzen

Kuilgras heeft in Nederland een prijs van circa € 55-60 per ton natte stof. Veel wordt echter niet verhandeld en op het eigen bedrijf gebruikt<sup>85</sup>.

## Trends en ontwikkelingen

Een andere in de literatuur genoemde ontwikkeling die gevolgen kan hebben voor de beschikbaarheid van gras is het ontstaan van een overschot aan gras in het Noorden van Nederland door afname van de rundveestapel onder invloed van de fosfaatwetgeving bij gelijkblijvend graslandareaal. Het overschot wordt deels gedroogd en gebruikt als alternatief voor extern in te kopen krachtvoer<sup>86</sup>, deels middels bokashi-techniek omgezet in groene meststof voor eigen land en bodem<sup>87</sup>.

## D. Productie van houtige biomassa in Nederland

Een overzicht van de verschillende potentiële voor houtige biomassa uit bos, landschap en bebouwde omgeving is gegeven in de volgende tabel.

Tabel 50 - Potentiële voor houtige biomassa (in PJ/jaar)

| Houtketen                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Productie houtige biomassa                                              |           |
| – Maximaal produceerbaar                                                | 40        |
| – Huidige productie in praktijk voor energie en materialen              | 35        |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel                                         | 5         |
| – Additioneel beschikbaar in 2030 resp. 2050 voor energie en materialen | 1 resp. 5 |

<sup>83</sup> Zie: [Trouw : Gras raffineren voor duurzame eiwitten](#)

<sup>84</sup> Van het totaal aan geoogst gras – 6.200 kton d.s./jaar – is in de praktijk circa 11% of 680 kton d.s./jaar te nat om te kunnen inkuilen of tot hooi te laten drogen (Grassal, 2011; ESKA Grafic Board, 2012).

<sup>85</sup> [Boerderij : Voermarkt kent hogere prijzen](#)

<sup>86</sup> Zie: [Nieuwe Oogst : 'Puur krachtvoer' met brok uit eigen gras](#)

<sup>87</sup> Zie: [Prikkebord : Veehouders Noordoost-Friesland doen prof met bokashi](#), [Vakblad Elite : Derogatiedilemma in Noord-Nederland](#)

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

De maximale productie aan houtige biomassa uit bos, landschap en bebouwde omgeving is 1,9 Mton d.s./jaar (Probos, 2014; Boosten, et al., 2018) met een energie-inhoud van circa 40 PJ/jaar. De waarde is inclusief schattingen voor verhandelde hoeveelheden haardhout (700 kton d.s./jaar)<sup>88</sup>.

De huidige oogst bedraagt circa 1,8 Mton/jaar (35 PJ/jaar), inclusief circa 465 kton/jaar aan spilhout voor de houtverwerkende industrie (Boosten, et al., 2018). Het verschil is deels niet oogstbaar vanwege de eisen die gesteld worden binnen de SNL subsidieregeling (Schelhaas, et al., 2018).

Ongeveer 240 kton d.s./jaar (bijna 5 PJ/jaar) van de bij bosbeheer en onderhoud aan landschap geproduceerde houtsnippers en houtshreds wordt momenteel nog geëxporteerd. Deze hoeveelheid is aan te merken als 'vrij beschikbaar' voor toepassing in Nederland.

## Marktprijzen

In de huidige markt zijn kosten en opbrengsten (inclusief subsidies) voor bosexploitatie min of meer gelijk<sup>89</sup>. De verstrekte subsidie vormt daarbij met een bedrag van € 95-105 en een aandeel van 35-40% een significant deel van de inkomsten. Er is anders gesteld geen economische stimulans voor de bouseigenaar om bosbeheer te intensiveren.

## Trends en ontwikkelingen

In Boosten et al. (2018) is een scenario uitgewerkt voor realisatie van 80.000 hectaren nieuw bos. De omvang van het aangehouden areaal wordt daarbij niet nader toegelicht. Door aanplant van maximaal 80.000 ha bos, waaronder 20.000 ha voor energieteelt, zou volgens Boosten et al (2018) in 2030 circa 1 PJ en in 2050 circa 4,4 PJ aan additioneel houtig materiaal kunnen worden gemobiliseerd. Nieuw bos dat *niet* wordt gebruikt voor energieteelt (60.000) levert volgens de door Probos uitgevoerde scenariostudie in 2030 geen materiaal en in 2050 slechts 34 kton d.s. uit dunningen op.

## E. Groenafval

Een overzicht van de verschillende potentiëlen voor groenafval is gegeven in onderstaande tabel.

Tabel 51 - Potentiëlen voor groenafval (in PJ/jaar)

|                                 | Overig |
|---------------------------------|--------|
| Productie groenafval            |        |
| – Vrijkomend                    | > 60   |
| – Ingezameld                    | 30     |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel | > 30 ? |

<sup>88</sup> In (CBS, 2010) worden overigens voor 2018 iets hogere schattingen voor haardhout gegeven (circa 800 kton/jaar d.s. i.p.v. 700 kton d.s./jaar). In (Probos, 2018) wordt verwezen naar een studie uit 2012.

<sup>89</sup> Bijvoorbeeld: [Agrimatie Agro & food portal \(WUR\) : Holding results \(amounts per ha forestry\) - Private forestry, total](#)

Groenafval betreft een mengcategorie van organische stromen die vrijkomen bij onderhoud van landschap<sup>90</sup>. Het betreft bijvoorbeeld bermgras, natuurgras, maaisel geproduceerd bij onderhoud aan watergangen en door gemeenten ingezameld veegvuil. Een deel wordt achtergelaten, ongeveer 50% wordt ingezameld.

De totale hoeveelheid aan ingezameld groenafval bedraagt circa  $4 \pm 0,5$  Mton n.s./jaar - exclusief houtig materiaal en aanhangende grond (Brinkmann, 2014)<sup>91</sup>.

De hoeveelheid droge stof is geschat op 1.600 kton d.s./jaar (droge stof gehalte van 40%, gebaseerd op (Koppejan, et al., 2009)), de energie-inhoud van het ingezamelde groenafval op circa 30 PJ/jaar.

De verwerkte hoeveelheid groenafval is kleiner dan aan de vrijkomende hoeveelheid groenafval.

- In STOWA (2017) wordt genoemd dat naar schatting 25%-50% van de maaisels wordt afgevoerd, meestal naar een composteerder, soms naar boeren. De rest blijft liggen.
- In het gemeentelijk groen is het bij beheer van gazons gebruikelijk om het maaisel te laten liggen. Daarmee worden kosten voor afvoer bespaard en komen de voedingsstoffen (N, P, K) erin beschikbaar voor de vegetatie zodat de bodem vruchtbaar blijft en daardoor de gazons vitaal.

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Groenafval wordt – wanneer ingezameld – vooral gecomposteerd. De hoeveelheden groenafval die worden vergist of worden gebruikt als grondstof zijn nog verwaarloosbaar op het totaal.

Op jaarbasis wordt er in Nederland zo'n 2 Mton compost door composteerders afgezet. Daarvan gaat ongeveer twee derde naar de landbouw. Glastuinders, boomkwekers en akkerbouwers zijn grote afnemers ([jaarverslagen BVOR](#)).

## Marktprijzen

Het verwerken (composteren) van groenafval kost circa € 20 tot 35,- per ton<sup>92</sup>. Andere verwerkingsmethoden, zoals vergisting zijn vaak duurder.

Afhankelijk van de kwaliteit en de transportafstand kost een ton compost tussen de € 0 en 15,- per ton.

## Trends en ontwikkelingen

Er lopen meerdere initiatieven om gras hoogwaardig te benutten, zoals productie van papier en karton (uit bermgras), eiwitextractie voor veevoer toepassingen en productie van barbecue briketten.

<sup>90</sup> Omdat het materiaal vrijkomt bij de primaire productie van biomassa – de groei van de biomassa – en geen bijproduct of restproduct betreft van teelt van een hoofdproduct (maar zelf het hoofdproduct is), is deze stroom onder primaire productie geschaard. Dat het hoofdproduct geen of een negatieve waarde heeft doet niets af aan de positionering van het hoofdproces.

<sup>91</sup> Hierin is de jaarlijks vrijkomende hoeveelheid groenafval (circa) geschat in overleg met BVOR, de branchevereniging van groenafvalverwerkers.

<sup>92</sup> Marktprijzen op basis van verschillende prijslijsten van verwerkers.

## F. Aquatische biomassa

Aquatische biomassa anders dan maaisel uit waterwegen is niet opgenomen in de overzichtstabel. Op zeer kleine schaal wordt zeewier geteeld en geoogst (voor voedsel) in de Oosterschelde maar voor de oogst-omvang hiervan is geen onafhankelijke bron gevonden. Een nieuwsbericht van Omroep Zeeland uit 2017 stelt dat het om 250 ton nat gewicht (15 ton d.s.) per jaar zou gaan, maar dit is een ‘verwachting’ van wat op één hectare geoogst kan worden. Wel waren er in 2017 plannen om uit te breiden van 1 naar 3 hectare zeewierteelt in de Oosterschelde<sup>93</sup>. Verder wordt er ook geëxperimenteerd met waterlinzen, maar vooralsnog is er geen commerciële productie en lijkt dat op termijn alleen mogelijk onder gecontroleerde omstandigheden in kassen. In 2030 en met name 2050 zou de productie van aquatische biomassa opgeschaald kunnen zijn, echter zijn hier nog geen cijfers uit goed onderbouwde, onafhankelijke scenariostudies voor beschikbaar.

### 3.5.4 Primaire reststromen

In deze paragraaf worden de voornaamste primaire reststromen uit bos en landbouw beschouwd. Gewasresten uit de glastuinbouw zijn niet nader uitgewerkt vanwege de beperkte omvang van deze stroom ( $\pm 1$  PJ/jaar).

We gaan in op de volgende primaire reststromen:

- A. Stro.
- B. Gewasresten.
- C. Mest.

#### A. Stro

De hoeveelheid stro vertegenwoordigt een energie-inhoud van 10-15 PJ/jaar.

Tabel 52 - Potentiëlen voor Stro (in PJ/jaar)

| Keten landbouwproducten                             |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| Primaire reststroom stro                            |       |
| – Vrijkomend                                        | 10-15 |
| – Ingezameld of achtergelaten i.v.m. bodemkwaliteit | 10-15 |
| – ‘Vrij beschikbaar’ potentieel                     | 0     |

De jaarlijks ingezamelde en achtergelaten hoeveelheid stro wordt in (Koppejan, et al., 2009) en (S2Biom, 2016) geschat op circa 950 kton d.s./jaar. Deze hoeveelheid heeft betrekking op een markteconomische situatie waarin teelt van granen economisch aantrekkelijk is, zoals rond 2010 het geval was. Toepassen van de in onder andere (S2BIOM, 2017a) en (Ecofys, 2013) gehanteerde methodiek op de in CBS voor 2017 gegeven jaarproducties voor granen, peulvruchten en koolzaad geeft een hoeveelheid stro van circa 650-800 kton d.s./jaar.<sup>94</sup>

De voor 2017 berekende lagere totale hoeveelheden stro illustreren dat het aanbod aan stro geen vast gegeven is, maar een functie van factoren als areaal en opbrengst per hectare. Tussen 2010 en 2017 is het areaal aan granen bijvoorbeeld met 20-25% afgenomen terwijl

<sup>93</sup> Zie: [Omroep Zeeland : Uit de Oosterschelde komt elk jaar 250.000 kilo zeewier](#)

<sup>94</sup> In deze schatting is rekening gehouden met een oogstrendement voor stro van granen van 65-85%. Een deel van stro van granen blijft bij oogst achter als stoppel of als los kaf en verhakseld materiaal.

de specifieke opbrengst aan graan per hectare (mede door de droge periodes in het voorjaar in afgelopen jaren) gelijk is gebleven.

De zelf geschatte hoeveelheid stro is waarschijnlijk een maximumwaarde. Het is waarschijnlijk dat een deel van het graan – met name triticale – als hele plant verhakseld en ingekuild wordt. Een grotere beschikbaarheid van deze reststroom voor energie en materialen is daarom niet te verwachten.

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

In Nederland vrijkomend stro wordt in de huidige situatie volledig benut in de veehouderij, champignonteelt en vollegrondstuinbouw (voor bodemafdekking). Er wordt stro geïmporteerd om in die behoefte te voorzien. Het is dus niet vrij beschikbaar.

## Marktprijzen

De prijs voor los stro af veld bedraagt circa € 70-80 per ton, de prijs voor gebaald stro bij afnemer ligt op de € 100/ton of hoger.

## Trends en ontwikkelingen

De traditionele toepassing van stro als isolatie- en bouw materiaal vindt op beperkte schaal plaats in Nederland. In het Duitsland wordt een fabriek gebouwd waar stro als pulp voor de productie van hoogwaardig sanitair papier wordt ingezet.

## B. Gewasresten van akkerbouwgewassen en groenten uit vollegronds teelt

De totale hoeveelheid natte gewasresten heeft een energie-inhoud van circa 15 PJ/jaar.

Tabel 53 - Potentiëlen voor gewasresten uit akkerbouw en groenteteelt (in PJ/jaar)

| Keten landbouwproducten         |     |
|---------------------------------|-----|
| Primaire reststroom gewasresten |     |
| – Vrijkomend                    | 15  |
| – Achtergelaten                 | 15  |
| – ‘Vrij beschikbaar’ potentieel | 0-3 |

De natte gewasresten van akkerbouwproducten en gewassen in de vollegrond tuinbouw wordt in de huidige situatie achtergelaten op het veld en benut als bron van organische stof en nutriënten. Aardappelloof wordt doodgespoten voorafgaand aan aardappeloogst om de groei van de knol te stoppen<sup>95</sup> en bepaalde ziektes tegen te gaan. Bietenblad en loof van uien wordt afgesneden.

<sup>95</sup> Door deze loofdoding vormen de knollen een steviger schil (verkurken), waardoor ze bij het rooien minder beschadigd worden.

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

In principe dragen de gewasresten bij aan de bodemvruchtbaarheid.

Volgens (DNVGL, 2016) zou het echter ecologisch verantwoord zijn tot 70% van gewasresten te oogsten (met name bietenblad en aardappelloof). Dit zou een potentieel van maximaal circa 10 PJ/jaar geven.

Technisch is het reeds mogelijk om loof van suikerbieten te oogsten<sup>96</sup>, wat op basis van het ecologisch verantwoorde maximum van 70%, ongeveer 3 PJ/jaar op kan leveren. Dit is de waarde die als 'vrij potentieel' staat opgenomen in Tabel 45. Er zijn ook initiatieven voor raffinage van bietenblad, gericht op met name extractie van eiwitten<sup>97</sup>. Maar deze ontwikkeling is momenteel nog niet helemaal marktrijp.

## Marktprijzen

Inzamelkosten zijn momenteel nog niet bekend.

## Trends en ontwikkelingen

Bij aardappelen is oogst van loof misschien een wenselijke optie nu twee veel toegepaste chemische middelen voor doodspuiten door de EU zijn verboden in verband met risico's voor volksgezondheid<sup>98</sup>. Bovendien laten planten van sommige rassen zich moeilijk doodspuiten, en gebruik van deze chemicaliën is in de biologische akkerbouw verboden. Daar wordt loof in de huidige praktijk weggebrand met aardgas, een proces dat soms meerdere werkgangen vergt. Machinerie voor 'trekken' van aardappelloof is in ontwikkeling<sup>99</sup>.

## C. Mest

De totale hoeveelheid mest vertegenwoordigt een hoeveelheid droge stof van 8 Mton/jaar met een energie-inhoud van 130 PJ/jaar.

Tabel 54 - Potentiëlen voor mest (in PJ/jaar)

| Keten landbouwproducten              |     |
|--------------------------------------|-----|
| Primaire reststroom mest             |     |
| – Vrijkomend                         | 130 |
| – Uitgereden, geëxporteerd, verbrand | 115 |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel      | 0   |

Het verschil tussen de vrijkomende hoeveelheid mest en de hoeveelheid mest die wordt toegepast, geëxporteerd of verbrand is een hoeveelheid van ongeveer 1 Mton d.s. aan rundermest (circa 15 PJ), die op weideland vrijkomt.

<sup>96</sup> Zie: [Ropa Verstoppingsvrije PR-rooier met hydraulische steenbeveiliging](#)

<sup>97</sup> Zie: [Nieuwe Oogst : Eiwit uit bietenblad als voedingsingrediënt](#), [GreenProtein B.V.](#)

<sup>98</sup> Zie: [AD: Aardappelteler in de puree door verbod op loofdodend middel](#)

<sup>99</sup> Zie: [Nieuwe Oogst : Trekken aardappelloof krijgt nieuwe impuls](#)

Alle vrijkomende mest wordt in principe toegepast:

- rundveemest wordt voor 70-80% op eigen land gebruikt, in de akkerbouw afgezet of bewerkt en geëxporteerd;
- varkensmest wordt voor de helft in de Nederlandse akkerbouw afgezet en voor de helft bewerkt – eventueel in combinatie met vergisting – en geëxporteerd;
- pluimveemest wordt geëxporteerd of verbrand bij BMC in Moerdijk, een klein deel wordt vergist (als vorm van cosubstraat).

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Gezien de huidige toepassingen zou kunnen worden beredeneerd dat er geen ‘vrij beschikbaar’ potentieel is. De toepassing zou echter wel kunnen veranderen. Zo kan bij bewerking van rundveemest en varkensmest middels vergisting biogas worden geproduceerd. Dit gebeurt deels al, maar dit betreft 1,9 Mton natte stof per jaar op een totale hoeveelheid van 83 Mton n.s./jaar (CBS Statline).

## Marktprijzen

De afzetprijzen voor mest verschillen per type, periode in het jaar en regio. De prijs van rundveedrijfmest ligt rond € 20 per m<sup>3</sup> en die van varkensdrijfmest enkele euro's hoger<sup>100</sup>.

## Trends en ontwikkelingen

De hoeveelheid mest zal door verduurzaming van de veehouderij en ontwikkeling van kringlooplandbouw afnemen. Er zijn echter geen schattingen gegeven in de geraadpleegde bronnen.

### 3.5.5 Secundaire reststromen

De volgende secundaire reststromen komen aan bod:

- A. Bijproducten uit de voedingsmiddelenindustrie (keten landbouwproducten).
- B. DDGS (keten landbouwproducten).
- C. Resthout houtverwerkende industrie (houtketen).

#### A. Bijproducten uit de voedingsmiddelenindustrie (VGI)

Een overzicht van de verschillende potentiëlen voor bijproducten uit de voedingsmiddelenindustrie is gegeven in Tabel 55.

Tabel 55 - Potentiëlen voor bijproducten uit de voedingsmiddelenindustrie (in PJ/jaar)

| Keten landbouwproducten         |        |
|---------------------------------|--------|
| Secundaire reststroom VGI       |        |
| – Vrijkomend                    | 75-100 |
| – Benut                         | 75-100 |
| – ‘Vrij beschikbaar’ potentieel | 0-10   |

<sup>100</sup> Prijzen op basis van gegevens uit de mestmarkt.

In de voedingsmiddelenindustrie komt volgens oudere rapporten van (Koppejan, 2009) en (Elbersen, et al., 2011) jaarlijks circa 4,0-4,5 Mton aan bijproducten vrij met een geschatte energie-inhoud van 75-100 PJ/jaar.

Van de totale hoeveelheid bijproducten bestaat 2,5-3,0 Mton d.s./jaar uit oliezadenschroot, het eiwitrijke product dat overblijft na winning van de olie uit oliehoudende zaden als sojabonen, koolzaad en zonnebloempitten. Dit indicatieve bereik is gecontroleerd aan de hand van CE Delft (2017b) en representatief bevonden. De energie-inhoud is geschat op 45-55 PJ/jaar.

Daarnaast zijn er zo'n vijftien droge en natte productstromen met een geaggregeerde omvang van circa 1,5 Mton d.s./jaar en een totale geschatte energie-inhoud van 30-45 PJ/jaar bestaande uit:

- droge vervoederbare eiwitrijke bijproducten als hullen en schillen, tarwegries en zemelen, maiszemelgrint, maisglutenmeel, eiwit- en vetrijke visresten;
- natte eiwitrijke en vervoederbare bijproducten als suikerbietenreststromen, bierbostel;
- droge vervoederbare eiwitarme bijproducten als hullen en schillen;
- natte eiwitarme en vervoederbare bijproducten, zoals aardappelrestproducten aardappel/tarwe zetmeel, hydrolysaat, groenteafval;
- droge en natte reststromen zonder voedingswaarde, soms met risicostoffen, als diermeel, cacaodoppen, koffiedik, gemengd visafval en vis-flotatieslibben;
- uienoverschot.

## Marktprijzen

In de praktijk worden de eiwitrijke bijproducten (en hoofdproduct soja) benut als veevoeder of grondstof voor mengvoeder. Droge producten worden afgezet tegen marktprijzen van € 150-200 per ton voor tarwegries tot € 300-350 per ton voor sojaschroot van verschillende kwaliteiten (prijsspeil september 2019)<sup>101</sup>. Natte producten hebben – omgerekend naar droge stof – een vergelijkbaar prijsniveau.

Het prijsniveau wordt medebepaald door de verteerbaarheid van de eiwitten en – in verband met fosfaatwetgeving m.b.t. mest – de opneembaarheid van de daarin aanwezige fosfor. Fosforverbindingen in tarwegries zijn bijvoorbeeld zeer slecht opneembaar/verteerbaar waardoor de fosfor in het gries merendeels in de mest terecht komt. Het gevolg is dat de prijs van gries aanzienlijk lager is (20%) als wat zou kunnen worden verwacht op basis van energiewaarde en eiwitinhoud.

Droge en natte eiwitarme stromen worden voornamelijk als energiebron gevoerd aan rundvee. De prijs voor droge stromen als sojahullen beweegt zich rond de € 150-250 per ton. Omgerekend naar energiewaarde € 10-15 per GJ. Natte stromen worden volgens (Elbersen, et al., 2011) deels (Elbersen, 2010) deels ook ingezet in vergisting.

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Reststromen zonder voederwaarde worden in de huidige praktijk vaak al benut voor energieproductie. Diermeel bijvoorbeeld wordt meegestookt in kolencentrales en cementovens, koffiedik wordt benut voor productie van industriële warmte, visafval wordt vergist.

<sup>101</sup> Zie bijvoorbeeld: [Wageningen University and Research : Voederwaarden Rundvee, Agro & food portal data : Agricultural prices](#)

Voor productie van energie of grondstoffen voor chemie lijken met name natte eiwitarme stromen interessant. Deze stromen hebben een bescheiden marktprijs en een beperkte waarde als voeder. Het potentieel van deze stromen is grofweg 10 PJ/jaar.

## Trends en ontwikkelingen

Bij eiwitrijke bijproducten wordt geprobeerd concepten te ontwikkelen waarbij de eiwitten worden afgescheiden als meest waardevolle product. Deze ontwikkeling is met name gericht op stromen met een lagere verteerbaarheid aan eiwitten en fosforverbindingen (zoals tarwegries). De eiwitarme (hoofd)fractie zou daarna beschikbaar kunnen worden gemaakt als brandstof of als basis voor chemische 'platform'chemicaliën. In een dergelijk concept gaat de energiewaarde van het bijproduct voor het vee verloren.

## B. DDGS

Een overzicht van de verschillende potentiëlen voor DDGS (dry distillers grain with solubles) is gegeven in Tabel 56.

Tabel 56 - Potentiëlen voor DDGS (in PJ/jaar)

| Keten landbouwproducten         |   |
|---------------------------------|---|
| Secundaire reststroom DDGS      |   |
| – Vrijkomend                    | 7 |
| – Benut                         | 7 |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel | 0 |

DDGS is een eiwitrijk bijproduct van ethanolproductie uit granen. Het betreft het materiaal dat bij oplossen van de zetmeel uit de graankorrel door koken overblijft. DDGS vertegenwoordigt ongeveer 1/3 van het gewicht van de oorspronkelijke graankorrel en wordt in Nederland bij één specifiek bedrijf geproduceerd: Alco Energy in Rotterdam (Nederhoff], 2017). De jaarproductie bedraagt circa 370 kton d.s./jaar en heeft een geschatte energie-inhoud van circa 7 PJ. DDGS wordt toegepast als veevoer.

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Vanwege de hoge prijs wordt DDGS niet gebruikt voor energie of als grondstof voor de chemische industrie.

## Marktprijzen

DDGS wordt als eiwitrijk diervoeder afgezet en had in september 2019 een marktprijs van circa € 300/ton (stand september 2019).

## Trends en ontwikkelingen

DDGS wordt steeds verder uitgesplitst in zijn verschillende componenten om zo de eiwitten beter te kunnen benutten in de veehouderij.

## C. Resthout houtverwerkende industrie

Een overzicht van de verschillende potentiëlen voor resthout is gegeven in Tabel 57.

Tabel 57 - Potentiëlen voor resthout (in PJ/jaar)

| Houtketen                       |       |
|---------------------------------|-------|
| Secundaire reststroom resthout  |       |
| – Vrijkomend                    | 10-15 |
| – Benut                         | 5-10  |
| – ‘Vrij beschikbaar’ potentieel | 0-5   |

De jaarlijks vrijkomende hoeveelheid resthout in de houtverwerkende industrie bedroeg in 2017 volgens ‘Kerngegevens bos en hout in Nederland’ (Probos, - b) circa 600 kton d.s. met een energie-inhoud van circa 12 PJ/jaar. De hoeveelheid resthout is een-op-een gerelateerd aan de in Nederland verwerkte hoeveelheid rondhout.

### Toepassingen voor energie en grondstoffen

Volgens Nabuurs et al. (2016) wordt ‘ongeveer de helft van het resthout toegepast als strooisel voor de dierhouderij in Nederland en het buitenland. Daarnaast wordt 30% van het resthout toegepast als grondstof voor de productie van energiepellets. De overige 20% kent drie toepassingen: interne warmte productie bij de houtverwerkende bedrijven, afzet naar de platenindustrie en/of de producenten van papier en karton, en energieopwekking door bedrijven buiten de houtsector’.

Een deel van het resthout wordt in de huidige situatie geëxporteerd voor gebruik als brandstof. Deze hoeveelheid (5 PJ) kan worden beschouwd als vrij beschikbaar.

### Marktprijzen

Prijzen voor resthout zijn vergelijkbaar met die van schone houtsnippers uit landschaps-onderhoud en liggen rond de € 50/ton n.s.<sup>102</sup>

### Trends en ontwikkelingen

De afzet van resthout voor de productie van spaanplaat volgt de ontwikkelingen in de bouw. Bij hoge vraag wordt er meer resthout geëxporteerd naar België en Duitsland voor verwerking tot spaanplaat. In Nederland worden plannen gemaakt om resthout via oplossing in zoutzuur en hydrolyse om te zetten in enkelvoudige suikers voor toepassingen in de chemie.

#### 3.5.6 Tertiaire reststromen

De in deze subparagraaf beschouwde stromen betreffen restmateriaal na consumptiefase. Textielafval (circa 2 PJ/jaar), organisch materiaal in papierslib en residuen uit papier-recycling (circa 70 kton/jaar) en veilingafval (circa 30 kton d.s./jaar) zijn vanwege de beperkte omvang buiten beschouwing gelaten.

<sup>102</sup> Op basis van actuele prijzen op de Duitse markt.

Wel beschouwd worden:

- A. Gescheiden ingezameld GFT.
- B. Afvalhout.
- C. RWZI-slib.
- D. Restfractie Huishoudelijk Afval - organisch deel.
- E. Restfractie Kantoor-, Winkel- en Dienstenafval - organisch deel.

Een samenvattend overzicht is gegeven in Tabel 58. Nadere toelichting is gegeven in de navolgende subparagrafen.

Tabel 58 - Potentiëlen voor tertiaire reststromen (in PJ/jaar)

|                                     | Keten<br>landbouw-<br>producten: | Houtketen | Overig        |                                      |                                    |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------|---------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Tertiaire reststroom                | Gescheiden<br>ingezameld<br>GFT  | Oud hout  | RWZI-<br>slib | Organische<br>fractie<br>huish.afval | Organische<br>fractie<br>KWD-afval |
| – Vrijkomend                        | 10                               | 25        | 5             | 20                                   | 5                                  |
| – Benut                             | 10                               | 25        | 5             | 20                                   | 5                                  |
| – ‘Vrij beschikbaar’<br>potentieel  | 0                                | 0-5       | 0             | 0                                    | 0                                  |
| – Optimalere benutting<br>mogelijk? | ja                               |           | Ja            | Ja                                   | Ja                                 |
| Verwachte ontwikkeling in<br>aanbod | Afname                           |           |               | Afname                               | Afname                             |

## A. Gescheiden ingezameld GFT

De jaarlijks gescheiden ingezamelde hoeveelheid GFT bedraagt volgens CBS Statline en Milieucentraal<sup>103</sup> bijna 600 kton d.s. (bij 40% d.s.) en heeft een geschatte energie-inhoud van circa 10 PJ.

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Gescheiden ingezamelde GFT wordt in de huidige praktijk grotendeels gecomposteerd, ongeveer een derde wordt eerst vergist en vervolgens gecomposteerd.

Compost wordt toegepast als organische meststof en is daarmee niet ‘vrij beschikbaar potentieel’. Er is wel een technisch potentieel om meer energie uit GFT terug te winnen door het aandeel vergist materiaal van ongeveer 1/3 te vergroten tot 100%.

<sup>103</sup> Zie: [Milieu Centraal : Afval scheiden: cijfers en kilo's](#)

## Marktprijzen

Alhoewel er een overcapaciteit is op de Nederlandse markt voor composteren en vergisten van GFT-afval, is sprake van een stijgende trend voor de tarieven voor composteren en vergisten. Nieuwe tarieven voor GFT-compostering liggen in de ordegrootte € 30 tot 40 per ton en voor GFT vergisten op € 50 tot 80 per ton.

## Trends en ontwikkelingen

Bijna alle gemeenten in Nederland zijn bezig met de implementatie van het VANG-beleid (Van Afval naar grondstof). Landelijk vastgestelde streefwaarden zijn maximaal 100 kg/inw restafval in 2020 en 30 kg/inw restafval in 2025. De grootste fractie (qua gewicht) is GFT. Door het VANG beleid zal de hoeveelheid brongescheiden GFT naar verwachting toenemen (VANG staat voor 'van afval naar grondstof').

Beleid gericht op het verminderen van voedselverspilling (50% reductie van verliezen in de voedselketen per 2030, zie Klimaatakkoord) kan ervoor zorgen dat de hoeveelheid GFT juist afneemt. Voedselresten zijn een onderdeel van GFT, in GFT is ook tuinafval aanwezig.

De huidige hoeveelheid vast verspild voedsel is ongeveer 34 kg/inw/jaar<sup>104</sup>, circa 600 kton natte stof per jaar met een vochtgehalte van 40% (voor gemiddeld GFT).

Mogelijk heeft ook eventueel toekomstig overheidsbeleid gericht op eiwittransitie invloed op de vrijkomende hoeveelheid GFT.

## B. Oud en bewerkt hout

In de geraadpleegde bronnen Nabuurs et al. (2016) wordt een jaarlijks vrijkomende hoeveelheid oud hout van circa 1.300 kton d.s. met een energie-inhoud van naar schatting 25 PJ genoemd. De genoemde hoeveelheid van 1.300 kton d.s. betreft het geheel aan A-hout, B-hout en C-hout<sup>105</sup>.

De hoeveelheid oud hout is mogelijk groter dan geregistreerd door Rijksoverheid en Nedvang. In Tauw (2017) wordt aangegeven dat waarschijnlijk tussen de 300 en 350 kton – oftewel 180 tot 230 kton meer dan de 1.300 kton zoals bekend in de Nederlandse afvalstatistiek – in omliggende landen wordt hergebruikt. Een verklaring hiervoor zou zijn dat transport van zuiver A-hout onder de EVOA wetgeving niet hoeft te worden geregistreerd wanneer dit materiaal nuttig wordt toegepast.

Een deel van het resthout wordt in de huidige situatie geëxporteerd voor gebruik als brandstof. Deze hoeveelheid – met een energie-inhoud van circa 5 PJ/jaar – zou eventueel kunnen worden beschouwd als vrij beschikbaar.

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Circa 70% wordt in Nederland en omliggende landen als brandstof gebruikt, 30% wordt gebruikt als grondstof in palletklossen en spaanplaat.

<sup>104</sup> <https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/voedselverspilling.aspx#blokhoeveel-voedsel-wordt-er-verspild-in-nederland?>

<sup>105</sup> A-hout is schoon, onbehandeld resthout vrijkomend als bijvoorbeeld verpakkingsmateriaal (kratten, pallets). C-hout is met chemische middelen verduurzaamd hout dat als chemisch afval moet worden behandeld. B-hout is al het overige resthout.

## Marktprijzen

De marktprijs voor A-hout en B-hout is enerzijds sterk afhankelijk van de behoefte aan hout uit de spaanplaatindustrie en anderzijds afhankelijk van de thermische verwerkingscapaciteit. Door de sterk fluctuerende behoefte en de veranderingen in thermische verwerkingscapaciteit treden sterke fluctuaties in prijzen en ontdoeningskosten op. De ontdoeningskosten van B-hout zijn de afgelopen jaren bijvoorbeeld gestegen van € 10-20 per ton tot circa € 80 per ton door afnemende behoefte bij spaanplaatproducenten.

## Trends en ontwikkelingen

Voor oud en bewerkt hout geldt hetzelfde als voor resthout. Het wordt geëxporteerd naar België en Duitsland voor de productie van spaanplaat. Het is echter niet geschikt voor hoogwaardigere toepassingen vanwege de hoge mate van vervuiling.

## C. RWZI-slib

De in 2018 vrijgekomen hoeveelheid droge stof in RWZI-slib bedraagt volgens CBS Statline 325 kton. De overeenkomstige energie-inhoud is ongeveer 5 PJ.

## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Alle in Nederland vrijkomende RWZI-slib wordt verbrand, voor het grootste deel bij speciale slibverbrandingsovens. Het merendeel wordt rechtstreeks afgevoerd naar en verwerkt bij speciale slibverbrandingsovens, een beperkt deel wordt eerst gecomposteerd en vervolgens als laagwaardige secundaire brandstof afgezet. Een klein deel wordt bij AEB Amsterdam bijgestookt in één van de verbrandingslijnen van de afvalverbrandingsinstallatie.

Afhankelijk van de verwerkingsroute levert slibverbranding netto geen energie op (i.g.v. slibverbrandingsovens) tot een beperkte hoeveelheid energie (i.g.v. composteren, mee-verbranden).

Er zijn echter inmiddels commerciële processen beschikbaar – bijvoorbeeld hydrothermisch verkolen in subkritisch water<sup>106</sup> – waarmee een significant percentage van de energie-inhoud in het slib nuttig kan worden benut.

## Marktprijzen

De marktprijs van RWZI-slib verschilt per verwerker en hangt af van het verwerkingsproces. Verbranding is goedkoper (€ 40/ton n.s.) dan drogen (> € 120/ton n.s.)<sup>107</sup>.

## Trends en ontwikkelingen

In ontwikkeling zijnde technologie als vergassing in superkritisch water of hydrothermische conversie naar olie zouden het mogelijk maken om de organische fractie in RWZI-slib om te zetten in een gasvormig of een olie-achtig product dat als brandstof of grondstof kan worden gebruikt.

<sup>106</sup> Zie bijvoorbeeld: [TerraNova energy : projects](#)

<sup>107</sup> Prijzen op basis van informatie uit de markt.

## D. Restfractie Huishoudelijk Afval (HHA) - alleen organische stof (o.s.)

De hoeveelheid organisch restmateriaal in gemengd huishoudelijk afval is geschat op circa 1 Mton d.s./jaar. De energie-inhoud is geschat op circa 18 PJ/jaar.

### Toepassingen voor energie en grondstoffen

Gemengd huishoudelijk afval wordt conform informatie op de websites van CBS Statline en Vereniging Afvalbedrijven deels mechanisch nagescheiden, waarna het niet herverwerkbaar residu wordt verbrand.

Organisch materiaal uit gemengd huishoudelijk afval is door de herkomst en contaminatie niet herverwerkbaar en wordt altijd verbrand. Het gemiddelde elektrische en thermische rendement van de afvalverbrandingsinstallaties is met respectievelijk circa 17 en 28% bescheiden.

### Marktprijzen

De poortprijs voor scheidingsinstallaties en afvalverbrandingsinstallaties (AVI) is € 50-100 per ton afval, afhankelijk van de specifieke AVI. Op verbranding wordt een afvalstoffenbelasting geheven van per 1 januari 2019 van € 32,12/ton afval<sup>108</sup>.

### Trends en ontwikkelingen

Europees beleid stuurt op het in toenemende mate hergebruiken van vrijkomend gemengd afval en reductie van de vrijkomende hoeveelheid gemengd afval, en heeft specifiek voor papier en hout herverwerkingsdoelen gedefinieerd<sup>109</sup>.

In Nederland wordt gewerkt aan beleid welke het in 2030 verbiedt dat recyclebare afvalstromen verbrand of gestort worden. De eerdergenoemde VANG beleidsontwikkelingen zouden moeten leiden tot een netto afname van de vrijkomende hoeveelheid gemengd huishoudelijk afval van 50% in 2020.

De verwachting is dat de hoeveelheid restafval de komende jaren sterk daalt en dat ook de organische fractie ervan omlaag gaat. Het aandeel hernieuwbare energie uit restafvalverbranding gaat daarmee dus ook omlaag.

## E. Restfractie KWD - alleen organische stof (o.s.)

De hoeveelheid organisch restmateriaal in KWD-afval (kantoor-, winkel- en dienstenafval) is geschat op basis van (Stimular, 2016). De hoeveelheid is geschat op 320 kton d.s./jaar met een energie-inhoud van naar schatting 5 PJ/jaar.

<sup>108</sup> Zie: [Rijksoverheid Milieubelastingen : Afvalstoffenbelasting](#)

<sup>109</sup> Zie: [Europese Raad : Raad van de EU : Afvalbeheer en recycling: Raad neemt nieuwe regels aan](#)



## Toepassingen voor energie en grondstoffen

Ook de organische restfractie in KWD-restafval wordt integraal verbrand en is niet vrij beschikbaar.

Technisch gezien is het echter mogelijk het energetisch rendement van de verwerking nog aanzienlijk te verbeteren van huidige waarden van 17% voor het netto elektrisch rendement en 28% voor het thermisch rendement.

## Marktprijzen

De poortprijs voor scheidingsinstallaties en afvalverbrandingsinstallaties (AVI) is € 50-100 per ton afval, afhankelijk van de specifieke AVI. Op verbranding wordt een afvalstoffenbelasting geheven van per 1 januari 2019 € 32,12/ton afval<sup>110</sup>.

## Trends en ontwikkelingen

Europees beleid stuurt op het in toenemende mate hergebruiken van vrijkomend gemengd afval en reductie van de vrijkomende hoeveelheid gemengd afval en heeft specifiek voor papier en hout herverwerkingsdoelen gedefinieerd<sup>111</sup>.

In Nederland wordt gewerkt aan beleid welke het in 2030 verbiedt dat recyclebare afvalstromen verbrand of gestort worden. Daarnaast is er het programma 'VANG Buitenshuis' van de KWD-sector om voor 2022 de 2 miljoen ton restafval die vrijkomt te halveren. Het doel van dit meerjarenprogramma is meer te recyclen, minder grondstoffen te gebruiken en zo een stap te zetten naar een circulaire economie<sup>112</sup>.

De verwachting is dat de hoeveelheid KWD-restafval de komende jaren sterk daalt.

### 3.6 Discussie beschikbaarheid

De geraadpleegde literatuur over beschikbaarheid verschillen in alle mogelijke dimensies: geografisch gebied, biomassastromen die zijn meegenomen, het type potentieel, onderliggende aannames, etc. Dat maakt het lastig om een eenduidig, concreet beeld te krijgen van biomassa beschikbaarheid, met voldoende detail om de beschikbaarheidscijfers goed te koppelen aan de verwachte behoefte aan biomassa vanuit de verschillende toepassingen (Hoofdstuk 4) en aan de verschillende stakeholderposities. De gedachte dat met een aantal doorsnijdingen door de beschikbaarheidsdata de discussies over biomassabeschikbaarheid makkelijker gevoerd kunnen worden blijkt in de praktijk moeilijker dan oorspronkelijk gedacht.

Veel studies gaan daarnaast niet over beschikbaarheidspotentiëlen, maar over daadwerkelijke inzet van 'duurzame biomassa', waarbij rekening wordt gehouden met de biomassa-behoefte, beleid en kosten. Dit geldt bijvoorbeeld voor klimaatscenario's. Ze geven daarmee wel aan wat er mogelijk is, maar niet hoeveel er *maximaal* mogelijk zou

<sup>110</sup> Zie: [Rijksoverheid Milieubelastingen : Afvalstoffenbelasting](#)

<sup>111</sup> Zie: [Europese Raad : Raad van de EU : Afvalbeheer en recycling: Raad neemt nieuwe regels aan](#)

<sup>112</sup> [Homepage Vang Buitenshuis](#)



kunnen zijn. Als we ervan uitgaan dat er in deze studies rekening is gehouden met daadwerkelijke mogelijke beschikbaarheid, leveren zij daarmee een ondergrens<sup>113</sup>, gegeven de aannames in het betreffende scenario.

‘Technische potentiëlen’ zijn in studies over het algemeen gebaseerd op tenminste enkele duurzaamheidsuitgangspunten. Zodat een ‘glijdende schaal’ ontstaat tussen ‘technische’ en ‘duurzame’ potentiëlen. Hetzelfde geldt voor ‘markt’-potentiëlen, die veelal lage beschikbaarheidscijfers geven, maar bijvoorbeeld voor energie- en grondstoffeninzet uit kunnen gaan van marktconcurrentie met fossiele brandstoffen en daardoor volstrekt verschillende klimaattoekomst kunnen geven. Dergelijke uitgangspunten en aannames verschillen tussen de studies, wat onderlinge vergelijking lastig maakt.

Relevant is ook de scope van studies. Zo kijken sommigen alleen naar biomassa voor energie, terwijl andere een bredere scope kiezen, en ook beschikbaarheid van biomassa voor materialen en grondstoffen in kaart brengen. Als alleen biopotentieel voor energie wordt ingeschat is vaak de biomassa voor andere toepassingen ervan af getrokken, waardoor de inschattingen een stuk lager worden. Dit geldt bijvoorbeeld voor het tertiaire reststroom-potentieel dat in het Biomass Policies project (2014) wordt gegeven.

Daarnaast spelen aannames over de groei van de wereldbevolking en de ontwikkeling van het eiwitdieet een rol in mondiale scenario’s: een verschuiving van dierlijk naar plantaardig eiwit vergt aanzienlijk minder landbouwgrond voor voedselproductie van andersom.

Uiteraard is er ook een economische component: als er een hogere prijs wordt betaald voor een biomassastroom wordt het economisch aantrekkelijker om die te produceren, of over langere afstanden te transporteren. Dit komt de (economische) beschikbaarheid ten goede.

Voor de beschikbaarheid van biomassa uit Nederland valt verder op dat er weliswaar relatief veel gedetailleerde informatie beschikbaar is voor huidige biomassastromen en inzet daarvan, maar niet voor toekomstige beschikbaarheid onder verschillende scenario-aannames. Houtige biomassa uit Nederlandse bosbouw vormt daarop een uitzondering.

Dat de beschikbaarheidspotentiëlen van duurzame biomassa kleiner worden naarmate strengere duurzaamheidseisen worden gesteld is evident. Om daar een rechtstreekse cijfermatige duiding aan te geven is echter niet mogelijk, althans niet op basis van literatuurwaardes. De reden is dat de scenario’s ook verschillen in andere aannames, die vaak dominante effecten hebben op de gerapporteerde beschikbaarheid. Het is dan niet mogelijk om het effect van de strengere duurzaamheidseisen uit de cijfers te halen.

Als we inzoomen op duurzaamheid als bepalende factor voor de beschikbaarheid blijken grote verschillen in gerapporteerde beschikbaarheidscijfers vooral veroorzaakt te worden door (zie bijvoorbeeld (Dornburg, et al., 2008)).

- aannames over landbouwproductiviteit (dichten van de ‘yield gap’) en welke landbouwgewassen er worden geteeld;
- aannames over de hoeveelheid land dat beschikbaar is voor de teelt van gewassen voor energie, materialen en chemie<sup>114</sup>;
- aannames over hoeveel restmateriaal er op de landbouwgrond moet achterblijven;

<sup>113</sup> Dat dicht bij het werkelijke potentieel kan liggen, maar ook ver daaronder.

<sup>114</sup> Afhankelijk van de gebruikte duurzaamheidscriteria, data en aannames in de studies wordt het resterend land (‘surplus land’) dat beschikbaar is voor biomassaproductie voor andere doeleinden dan voedsel, veevoer of vezels verschillend ingeschat. BioSustain project (PwC EU, 2016) komt in een eigen review van studies op 3,8-39% in 2030.

- aannames over bosbouwproductiviteit (bosbouwmanagementmethodes);
  - aannames over ingebruikname van gedegradeerde en marginale gronden, en over degradatie van huidige landbouwgrond;
  - aannames over biodiversiteit, en behoefte aan en beschikbaarheid van water.
- Deze factoren zijn deels onderling van elkaar afhankelijk.

## Enkele illustratieve voorbeelden

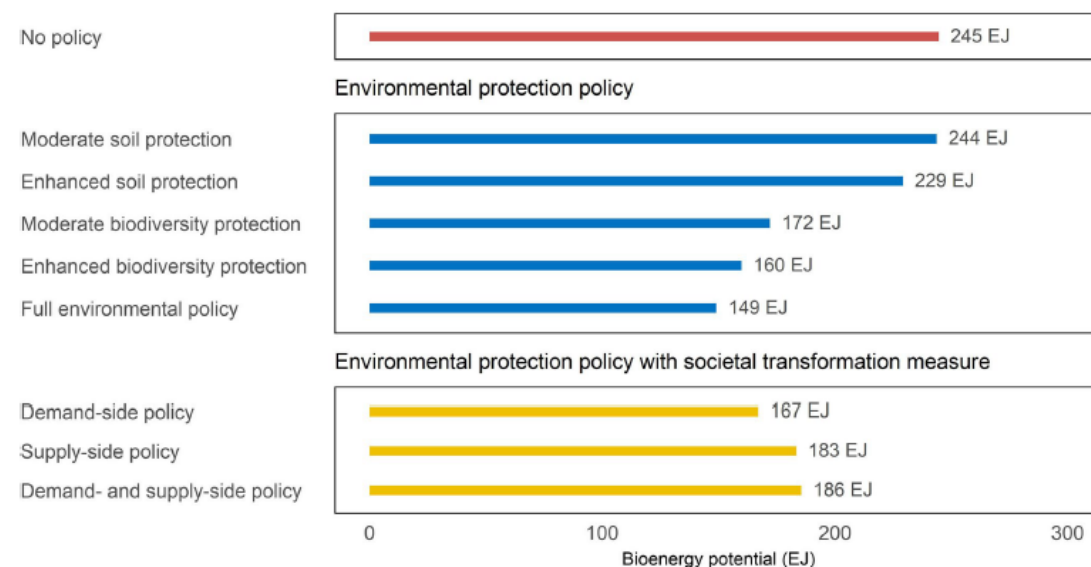
Zoals gezegd is het niet mogelijk om een compleet en kwantitatief overzicht te geven van de effecten van de verschillende bepalende factoren op de biomassabeschikbaarheid. We kunnen de orde grootte van deze effecten en de onzekerheden die deze factoren met zich meebrengen echter wel illustreren aan de hand van enkele concrete voorbeelden uit de literatuur. Deze zijn allen uit studies naar mondiale beschikbaarheid van biomassa, dergelijke analyses zijn niet beschikbaar voor de specifieke situatie in Nederland.

Wu et al (2019) analyseert de mondiale beschikbaarheid van biomassa voor bioenergie bij drie verschillende beleidspakketten:

- een baseline scenario dat uitgaat van zeer beperkt beleid;
- een ‘full environmental policy’ scenario dat verschillende duurzaamheidscriteria omvat zoals uitsluiting van beschermde natuurgebieden en gebieden met hoge biodiversiteit, versterkte bescherming van bodemkwaliteit en biodiversiteit, enz.;
- een ‘societal transformation measures’ beleidsscenario dat uitgaat van een verschuiving van dierlijke naar plantaardige eiwitten, een sterkere groei van landbouwproductiviteit d.m.v. technologische ontwikkeling en een mondiale open markt voor handel van voedsel.

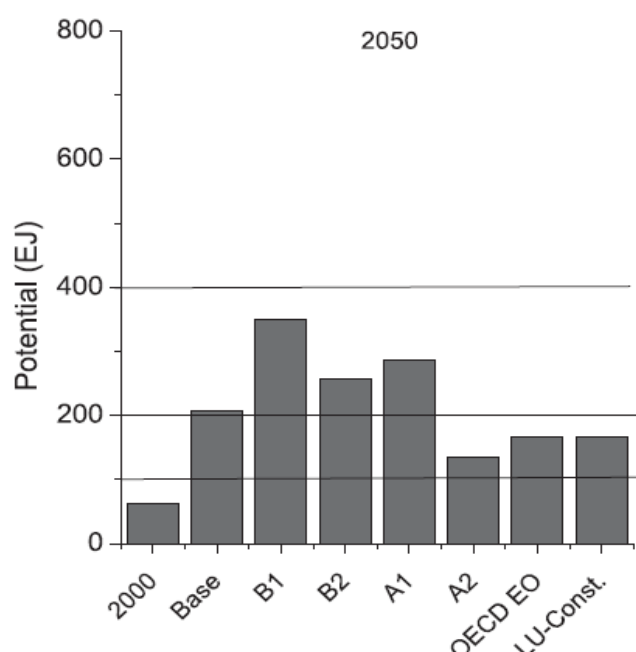
In de laatste twee scenario's is de totale beschikbaarheid van biomassa voor bioenergie respectievelijk ca. 40 en 25% minder dan in het baseline scenario. De resultaten zijn getoond in Figuur 43.

**Figuur 43 - Mondiaal bioenergiepotentieel in 2050, voor verschillende scenario's (Wu, et al., 2019)**



Van Vuuren et.al. (2010) analyseert de effecten van verschillende aannames op het mondiale bio-energiepotentieel. Zo laten de resultaten zien dat het mondiale potentieel van houtachtige bio-energie in 2050 sterk varieert, afhankelijk van de aannames over landgebruik, zie Figuur 44. De verschillende kolommen zijn elk het resultaat van een ander scenario voor 2050 (met uitzondering van de kolom 2000). Onder voor het biomassapotentieel gunstige omstandigheden loopt het potentieel op tot ca. 350 EJ, terwijl het in een ander scenario, met minder gunstige omstandigheden, op minder dan 150 EJ uitkomt. Een belangrijke oorzaak van deze grote range is dat het B1 scenario ervan uitgaat dat grote hoeveelheden ongebruikt landbouwgrond en grasland beschikbaar komt voor bioenergie, terwijl het A2 scenario uitgaat van een sterke groei van landbouwgrond.

Figuur 44 - Effect van verschillende landgebruiksscenario's op het potentieel van houtachtige biomassa voor 2050 (uit (van Vuuren, et al., 2010) de kolom 2000 geeft het potentieel voor de situatie in 2000 weer



De studie gaat ook in op de effecten van enkele andere factoren:

- **Opbrengst** per hectare: Als verder alles constant blijft kan een vergroting van de opbrengst per hectare het bioenergie potentieel meer dan verdubbelen.
- Aannames over het gebruik van **natuurlijke graslanden en bossen**: De mate waarin deze arealen worden gebruikt voor bioenergie productie heeft enerzijds gevolgen voor biodiversiteit, en anderzijds gevolgen voor biomassa beschikbaarheid. Het al dan niet gebruiken van natuurlijke graslanden zorgt voor ca. 100 EJ meer of minder bioenergie van Vuuren et.al. (2010) gaan in hun default scenario's uit 50% gebruik van het totale areaal). Vanwege het grotere areaal aan bossen is de mate waarin ook bossen worden geconverteerd naar biomassaproductie nog sterker bepalend voor de uitkomst: indien 30% van de mondiale bossen wordt geconverteerd kan het potentieel op 500-600 EJ uitkomen, in 2100 (het cijfer voor 2050 is niet gegeven). Dit heeft echter ook grote koolstof-emissies tot gevolg, de bossen verliezen bij conversie een deel van hun koolstofinhoud.
- De gevolgen van diverse **duurzaamheidscriteria** zoals uitsluiting van areaal met een watertekort, areaal met bodemdegradatie of areaal met hoge biodiversiteit op het

bioenergie-potentieel zijn ook onderzocht. Uitsluiting van gebieden met een hoog tot medium watertekort (water scarcity, of water stress) leidt tot een afname van het potentieel van 20 tot 25%. De gevolgen van uitsluiting van grond met hoge of medium bodemdegradatie zijn vergelijkbaar (-10 en -30% respectievelijk). Uitsluiting van gebieden met aantrekkelijke biodiversiteit ('interesting for biodiversity protection') leidt nogmaals tot ca. 20% minder bioenergie beschikbaarheid. Als alle drie de criteria tegelijk worden toegepast neemt het genomen leidt dit tot een reductie van 25 tot 60%.

Ook Dornburg et.al (2008) bevat een analyse van de effecten van diverse contextuele factoren op het mondiale biomassapotentieel. Een selectie van de resultaten:

- **Biodiversiteit** De biodiversiteit neemt af bij grote oppervlakken van hetzelfde gewas zonder rotatie, en restricties in de afname van biodiversiteit verkleinen het biomassapotentieel. De default aanname in deze studie is om alle bosgebied en 50% van de natuurlijke graslanden uit te sluiten. Als dit wordt uitgebreid met alle natuur-gebieden in het jaar 2000, daalt het potentieel 10%, in (Hoogwijk, et al., 2004) zijn deze gebieden al uitgesloten. Het potentieel daalt nog eens 20% als ook de gebieden worden uitgesloten die zijn aangewezen om natuurgebied te worden in het Sustainability First scenario van de Global Environmental Outlook van UNEP.
- **Het soort gewas** De studie geeft dat het potentieel 5-60% kan variëren afhankelijk van het soort gewas. De opbrengst van teelt van houtachtige biomassa is in het algemeen hoger dan van voedselgewassen (in termen van bio-energie per hectare), maar meer informatie wordt niet gegeven.
- **Het eiwitdieet** Een transitie van dierlijk naar plantaardig eiwit zou een 3-4 keer lager landbouwgebruik en een 30-40 keer lager watergebruik tot gevolg kunnen hebben (Aiking, et al., 2006). De invloed hiervan op het biomassapotentieel is niet berekend, maar het is evident dat dit groot zou kunnen zijn. De mondiale trend is echter een van stijgend vleesgebruik in plaats van dalend.
- **Landbouwproductiviteit** Een verhoging van de landbouwproductiviteit van 12,5% over de hele wereld en in alle gebieden geeft een 40% hoger potentieel van houtachtige biomassa, terwijl wereldwijde toepassing van een scenario met hoge economische groei en lage bevolkingsomvang een stijging van 65% geeft.
- **Aannames over landdegradatie** Als gevolg van menselijk handelen kan de bodem te ver aangetast zijn voor de productie van biomassa. Dit is gemodelleerd in het GLASOD model: cat 1-2 is geen of lichte degradatie, cat 3 is serieuze degradatie en cat 4 is vergaande degradatie. Ten opzichte van het gebruik van enkel cat 1-2, kan het potentieel met 22% respectievelijk 8% verhoogd worden als ook cat 3 en cat 4 gebruikt kunnen worden.

## Kostencurves van biomassa

Bij het 'duurzaam-economisch' potentieel van biomassa worden de kosten van het beschikbaar maken van biomassastromen meegewogen, d.w.z., biomassastromen die te duur zijn om in te kopen voor energietoepassingen en materiaal- en grondstoftoepassingen worden niet in het potentieel opgenomen. De kosten variëren tussen verschillende typen biomassastromen en tussen biomassa uit verschillende gebieden. Hoe hoog het 'duurzaam-economisch' potentieel wordt ingeschat hangt daarmee samen met een inschatting van welke biomassahoeveelheden tegen welke kostprijs kunnen worden geleverd en met een schatting van de betalingsbereidheid voor biomassa. Om te kunnen bepalen hoeveel biomassa er in een bepaald geografisch gebied vanuit economisch perspectief beschikbaar is, wordt vaak gebruik gemaakt van kostencurves van aanbod van biomassa. Figuur 45 en Figuur 46 geven hier voorbeelden van. Beschikbare biomassahoeveelheden zijn op de x-as gesorteerd op basis van oplopende kostprijs. Af te lezen is hoeveel biomassa er tegen een



bepaalde kostprijs kan worden verkregen. Kostencurves van aanbod van biomassa verschillen sterk tussen studies, wat het gevolg is van verschillende geografische scope, zichtjaren (en daarmee expliciet of impliciet ook aannames over volwassenheid van conversietechnieken en leercurves daarvan), inschattingen van de ontwikkeling van biomassaprijzen, meegenomen biomassastromen, de gehanteerde duurzaamheidscriteria, en de aannames over de concurrerende invullingen van de vraag die bepalen op welk punt de afkap in de grafiek wordt gezet ten behoeve van het bepalen van het potentieelcijfer. Bij dat laatste spelen ook, voor energetische inzet, inschattingen van de ontwikkeling van de aardolieprijs een rol, alsook aannames over klimaatbeleid, zoals over de ontwikkeling van een CO<sub>2</sub>-prijs en over geboden of verboden t.a.v. de inzet van fossiele brandstoffen. Denk bij dat laatste bijvoorbeeld aan een bijmengverplichting voor hernieuwbare brandstoffen voor mobiliteit en transport zoals geldt in Nederland.

Afhankelijk van de specifieke afbakening, aannames, data en inschattingen komen studies daarom ook tot verschillende ‘duurzaam-economische’ potentieelcijfers.

Figuur 45 - Voorbeeld van kostencurve uit Mai-Moulin et al (2018)

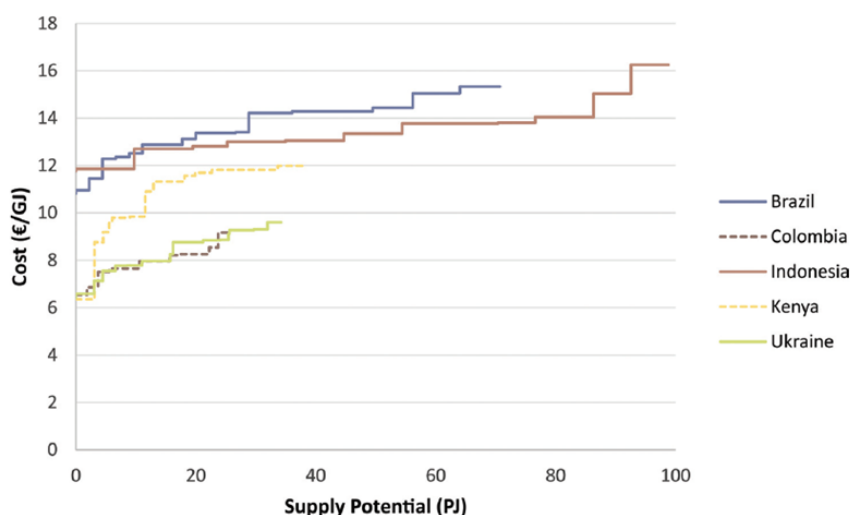


Figure 4. Cost supply curves of export potential (Brazil, Kenya, Ukraine – solid lines) and sustainable surplus potential (Colombia, Kenya – dashed lines) delivered to the Port of Rotterdam in the BAU 2030 scenario.

Figuur 46 - Voorbeeld van kostencurve uit S2Biom project (2017a)

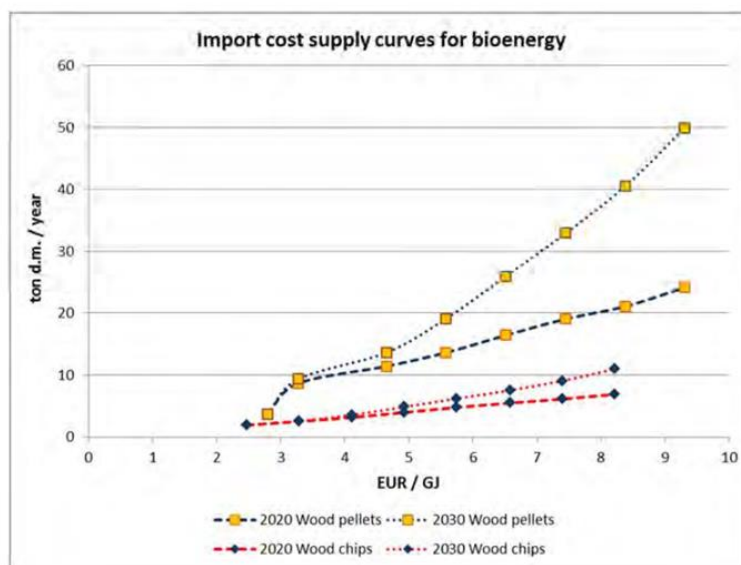
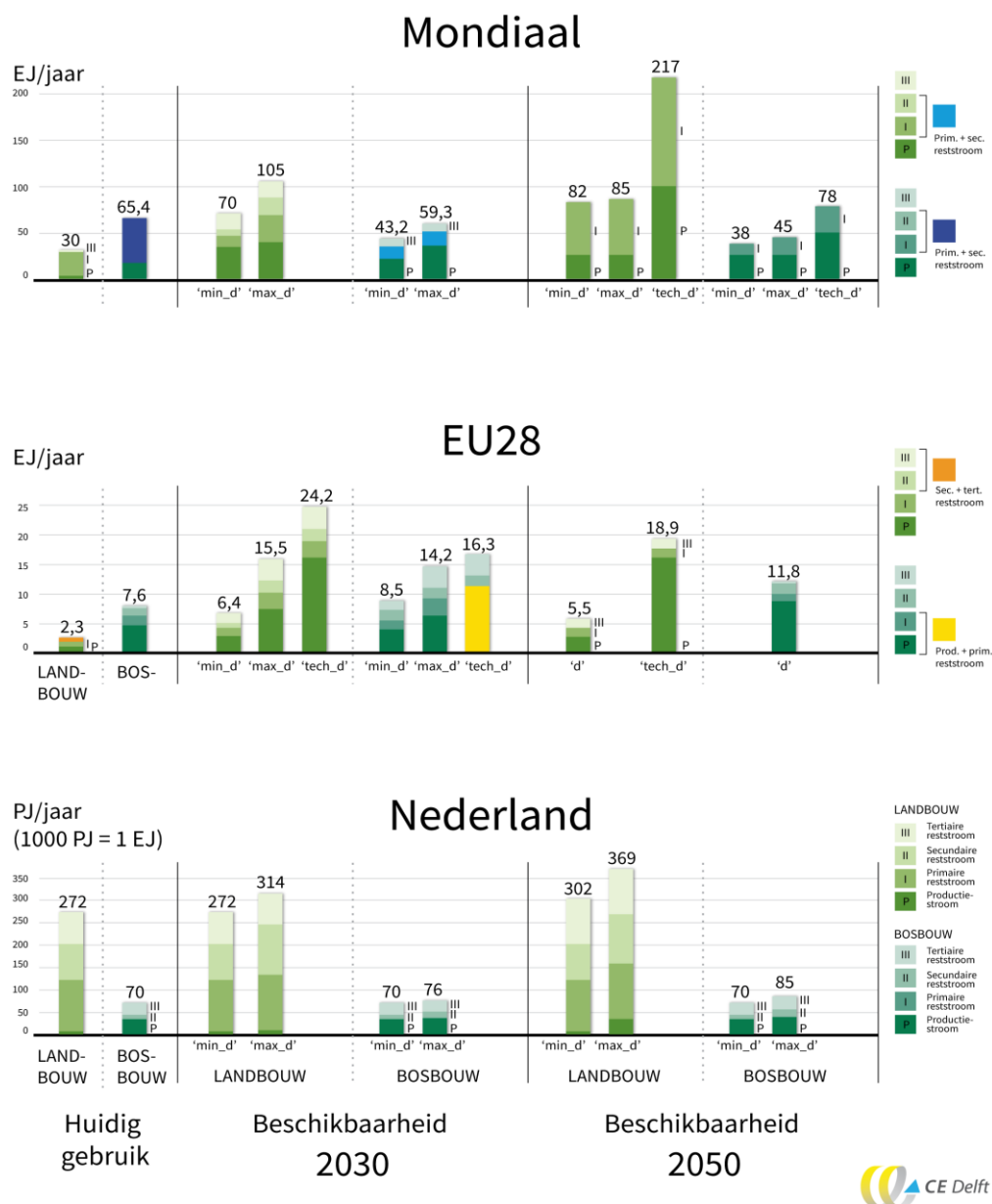


Figure 60: The estimated cost supply curves in 2020 and 2030 for bioenergy. The import potential is defined in terms of import of wood chips and wood pellets [ton dry mass per year], while the price is defined in terms of the cost that a consumer needs to pay for the feedstock [EUR per GJ].

### 3.7 Overzicht beschikbaarheid

Figuur 47 - Overzicht beschikbaarheidscijfers<sup>115</sup>



Wanneer we de beschikbaarheidscijfers totaliseren ontstaan Figuur 47 en Tabel 59. Zoals benoemd bij de verschillende onderdelen zijn er soms geen ranges beschikbaar voor een 'duurzaam' potentieel, alleen een range tussen 'duurzaam\_min' en 'technisch-duurzaam'.

<sup>115</sup> De stromen van 'Nederland; overig' zijn t.b.v. de leesbaarheid en begrijpelijkheid van de figuur meegeteld bij categorie landbouw, als tertiaire reststroom. Van ' huidig' is alleen de kolom met de laagste waarde getoond, om dezelfde reden.

In dat geval is er bij 'duurzaam' maar één waarde opgenomen, die de gevonden onderwaarde representeert.

Tabel 59 - Overzichtstabel biomassabeschikbaarheid (mondiaal en EU28 in EJ/jaar, Nederland in PJ/jaar)

|           |               | Huidig      | 2030               |                      | 2050           |                      | Eenheid        |
|-----------|---------------|-------------|--------------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
|           |               |             | 'Duurzaam'         | 'Technisch-duurzaam' | 'Duurzaam'     | 'Technisch-duurzaam' |                |
| Mondiaal  | Landbouw      | 30          | 70-105             | Nb                   | 82-85          | 217                  | EJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 65,4        | 43,2-59,3          | Nb                   | 38-45          | 78                   | EJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>95,4</b> | <b>113,2-164,4</b> | <b>Nb</b>            | <b>120-130</b> | <b>295</b>           | <b>EJ/jaar</b> |
| EU28      | Landbouw      | 2,3         | 6,4-15,5           | 24,2                 | 5,5            | 18,9                 | EJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 7,6         | 8,5-14,2           | 16,3                 | 11,8           | 11,8                 | EJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>9,9</b>  | <b>14,9-29,7</b>   | <b>40,5</b>          | <b>17,3</b>    | <b>30,7</b>          | <b>EJ/jaar</b> |
| Nederland | Landbouw      | 272         | 272-314            | Nb                   | 302-369        | Nb                   | PJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 70          | 70-76              | Nb                   | 70-85          | Nb                   | PJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>342</b>  | <b>342-390</b>     | <b>Nb</b>            | <b>372-454</b> | <b>Nb</b>            | <b>PJ/jaar</b> |

De ranges in biomassabeschikbaarheid zijn vaak groot. De verschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in aannames over:

- landbouwproductiviteit (dichten van de 'yield gap'), en welke landbouwgewassen er worden geteeld;
- de hoeveelheid land dat beschikbaar is voor de teelt van gewassen voor energie, materialen en chemie;
- hoeveel restmateriaal er op de landbouwgrond moet achterblijven t.b.v. bodemvruchtbaarheid;
- bosbouwproductiviteit (bosbouwmanagementmethodes);
- ingebruikname van gedegradeerde en marginale gronden, en over degradatie van huidige landbouwgrond;
- behoeftes vanuit biodiversiteit, en behoefte aan en beschikbaarheid van water.

Deze factoren zijn deels onderling van elkaar afhankelijk.

Tabel 59 laat zien dat er nog een beperkte groei aan beschikbaarheid van 'duurzame biomassa' in Nederland mogelijk is tot 2050, met circa 100 PJ per jaar (circa +33%), met de kanttekening dat voor de Nederlandse cijfers geldt een groot deel van de huidige beschikbaarheid van reststromen landbouw geen 'vrije beschikbaarheid' betreft maar al wordt ingezet voor veevoer.

Bij bosbouw mondiaal daalt de 'duurzame' beschikbaarheid ten opzichte van het huidige gebruik. Dit is terug te voeren op de genoemde huidige inzet van hout voor onder andere traditionele kookvuren, een gebruik dat meestal als niet duurzaam wordt beschouwd. De technisch-duurzame beschikbaarheid van bosbouwstromen laat wel een groei zien ten opzichte van huidig gebruik, door inzet van verbeterde bosbouwtechnieken en door vergroting van areaal.

De grootste groeimogelijkheden van de beschikbaarheid van 'duurzame biomassa' voor materialen en energietoepassingen zijn er in de EU28 en mondiaal bij landbouwstromen, en dan met name bij de technisch-duurzame beschikbaarheid. Bij de technisch-duurzame beschikbaarheid is onderzocht wat er mogelijk zou kunnen zijn wanneer met moderne landbouwtechnieken de opbrengsten van landbouwgronden worden vergroot waardoor zowel de wereldbevolking kan worden gevoed als ook teelt van energiegewassen ('dedicated crops') kan plaatsvinden.

Voor de EU28 zijn ook dergelijke studies gedaan voor 2030, echter (nog) niet voor 2050, met als gevolg dat de in de literatuur gevonden beschikbaarheidscijfers voor de EU28 in 2050 lager zijn dan in 2030.

De mondiale technisch-duurzame beschikbaarheid van 295 EJ per jaar wordt in de overzichtstudie (Creutzig (2015)) gekenschetst als de bovenwaarde van gemiddelde overeenstemming in de literatuur ('medium agreement', zie Figuur 2

Aquatische biomassa in de vorm van macro-algen<sup>116</sup> ('zeewier') heeft een groot lange termijn (2050) theoretisch mondiaal potentieel oor teelt op oceanen, van ruim 2.000 EJ/jr. Maar in de strook van ondiepe zeeën met waterdiepte minder dan 100 meter, met afstand tot de kust van minder dan 400 km, is het theoretisch mondiaal potentieel 'slechts' 18 EJ/jr. Als we dit vergelijken met de cijfers van de andere mondiale stromen is de constatering is dat 18 EJ weliswaar substantieel is, maar relatief bescheiden ten opzichte van de andere stromen. Ver offshore is er wel een groot potentieel, interessant genoeg om er innovatiestudies naar te (blijven) doen.

---

<sup>116</sup> NB: niet te verwarren met micro-algen, die op land in reactoren worden gekweekt en een vorm van landbouw zijn.

## 4 Behoeftte versus beschikbaarheid

### 4.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de ranges van behoefte en beschikbaarheid vergeleken. Eerst als vergelijking van de gevonden ranges, vervolgens als vergelijking per JFF-stakeholder-perspectief.

Voor het vergelijken van behoefte in Nederland en beschikbaarheid in Nederland levert dat cijfers op van eenzelfde ordegrrootte. Het vergelijken van de behoefte in Nederland met mogelijke import vanuit de EU28 of mondiaal -beide onderdeel van de scope van de studie- levert echter cijfervergelijkingen op van ongelijke grootte-orde, de ene uitgedrukt in EJ/jaar, de andere in PJ/jaar, oftewel een factor 1.000 kleiner in de gehanteerde eenheid.

Ter illustratie zijn in Tabel 60 enkele mondiale grondstofstromen opgenomen, met het aandeel dat Nederland daarin heeft. Koploper is cacao, waarvan de Nederlandse industrie 25% van de mondiale productie verwerkt. Het onderste deel van de tabel bevat het mondiale aandeel van Nederland in het mondiale landoppervlak, capita en BNP.

Tabel 60 - Aandeel Nederland in enkele mondiale grondstofstromen<sup>117</sup>, ter illustratie

| Grondstofstroom                                    | Aandeel Nederland in de wereld                                              |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Cacao                                              | 25% (huidig aandeel gebruik door Nederlandse industrie)                     |
| Soja                                               | 0,74% (huidig aandeel gebruik in Nederland, vooral sojaschroot als veevoer) |
| IJzererts                                          | 0,5% (huidig, o.b.v. productie ruwstaal)                                    |
| <b>Ter vergelijking</b>                            |                                                                             |
| Landoppervlak Nederland t.o.v. wereldlandoppervlak | 0,03%                                                                       |
| Huidig inwonertal Nederland t.o.v. wereldbevolking | 0,22%                                                                       |
| Huidig BNP Nederland t.o.v. mondiale BNP           | 1,01%                                                                       |

### 4.2 Vergelijking behoefte en beschikbaarheid van duurzame biomassa

#### Nederland

Kijkend naar de totalen van behoefte en beschikbaarheid in Nederland valt op dat in 2030 de onderkant van de behoefte-range (350 PJ/jr) min of meer overeenkomt met de onderkant van de beschikbaarheidsrange (342 PJ/jr), en lager ligt dan de bovenkant van die range. In 2050 ligt de onderkant van de behoefterange (486 PJ/jr) boven de bovenkant van de beschikbaarheidsrange (454 PJ/jr). Met bij die vergelijkingen de kanttekening dat huidige stromen al grotendeels in gebruik zijn, de 'vrije beschikbaarheid' bedraagt circa 50 PJ/jr. De bovengrenzen van de behoefteranges zijn een Factor 5 (in 2030) tot 9 (in 2050) hoger dan de bovengrenzen van de Nederlandse beschikbaarheid.

Dat leidt tot de conclusie dat Nederland waarschijnlijk niet in de eigen behoefte aan duurzame biomassa voor energie, brandstoffen en materialen kan voorzien. Oplossingen

<sup>117</sup> Eigen berekeningen CE Delft.

voor die situatie zijn ofwel importen, ofwel bepaalde toepassingen uitsluiten, ofwel sterk sturen op verkleinen van de behoefte aan een toepassing en het inzetten op alternatieven; die laatste twee in dat geval tot buiten de grenzen van de in de literatuur gevonden ranges. Daarbij is relevant dat de in de ondergrens van de totale behoefte in 2050 de behoeftes aan biomassa voor warmte voor de industrie, warmte voor de gebouwde omgeving en voor elektriciteitsproductie al op nul staan. De resterende behoeftes in die ondergrens komen uit de feedstock voor de chemische industrie, brandstof voor mobiliteit en transport, materialen, en toepassing in de landbouw.

## Hout voor de bouw en voor verpakkingsmateriaal

Kijken we sec naar behoefte aan en beschikbaarheid van hout in Nederland, voor de bouw en voor verpakkingsmateriaal, dan volgt dat de behoefte van circa 97 PJ/jr (waarvan 79 PJ/jr voor gebruik in woning- en utiliteitbouw) ruimschoots groter is dan de binnenlandse beschikbaarheid productiestroom bosbouw, van 35-40 PJ/jr in 2050. Nederland moet hout importeren om in de behoefte te voorzien. Dat is ook de huidige praktijk, en is niet verwonderlijk gezien de landschapsinrichting in Nederland. Een eventuele toename van het gebruik van hout als constructiemateriaal leidt tot verdere groei van die importstroom.

## Vergelijk van behoefte in Nederland met beschikbaarheid in EU28 en mondiaal

De besproken stroom van productie bosbouw is gekoppeld aan de toepassing van hout als subcategorie bij materiaaltoepassingen. Voor de andere stromen is die eenduidige koppeling er niet, zoals ook beschreven staat in Hoofdstuk 2. Verschillende soorten biomassa kunnen, via verschillende conversieroutes, worden ingezet voor de toepassingen. Wat wel mogelijk is op basis van de cijfers, is het vergelijken van totale behoefte in Nederland met totale beschikbaarheid in EU28 en mondiaal, en dat uitdrukken als percentage zoals ook gedaan bij de houtvraag.

Om dat op een zinvolle manier te kunnen doen moeten drie correcties worden toegepast:

1. Houtvraag (de bovengenoemde 97 PJ/jr) aftrekken van de totale behoefte, omdat dit alleen koppelt aan de productie bosbouw.
2. Productie bosbouw aftrekken van de totale beschikbaarheid, omdat dit alleen koppelt aan de houtvraag.
3. Toepassing in de landbouw aftrekken van de totale behoefte. Dat is nodig omdat in de beschikbaarheidscijfers landbouwstromen mondiaal en EU28 in de beschouwde scenario-studies al aannames zijn gedaan dat een deel van de primaire reststroom landbouw op het land achterblijft ten behoeve van de bodemvruchtbaarheid.

De resultaten leveren een complexe tabel op, met zowel ranges aan de behoeftezijde als ranges aan de beschikbaarheidszijde, en met waarden voor 2030 en 2050, en voor mondiale beschikbaarheid en de EU28. In Tabel 61 staan de waarden uitgedrukt in percentages (behoefte gedeeld door beschikbaarheid).

Tabel 61 - Vergelijking van behoefte en beschikbaarheid, uitgedrukt in percentages

|      |          | Bij minimale behoefte |                      | Bij maximale behoefte |                      |
|------|----------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|      |          | 'Duurzaam'            | 'Technisch-duurzaam' | 'Duurzaam'            | 'Technisch-duurzaam' |
| 2030 | Mondiaal | 0,1-0,2%              | Nb                   | 1,4-1,9%              | Nb                   |
|      | EU28     | 0,7-1,5%              | 0,5%                 | 7,4-15,7%             | 5,1%                 |
| 2050 | Mondiaal | 0,3-0,3%              | 0,1%                 | 3,8-4,2%              | 1,6%                 |
|      | EU28     | 3,4%                  | 1,4%                 | 45,1%                 | 17,9%                |

De vergelijking van beschikbaarheid in de EU28 en mondiaal met de behoefte in Nederland leert dat de behoefte aan 'duurzame biomassa' lager ligt dan de beschikbaarheid in de EU28 en zeker lager dan de beschikbaarheid mondiaal, ook waar het de bovenkant van de range aan behoeftes betreft. Het betekent dat de benodigde importen althans fysiek mogelijk zijn, en dat het vervolgens een kwestie van ethiek (de 'fair share' discussie) en van markteconomische risico-afwegingen is waar Nederland met het beleid op in wil zetten.

Het punt van risico-afweging kan bij wijze van 'worstcasescenario' worden geïllustreerd door de som van de *bovenzijde* van de ranges van de behoefte delen door het totaal van de *minimaal*\_duurzame beschikbaarheid. Mondiaal komt die deling uit op 1,9% in 2030 en 4,2% in 2050. Wanneer de import wordt beperkt tot de EU28 komt die deling voor 2030 uit op 16% en voor 2050 op 45%. Deze percentages zijn fors lager wanneer gedeeld wordt door de maximaal\_duurzame of technisch-duurzame beschikbaarheid, en/of gerekend wordt met de som van de onderzijde van de behoeftes. Die combinaties komen in 2050 uit op 0,1% mondiaal respectievelijk 1,4% van het EU28 technisch-duurzaam potentieel. Vanwege die grote range met relatief hoge bovenzijdes bevelen we aan om te werken aan vergroting van de beschikbaarheid van duurzame biomassa en aan vermindering van de behoefte er aan.

#### 4.3 Vergelijking behoefte en beschikbaarheid van duurzame biomassa per JFF-perspectief

De verschillende JFF-stakeholderperspectieven kijken elk op een andere manier tegen de behoeftes en de beschikbare stromen van duurzame biomassa aan. De toedeling van de cijfers staat toegelicht in Bijlage F en is samengevat in Tabel 62.

Tabel 62 - Koppeling van cijfers beschikbaarheid en behoefte aan de vijf perspectieven

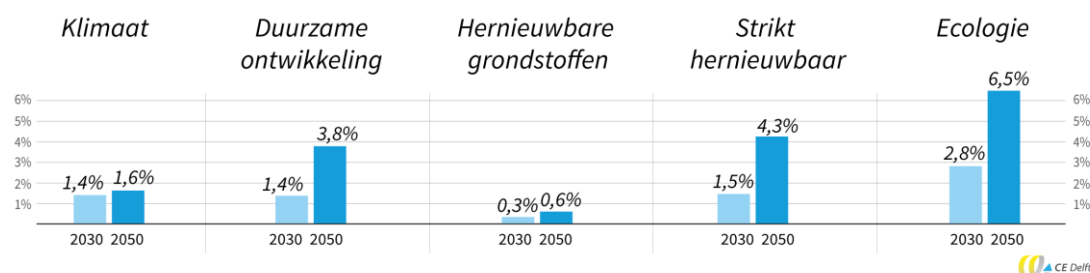
| Perspectief                                                       | Beschikbaarheid biomassa                                                                   | Toepassingen (behoefte aan biomassa)                                        |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Klimaat                                                           | Import: Mondiaal<br>Technisch-duurzaam                                                     | Bovenkant ranges                                                            |
| Duurzame ontwikkeling                                             | Import: Mondiaal<br>Max_duurzaam                                                           | Bovenkant ranges                                                            |
| Hernieuwbare grondstoffen                                         | Import: Mondiaal<br>Max_duurzaam                                                           | Onderkant ranges bij 'energie'<br>Feedstock en materialen: bovenkant ranges |
| Strikt hernieuwbaar (met focus op zon, wind, en groene waterstof) | Import: EU28<br>Max_duurzaam                                                               | 2030: onderkant ranges<br>2050: geen biomassa-inzet meer voor 'energie'     |
| Ecologie                                                          | Import: EU28<br>Min_duurzaam<br>Niet productiestroom landbouw<br>Niet primaire reststromen | Onderkant ranges<br>Bovenkant range bij toepassing in de landbouw           |

In plaats van de complexe ranges uit Tabel 61 leveren de verschillende perspectieven elk een eigen percentage van behoefte gedeeld door de beschikbaarheid. De resultaten daarvan staan in Tabel 63 en Figuur 48. Daarin zijn de drie genoemde correcties (voor hout-productie, houtvraag, en voor toepassing in de landbouw tbv bodemvruchtbaarheid) verwerkt.

Tabel 63 - Beschikbaarheid en behoefte per perspectief, in 2030 en 2050, in EJ/jaar respectievelijk PJ/jaar, en als percentage. Cijfers in de tabel zijn afgerond

|                            | Klimaat         | Strikt<br>hernieuwbaar | Ecologie    | Duurzame<br>ontwikkeling | Hernieuwbare<br>grondstoffen |       |
|----------------------------|-----------------|------------------------|-------------|--------------------------|------------------------------|-------|
| <b>Importmogelijkheid:</b> | <b>Mondiaal</b> | <b>EU28</b>            | <b>EU28</b> | <b>Mondiaal</b>          | <b>Mondiaal</b>              |       |
| <b>2030</b>                |                 |                        |             |                          |                              |       |
| Beschikbaarheid            | 129             | 24                     | 6           | 129                      | 129                          | EJ/jr |
| Behoefte                   | 1.758           | 360                    | 163         | 1.758                    | 360                          | PJ/jr |
| Behoefte/Beschikbaarheid   | 1,4%            | 1,5%                   | 2,8%        | 1,4%                     | 0,3%                         | %     |
| <b>2050</b>                |                 |                        |             |                          |                              |       |
| Beschikbaarheid            | 245             | 10                     | 5           | 105                      | 105                          | EJ/jr |
| Behoefte                   | 3.973           | 414                    | 300         | 3.973                    | 578                          | PJ/jr |
| Behoefte/Beschikbaarheid   | 1,6%            | 4,3%                   | 6,5%        | 3,8%                     | 0,6%                         | %     |

Figuur 48 - Behoefte en beschikbaarheid per perspectief, uitgedrukt als percentage



De onderlinge verschillen tussen beschikbaarheden en tussen behoeftes in de perspectieven zijn groot. Maar de figuur laat tevens zien dat de percentages van behoefte gedeeld door beschikbaarheid minder uit elkaar liggen dan men op het eerste gezicht op basis van de beschikbaarheden zou verwachten. Dat komt doordat we bij de perspectieven ‘klimaat’ en ‘duurzame ontwikkeling’ zijn uitgegaan van zowel hoge behoeftes aan ‘duurzame biomassa’ als hoge beschikbaarheden. Bij de perspectieven ‘strikt hernieuwbaar’ en ‘ecologie’ zijn we uitgegaan van zowel lage behoeftes als lage beschikbaarheden, en met importen alleen uit de EU28. Het perspectief ‘hernieuwbare grondstoffen’ zit daar tussenin en koppelt een relatief hoge beschikbaarheid aan een relatief lage behoefte.

De figuur illustreert voor een deel de soms felle discussies over biomassa tussen personen die redeneren vanuit verschillende zienswijzes. Zoals tussen perspectief ‘klimaat’ met grote behoeftes aan ‘duurzame biomassa’ ten behoeve van het oplossen van het klimaatprobleem en het perspectief ‘ecologie’ met kleine beschikbaarheden vanuit het oogpunt van ecologie en biodiversiteit.

# 5 Conclusies en aanbevelingen

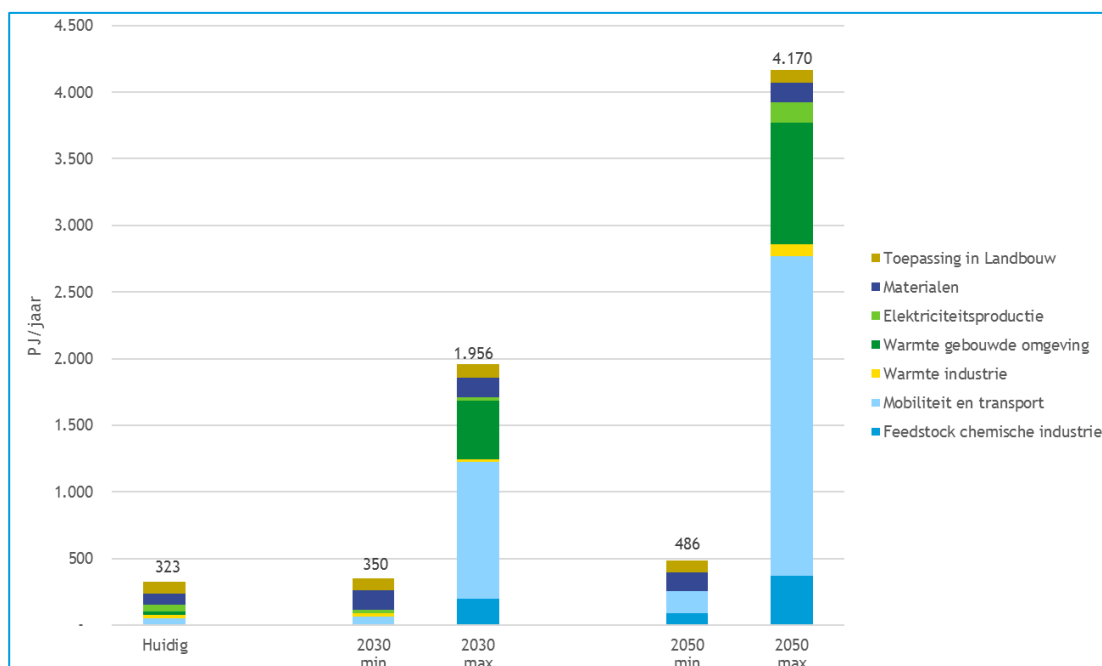
## 5.1 Conclusies

De literatuur geeft grote ranges in de cijfers voor de toekomstige beschikbaarheid van en behoefte aan ‘duurzame biomassa’, afhankelijk van aannames die in de studies worden gedaan, maar ook afhankelijk van het soort perspectief: maximalisaties, redenerend vanuit kansen, of minimalisaties, redenerend vanuit risico's.

### Behoefte

De totale behoefte aan duurzame biomassa in Nederland varieert in 2030 tussen de circa 350 en 2.000 PJ/jr en in 2050 tussen de circa 500-4.200 PJ/jaar. Zie Figuur 49 en Tabel 64 voor de uitsplitsing naar de verschillende hoofdtoepassingen.

Figuur 49 - Totale biomassabehoefte in Nederland, naar hoofdtoepassing, in PJ/jaar



Tabel 64 - Cijfermatig overzicht van de biomassabehoefte in Nederland voor de verschillende toepassingen (in PJ/jaar primaire energie)

|                                                  | Huidig | 2030 min. | 2030 max. | 2050 min. | 2050 max. |
|--------------------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Feedstock chemische industrie                    | 3      | 3         | 200       | 90        | 368       |
| Mobiliteit en transport                          | 49     | 62        | 1.022     | 164       | 2.402     |
| Warmtebehoefte industrie                         | 24     | 23        | 23        | -         | 88        |
| Warmtebehoefte gebouwde omgeving en glastuinbouw | 25     | -         | 438       | -         | 911       |
| Elektriciteitsproductie                          | 50     | 30        | 30        | -         | 159       |

|                        | Huidig     | 2030<br>min. | 2030<br>max. | 2050<br>min.    | 2050<br>max.      |
|------------------------|------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|
| Materialen             | 83         | 143          | 143          | > 143           | > 143             |
| Toepassing in Landbouw | 90         | 90           | 101          | 90              | 101               |
| <b>Totaal</b>          | <b>323</b> | <b>350</b>   | <b>1.956</b> | <b>&gt; 486</b> | <b>&gt; 4.170</b> |

De ranges in de behoeftes zijn groot. De som van de onderkant van de behoeftes groeit tot 2050 met een Factor 1,5, van 323 naar 486 PJ per jaar. De som van de bovenkant van de behoeftes groeit tot 2030 met een Factor 6 en tot 2050 met een Factor 13. Aan de bovenkant van de ranges hebben de energietoepassingen (incl. brandstof voor mobiliteit en transport) het grootste aandeel, van 46% huidig naar 77% in 2030 en 85% in 2050. Aan de onderkant van de range daalt dat aandeel 'energie' naar 33-34% en hebben de 'materialen-toepassingen' het grootste aandeel in 2030 en 2050. In die onderkant van de ranges is de behoefte aan biomassa voor warmte voor de gebouwde omgeving, warmte voor de industrie en elektriciteitsproductie zowel in 2030 als in 2050 gelijk aan nul, doordat voor die toepassingen in die scenario's andere technieken worden ingezet. Bij de cijfers hoort nog de kanttekening dat er geen scenario's beschikbaar zijn over de ontwikkeling van de omvang van materiaaltoepassingen tussen 2030 en 2050. In de grafiek zijn die waardes om die reden op de 2030-waardes gehouden.

De grootste procentuele groei ontstaat bij de toepassing als feedstock in de chemische industrie: tot 2030 met een Factor 80 en tot 2050 met een Factor 150 (beide bij bovenkant van de range). De grootste ranges in omvang ontstaan bij de toepassingen 'mobiliteit en transport' en bij 'warmte gebouwde omgeving'. Bij 'warmte gebouwde omgeving' is de onderkant van de range nul in zowel 2030 als 2050, en de bovenkant van de range stijgt van de huidige 25 PJ/jaar naar ruim 400 en ruim 900 PJ/jaar in respectievelijk 2030 en 2050. Het betreft voor het overgrote deel inzet in de vorm van groengas, waarvoor in de betreffende scenario's grootschalige importstromen nodig zijn.

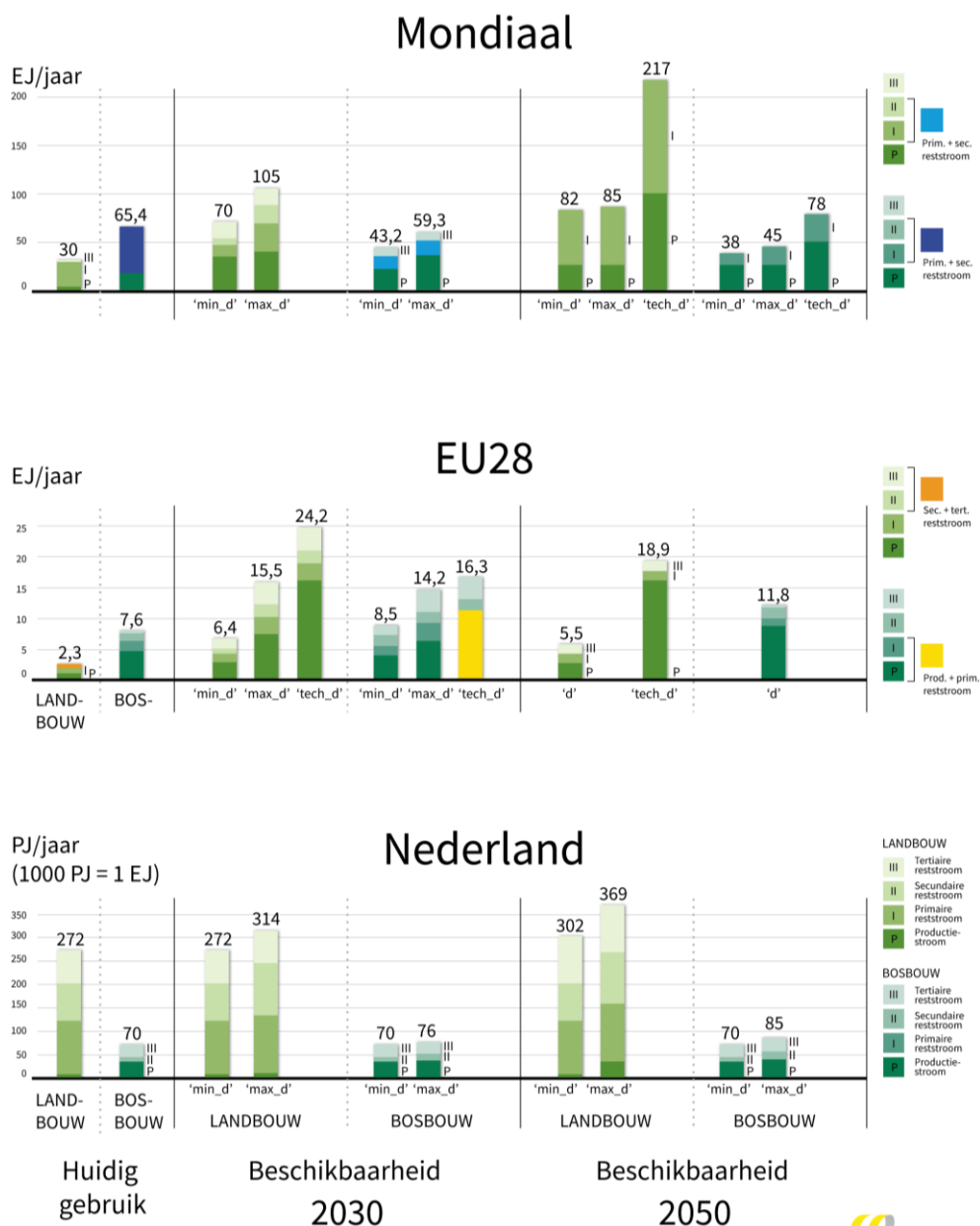
'Mobiliteit en transport' vormt het grootste aandeel in de bovenkanten van de ranges in 2030 en 2050. In absolute waardes zijn de ranges bij die toepassing het grootst. Het grootste deel daarvan is voor bunkers van scheepvaart en luchtvaart (bovenkant range in 2050: in totaal 81% voor bunkers, waarvan circa 10% voor luchtvaart en circa 70% voor scheepvaart). De grote ranges bij die toepassing komen enerzijds door verschillen in aannames over de omvang van de totale brandstofbehoefte van met name luchtvaart en scheepvaart, en door verschillen in aannames over de mate waarin daarin door biogene brandstof wordt voorzien.

Uitgezonderd de toepassing van hout – als subcategorie bij materiaaltoepassingen, die gekoppeld is aan de productiestroom bosbouw – is er bij de andere toepassingen niet zo'n eenduidige koppeling. Verschillende soorten biomassa kunnen, via verschillende conversieroutes, worden ingezet voor de toepassingen. We kunnen om die reden wel een totale beschikbaarheid geven, met onderverdeling naar toepassing, maar niet een onderverdeling naar biomassastroom.

## Beschikbaarheid

De resultaten over de beschikbaarheid van 'duurzame biomassa' staan weergegeven in Figuur 50 en Tabel 65 voor landbouw- en bosbouwstromen.

Figuur 50 - Overzicht beschikbaarheidscijfers<sup>118</sup>



<sup>118</sup> De stromen van 'Nederland; overig' zijn t.b.v. de leesbaarheid van de figuur meegeteld bij categorie landbouw, als tertiaire reststroom.

Tabel 65 - Overzichtstabel biomassabeschikbaarheid (mondiaal en EU28 in EJ/jaar, Nederland in PJ/jaar)

|           |               | Huidig      | 2030               |                      | 2050           |                      | Eenheid        |
|-----------|---------------|-------------|--------------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
|           |               |             | 'Duurzaam'         | 'Technisch-duurzaam' | 'Duurzaam'     | 'Technisch-duurzaam' |                |
| Mondiaal  | Landbouw      | 30          | 70-105             | Nb                   | 82-85          | 217                  | EJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 65,4        | 43,2-59,3          | Nb                   | 38-45          | 78                   | EJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>95,4</b> | <b>113,2-164,4</b> | <b>Nb</b>            | <b>120-130</b> | <b>295</b>           | <b>EJ/jaar</b> |
| EU28      | Landbouw      | 2,3         | 6,4-15,5           | 24,2                 | 5,5            | 18,9                 | EJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 7,6         | 8,5-14,2           | 16,3                 | 11,8           | 11,8                 | EJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>9,9</b>  | <b>14,9-29,7</b>   | <b>40,5</b>          | <b>17,3</b>    | <b>30,7</b>          | <b>EJ/jaar</b> |
| Nederland | Landbouw      | 272         | 272-314            | Nb                   | 302-369        | Nb                   | PJ/jaar        |
|           | Bosbouw       | 70          | 70-76              | Nb                   | 70-85          | Nb                   | PJ/jaar        |
|           | <b>Totaal</b> | <b>342</b>  | <b>342-390</b>     | <b>Nb</b>            | <b>372-454</b> | <b>Nb</b>            | <b>PJ/jaar</b> |

De ranges in biomassabeschikbaarheid zijn vaak groot. De verschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in aannames over:

- landbouwproductiviteit (dichten van de 'yield gap'), en welke landbouwgewassen er worden geteeld;
- de hoeveelheid land dat beschikbaar is voor de teelt van gewassen voor energie, materialen en chemie;
- hoeveel restmateriaal er op de landbouwgrond moet achterblijven t.b.v. bodemvruchtbaarheid;
- bosbouwproductiviteit (bosbouwmanagementmethodes);
- ingebruikname van gedegradeerde en marginale gronden, en over degradatie van huidige landbouwgrond;
- behoeftes vanuit biodiversiteit, en behoefte aan en beschikbaarheid van water.

Deze factoren zijn deels onderling van elkaar afhankelijk.

Tabel 65 laat zien dat er nog een beperkte groei aan beschikbaarheid van 'duurzame biomassa' in Nederland mogelijk is tot 2050, met circa 100 PJ per jaar (circa +33%). De mondiale totalen laten een groeimogelijkheid zien met een Factor 3 tot 2050, van huidig gebruik naar technisch-duurzame beschikbaarheid in 2050. Bij mondiaal max\_duurzaam is die groeimogelijkheid een Factor 1,4.

Bij bosbouw mondiaal daalt de 'duurzame' beschikbaarheid ten opzichte van het huidig gebruik. Dit is terug te voeren op de genoemde huidige inzet van hout voor onder andere traditionele kookvuren, een gebruik dat meestal als niet duurzaam wordt beschouwd. De technisch-duurzame beschikbaarheid van bosbouwstromen laat wel een groei zien ten opzichte van huidig gebruik, door inzet van verbeterde bosbouwtechnieken en door vergroting van areaal.

De grootste groeimogelijkheden van de beschikbaarheid van 'duurzame biomassa' voor materialen en energietoepassingen zijn er in de EU28 en mondiaal bij landbouwstromen, en dan met name bij de technisch-duurzame beschikbaarheid. Bij de technisch-duurzame beschikbaarheid is onderzocht wat er mogelijk zou kunnen zijn wanneer met moderne landbouwtechnieken de opbrengsten van landbouwgronden worden vergroot waardoor zowel de wereldbevolking kan worden gevoed als ook teelt van energiegewassen ('dedicated crops') kan plaatsvinden.

Voor de EU28 zijn ook dergelijke studies gedaan voor 2030, echter (nog) niet voor 2050, met als gevolg dat de in de literatuur gevonden beschikbaarheidscijfers voor de EU28 in 2050 lager zijn dan in 2030.

De mondiale technisch-duurzame beschikbaarheid van 295 EJ per jaar wordt in de overzichtstudie (Creutzig (2015)) gekenschetst als de bovenwaarde van gemiddelde overeenstemming in de literatuur ('medium agreement', zie ook Figuur 2 op pagina 7).

Aquatische biomassa in de vorm van macro-algen<sup>119</sup> ('zeewier') heeft een groot lange termijn (2050) theoretisch mondiaal potentieel voor teelt op oceanen, van ruim 2.000 EJ/jr. Maar in de strook van ondiepe zeeën met waterdiepte minder dan 100 meter, met afstand tot de kust van minder dan 400 km, is het theoretisch mondiaal potentieel 'slechts' 18 EJ/jr. Als we dit vergelijken met de cijfers van de andere mondiale stromen is de constatering is dat 18 EJ weliswaar substantieel is, maar relatief bescheiden ten opzichte van de andere stromen. Ver offshore is er wel een groot potentieel, interessant genoeg om er innovatiestudies naar te (blijven) doen.

## Vergelijken van behoefte en beschikbaarheid

Als we de hoeveelheid biomassa die in Nederland beschikbaar kan komen (uitgedrukt in PJ per jaar) vergelijken met de verwachte behoefte aan biomassa, concluderen we dat Nederland in 2050 – en waarschijnlijk ook al in 2030 – een kleine tot grootschalige importeur van duurzame biomassa voor de beschouwde toepassingen zal zijn. Uiteraard tenzij er geheel andere beleidskeuzes worden gemaakt dan nu verondersteld bij de behoefteramingen. Bij deze conclusie geldt ook de kanttekening dat bij het bepalen van de som van de behoeftes geen economische verkenning is uitgevoerd van mogelijke prijseffecten tussen sectoren. De conclusie voor 2050 geldt echter al voor de som van de ondergrenzen van de behoeftes vanuit de verschillende sectoren.

Voor de houtbehoefte van Nederland (voor de bouw en voor verpakkingsmateriaal) geldt hetzelfde: Nederland moet hout importeren om in de behoefte te voorzien. Dat is ook de huidige praktijk, en is niet verwonderlijk gezien de landschapsinrichting in Nederland. Een eventuele toename van het gebruik van hout als constructiemateriaal leidt tot verdere groei van die importstroom.

De vergelijking van beschikbaarheid in de EU28 en mondiaal met de behoefte in Nederland leert dat de behoefte aan 'duurzame biomassa' lager ligt dan de beschikbaarheid in de EU28 en zeker lager dan de beschikbaarheid mondiaal, ook waar het de bovenkant van de range aan behoeftes betreft. Dat lijkt op het eerste gezicht wellicht een open deur maar is wel een belangrijk feit. Het betekent dat de benodigde importen althans fysiek mogelijk zijn, en dat het vervolgens een kwestie van ethiek (de 'fair share' discussie) en van markteconomische risico-afwegingen is waar Nederland met het beleid op in wil zetten.

Het punt van risico-afweging kan bij wijze van 'worstcasescenario' worden geïllustreerd door de som van de *bovenzijde* van de ranges van de behoefte delen door het totaal van de *minimaal*\_duurzame beschikbaarheid. Mondiaal komt die deling uit op 1,9% in 2030 en 4,2% in 2050. Wanneer de import wordt beperkt tot de EU28 komt die deling voor 2030 uit op 16% en voor 2050 op 45%. Deze percentages zijn fors lager wanneer gedeeld wordt door de maximaal\_duurzame of technisch-duurzame beschikbaarheid, en/of gerekend wordt met de

<sup>119</sup> NB: niet te verwarren met micro-algen, die op land in reactoren worden gekweekt en een vorm van landbouw zijn.

som van de onderzijde van de behoeftes. Die combinaties komen in 2050 uit op 0,1% mondiaal respectievelijk 1,4% van het EU28 technisch-duurzaam potentieel. Vanwege die grote range met relatief hoge bovenzijdes bevelen we aan om te werken aan vergroting van de beschikbaarheid van duurzame biomassa en aan vermindering van de behoefte er aan.

Om een nette vergelijking te kunnen maken tussen de cijfers over de behoefte in Nederland en de beschikbaarheid mondiaal en in de EU28 hebben we drie correcties toegepast:

1. Behoeftes aan (zaag)hout aftrekken van de totale behoefte, omdat dit alleen koppelt aan de productie bosbouw. De correctie bedraagt 97 PJ/jr.
2. Productie bosbouw aftrekken van de totale beschikbaarheid, omdat dit alleen koppelt aan de houtvraag.
3. Toepassing in de landbouw aftrekken van de totale behoefte. Dat is nodig omdat in de beschikbaarheidscijfers landbouwstromen mondiaal en EU28 in de beschouwde scenariostudies al aannames zijn gedaan dat een deel van de primaire reststroom landbouw op het land achterblijft ten behoeve van de bodemvruchtbaarheid.

Als we deze drie correcties doorvoeren op de cijfers en vervolgens de behoefte delen door de beschikbaarheid in de EU28 en mondiaal dan resulteren de cijfers in Tabel 66.

Tabel 66 - Vergelijking behoefte en beschikbaarheid, uitgedrukt in percentages

|      |          | Bij minimale behoefte |                      | Bij maximale behoefte |                      |
|------|----------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|      |          | 'Duurzaam'            | 'Technisch-duurzaam' | 'Duurzaam'            | 'Technisch-duurzaam' |
| 2030 | Mondiaal | 0,1%-0,2%             | Nb                   | 1,4%-1,9%             | Nb                   |
|      | EU28     | 0,7%-1,5%             | 0,5%                 | 7,4%-15,7%            | 5,1%                 |
| 2050 | Mondiaal | 0,3%-0,3%             | 0,1%                 | 3,8%-4,2%             | 1,6%                 |
|      | EU28     | 3,4%                  | 1,4%                 | 45,1%                 | 17,9%                |

De vergelijking van beschikbaarheid in de EU28 en mondiaal met de behoefte in Nederland leert dat de behoefte aan 'duurzame biomassa' lager ligt dan de beschikbaarheid in de EU28 en zeker lager dan de beschikbaarheid mondiaal, ook waar het de bovenkant van de range aan behoeftes betreft. Het betekent dat de benodigde importen althans fysiek mogelijk zijn, en dat het vervolgens een kwestie van ethiek (de 'fair share' discussie) en van markteconomische risico-afwegingen is waar Nederland met het beleid op in wil zetten.

Het punt van risico-afweging kan bij wijze van 'worstcasescenario' worden geïllustreerd door de som van de *bovenzijde* van de ranges van de behoefte delen door het totaal van de *minimaal*\_duurzame beschikbaarheid. Mondiaal komt die deling uit op 1,9% in 2030 en 4,2% in 2050. Wanneer de import wordt beperkt tot de EU28 komt die deling voor 2030 uit op 16% en voor 2050 op 45%. Deze percentages zijn fors lager wanneer gedeeld wordt door de maximaal\_duurzame of technisch-duurzame beschikbaarheid, en/of gerekend wordt met de som van de onderzijde van de behoeftes. Die combinaties komen in 2050 uit op 0,1% mondiaal respectievelijk 1,4% van het EU28 technisch-duurzaam potentieel. Vanwege die grote range met relatief hoge bovenzijdes bevelen we aan om te werken aan vergroting van de beschikbaarheid van duurzame biomassa en aan vermindering van de behoefte er aan.

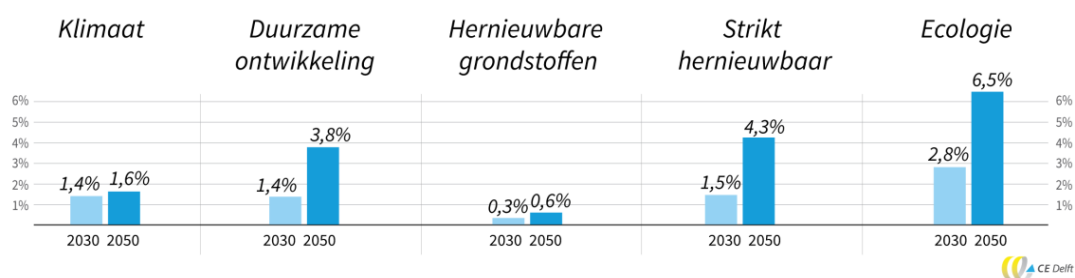
Om meer duiding te kunnen geven in het vergelijken van behoefte en beschikbaarheid maken we gebruik van de vijf verschillende stakeholderperspectieven die in de JFF-studie zijn onderscheiden. Die kijken elk op een andere manier aan tegen importen, tegen de inzet van de verschillende soorten biomassa, en tegen de verschillende toepassings-mogelijkheden. De perspectieven zelf staan uitgebreid beschreven in de eindrapportage van

het JFF-proces (Gemeynt, 2020). De koppeling van de perspectieven met de cijfers staat beschreven in Bijlage F. De resultaten van die koppeling staan in Tabel 67, Figuur 51 en in de overzichtsfiguur Figuur 52. Op de cijfers zijn dezelfde drie correcties toegepast teneinde een zinvolle vergelijking te kunnen maken tussen beschikbaarheid mondiaal en in EU28 en behoefte in Nederland.

Tabel 67 - Beschikbaarheid en behoefte per perspectief, in 2030 en 2050, in EJ/jaar respectievelijk PJ/jaar, en als percentage

|                          | Klimaat  | Strikt<br>hernieuwbaar | Ecologie | Duurzame<br>ontwikkeling | Hernieuwbare<br>grondstoffen |       |
|--------------------------|----------|------------------------|----------|--------------------------|------------------------------|-------|
| Importmogelijkheid:      | Mondiaal | EU28                   | EU28     | Mondiaal                 | Mondiaal                     |       |
| <b>2030</b>              |          |                        |          |                          |                              |       |
| Beschikbaarheid          | 129      | 24                     | 6        | 129                      | 129                          | EJ/jr |
| Behoefte                 | 1.758    | 360                    | 163      | 1.758                    | 360                          | PJ/jr |
| Behoefte/Beschikbaarheid | 1,4%     | 1,5%                   | 2,8%     | 1,4%                     | 0,3%                         | %     |
| <b>2050</b>              |          |                        |          |                          |                              |       |
| Beschikbaarheid          | 245      | 10                     | 5        | 105                      | 105                          | EJ/jr |
| Behoefte                 | 3.973    | 414                    | 300      | 3.973                    | 578                          | PJ/jr |
| Behoefte/Beschikbaarheid | 1,6%     | 4,3%                   | 6,5%     | 3,8%                     | 0,6%                         | %     |

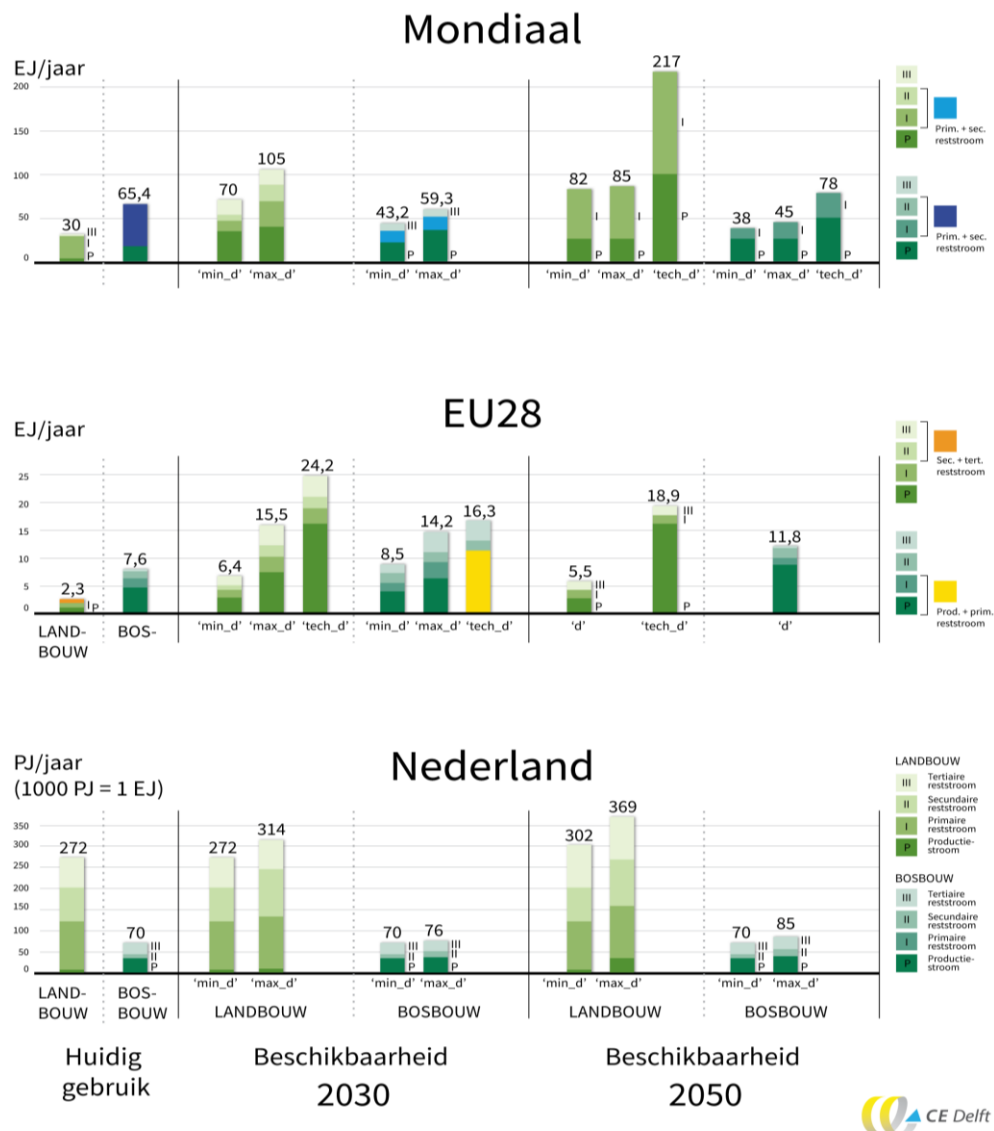
Figuur 51 - Behoefte en beschikbaarheid per perspectief, als percentage



De onderlinge verschillen tussen beschikbaarheden en tussen behoeftes in de perspectieven zijn groot. Maar de figuur laat tevens zien dat de percentages van behoefte gedeeld door beschikbaarheid minder uit elkaar liggen dan men op het eerste gezicht op basis van de beschikbaarheden zou verwachten. Dat komt doordat we bij de perspectieven 'klimaat' en 'duurzame ontwikkeling' zijn uitgegaan van zowel hoge behoeftes aan 'duurzame biomassa' als hoge beschikbaarheden. Bij de perspectieven 'strikt hernieuwbaar' en 'ecologie' zijn we uitgegaan van zowel lage behoeftes als lage beschikbaarheden, en met importen alleen uit de EU28. Het perspectief 'hernieuwbare grondstoffen' zit daar tussenin en koppelt een relatief hoge beschikbaarheid aan een relatief lage behoefte.

De figuur illustreert voor een deel de soms felle discussies over biomassa tussen personen die redeneren vanuit verschillende zienswijzes. Zoals tussen perspectief 'klimaat' met grote behoeftes aan 'duurzame biomassa' ten behoeve van het oplossen van het klimaatprobleem en het perspectief 'ecologie' met kleine beschikbaarheden vanuit het oogpunt van ecologie en biodiversiteit.

Figuur 52 - Overzichtsfiguur beschikbaarheid en behoefte per perspectief



## Cascadering

Cascadering bij de inzet van biomassa is een manier om zoveel mogelijk toepassingen te bedienen met eenzelfde volume aan biomassa. Cascadering kan op vele manieren. Het kan 'lineair in de tijd', waarbij de ene gebruiker een component van een biomassaastroom benut op zo hoogwaardig mogelijke wijze, en de daarbij vrijkomende reststromen vervolgens door een andere gebruiker wordt benut. Of het kan 'integraal', waarbij bij een biomassaastroom door een groep gebruikers wordt bepaald hoe deze zo hoogwaardig mogelijk kan worden ingezet. Vervolgens moet worden aangegeven wat precies bedoeld wordt met 'hoogwaardig'. Die keuze is nog niet helder gemaakt in het beleid. Vaak wordt een waardepiramide getoond, met in de top van de piramide toepassingen als farmacie met hoge economische waarde en lage volumes, en onderaan – in de basis van de piramide – energie, met relatief lage economische waarde (ten opzichte van farmacie en chemie) maar grote volumes. Zo'n piramide is gesorteerd op economische waarde. Het is echter ook mogelijk om te sorteren op CO<sub>2</sub>-emissiereductie, of op de vraag of er voor een toepassing

alternatieven voor biomassagebruik beschikbaar zijn. In de JFF-rapportage (Gemeynt, (2020)) wordt nader op cascadering ingegaan, echter niet cijfermatig. Vanwege de verschillende mogelijke grondslagen voor cascadering (op basis waarvan wordt geoptimaliseerd), de vele verschillende technische mogelijkheden om te cascaderen, in combinatie met de vele soorten biomassaströmen en de vele soorten toepassingen zijn cijfermatige analyses van cascadering in dit rapport niet uitgevoerd. Zodra een beleidsmatige keuze is gemaakt voor de grondslag van cascadering kan zo'n cijfermatige verkenning van de mogelijkheden het onderwerp van een vervolgstudie zijn.

## 5.2 Aanbevelingen over hoe om te gaan met de grote ranges

De grote ranges in beschikbaarheid van duurzame biomassa en de behoefte daaraan vanuit de verschillende toepassingen, en ook de grote verschillen tussen de perspectieven, zijn inherent verbonden met 'duurzame biomassa'.

De grote ranges in behoeftes, in beschikbaarheden, en tussen de verschillende perspectieven, vormen uitdagingen voor het te voeren beleid. De ranges zijn inherent aan het onderwerp 'duurzame biomassa'. Gegeven de constatering dat Nederland niet in de eigen biomassa-behoefte kan voorzien, dat importstromen vanuit de EU28 of mondiaal nodig zijn, zelfs om in de ondergrens van de behoeftes te voorzien, bevelen we aan om in te zetten op wat we de **Trias Bio-Logica** hebben genoemd. De onderdelen daarvan zijn niet nieuw, de term en de onderlinge ordening wel. De drie onderdelen zijn:

1. Verminder de behoefte aan duurzame biomassa<sup>120</sup>.
2. Vergroot de beschikbaarheid van duurzame biomassa.
3. Zet prioritair in op toepassingen waarvoor nog geen duurzame alternatieven zijn.

In het rechterdeel van Figuur 53 staan de drie stappen kort nader uitgewerkt, een uitwerking die nog een aanzienlijke nadere verdieping nodig heeft als de aanbeveling wordt overgenomen.

---

<sup>120</sup> Bedoeld is hier vooral de behoefte aan 'nieuwe' biomassa, niet de inzet op recycling van reeds in gebruik zijnde biomassa.

Figuur 53 - Ordening in het omgaan met duurzame biomassa: Trias Bio-Logica. Links de drie onderdelen, rechts de aanpak die daar bij hoort

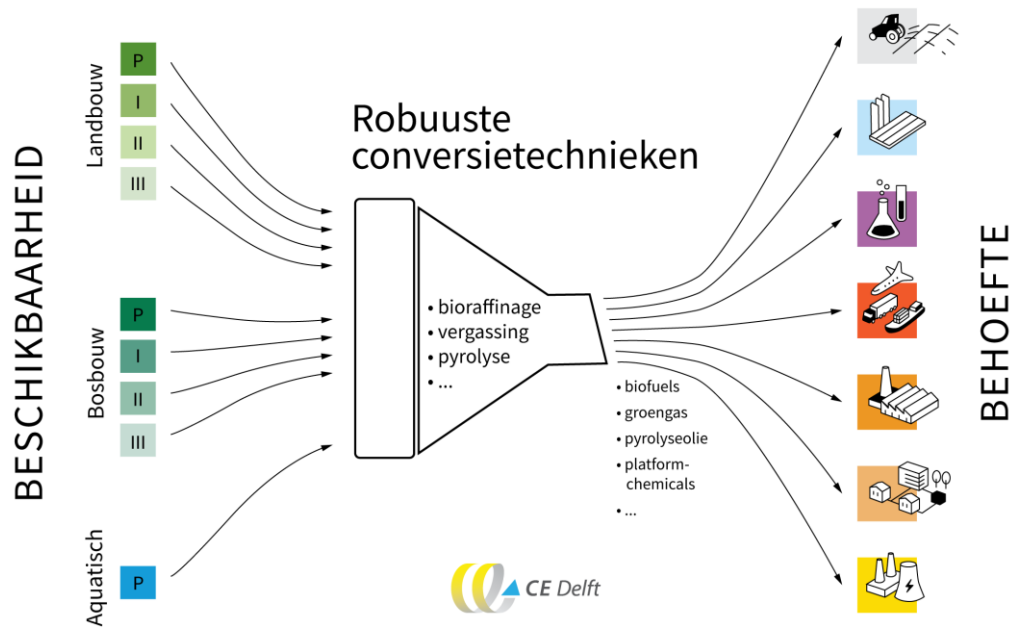
|                  |                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trias Bio-Logica | 1. Verminder behoefte aan duurzame biomassa       | Vraagvermindering (gedragsverandering, efficiency)<br>Biomassa in kringloop houden (circulair)<br>Eiwitvoorziening voedsel verschuiven naar plantaardig<br>Efficiency-verbetering (bij vraag en conversie), o.a. cascadering<br>R&D-agenda: ontwikkelen van alternatieven |
|                  | 2. Vergroot beschikbaarheid van duurzame biomassa | Binnen duurzaamheidskaders<br>Verbeterde Landbouwtechnieken<br>Verbeterde Bosbouwtechnieken<br>Bosaanplant<br>Duurzame ontwikkeling                                                                                                                                       |
|                  | 3. Inzet waar nog geen duurzaam alternatief is    | Uitgangspunt is duurzame biomassa<br>Prioritaire inzet sturen met beleid, over de toepassingen heen<br>Bij materialen sturen op langjarige vastlegging van koolstof<br>R&D-agenda: ontwikkelen robuuste biomassa-conversieroutes                                          |

We bevelen daarnaast aan om ontwikkelprogramma's in te richten die gericht zijn op het beschikbaar maken van robuuste biomassaconversietechnieken op industriële schaal. We bedoelen daarmee technieken die zowel een grote diversiteit aan biomassastromen kunnen verwerken, als een tussenproduct kunnen maken dat ingezet kan worden voor verschillende toepassingsmogelijkheden (zie Figuur 54). We denken daarbij bijvoorbeeld (maar niet uitsluitend) aan conversietechnieken als vergassing, pyrolyse, en bioraffinage-concepten die aan bovenstaande beschrijving voldoen. De beschikbaarheid van dergelijke technieken vermindert het risico op zowel mogelijke schaarstes op de wereldmarkten van een bepaalde soort biomassa, als op inzakken van de vraag naar een bepaald product als daar bijvoorbeeld een goedkoper alternatief voor gevonden wordt.

Interessant daarbij voor het klimaatbeleid is dat bij vergassing (en ook bij vergisting) een zuivere stroom biogene CO<sub>2</sub> afgevangen kan worden, die voor CCU en CCS kan worden benut (oftewel negatieve CO<sub>2</sub>-emissies). Ook bosaanplant (onderdeel van stap 2 van de Trias Bio-Logica), en langjarige inzet in de materiaalvoorziening zoals met duurzaam hout in de bouw en GWW-sector, kunnen worden ingezet voor het realiseren van negatieve CO<sub>2</sub>-emissies.

Tot slot bevelen we aan om beleid te ontwikkelen dat zorgt voor het ontstaan van markt-vraag naar groene moleculen, inclusief naar groene grondstof in de industrie. Dat kan bijvoorbeeld met beprijzing van CO<sub>2</sub>-emissies en het financieel of op andere wijze beleidsmatig waarderen van ketens met lage CO<sub>2</sub>-ketenemissies.

Figuur 54 - Schematische weergave van de inzet op flexibele conversietechnieken, als koppelpunt tussen grote ranges aan de beschikbaarheid van de verschillende soorten biomassa, en de grote ranges in de behoeftes



## 6 Bibliografie

- ABN AMRO Sector Advisory, 2017. *Branche Update: Verpakkingsindustrie*, sl: ABN AMRO.
- Afvalfonds Verpakkingen, 2019. *Monitoring Verpakkingen Resultaten inzameling en recycling 2018*, Leidschendam: Afvalfonds Verpakkingen ism Nedvang en Verpakkingsketen BV.
- Aiking, H., De Boer, J. & Vereijken, J., 2006. Sustainable protein production and consumption: Pigs or peas?. *Environment & Policy*, Issue Vol. 45.
- Alco Energy, 2019. *Alcoenergy.com*. [Online]  
Available at: <https://www.alcoenergy.com/>  
[Geopend 30 10 2019].
- ATAG, 2017. *Beginner's Guide to Sustainable Aviation Fuel*, editie 3, sl: sn
- Barbosa Cortez, L. A. et al., 2014. *Roadmap for Sustainable Aviation Biofuels for Brazil: A Flightpath to Aviation Biofuels in Brazil*, São Paulo: Blucher.
- Berenschot, 2018a. *Elektronen en/of Moleculen - twee transitiepaden voor een CO2-neutrale toekomst*, Utrecht: Berenschot.
- Berenschot, 2018b. *Richting 2050: systeemkeuzes en afhankelijkheden in de energietransitie*, Utrecht: Berenschot.
- BIC, 2017. *SIRA - Strategic innovation & research agenda: Bio-based industries for Development & Growth in Europe*, Brussels: Bio-based Industries Consortium (BIC).
- Bioenergy Europe, 2019. *Bioenergy Europe Factsheet: Cascading use of biomass: a working concept?*, Brussel: Bioenergy Europe.
- Biomass Policies Project, 2014. *Briefing, Work Package 2 - Task 2.3: Outlook of Spatial Biomass Value Chains in EU28 (Task leader Alterra)*, sl: sn
- Biopetrol, 2019. *watertalent*. [Online]  
Available at:  
[https://www.watertalent.nl/nl/werkgevers/11152/biopetrol\\_rotterdam\\_b\\_v.html](https://www.watertalent.nl/nl/werkgevers/11152/biopetrol_rotterdam_b_v.html)  
[Geopend 30 10 2019].
- BirdLife, EEB, 2015. *Cascading use of biomass: Opportunities and obstacles in EU policies*, sl: BirdLife Europe, European Environmental Bureau.
- Bomenstichting, 2017. *Subsidie op bio-energie lijkt niet schadelijk voor de natuur*, Amsterdam: Bomenstichting.
- Boosten, M. et al., 2018. *Beschikbaarheid van Nederlandse verse houtige biomassa in 2030 en 2050*, sl: Probos.
- Bosch, J., de Jong, S., Hoefnagels, R. & Slade, R., 2017. *Aviation biofuels : strategically important, technically achievable, tough to deliver*, London: Grantham Institute.
- Brinkmann Consultancy, 2014. *Biomassa als grondstof of als brandstof - praktijkvoorbeelden van ongewenste concurrentie*, sl: Greenpeace Nederland.
- Brinkmann, A., 2014. *Biogas uit gras - een onderbenut potentieel : een studie naar kansen voor grasvergistings*, Hoevelaken: Brinkmann Consultancy.
- CBS, 2010. *Houtverbruik bij huishoudens*, Den Haag/Heerlen: Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS).



CBS, 2019a. *Mineralenbalans landbouw*. [Online]  
Available at:  
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83475NED/table?ts=1574403960406>  
[Geopend 2019].

CBS, 2019b. *Aantal wegvoertuigen blijft stijgen*. [Online]  
Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/14/aantal-wegvoertuigen-blijft-stijgen>  
[Geopend 2019].

CBS, 2019c. *Landbouw; gewassen, dieren, grondgebruik en arbeid op nationaal niveau*. [Online]  
Available at:  
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81302ned/table?ts=1573222556481>  
[Geopend 2019].

CBS, 2019. *Statline : Het elektriciteitsverbruik in Nederland*. [Online]  
Available at:  
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1580412996555>  
[Geopend 2019].

CCC, 2018. *Biomass in a low-carbon economy*, London: Committee on Climate Change (CCC).

CE Delft/Technopolis, 2018. *Design of a Horizon 2020 Inducement Prize for the Promotion of Renewable Fuels in retrofitted container ships*, sl: European Commission.

CE Delft, 2012a. *Cascading of biomass - 13 Solutions for a Sustainable Bio-based Economy*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2012b. *Groene chemische grondstoffen, potentieel in de EU en duurzaamheidsaspecten : Ondersteuning van de Subcommissie Biochemie van de Commissie Corbey*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2013. *Inventarisatie BioBased Economy in de Nederlandse chemie*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015. *Milieu-impacts van Nederlandse bouw- en sloopactiviteiten in 2010*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2016. *A comparison between CORSIA and the EU ETS for Aviation*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017a. *Net voor de Toekomst - achtergrondrapport*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017b. *Sustainable biomass and bioenergy in the Netherlands*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017c. *Overheidmaatregelen biokerosine - Mogelijkheden om de vraag naar biokerosine te stimuleren en de effecten op de luchtvaart en economie*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018a. *Contouren en instrumenten voor een Routekaart Groengas 2020-2050*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018b. *Verkenning BioLNG voor transport*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2019. *Bioketels voor warmte in de toekomst*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2019. *CO2-balansen groengasketens vergisting en vergassing*, sl: sn

CE Delft, 2020. *Potentieel van lokale biomassa en invoedlocaties van groengas : Een verkenning voor 2030*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2020. *Potentieel van lokale biomassa en invoedlocaties van groengas: Een verkenning voor 2030*, Delft: CE Delft.

- CE Delft, sd *Warmtetechnieken factsheets: HT-warmtenet*. [Online]  
Available at:  
[https://www.ce.nl/assets/upload/image/Plaatjes%20themapagina's/Duurzame%20stad/CE\\_Delft\\_5R19\\_Factsheet\\_warmtenet\\_HT\\_Def.pdf](https://www.ce.nl/assets/upload/image/Plaatjes%20themapagina's/Duurzame%20stad/CE_Delft_5R19_Factsheet_warmtenet_HT_Def.pdf)  
[Geopend December 2019].
- CE Delft, ongoing. *Availability and cost of liquefied bio- and synthetic methane - The maritime shipping perspective*, Delft: sn
- Cefic, 2018. *Bioeconomy - Facts & figures*. [Online]  
Available at: <https://cefic.org/policy-matters/bioeconomy/>  
[Geopend 28 11 2019].
- Cerology, 2017. *What role is there for electrofuel technologies in European transport's low carbon future?*, s.l.: Cerology.
- Chen, R., 2018. Life cycle energy and greenhouse gas emission effects of biodiesel in the United States with induced land use change impacts. *Bioresource Technology*, 2018(251), pp. 249-258.
- CLM, 2019. *Quickscan Meerprijs PlanetProof 2018*, Culemborg: CLM.
- Commissie Corbey, 2012. *Duurzame biomassa in de chemiesector*, sl: Commissie Corbey.
- Commissie Corbey, 2014. *Visie op een duurzame bio-economie in 2030: de hoofdlijnen/ Bijlage 1: Biomassavraag en -aanbod in Nederland in 2030*, sl: Commissie Corbey.
- Creutzig, F. et al., 2015. Bioenergy and climate change mitigation: an assessment. *GCB Bioenergy*, 7(5), pp. 916-944.
- Cuéllar-Franca, R. & Azapagic, A., 2012. Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses. *Elsevier Building and Environment*, 6 februari, pp. 86-99.
- Daiglou, V. et al., 2019. Integrated assessment of biomass supply and demand in climate change mitigation scenarios. *Global environmental change*, Volume 54, pp. 88-101.
- Daiglou, V. et al., 2016. Projections of the availability and cost of residues from agriculture and forestry. *GCB Bioenergy*, 8(2), pp. 456-470.
- de Jong, S., 2017. *Renewable Jet Fuel in the European Union*, Utrecht: University Utrecht.
- de Jong, S. et al., 2017. *Renewable Jet Fuel in the European Union : Scenarios and Preconditions for Renewable Jet Fuel Deployment towards 2030*, Utrecht: Utrecht University et al.
- De Wit, M. & Faaij, A., 2010. European biomass resource potential and costs. *Biomass and bioenergy*, 34(2), pp. 188-202.
- DNV-GL, 2017. *Biomassapotentieel in Nederland : Verkennende studie naar vrij beschikbaar biomassapotentieel voor energieopwekking in Nederland*, Arnhem: DNV GL.
- Dornburg, V. et al., 2008. *Biomass Assessment: Assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy*, sl: MNP.
- Duurzaam GWW, 2019. *Duurzaam GWW aanbesteden : Advies van de Stuurgroep Duurzaam GWW*. [Online]  
Available at: <https://www.duurzaamgww.nl/wp-content/uploads/2019/09/Aanbesteden-Duurzaam-GWW-def.pdf>  
[Accessed 2019].



- E4tech , 2018. *Master plan for CO2 reduction in the Dutch shipping sector : Biofuels for shipping*, Bunnik: Steering Board of the Platform Duurzame Biobrandstoffen.
- E4Tech, nova-Institut, BTG, DECHEMA, 2019. *RoadToBio: Roadmap for the Chemical Industry in Europe towards a Bioeconomy - Action Plan*, Brussels: Horizon 2020.
- E4Tech, 2018. *Masterplan for CO2 reduction in the Dutch Shipping sector - Biofuels for shipping*, sl: sn
- EC, 2017. *Research and Innovation perspective of the mid - and long-term Potential for Advanced Biofuels in Europe*, Brussels: European Commission (EC).
- EC, 2018a. *A Clean Planet for all, A European strategic long-term vision for a prosperous modern, competitive and climate neutral economy (COM2018) 773 final*, Brussels: European Commission.
- EC, 2018b. *In-depth analysis in support of the Commission Communication (COM(2018) 773 Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*, Brussels: European Commission.
- EC, 2019. *Commission Delegated Regulation (EU) .../... of 13.3.2019 supplementing Directive (EU) 2018/2001 as regards the determination of high indirect land-use change-risk feedstock for which a significant expansion of the production area ..... C(2019) 2055 final*, Brussels: European Commission.
- EC, 2019. *Research and innovation perspective of the mid- and long-term potential for advanced biofuels in Europe*, Brussels: Europese Commissie (EC).
- ECN, CE Delft, TNO, 2014. *Verzamelde kennisnotities SER Brandstofvisietraject*, sl: ECN, CE Delft, TNO.
- Ecofys : Berenschot, 2018. *Chemistry for climate, acting on the need for speed - Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050*, Utrecht: VNCI.
- Ecofys, 2013. *Low ILUC potential of wastes and residues for biofuels : straw, forestry residues, UCO, corn cobs*, Utrecht: Ecofys.
- Ecorys, 2018. *Evaluatie teruggaafregeling LNG in de accijnzen*, sl: Ministerie van Financiën.
- Elbersen, W., Janssens, B. & Koppejan, J., 2011. *De beschikbaarheid van biomassa voor energie in de Agro-industrie*, Wageningen: Wageningen UR Food & Biobased Research.
- Elbersen, W., Janssens, B. & Koppejan, J., 2011. *De beschikbaarheid van biomassa voor energie in de Agro-Industrie*, Wageningen: WUR.
- Eneco, sd *Waarom een BWI*. [Online]  
Available at: <https://www.eneco.nl/over-ons/projecten/biowarmte-installatie-lage-weide/waarom-een-bwi/>  
[Geopend December 2019].
- ESKA Grafic Board, 2012. *Intersectoral valorization and cascading of grass, Presentation Kees van der Zijderveld*. [Online]  
Available at: <https://docplayer.net/61292084-Intersectoral-valorization-and-cascading-of-grass.html>  
[Geopend 2019].
- Esteban, L., Ciria, P. & Carrasco, J., 2008. Esteban, L.S., Ciria, P. and Carrasco, J.E., 2008. An assessment of relevant methodological elements and criteria for surveying sustainable agricultural and forestry biomass by-products for energy purposes. *BioResources*, 3(3), pp. 910-928.



ETIP, 2019. *Fact sheets and guidelines*. [Online]  
Available at: <http://www.etipbioenergy.eu/fact-sheets>  
[Geopend 29 1 2020].

EU, 2009. Richtlijn 2009/30/EG van het Europees Parlement en de Raad tot wijziging van Richtlijn 98/70/EG met betrekking tot de specificatie van benzine, dieselbrandstof en gasolie en tot invoering van een mechanisme ..... *Publicatieblad van de Europese Unie*, L140(5.6.2009), pp. 88-113.

EU, 2018. Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (Voor de EER relevante tekst.). *Publicatieblad van de Europese Unie*, L328(21.12.2018), pp. 82-209.

European Commission, 2018. *A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment*, Brussels: European Commission.

European Commission, 2018. *Guidance on cascading use of biomass with selected good practice examples on woody biomass*, Luxemburg: European Commission.

European Commission-Sub Group on Advanced Biofuels, 2017. *Building up the future- Cost of biofuel*, sl: sn

European Parliament, 2019. *ICAO Agreement on CO2 emissions from aviation - at a glance*, sl: sn

Europese Commissie, 2015. *Richtlijn (EU) 2015/1513 van het Europees Parlement en de Raad van 9 september 2015 tot wijziging van Richtlijn 98/70/EG betreffende de kwaliteit van benzine en dieselbrandstof en tot wijziging van Richtlijn 2009/28/EG ter bevordering van het gebruik van*, Brussel: sn

Europese Commissie, 2020. *Sustainability criteria*. [Online]  
Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/biofuels/sustainability-criteria>  
[Geopend 27 1 2020].

Faaij, A., 2018. *Securing sustainable resource availability of biomass for energy applications in Europe; review of recent literature*, Groningen: University of Groningen.

FAO, 2008. *The state of food and agriculture*, sl: sn

FAO, 2017. *Global forest products: Facts and Figures 2016.*, Rome: FAO.

Gasunie, 2018. *Verkenning 2050 - Discussiestuk*, Groningen: Gasunie.

Gemeynt en MSG Sustainable Strategies, 2020. *Biomassa in perspectief*, sl: sn

Glastuinbouw Nederland, 2018. *Visiedocument Energie: Samen werken aan een Verantwoorde Glastuinbouw: Energie*. [Online]  
Available at:  
[https://www.glastuinbouwnederland.nl/content/glastuinbouwnederland/docs/Verantwoorde\\_Glastuinbouw/Visiedocumenten\\_2018/Visiedocument\\_Energie.pdf](https://www.glastuinbouwnederland.nl/content/glastuinbouwnederland/docs/Verantwoorde_Glastuinbouw/Visiedocumenten_2018/Visiedocument_Energie.pdf)  
[Geopend 18 November 2019].

Grassa!, 2011. *Gras 2.0 : Unlock a new economy (congres)*, sl: Grassa!-partners.

Hoogwijk, M., Faaij, A., de Vries, B. & Turkenburg, W., 2004. Global potential of biomass for energy from energy crops under four GHG emission scenarios Part B: the economic potential.. M. Hoogwijk, *On the global and regional potential of renewable energy sources, PhD Thesis*.



Huppmann, D. et al., 2018. *IAMC 1.5°C Scenario Explorer and Data hosted by IIASA (release 1.x)*, sl: Institute for Applied Systems Analysis & Integrated Assessment Modeling Consortium.

IATA, 2015. *IATA Sustainable Aviation Fuel Roadmap, 1st edition*, Geneva: International Air Transport Association (IATA).

ICCT, 2017. *Mitigating international aviation emissions*, sl: ICCT.

IEA Bioenergy, 2017. *Biofuels for the marine shipping sector ; An overview and analysis of sector infrastructure, fuel technologies and regulations*, sl: IEA Bioenergy.

IEA Bioenergy, 2018. *Technical report comparison of biofuel life cycle analysis tools FAME and HVO/HEFA*, sl: IEA.

IEA Bioenergy, 2019. *Task 34- Direct thermochemical liquefaction*, sl: IEA Bioenergy.

IEA Bioenergy, 2019. *Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefinery Concepts*, sl: IEA Bioenergy.

IEA, 2017a. *Technology roadmap delivering sustainable bioenergy*, Paris : International Energy Agency.

Instituut Samenleving & Technologie, 2009. *Biobrandstoffen van de eerste, de tweede en de derde generatie*, sl: sn

Intelligent partnership, sd *Aviation biofuels: which airlines are doing what, with whom?*. [Online]

Available at: <https://intelligent-partnership.com/aviation-biofuels-which-airlines-are-doing-what-with-whom/>  
[Geopend 29 1 2020].

IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.*, Geneva: World Meteorological Organization (WMO).

IPCC, 2019. *Climate Change and Land : An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. [Online]  
Available at: <https://www.ipcc.ch/srccl/>  
[Geopend 2019].

IRENA, 2014. *Global bioenergy supply and demand projections: A working paper for REmap 2030*, Abu Dhabi ; Bonn: International Renewable Energy Agency (IRENA).

IRENA, 2016. *Innovation outlook advanced biofuels*, sl: sn

JEC, 2014. *Well to Tank Report version 4a*, sl: sn

JRC, 2015. *The JRC-EU-TIMES model. Bioenergy potentials for EU and neighbouring countries*, Luxembourg: European Commission Joint Research Centre.

JRC, 2017. *Biomass flows in the European Union ; The Sankey biomass diagram - towards a cross-set integration of biomass*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

JRC, 2017. *Definition of input data to assess GHG default emissions from biofuels in EU legislation*, sl: European Commission.

JRC, 2018. *Biomass production, supply, uses and flows in the European Union: First results from an integrated assessment*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

JRC, 2019. *Insights into the European market for bio-based chemicals - Analysis based on 10 product categories*, Sevilla (Spanje): Joint Research Centre.

Jutte, J. B., Mentink, B., Berg van den, M. & Bakker, J., 2017. *De bijdrage van ecosysteemdiensten aan circulaire economie ; vervanging en besparing van primaire grondstoffen*. [Online]  
Available at: <http://publicaties.minienm.nl/download-bijlage/93918/bijdrage-ecosysteemdiensten-aan-circulaire-economie-rhdhv-eindrapport-20-november-2017.pdf>  
[Geopend 2019].

KIVI, 2017. *The future Dutch full carbon-free energy system*, Den Haag: Koninklijk Instituut Van Ingenieurs.

Klimaatakkoord.nl, 2019. *Klimaatakkoord*, Den Haag: Rijksoverheid.

Kluts, I., Wicke, B., Leemans, R. & Faaij, A., 2017. Sustainability constraints in determining European bioenergy potential: A review of existing studies and steps forward.. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 69, pp. 719-734.

Koppejan, J., Elbersen, W., Meeusen, M. & Bindraban, P., 2009. *Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020*, s.l.: Procede Biomass BV.

Krebbekx, J., Duivenvoorde, G. & Haffmans, S., 2017. *Routekaart materiaalverduurzaming kunststof verpakkingen*, sl: KIDV.

Lehahn, Y., Ingle, K. & Golberg, A., 2016. Global potential of offshore and shallow waters macroalgal biorefineries to provide for food, chemicals and energy: feasibility and sustainability. *Algal research*, Volume 17, pp. 150-160.

Lesschen, J. P., 2019. *Hoe en waar kunnen we organische stof verhogen in Nederlandse Landbouwbodems*, Wageningen: Wageningen Environmental Research.

Mai-Moulin, T. et al., 2018. Sourcing overseas biomass for EU ambitions: assessing net sustainable export potential from various sourcing countries. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(2), pp. 293-324.

Mantau, U. et al., 2010. *EUwood : Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report*, Hamburg: s.n.

McKinsey & Company, 2017. *Energy Transition: Mission (im)possible for industry? - A Dutch example of decarbonization*, Amsterdam: McKinsey & Company.

Milieucentraal, sd *Papier*. [Online]  
Available at: <https://www.milieucentraal.nl/bewust-winkelen/spullen-en-diensten/papier/>  
[Geopend 29 11 2019].

Ministerie van I&W, 2019. *Kamerbrief d.d. 27 maart 2019 : Klimaatbeleid voor de luchtvaart*, Den Haag: Rijksoverheid.

Ministerie van infrastructuur en Waterstaat, 2019. *Besluit van 14 juni 2019 tot wijziging van het activiteitenbesluit milieubeheer*, sl: Staatsblad van Koninkrijk der Nederlanden.

Nabuurs, G. et al., 2016. *Nederlands bosbeheer en bos- en houtsector in de bio-economie : Scenario's tot 2030 in een internationaal bio-economie perspectief*, Wageningen: WUR.

Nationaal LNG platform, 2019. *LNG stimuleringsregeling internetconsultatie*. [Online]  
Available at: <https://www.nationaalngplatform.nl/lng-stimuleringsregeling-internetconsultatie/>  
[Geopend 8 11 2019].

Natuur & Milieu, 2016. *Energievisie 2035 - Energietransitie in de hoogste versnelling*, Utrecht: Natuur & Milieu.



- NEa, 2014. *Totaalrapportage hernieuwbare energie 2014*, Den Haag: Nederlandse Emissieautoriteit (NEa).
- NEa, 2019. *Rapportage Energie voor Vervoer in Nederland 2018*, Den Haag: Nederlandse Emissieautoriteit (NEa).
- Nederhoff], T., 2017. Groen licht voor mais-DDGS : Investerings in Alco Energy Rotterdam werpen vruchten af. *De Molenaar*, Volume 146, pp. 16-18.
- Neste, 2019. *Neste.nl*. [Online]  
Available at: <https://www.neste.nl/voor-klanten/hernieuwbare-producten>  
[Geopend 10 30 2019].
- NIBE Research, 2019. *potentie biobased materialen in de bouw*, Bussum: RVO.
- nova-Institut, BIC, 2019a. *European Bioeconomy in Figures 2008-2016*, Hürth, Duitsland: nova-Institut, Bio-based Industries Consortium (BIC).
- nova-Institut, 2015a. *Bio-based Building Blocks and Polymers in the World - Capacities, Production and Applications: Status Quo and Trends towards 2020*, Hürth, Duitsland: nova-Institut.
- nova-Institut, 2015. *Definition, Calculation, and Comparison of the "Biomass Utilization Efficiency (BUE)" of Various Bio-based Chemicals, Polymers and Fuels*, Hürth, Duitsland: nova-Institut.
- nova-Institut, 2018a. *The "Circular Bioeconomy" - concepts, opportunities and limitations*, Hürth, Duitsland: nova-Institut.
- nova-Institut, 2018b. *Renewable carbon is key to a sustainable and future-oriented chemical industry*, Hürth, Duitsland: nova-Institut.
- nova-Institut, 2019b. *Bio-based Building Blocks and Polymers - Global capacities, production and trends 2018-2023*, Hürth, Duitsland: nova-Institut.
- Offermann, R. et al., 2011. Assessment of global bioenergy potentials. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(1), pp. 103-115.
- Oldenburger, J., Voncken, F., Penninkhof, J. & van Benthem, M., 2016. *Duurzaam geproduceerd hout op de Nederlandse markt in 2015*, Wageningen: Probos.
- PBL, 2014a. *Integrated Assessment of Global Environmental Change with IMAGE 3.0: Model description and policy applications*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, 2014b. *Biomassa: wensen en grenzen*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, 2016. *Voedsel voor de circulaire economie*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL, 2017. *Verkenning van Klimaatdoelen - van lange termijn beelden naar korte termijn actie*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL, 2018. *Negatieve emissies - Technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, 2019a. *Het Klimaatakkoord: Effecten en aandachtspunten*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL, 2019b. *Klimaat- en energieverkenning (KEV) 2019*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.



PGG, ECN, WUR, 2006. *Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030*, sl: Platform Groene Grondstoffen, Energieonderzoek Centrum Nederland, Wageningen University & Research.

PGG, UU, WUR, 2009. *Bio-based economy in Nederland. Macro-economische verkenning van grootschalige introductie van groene grondstoffen in de Nederlandse energievoorziening*, sl: Platform Groene Grondstoffen, Utrecht University, Wageningen University & Research.

PGG, 2007. *Groenboek Energietransitie*, sl: Platform Groene Grondstoffen.

Piotrowski, S., Carus, M. & Essel, R., 2015. *Global bioeconomy in the conflict between biomass supply and demand. nova paper #7 on bio-based economy, Hürth 2015-10*. [Online] Available at: [www.bio-based.eu/nova-papers](http://www.bio-based.eu/nova-papers) [Geopend 2019].

Port of Rotterdam, 2016. *Facts & figures on the Rotterdam Energy Port and Petrochemical Cluster*, sl: Port of Rotterdam Authority.

Probos, - b. *Kerngegevens bos en hout in Nederland : Resthout*. [Online] Available at: <http://www.bosenhoutcijfers.nl/de-houtmarkt/houtproducten/resthout/> [Geopend 2019].

Probos, 2014. *Biomassapotentieel NBLH-sector in 2020 en 2050*, Wageningen: Stichting Probos.

Probos, 2017. *Hout en Houtproducten Nederland*. [Online] Available at: <http://www.bosenhoutcijfers.nl/de-houtmarkt/houtverbruik/> [Geopend 2019].

Probos, -a. *Kerngegevens bos en hout in Nederland : Bos en klimaat*. [Online] Available at: <http://www.bosenhoutcijfers.nl/nederlands-bos/bos-en-klimaat/> [Geopend 2019].

Prussi, M., 2019. Analysis of current aviation biofuel technical production potential in EU28. *Biomass and Bioenergy*, 2019(130).

PwC EU, 2016. *Sustainable and optimal use of biomass for energy in the EU beyond 2020 (BioSustain" study : Annexes of the final report*, sl: PricewaterhouseCoopers EU Services EESV's consortium.

Quintel Intelligence, 2016. *Industrie in Transitie*, Amsterdam: Quintel Intelligence.

Ralph, E., 2010. An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource technology*, 2010(101), pp. 1570-1580.

RH DHV, 2017. *De bijdrage van ecosysteemdiensten aan de circulaire economie*, Amersfoort: Rijkswaterstaat.

RH DHV, 2019. *Emissiereductiepotentieel in de Nederlandse luchtvaart*, Amersfoort: sn

RH DHV, 2020. *Breed toepasbare duurzaamheidscriteria biomassa*, sl: sn

Rijksoverheid , 2016. *Compendium voor de Leefomgeving Natuurbeleid en natuurbescherming : Milieucondities in water en natuurgebieden, 1990 - 2014*. [Online] Available at: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1522-miliedruk-op-natuur> [Geopend 2019].

Rijksoverheid, 2007. *Overheidsvisie op de Bio-based Economy in de energietransitie, 'de keten sluiten'*, Den Haag: Rijksoverheid.

Rijksoverheid, 2015a. *Biomassa 2030 - Strategische visie voor de inzet van biomassa op weg naar 2030*, Den Haag: Rijksoverheid.

- Rijksoverheid, 2015b. Hoofdstuk 4. Houtopstanden, hout en houtproducten. In: D. Haag, red. *Wet natuurbescherming : Wet van 16 december 2015, houdende regels ter bescherming van de natuur (Wet natuurbescherming)*. sl:Rijksoverheid.
- Rijksoverheid, 2018. *Transitieagenda Circulaire Economie: Biomassa & Voedsel*, Den Haag: Rijksoverheid.
- Rijksoverheid, 2018. *Transitieagenda Kunststoffen*, Den Haag: Rijksoverheid.
- Rijkswaterstaat, 2018. *Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2017*, s.l.: s.n.
- RLI, 2015. *Rijk zonder CO2 - Naar een duurzame energievoorziening in 2050*, Den Haag : Raad voor de leefomgeving en infrastructuur.
- RVO, 2015. *Best Practice Droogprocessen*, Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).
- RVO, 2016. *MJA-Sectorrapport 2015: Asfaltindustrie*, Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).
- RVO, 2018. *Monitoring biobased economy in Nederland 2017*, Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- S2BIOM, 2017a. *A spatial data base on sustainable biomass cost-supply of lignocellulosic biomass in Europe - methods & data sources. Issue 1.1*, sl: University of Freiburg.
- S2Biom, 2017b. *Atlas with regional cost supply biomass potentials for EU 28, Western Balkan Countries, Moldavia, Turkey and Ukraine*, sl: University of Freiburg.
- Schelhaas, M.-J., Schoonderwoerd, H., Daamen, W. & Oldenburger, J., 2018. (2018, April). Meer hout uit het Nederland bos. *Vakblad Natuur Bos Landschap*, Issue April, pp. 14-17.
- Schmidt, O., Hawkes, A., Gambhir, A. & Staffell, I., 2107. The future cost of electrical energy storage based on experience rates. *Nature Energy*, Issue 2, p. online.
- Sederel, W., 2019. The Needs of Green Chemistry. *Renewable Matter*, Issue 28.
- Shell, 2020. *Sky scenario*. [Online]  
Available at: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky.html>  
[Geopend 27 1 2020].
- Smeets, E. & Faaij, A., 2007. Bioenergy potentials from forestry in 2050: An assessment of the drivers that determine the potentials. *Climatic Change*, Volume 81, pp. 353-390.
- Spector, J., 2018. *2017 Was Weird For Solar. What's Coming This Year and Beyond?*. [Online]  
Available at: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/2017-was-weird-for-solar-whats-coming-this-year-and-beyond>  
[Accessed 2019].
- STOWA, 2017. *Literatuurstudie : waarde halen uit groenresten in het waterbeheer*, Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA).
- T&E, 2019. *Why ICAO and Corsia cannot deliver on climate : A threat to Europe's climate ambition*, sl: Transport and Environment (T&E).
- Tauw, 2017. *Knelpuntenanalyse houtrecycling*. [Online]  
Available at: <https://www.nedvang.nl/wp-content/uploads/2019/02/knelpuntenanalyse-houtrecycling1.pdf>  
[Geopend 2019].



- TCB, 2016. *Advies : Toestand en dynamiek van organische stof in Nederlandse landbouwbodems*, Den Haag: Technische commissie bodem (TCB).
- TOTAL, 2015. *Potential Impact of Bio Based Kerosene on refining - Some Basics. Presentation at the Flight path 2020 workshop, February 12th*, Brussels: TOTAL New Energies.
- Urgenda, 2014. *Nederland 100% Duurzame energie in 2030*, Amsterdam: Urgenda.
- USDA Foreign Agricultural Service, 2018. *EU-28 Biofuels Annual*, sl: sn
- van Calker, S., de Mey, V., van den Berg, T. & Clement, R., 2018. *Growing a Green Future Benchmark Rapport*, sl: Consortium Interregproject "Growing a green future".
- van der Velde, O. & van Leeuwen, M., 2019. *Potentie biobased materialen in de bouw*, Bussum: RVO, NIBE.
- van Vuuren, D. P. v., Bellevrat, E., Kitous, A. & Isaac, M., 2010. Bio-Energy Use and Low Stabilization Scenarios. *The Energy Journal*, 31(Special Issue 1), pp. 193-222.
- Vattenfall, sd *Biomassa: een tussenstap in de energietransitie*. [Online]  
Available at: <https://www.vattenfall.nl/duurzame-energie/stadswarmte/biomassa/>  
[Geopend 25 November 2019].
- VEMW, 2017. *Decisions on the Dutch Industrial Energy Transition*, Woerden: VEMW.
- Vereniging vloeibaar gas, 2017. *Routekaart LPG/Bio-LPG*, sl: sn
- Verkerk, P., 2015. Assessing impacts of intensified biomass removal and biodiversity protection on European forests. *Dissertationes Forestales*, 197, p.50.. *Dissertationes Forestales*, Volume 197, p. 50.
- VITO, Utrecht University, TU Wien, INFRO, Rütter Sococo and PwC, 2017. *BioSustain project : Sustainable and optimal use of Sustainable and optimal use of biomass for energy in the EU beyond 2020*, Brussels: European Commission.
- VNCI, 2012. *Routekaart Chemie 2030*, Den Haag: VNCI.
- VNCI, 2019. *Feiten en cijfers 2018*. [Online]  
Available at: <https://www.vnci.nl/over-de-chemie/feiten-en-cijfers>  
[Geopend Oktober 2019].
- Wageningen Economic Research, 2018. *Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2019*, Wageningen: WUR.
- WBA, 2016. *WBA Factsheet : Global biomass potential towards 2035*, Stockholm: World Bioenergy Association (WBA).
- Werkgroep Afvalregistratie, 2018. *Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2017*, Utrecht: Rijkswaterstaat .
- World Bio-energy, 2013. *Biofuels for transport*, sl: sn
- WUR, 2019. *Peer review Nederlandse beschikbaarheid en vraag naar voedsel, veevoer en biomassa voor non-food in 2030 en 2050*, Wageningen: Wageningen University & Research.
- Wu, W. et al., 2019. Global advanced bioenergy potential under environmental protection policies and societal transformation measures. *GCB Bioenergy*, Volume 11, pp. 1041-1055.
- WWF, 2016. *Technical report: Mapping study on cascading use of wood products*, Morges, Zwitserland: World Wildlife Fund.
- Yussof, M., 2013. *Comparison of Fatty Acid Methyl and Ethyl Esters as Biodiesel Base Stock*, sl: Journal of American Oil Chemists Society.



Zafar, S., 2019. *Biomass as Renewable Energy Resource*. [Online]  
Available at: <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-resources/>  
[Accessed 2019].

## Geraadpleegde literatuur

In deze lijst staan alleen verwijzingen naar literatuur waarnaar vanuit de teksten rechtstreeks wordt verwezen. Daarnaast is een groot aantal documenten geraadpleegd waarnaar echter vanuit de teksten geen rechtstreekse verwijzingen worden gemaakt. Zie voor het complete overzicht van geraadpleegde literatuur de uitgebreide literatuurlijst in het PBL-rapport.

# A Toepassing mobiliteit en transport

## A.1 Introductie

In deze bijlage staan de detailanalyses opgenomen voor de toepassing van biomassa voor toepassing in mobiliteit en transport. De opbouw van deze bijlage is als volgt:

- beschrijving van de toepassing;
- behoefte aan de toepassing;
- productiecapaciteit;
- conversiefactoren;
- productiekosten;
- alternatieven per marktsegment;
- beleidsontwikkelingen;
- cascaderingsmogelijkheden.

## A.2 Beschrijving van de toepassing

Bij de inschatting van de toekomstige inzet van biomassa in transport en mobiliteit zijn de biobrandstoffen ingedeeld op basis van de brandstof, die over het algemeen door de bio-brandstof vervangen wordt.

Voor de vervanging van diesel zijn de volgende biobrandstoffen het meest relevant:

- Fatty Acid Methyl Esters (FAME);
- Hydrotreated Vegetable Oil (HVO);
- Bio-Di-Methyl-Ether (Bio-DME);
- Fischer-Tropsch-diesel (FT-diesel).

Bij de vervanging van benzine gaat het om de volgende biobrandstoffen:

- bio-ethanol;
- bio-Ethyl Tertiary Butyl Ether (Bio-ETBE);
- bionafta;
- bio-methanol.

Bij gasvervangers spreken we over het algemeen over:

- bio-Compressed Natural Gas (Bio-CNG);
- bio-Liquefied Natural Gas (Bio-LNG);
- bio-Liquefied Petroleum Gas (Bio-LPG).

Kerosinevervangers bestaan uit:

- HEFA (Hydroprocessed esters and fatty acids);
- Fischer-Tropsch (FT);
- Alcohol-to-Jet (ATJ);
- Direct sugars to hydrocarbons (DSHC);
- Hydrotreated Depolymerized Cellulosic Jet (HDCJ).

En tenslotte, worden de volgende brandstoffen als vervangers van scheepvaartbrandstoffen gezien:

- FAME/HVO;
- Bio-ethanol;
- Straight Vegetable Oil (SVO)/Pure Plant Oil (PPO);
- Pyrolyse olie/bio-olie;
- FT-brandstoffen;
- BioLNG.

Voor de meest gangbare biobrandstoffen, zoals hierboven vermeld, is uitgebreide informatie over de productieroutes opgenomen in de factsheets van het European Technology and Innovation Platform (ETIP Bioenergy) (ETIP, 2019).

### A.3 Behoefte aan de toepassing

De huidige behoefte aan biomassa in mobiliteit en transport blijkt het beste uit het overzicht van de biobrandstoffen, die onder de Jaarverplichting Energie Vervoer op de markt zijn gebracht. In Tabel 68 zijn voor zowel dieselvangers, benzinevervangers en gasvervangers de fysieke hoeveelheden biobrandstoffen gepresenteerd. In totaal In 2018 is er 24,3 miljoen GJ hernieuwbare energie fysiek aan de Nederlandse markt geleverd. Inclusief dubbeltelling van biobrandstoffen uit afval en residuen is dat 41,6 miljoen GJ. Dat is een aandeel van 8,9% hernieuwbare energie aan vervoer: 0,4% hoger dan het verplichte aandeel van 8,5% (39,6 miljoen GJ) (NEa, 2019).

#### Dieselvangers

De jaarlijkse rapportage van de Nederlandse Emissieautoriteit geeft momenteel het meest gedetailleerde overzicht van de biobrandstoffen die op de Nederlandse markt worden gebracht en dus ook van de verschillende typen biodiesel. Het gaat hier specifiek om de biobrandstoffen die onder de jaarverplichting vallen. In 2018 was het overgrote deel van de gebruikte biodiesel in Nederland FAME: ongeveer 97% van de 16,5 PJ aan biodiesel. Het aandeel dieselvangers in de totale hoeveelheid biobrandstoffen bedroeg 79% (NEa, 2019).

Tabel 68 - Fysieke hoeveelheden biobrandstoffen in TJ/jaar voor de periode 2011-2018 (1000 TJ = 1 PJ) (NEa, 2019)

|                          | 2011    | 2012    | 2013    | 2014    | 2015    | 2016     | 2017     | 2018     |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| <b>Dieselvangers</b>     |         |         |         |         |         |          |          |          |
| FAEE enkel               |         |         | 52,3    | 25,5    | 64,2    | 0,0      |          |          |
| FAME enkel               | 7.345,0 | 5.010,7 | 3.919,5 | 2.059,5 | 1.811,3 | 37,2     |          | 487,2    |
| FAME dubbel              | 3.435,5 | 4.559,6 | 6.122,2 | 7.370,6 | 9.671,4 | 11.229,7 | 13.081,2 | 15.618,4 |
| HVO enkel                | 16,8    | 124,7   | 45,4    | 7,9     | 0,6     | 8,7      |          | 0,9      |
| HVO dubbel               | 1,7     | 75,4    | 49,5    | 348,3   | 214,9   | 218,7    | 141,1    | 469,5    |
| <b>Benzinevervangers</b> |         |         |         |         |         |          |          |          |
| Ethanol (enkel)          | 5.326,5 | 5.334,6 | 5.365,6 | 5.751,5 | 5.970,1 | 5.945,4  | 5.911,9  | 5.523,8  |
| Ethanol (dubbel)         |         | 29,65   | 245,7   | 380,05  | 97,4    | 56,15    |          |          |
| ETBE (enkel)             | 0,8     | 33,8    | 97      | 9,8     | 15,4    | 31,8     | 37,8     | 818,9    |
| MTBE (dubbel)            | 413,75  | 422,95  | 134,25  | 16,35   |         |          |          |          |
| Methanol (dubbel)        | 76,9    | 41,75   | 94,95   | 8,35    |         |          |          |          |
| Bionafta dubbel          |         |         |         |         |         |          | **       | 803,35   |

|                                     | 2011   | 2012   | 2013   | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018   |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b>Gasvevangers + elektriciteit</b> |        |        |        |       |       |       |       |        |
| Biogas<br>enkelvoudig               |        | 96,1   | 36,5   | 0     |       | 0,4   |       |        |
| Biogas<br>dubbelvoudig              | 346,85 | 347,05 | 350,35 | 237,5 | 176,2 | 180,5 | 225,7 | 301,35 |

\*\* In 2017 werd bionafta bij de enkelvoudige ETOH opgeteld.

## Benzinevervangers

De behoefte aan benzine was in 2018 179 PJ, daarvan was 3,9% oftewel 7,1 PJ bio-ethanol (NEa, 2019). Van de hernieuwbare energie in transport onder de jaarverplichting bestond 19% uit benzinevervangers. Het merendeel hiervan, ruim 77%, bestond daarbij uit enkelvoudige ethanol. De rest bestond uit bionafta en ETBE, die de jaren daarvoor nog slechts een marginale rol vervulden.

## Gasvervangers

Volgens de cijfers van de Nederlandse Emissieautoriteit werd er in 2018 0,3 PJ aan dubbelvoudig biogas ingezet in transport oftewel biogas uit afval en residuen. Enkelvoudig biogas werd alleen ingezet in 2012, 2013 en 2016. Biogas en elektriciteit samen bedroegen 2% van de totale inzet aan hernieuwbare energie in transport. Biogas alleen was 1,5%. De energiewaarde van biogas steeg wel met één derde t.o.v. 2017.

## Kerosinevervangers

De huidige toepassing is wereldwijd beperkt. Veel partijen vormen allianties om het gebruik te stimuleren en demonstratievluchten uit te voeren. Slechts enkele partijen vliegen op sommige verbindingen op meer reguliere basis op biokerosine. Zo heeft Lufthansa biokerosine ingezet op meer dan 1.000 vluchten vanaf Frankfurt, maar lijken sommige initiatieven ook weer beëindigd, omdat de lange termijn beschikbaarheid van voldoende biokerosine nog niet gegarandeerd kan worden. (Intelligent partnership, sd).

Onder de Jaarverplichting Hernieuwbare Energie Vervoer werd in 2018 geen biokerosine geregistreerd. Alleen 2016 betrof dit een zeer kleine hoeveelheid, die in de statistieken is samengevoegd met enkelvoudige HVO (NEa, 2019).

## Scheepvaartbrandstofvervangers

De behoefte aan bunkerbrandstoffen voor de zeescheepvaart is in de periode tussen 2007 en 2017 met 34% gedaald en tussen 2017 en 2018 nog eens met 5%. Er zijn verschillende oorzaken voor deze daling, zoals lagere vaarsnelheden en de economische crisis, maar ook de veranderde concurrentiepositie van de Nederlandse havens op de Noordwest-Europese bunkermarkt. (PBL KEV, 2019).

De behoefte aan biobrandstoffen in de binnenvaart en zeescheepvaart was tot nu toe beperkt. Volgens de Nederlandse Emissieautoriteit werd 3% van de (berekende) hernieuwbare energie (41,6 PJ incl. dubbelvoudingen) geleverd aan de binnenvaart en zeescheepvaart. Het ging daarbij met name om FAME. (NEa, 2019).

## A.4 Productiecapaciteit

### Dieselvevangers

Het productieproces van FAME is een bewezen techniek en het wordt op grote schaal toegepast (IEA, 2017a). Nederland is een grote producent van biodiesel en de netto export bedraagt circa 2/3 van de totale Nederlandse productie. Daarnaast is Nederland een van de grootste huidige producenten van biodiesel in Europa; alleen in Spanje, Frankrijk en Italië wordt meer geproduceerd. (zie Figuur 55). Biodiesel betreft hier zowel FAME als HVO.

Tabel 69 - Productiecijfers biodiesel in miljoenen kg (PJ)<sup>121,122,123,124,125</sup>

|                                      | Nederland (2018) | EU (2017)   |
|--------------------------------------|------------------|-------------|
| Huidige productiecapaciteit NL       | 2.082 (86)       | 19338-21962 |
| Huidige productie NL                 | 1.839 (76)       | 11819       |
| Capaciteitsbenutting (%)             | 88%              | 61,12%      |
| Uitvoersaldo (export-import)         | 1224 (50)        |             |
| Gedeelte export                      | 66,6%            |             |
| Productie t.o.v. totale productie EU | 9,5%-10,8%       |             |

<sup>121</sup> Bioenergy Europe-Statistical Report Biofuels for transport (2019).

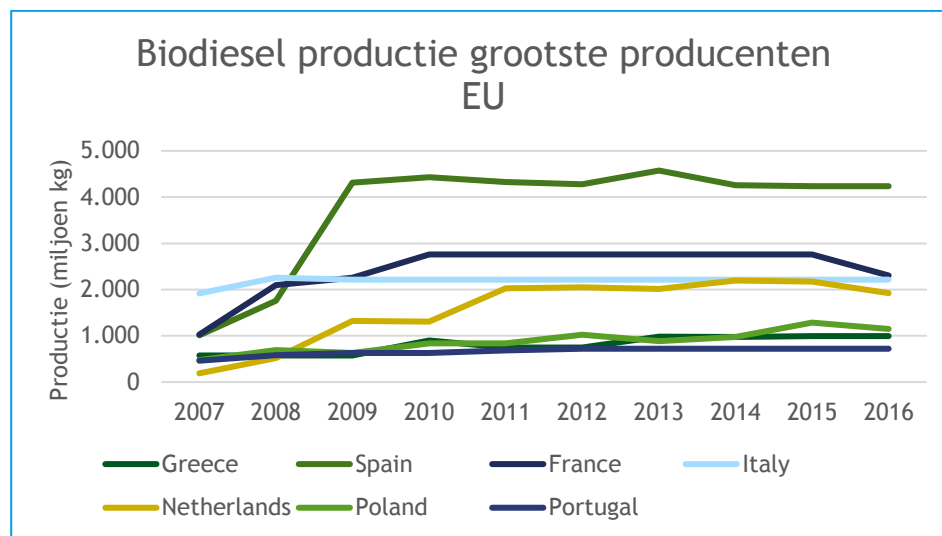
<sup>122</sup> Cijfers Rotterdamse haven (Port of Rotterdam, 2016).

<sup>123</sup> CBS data 2018.

<sup>124</sup> EU28 Biofuel Annual (USDA Foreign Agricultural Service, 2018).

<sup>125</sup> Energie-inhoud biodiesel afhankelijk van ratio FAME/HVO. De range van deze ratio is geschat op basis van de productiecapaciteiten van de fabrieken in Tabel 3.

Figuur 55 - Productiecapaciteit biodiesel grootste producenten EU<sup>126</sup>



Tabel 70 - Overzicht enkele grote biodiesel producenten Nederland (Port of Rotterdam, 2016)<sup>127</sup>

| Bedrijf                | Brandstof | Feedstock                                                                                          | Productiecapaciteit miljoen kg (PJ) |
|------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Neste                  | HVO       | Afval/restmaterialen (dierlijke vetten, palmvetzuurdestillaat) en plantaardige oliën (Neste, 2019) | 1.000 (44,0)                        |
| Biopetrol Rotterdam BV | FAME      | Plantaardige oliën (Biopetrol, 2019)                                                               | 450 (16,7)                          |
| Biopetrol Pernis BV    | FAME      | Onbekend                                                                                           | 250 (9,3)                           |

## Benzinevervangers

In Tabel 71 is te zien dat Nederland net als bij biodiesel netto-exporteur is van bio-ethanol. Daarnaast is Nederland een van de grootste producenten van bio-ethanol in Europa; alleen in Frankrijk, Hongarije, Spanje, Polen en het Verenigd Koninkrijk hebben een grotere productiecapaciteit (zie Figuur 56).

Tabel 71 - Productiecijfers bio-ethanol in miljoenen kg (PJ)<sup>128,129,130,131</sup>

|                                | Nederland (2018)         | EU (2017) |
|--------------------------------|--------------------------|-----------|
| Huidige productiecapaciteit    | 480 (12,9)               | 6454-7067 |
| Huidige productie              | 442 (11,8)               | 4194      |
| Capaciteitsbenutting           | 92%                      | 65%       |
| Uitvoersaldo (export-import)   | 187 (5,0) <sup>132</sup> | -         |
| Gedeelte export                | 39,0%                    | -         |
| Productie t.o.v. totaal Europa | 6,8%-7,4%                | -         |

<sup>126</sup> Eurostat data.

<sup>127</sup> Deze lijst is indicatief en niet volledig.

<sup>128</sup> Bioenergy Europe-Statistical Report Biofuels for transport (2019).

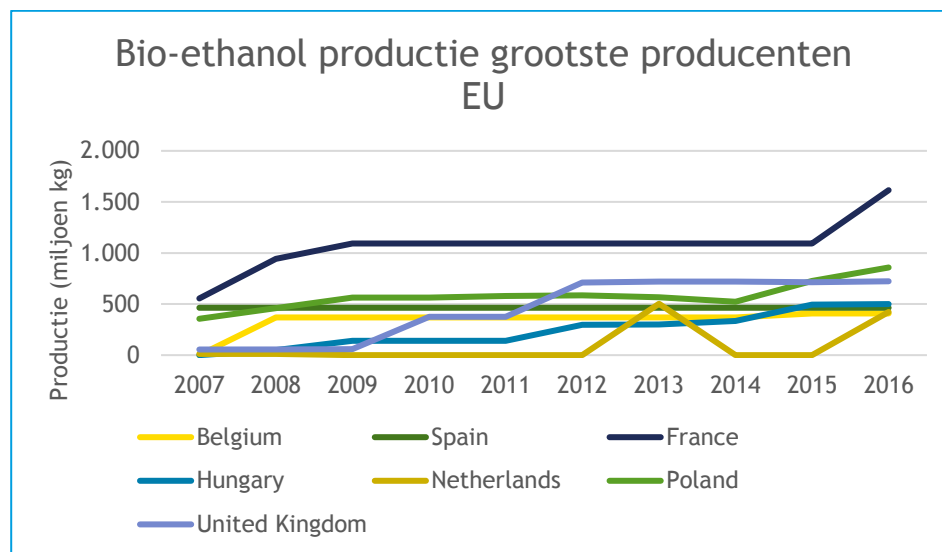
<sup>129</sup> Cijfers Rotterdamse haven.

<sup>130</sup> CBS data 2018.

<sup>131</sup> USDA- EU-28 Biofuels Annual 2018.

<sup>132</sup> Productie van 442, consumptie 265 en voorraadmutatie van 10. Dus uitvoersaldo=442+10-265=187 miljoen kg.

Figuur 56 - Bio-ethanol productie grootste producenten EU<sup>133</sup>



In Nederland en de Europese Unie wordt met name maïs, tarwe, gerst, rogge en suikerbieten gebruikt voor de productie van bio-ethanol. (USDA Foreign Agricultural Service, 2018) (zie Tabel 72).

Tabel 72 - Feedstockgebruik productie biobrandstoffen EU 2017 in miljoen kg (USDA Foreign Agricultural Service, 2018)

| Feedstock          | Verbruik |
|--------------------|----------|
| Tarwe              | 4.183    |
| Mais               | 5.197    |
| Gerst              | 368      |
| Rogge              | 532      |
| Suikerbieten       | 8.920    |
| Cellulose biomassa | 200      |
| Totaal             | 19.400   |

Bio-ethanol kan ook geproduceerd worden met grondstoffen die niet aan voedsel gerelateerd zijn, zoals houtachtige biomassa. De geproduceerde brandstoffen van deze feedstocks worden geavanceerde biobrandstoffen genoemd (NEa, 2019). De productie-technologie van geavanceerde bio-ethanol is nog niet zo ver ontwikkeld als de productie-techniek van conventionele bio-ethanol (IEA, 2017a) en momenteel wordt er nog nauwelijks cellulose biomassa gebruikt voor bio-ethanol productie (zie Tabel 72).

<sup>133</sup> Eurostat Data.

Het is echter wel de verwachting dat er in de toekomst meer geavanceerde bio-ethanol geproduceerd zal worden, vanwege de doelstellingen van de Europese Commissie en plannen van de industrie en havens. Momenteel is HVO echter het overgrote deel van de geproduceerde geavanceerde biobrandstoffen. In 2018 waren er slechts twee productie-faciliteiten voor geavanceerde bio-ethanol in Europa met een totale capaciteit van 68 miljoen kg per jaar (USDA Foreign Agricultural Service, 2018).

In het havengebied van Rotterdam worden ook voorbereidingen getroffen voor een methanolfabriek, waarbij uit industrieel afval methanol wordt geproduceerd, waarvan een deel biomethanol, omdat een deel van het afval biogeen is<sup>134</sup>.

## Gasvervangers

Groengas, wat kan worden gebruikt als bioCNG en bioLNG, wordt in Nederland op 92 plekken geproduceerd met een totale capaciteit van circa 700 miljard m<sup>3</sup> per jaar, wat overeen komt met 13,4 PJ. Groengas wordt momenteel voornamelijk geproduceerd met vergisting.

Momenteel is de volledige biogasconsumptie van transport bestemd voor wegtransport (NEa, 2019), maar het is de verwachting dat bioLNG in de toekomst ook gebruikt zal worden voor de scheepvaart (zowel zeevaart als binnenvaart) (CE Delft, 2018b).

BioLPG wordt momenteel op één locatie in Nederland geproduceerd, namelijk in bij de bioraffinaderij van Neste in Rotterdam. Hier kan jaarlijks circa 40 kton bioLPG geproduceerd worden, omgerekend 1,8 PJ. Net als bij groengas heeft bioLPG toepassingen in verschillende sectoren en is het niet mogelijk om te bepalen welk deel van deze productie toegeschreven kan worden aan transport.

## Kerosinevervangers

Momenteel wordt er nog geen biokerosine geproduceerd in Nederland. Er zijn echter wel concrete plannen voor nieuwe fabrieken. Zo gaat SkyNRG vanaf 2022 jaarlijks 100.000 ton biokerosine produceren in Delfzijl en overweegt Neste om een productiefaciliteit van biokerosine neer te zetten op de Maasvlakte. Naar verwachting gaat dit om HEFA.

De verwachting is dat de productiecapaciteit van biokerosine binnen de EU richting 2025 groeit naar 550 kiloton per jaar vergeleken met 360 kiloton per jaar in 2018 (Prussi, 2019). De groei van de productiecapaciteit van biokerosine is echter erg afhankelijk van stimuleringsbeleid van de overheid, aangezien biokerosine momenteel nog niet kan concurreren met de fossiele variant (CE Delft, 2017c).

## Scheepvaartbrandstoffen

Veel biobrandstoffen, die onder diesel-, benzine- en gasvervangers besproken zijn, kunnen mogelijk ook worden ingezet in de scheepvaart. De productieroutes verschillen daarmee niet wezenlijk, wat bij luchtvaartbrandstoffen wel gedeeltelijk waar is.

---

<sup>134</sup> [Processcontrol Methanolfabriek Botlek loopt vertraging op](#)

## A.5 Conversiefactoren

Elke productieroute kent een eigen conversiefactor. Tabel 73 geeft een samenvatting van de conversiefactoren, zoals gevonden in de literatuur. Op basis hiervan en aan de hand van de inschattingen voor de benodigde vraag is de benodigde biomassa uitgerekend voor mobiliteit en transport.

Tabel 73 Conversiefactoren voor de verschillende productieroutes o.b.v. literatuurstudie [1] (European Commission-Sub Group on Advanced Biofuels, 2017), [2] (USDA Foreign Agricultural Service, 2018), [3] (Chen, 2018), [4] (JRC, 2017), [5] (de Jong, 2017), [6] (CE Delft, 2019), [7] (FAO, 2008), [8] (World Bio-energy, 2013), [9] (Ralph, 2010), [10] (IEA Bioenergy, 2019)

| Type vervoer       | Brandstof       | Grondstof                      | Conversie factor onderlimiet (PJ brandstof/PJ biomassa) | Conversie factor bovenlimiet (PJ brandstof/PJ biomassa) | Bron          |
|--------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|
| Wegvervoer Diesel  | FAME            | Frituurvet                     | 0,92                                                    | 0,98                                                    | [1], [2]      |
|                    |                 | Sojabonen                      | 0,29                                                    | 0,35                                                    | [7], [8]      |
|                    |                 | Palmolie                       | 0,30                                                    | 0,31                                                    | [7], [8]      |
|                    |                 | Koolzaad                       | 0,52                                                    | 0,52                                                    | [8]           |
|                    |                 | Dierlijke vetten               | 0,89                                                    | 0,94                                                    | [4]           |
|                    | FT-diese        | Hout                           | 0,13                                                    | 0,13                                                    | [1]           |
|                    | DME             | Hout                           | 0,80                                                    | 0,80                                                    | [4]           |
|                    | HVO             | Frituurvet                     | 0,98                                                    | 0,98                                                    | [1], [2]      |
|                    |                 | Dierlijke vetten               | 0,95                                                    | 0,95                                                    | [4]           |
|                    | Pyrolyse diesel |                                |                                                         |                                                         |               |
| Wegvervoer benzine | Bio-ethanol     | Maïs                           | 0,78                                                    | 0,82                                                    | [2], [7], [8] |
|                    |                 | Tarwe                          | 0,68                                                    | 0,80                                                    | [2], [7], [8] |
|                    |                 | Suikerriet                     | 0,12                                                    | 0,12                                                    | [7]           |
|                    |                 | Suikerbiet                     | 0,17                                                    | 0,23                                                    | [2], [7], [8] |
|                    |                 | Lignocellulose biomassa        | 0,20                                                    | 0,55                                                    | [9]           |
|                    | Bio-methanol    |                                |                                                         |                                                         |               |
| Wegvervoer gas     | Bio-methaan     | RWZI slib (vergisting)         | 0,24                                                    | 0,26                                                    | [6]           |
|                    |                 | Varkensdrijftmest (vergisting) | 0,35                                                    | 0,35                                                    | [6]           |
|                    |                 | GFT (vergisting)               | 0,09                                                    | 0,10                                                    | [6]           |
|                    |                 | Hout (vergassing)              | 0,60                                                    | 0,60                                                    | [6]           |
| Luchtvaart         | HEFA            | Frituurvet                     | 0,85                                                    | 0,85                                                    | [5]           |
|                    | FT              | Hout                           | 0,40                                                    | 0,55                                                    | [1]           |
|                    | ATJ             | Maïs                           | 0,67                                                    | 0,67                                                    | [5]           |
|                    | HDCJ            | Hout                           | 0,25                                                    | 0,25                                                    | [10]          |
| Zeevaart           | FAME            | Frituurvet                     | 0,92                                                    | 0,98                                                    | [1], [2]      |
|                    |                 | Sojabonen                      | 0,29                                                    | 0,35                                                    | [7], [8]      |
|                    |                 | Palmolie                       | 0,30                                                    | 0,31                                                    | [7], [8]      |
|                    |                 | Koolzaad                       | 0,52                                                    | 0,52                                                    | [8]           |
|                    |                 | Dierlijke vetten               | 0,89                                                    | 0,94                                                    | [4]           |
|                    | HVO             | Frituurvet                     | 0,98                                                    | 0,98                                                    | [1], [2]      |
|                    |                 | Dierlijke vetten               | 0,95                                                    | 0,95                                                    | [4]           |
|                    | Bio-ethanol     | Maïs                           | 0,8                                                     | 0,8                                                     | [2], [7], [8] |

| Type vervoer | Brandstof | Grondstof               | Conversie factor onderlimiet (PJ brandstof/PJ biomassa) | Conversie factor bovenlimiet (PJ brandstof/PJ biomassa) | Bron          |
|--------------|-----------|-------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------|
|              |           | Tarwe                   | 0,7                                                     | 0,8                                                     | [2], [7], [8] |
|              |           | Suikerriet              | 0,1                                                     | 0,1                                                     | [7]           |
|              |           | Suikerbiet              | 0,2                                                     | 0,2                                                     | [2], [7], [8] |
|              |           | Lignocellulose biomassa | 0,2                                                     | 0,6                                                     | [9]           |

## A.6 Productiekosten

In de volgende paragrafen wordt een indicatie van de productiekosten van de verschillende typen biobrandstoffen gegeven.

### Dieselvevangers

De kosten van dieselvevangers lopen erg uiteen. Alleen FAME en HVO worden op commerciële schaal geproduceerd, de productiekosten van deze biobrandstoffen zijn dan ook het laagste. De geschatte kosten voor de productie van FAME liggen in de range van € 19-29 per GJ. Voor HVO liggen de geschatte productiekosten tussen de € 14-25 per GJ. Bij beide productieprocessen is circa 80% van de kosten toe te schrijven aan de gebruikte grondstoffen en de overige 20% aan het productieproces (European Commission-Sub Group on Advanced Biofuels, 2017). Het wordt niet verwacht dat de kosten nog veel zullen dalen richting 2030 aangezien beide technieken al op commerciële schaal toegepast worden en het niet de verwachting is dat de grondstofkosten zullen dalen in de toekomst (IRENA, 2016).

De huidige kosten voor de productie van biobrandstoffen geproduceerd door FT-synthese liggen een stuk hoger, rond de € 50/GJ (afhankelijk van de gebruikte grondstof kan dit hoger of lager zijn). Deze kosten zijn ongeveer gelijk verdeeld tussen de kosten voor de inkoop van de grondstof en de kosten gerelateerd aan het productieproces. De verwachting is wel dat de productie van FT-brandstoffen richting 2030 flink zullen dalen tot € 30-40 per GJ. Dit komt met name door daling van de investeringskosten door leereffecten en efficiëntere conversie (IRENA, 2016).

De productiekosten voor dieselvevangers geproduceerd met pyrolyse of HTL worden geschat tussen de € 14 en 33 per GJ. Deze cijfers zijn echter erg onzeker, aangezien er weinig beschikbaar is (European Commission-Sub Group on Advanced Biofuels, 2017). Het is de verwachting dat de productiekosten van deze techniek zullen dalen in de toekomst (IRENA, 2016).

### Benzinevervangers

De productiekosten van conventionele bio-ethanol, dus bij productie van suikerhoudende biomassa, liggen tussen de € 20 en 30 per GJ, afhankelijk van de grondstof die gebruik wordt. Deze kosten zullen richting 2030 niet veel meer dalen aangezien dit een volwassen techniek is. De productiekosten van bio-ethanol van cellulose biomassa door middel van fermentatie liggen aanzienlijk hoger, namelijk tussen de € 30 en 55 per GJ. Deze kosten zullen naar verwachting wel nog dalen in de toekomst tot € 25-45 per GJ in 2030. De kosten

voor bio-ethanol productie door middel van fermentatie van syngas zullen in 2030 naar verwachting tussen de € 25 en € 35 per GJ liggen (IRENA, 2016).

## Gasvervangers

De kosten voor de productie van groengas zijn erg afhankelijk van het productieproces en de grondstof die gebruikt wordt. De kosten liggen tussen de € 11 en € 34 per GJ. Bij vergisting van afval liggen de kosten tussen de € 19 en 24 per GJ. Bij vergassing van houtige biomassa liggen de kosten tussen de € 20 en 25 per GJ (European Commission-Sub Group on Advanced Biofuels, 2017).

In het geval van CNG en LNG komen er nog additionele kosten bij voor het comprimeren of voor het vervloeien.

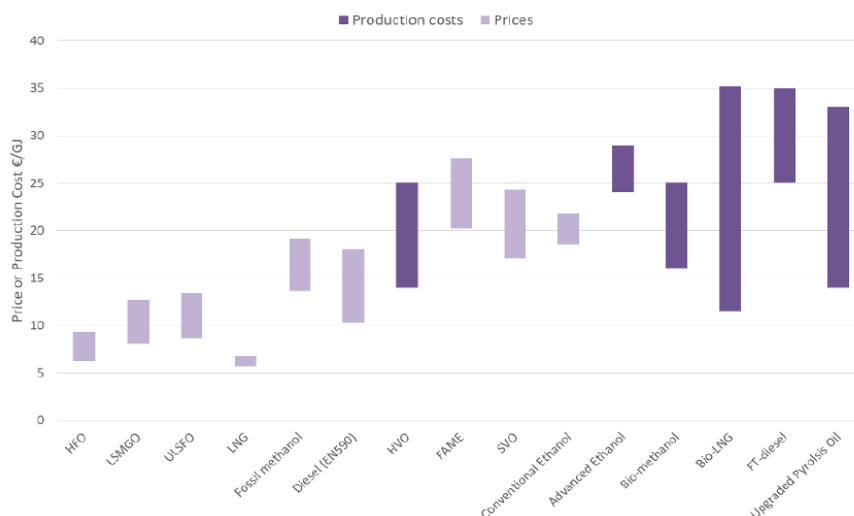
## Kerosinevervangers

De productiekosten van biokerosine liggen nog een stuk hoger dan de prijs van fossiele kerosine, voor elk van de bovenstaande technieken. De huidige prijs van fossiele kerosine ligt tussen de € 9 en 17 per GJ. Voor HEFA liggen deze kosten rond de € 25/GJ, wat voornamelijk veroorzaakt wordt door de kosten voor de grondstof (de Jong, et al., 2017; European Commission-Sub Group on Advanced Biofuels, 2017). De productie van FT-brandstoffen en HDCJ brandstof is nog niet op commerciële schaal toepasbaar en de productiekosten liggen daardoor zelfs nog hoger (€ 50 per GJ voor FT en 30-50 € per GJ voor HDCJ). Ook het productieproces van ATJ bevindt zich nog in de demonstratiefase (de Jong, et al., 2017).

## Scheepvaartbrandstofvervangers

Wanneer dezelfde biobrandstoffen als in het wegtransport worden toegepast, zijn in principe dezelfde productiekosten van toepassing. Wel verschilt de kostenstructuur van de scheepvaart sterk van het wegtransport. Figuur 57 laat een kostenvergelijking zien waarbij biobrandstoffen vergeleken worden met scheepvaartbrandstoffen.

Figuur 57 - Kostenvergelijking scheepvaartbrandstoffen en biobrandstoffen (E4tech, 2018)



## A.7 Alternatieven per marktsegment

### *Elektrificatie van transport*

Zoals al geschetst in de inleiding van dit hoofdstuk zijn biobrandstoffen slechts één van de opties voor de transitie naar klimaatneutraal transport. De belangrijkste alternatieve invulling voor biodiesel is de elektrificatie van transport, waarbij conventionele diesel-voertuigen vervangen worden door elektrische of waterstof-elektrische aandrijflijnen. De verwachting is dat dergelijke nulmissie oplossingen voor personenvervoer en bestelbusjes vanaf 2030 de norm wordt. Voor zwaar wegvervoer is de verwachting voor 2030-2050 dat zero-emissie weliswaar dominant wordt, maar dat er deels ook nog biobrandstoffen en andere hernieuwbare, vloeibare brandstoffen worden ingezet.

### *Vervanging van biodiesel door andere hernieuwbare brandstoffen in dieselvoertuigen*

Een mogelijke concurrerende invulling van biodiesel is de inzet van hernieuwbare brandstoffen van niet-biologische oorsprong. De REDII kent hier ook een aparte categorie voor, ook wel aangeduid met de afkorting RFNBO oftewel Renewable Fuels of Non-Biological Origin. Waterstof valt hier ook onder en zogenaamde electrofuels, zoals Power-to-Liquids.

Een andere categorie is brandstoffen uit hergebruikte koolstof uit bijv. door middel van pyrolyse op basis van niet-recycleerbaar plastic. De koolstofinhoud van dit soort grondstoffen wordt opgewerkt tot brandstof. De theorie is dat de keten verlengd wordt en er nog een hoogwaardig product van wordt gemaakt voordat het verbrand wordt. Het is echter wel van belang dat deze route beter scoort dan andere (chemische) recyclingroutes of afvalverbranding. De beschikbaarheid en inzet van deze brandstoffen is daarom sterk afhankelijk van de ontwikkeling van deze verschillende chemische recyclingopties en in hoeverre lidstaten voor de optie gaan kiezen (implementatie is optioneel binnen de REDII). Omdat hergebruikt koolstof nog tot de uitstoot van fossiele CO<sub>2</sub> leidt is de verwachting dat deze brandstof slechts gedurende een korte transitieperiode zal worden ingezet.

Voor beide categorieën moet de berekeningsmethodiek op Europees niveau nog worden vastgesteld. Het voorkomen van ongewenste dubbeltellingen is daarbij essentieel. Dit zal ook bepalend zijn voor de concurrentiepositie van deze brandstoffen.

### *Vervanging van biodiesel door gasvormige brandstoffen (CNG/LNG al dan niet bioCNG/LNG of hernieuwbaar gas)*

Naast de transitie van diesel naar elektrisch of waterstof kunnen dieselvoertuigen ook vervangen worden door voertuigen op CNG of LNG, die al dan niet rijden op bioCNG, bioLNG of andere vormen van hernieuwbaar gas. De KEV 2019 verwacht voor 2030 echter maar een beperkte rol voor deze brandstof. Ook het Klimaatakkoord kent weinig gerichte sturing op deze voertuigcategorieën, hoewel de rol in de transitie wel onderkend wordt. De verwachting is dat met name bioLNG nog een rol zou kunnen spelen bij de transitie van het zwaarder langeafstandswegverkeer (of in de binnenvaart als elektrificering daar niet doorzet). ED95 (een blend met 95% ethanol) kan eventueel ook worden ingezet in dieselvoertuigen.

De concurrerende invullingen van de behoefte zijn gelijk aan de concurrerende invullingen van diesel. Omdat benzine vooral in het personenvervoer wordt ingezet en niet in het zwaar transport, is het wel de verwachting dat benzine voertuigen makkelijker vervangen kunnen worden door nulmissie aandrijflijnen. Het gemiddeld jaarkilometrage van

benzineauto's lag in 2018 wel lager dan van diesel auto's: 11.006 kilometer per jaar voor benzine t.o.v. 23.088 kilometer per jaar voor diesel. Dit ruim twee keer zo hoog kilometrage voor diesel zorgt dat hogere investeringskosten in bijv. elektrische voertuigen sneller terugverdiend zijn door de lagere energiekosten. Aan de andere kant worden diesel auto's vaak voor langere afstanden ingezet, waardoor de actieradius wellicht sneller een probleem is.

Gasvormige biobrandstoffen concurreren met dezelfde brandstoffen als diesel- en benzinevervangers. Een nadeel van gasvormige biobrandstoffen is dat het ook de overstap vraagt naar gasmotoren: er zijn dus ook veranderingen in de vloot nodig om hogere volumes aan gasvormige biobrandstoffen af te kunnen zetten.

Voor de Internationale luchtvaart zijn voorlopig geen technische alternatieven beschikbaar ter vervanging van fossiele brandstoffen. Wel wordt er onderzoek gedaan naar de toepassing van Power-to-Liquid en de inzet van waterstof en batterijen. Daarnaast zouden Recycled Carbon Fuels ingezet kunnen worden, al zijn deze niet hernieuwbaar. Volgens Cerulogy (2017) zijn de productieroutes voor PtL nog niet commercieel gedemonstreerd en zijn de productiekosten op de korte en middellange termijn nog te hoog. PtL zal daarom pas ruim na 2030 concurrerend kunnen worden. Voor de inzet van waterstof zijn er twee technologie-opties: de verbranding van waterstof in een straalmotor of de omzetting van waterstof in elektriciteit in een brandstofcelsysteem gecombineerd met een elektromotor. De energie-inhoud van waterstof per kubieke meter vormt echter een technologische barrière en zal daarom eventueel pas een optie worden ná 2030. Om de luchtvaart te kunnen elektrificeren zijn accu's voor grote vliegtuigen nog te groot, zwaar en duur. Al hebben de bekende vliegtuigbouwers al wel kleinere modellen ontwikkeld en staat het vooral in de belangstelling voor korte binnenlandse vluchten. Dus ook het vliegtuig op batterijen is naar alle waarschijnlijkheid niet vóór 2030 in de markt.

## A.8 Beleidsontwikkelingen

In de hoofdttekst zijn de overkoepelende beleidsontwikkelingen al besproken. De volgende paragrafen bespreken nog een aantal specifieke beleidsontwikkelingen per categorie.

### *Gasvervangers*

Naast de algemene beleidsontwikkelingen rond hernieuwbare energie in transport is de LNG teruggave regeling nog interessant om te benoemen. Om het gebruik van LNG in de transportsector te stimuleren is in 2014 een tijdelijke teruggaveregeling van de accijnzen voor LNG ingevoerd. Deze regeling zorgde voor een korting van € 0,125 per kg op LNG dat gekocht wordt bij de pomp (Ecorys, 2018). Aangezien deze regeling eind 2018 vervallen is, wordt momenteel een nieuwe regeling voorbereid om te voorkomen dat de ontwikkeling van LNG in de transportsector stagneert. Bij deze nieuwe regeling, de Stimuleringsregeling LNG, komt er een compensatie van € 0,1875 per kg LNG. Deze regeling loopt van 1 januari 2020 tot en met 31 december 2021 (Nationaal LNG platform, 2019).

### *Scheepvaartbrandstofvervangers*

Zowel de zeevaart als luchtvaart vallen gedeeltelijk ook buiten het nationaal beleid. De volgende beleidsontwikkelingen en ontwikkelingen binnen de sector laten zien hoe men ook tracht deze internationale sector te verduurzamen.

## *Internationale Maritieme Organisatie (IMO)*

In april 2018 heeft de Internationale Maritieme Organisatie (IMO) afgesproken dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot door de zeevaartsector fors zal worden gereduceerd. De CO<sub>2</sub>-uitstoot moet in 2050 gehalveerd zijn t.o.v. 2008 en daarna zo snel mogelijk volledig klimaatneutraal worden. Als tussenstop moeten schepen in 2030 gemiddeld 40% minder CO<sub>2</sub> uitstoten.

## *Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens*

De binnenvaart valt binnen de scope van het Klimaatakkoord, terwijl de scheepvaartsector er net als de luchtvaart buiten valt. De Nederlandse scheepvaartsector richt zich daarom in de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens op een actieplan om de internationale doelstelling van 40 % minder CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030, te realiseren. De afspraken uit het Klimaatakkoord voor de binnenvaart worden ook verder uitgewerkt in de Green Deal. Een deel van de afspraken zal internationaal verankerd moeten worden vanwege het internationale karakter van beide sectoren.

### **Binnenvaart**

#### **Ambitie 2030**

- de CO<sub>2</sub>-emissies van de Nederlandse binnenvaartvloot gereduceerd te hebben met 40 tot 50% ten opzichte van 2015;
- tenminste 150 binnenvaartschepen voorzien te hebben van een zero-emissie aandrijflijn;
- tenminste een emissieloos zeeschip in de vaart gebracht te hebben.

#### **Ambities 2035**

- een reductie van de emissie van milieuverontreinigende stoffen door de binnenvaart met 35% tot 50% ten opzichte van 2015;
- in 2050: Een absolute CO<sub>2</sub>-reductie van 70% ten opzichte van 2008 door de zeevaart gerealiseerd te hebben;
- zo spoedig mogelijk na 2050 en in ieder geval voor het eind van deze eeuw te komen tot een klimaat-neutrale zeevaart.

#### **Doelen voor 2024 (einde van de Green Deal)**

- een nieuw Europees sturingsinstrumentarium ontwikkeld te hebben dat het bereiken van de gestelde ambities stimuleert zonder dat het van overheidswege opleggen van dwingende emissienormen per schip voor 2030 en 2035 nodig is;
- een reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot van minimaal 20% te bereiken ten opzichte van 2015;
- een reductie van de emissie van milieuverontreinigende stoffen door de binnenvaart met 10% ten opzichte van 2015.

### **Zeevaart**

#### **Doelen voor 2024 (einde van de Green Deal)**

- de gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot per vervoersprestatie verminderd te hebben met tenminste 20% ten opzichte van 2008;
- de uitstoot naar de lucht van andere stoffen dan CO<sub>2</sub>, zoals SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> en PM verder terug gedrongen te hebben, in lijn met (internationale) afspraken daarover;
- binnen de looptijd van deze Green Deal vijf nieuwe businesscases voor walstroom voor de zeevaart te hebben ontwikkeld.

## Kerosinevervangers

De luchtvaart valt als sector niet binnen de afspraken van het Nederlands Klimaatakkoord. Bij het Klimaatakkoord van Parijs is afgesproken dat de International Civil Aviation Organization (ICAO) de verantwoordelijke partij is voor CO<sub>2</sub>-reductie in de internationale luchtvaart. Nederland is wel zelf verantwoordelijk voor de reductie van de binnenlandse luchtvaart. Parijs Klimaatakkoord is afgesproken dat de International Civil Aviation Organization (ICAO) de verantwoordelijke partij is voor de reductie van CO<sub>2</sub>-emissies in de internationale luchtvaart. Lidstaten zijn zelf verantwoordelijk voor de reductie in de binnenlandse luchtvaart. ICAO heeft de na te streven doelstellingen met betrekking tot de reductie van broeikasgassen vastgelegd in de ICAO Assembly Resolutions (European Parliament, 2019).

## ICAO en CORSIA

ICAO heeft de doelstellingen voor CO<sub>2</sub>-reductie vastgelegd in Assembly Resolutions. Zo bereikte ICAO in oktober 2016 overeenstemming over een resolutie voor een mondiaal marktinstrument (global market based measure) voor de reductie van broeikasgassen in de burgerluchtvaart oftewel het Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). De doelstelling van het systeem is om de emissies van de luchtvaart te stabiliseren op het niveau van 2020 door de sector te verplichten de emissiegroei boven dit niveau te compenseren. Compensatie gaat middels CO<sub>2</sub>-rechten uit investeringen in klimaatprojecten. Het systeem start vanaf 2021 en loopt tot 2035, maar is in de eerste fase tot 2026 nog op vrijwillige basis. Alle EU lidstaten nemen vanaf de start deel. Naar verwachting moeten luchtvaartmaatschappijen naar verwachting 21,6% (CE Delft, 2016) van hun cumulatieve emissies compenseren. Luchtvaartmaatschappijen kunnen de benodigde compensatie reduceren door in te zetten op alternatieve brandstoffen. De definities, die hiervoor gehanteerd worden worden als ruim gezien: kerosine met een 10% lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot telt al mee als alternatieve brandstof. Hierdoor komt ook fossiele kerosine met een relatief lage CO<sub>2</sub>-intensiteit nog in aanmerking als alternatieve brandstof. Inzet van biobrandstoffen uit voedselgewassen is ook toegestaan, terwijl het nog ontbreekt aan voldoende regels om indirect landgebruik emissies te vermijden. Als duurzaamheids-criterium wordt alleen een minimum percentage voor de CO<sub>2</sub>-reductie gehanteerd, waardoor de eisen minder streng zijn dan de criteria uit de RED II (T&E, 2019).

## EU ETS

De CO<sub>2</sub>-emissies van de luchtvaart vallen al vanaf 2012 onder het EU ETS. Onder het ETS-systeem zijn alle luchtvaartmaatschappijen binnen Europa (EU en niet-EU) verplicht om de emissies te monitoren, rapporteren en verifiëren. Voor een deel van de emissies ontvangen luchtvaartmaatschappijen verhandelbare emissierechten. Voor emissies boven dit deel moeten emissierechten gekocht worden. Het ETS heeft bewezen tot 17 Mton CO<sub>2</sub> per jaar te kunnen reduceren, maar het is momenteel nog onduidelijk hoe het ETS en CORSIA zich tot elkaar gaan verhouden. Dit is afhankelijk van de politieke besluitvorming.

## Luchtvaart in de RED II

De RED II heeft deels als doel het gebruik van hernieuwbare energie in de luchtvaart te stimuleren: de richtlijn heeft een multiplier van 1,2 geïntroduceerd voor hernieuwbare luchtvaartbrandstoffen (niet vallend onder de cap op brandstoffen uit voedsel- en veevoergewassen). Hernieuwbare luchtvaartbrandstoffen mogen ook meetellen voor de algemene RED-doelstelling, al worden deze brandstoffen in Nederland alleen meegeteld voor de transportdoelstelling. Deels is de scope nog wel onder discussie, omdat het op

EU-niveau nog de vraag is of alleen de inzet op binnenlandse vluchten en intra-Europese vluchten mee mag tellen of ook internationale vluchten buiten de EU.

De duurzaamheidscriteria van de RED II gelden niet alleen voor de biobrandstoffen, die meetellen voor de transportdoelstelling of de overall doelstelling, maar ook voor bio-brandstoffen onder andere hernieuwbare energie verplichtingen of biobrandstoffen die in aanmerking komen voor subsidies ten behoeve van de consumptie van deze brandstoffen. Dit geldt dus ook voor stimulering van hernieuwbare luchtvaartbrandstoffen in Nederland buiten de RED II om. Daarnaast mag nieuw beleid geen strengere criteria toepassen.<sup>135</sup> Aan de andere kant is het lidstaten wel toegestaan om uitzonderingen te maken of onderscheid te maken naar verschillende brandstofleveranciers en verschillende energiedragers om zo rekening te houden met de verschillen in technologische ontwikkeling en kosten. Binnen de doelstellingen van de RED II mag er een lagere limiet op biobrandstoffen uit voedsel- en veevoergewassen gezet worden. Ook mag de cap op Annex IX B grondstoffen aangepast worden. Als biobrandstoffen niet meetellen voor de RED II-doelstellingen vallen deze brandstoffen niet onder de caps, subtargets en dergelijke. (E4Tech, nog niet openbaar).

### *Slim én duurzaam: Actieplan Luchtvaart Nederland*

In Nederland hebben luchtvaartbedrijven en kennisinstellingen zich in het actieplan 'Luchtvaart Nederland, Slim en duurzaam' gecommitteerd aan het reduceren van de broeikasgasemissies in de (internationale) luchtvaart met 35% in 2030. Onderhandelingen over de vertaling van dit actieplan naar een Akkoord Duurzame Luchtvaart hebben plaatsgevonden aan de duurzame luchtvaarttafel parallel aan de totstandkoming van het Klimaatakkoord plaatsgevonden.

### *Ontwerp Akkoord Duurzame Luchtvaart<sup>136</sup>*

In het conceptakkoord voor duurzame luchtvaart van maart 2019 zijn uiteindelijk afspraken opgenomen, waaronder commitment voor een aandeel van 14% hernieuwbare luchtvaartbrandstoffen in 2030 en stimulering van biobrandstoffen in de luchtvaart via de volgende drie sporen:

- 'directe inzet voor het realiseren van Nederlandse productiecapaciteit voor biokerosine uit duurzame grondstoffen via het HEFA-proces;
- de ontwikkeling van commerciële productie van duurzame kerosine langs synthetische weg uit CO<sub>2</sub> (2025-2050);
- de ontwikkeling van commerciële productie van biokerosine uit overige, kansrijke grondstoffen en conversietechnologieën (2025-2050)'.

De overheid onderzoekt momenteel, zoals aangekondigd in een Kamerbrief, de haalbaarheid van het instellen van een jaarverplichting voor de luchtvaart.

<sup>135</sup> 'Article 29 (12): "For the purposes referred to in points (a), (b) and (c) of the first subparagraph of paragraph 1 of this Article, and without prejudice to Articles 25 and 26, Member States shall not refuse to take into account, on other sustainability grounds, biofuels and bioliquids obtained in compliance with this Article. This paragraph shall be without prejudice to public support granted under support schemes approved before 24 December 2018.'

<sup>136</sup> (Ministerie van I&W, 2019).



## A.9 Cascaderingsmogelijkheden

Cascadering bij biomassa in transport speelt met name een rol aan de grondstofkant aan het begin van de keten: er is in toenemende mate aandacht voor bijv. het cascaderen van biomassa alvorens de biomassa wordt ingezet voor biobrandstofproductie. Deze cascaderingsopties vallen buiten de scope van biomassa in transport en mobiliteit en vallen volgens de opzet van dit onderzoek meer onder de industrie en chemie. Het onderzoeken van cascaderingsmogelijkheden in de brandstofproducerende sectoren kan en zal een belangrijke sleutelfactor moeten zijn in de verdere verduurzaming van mobiliteit en transport.

Door het sturen op een toename van biobrandstoffen uit afval en residuen en het weg bewegen van biobrandstoffen uit primaire biomassa (zonder cascadering) moedigt het beleid dit deels vanuit de vraagkant aan. Tot nu toe betrof dit vaak cascadering, waarbij reststromen na het vrijkomen opnieuw in een productieproces worden ingezet, maar de biobrandstoffen, die voor de toekomst voorzien zijn, zullen meer gebaseerd zijn op bioraffinageconcepten, waarbij er een bredere range aan producten vrijkomt, die elk op een andere manier en in verschillende sectoren verwaard kunnen worden. Een aantal productieroutes kent bijvoorbeeld bijproducten, zoals glycerine in het geval van FAME en nafta bij HVO, die ook kunnen worden ingezet als of verwerkt tot brandstof. Vaak gaat het om een combinatie van voedsel- en veevoerproducten, brandstof en/of chemicaliën. Aan de ene kant onderscheiden we hierbij coproductie, waarbij het conversieproces van brandstoffen gecombineerd wordt met de productie van andere biobased producten. Dit kan op de volgende manieren:

- ‘Co-locating’: Het installeren van een aparte eenheid die gebruikt maakt van een gedeelte van de feedstock, de feedstockinfrastructuur en voorzieningen op het terrein.
- ‘Retro-fitting’: Een additionele eenheid toevoegen, die gebruikt maakt van bijproducten of ongebruikte componenten voor alternatieve doeleinden.
- ‘Repurposing’: Het bestaande productieproces zo veranderen dat de output verandert. (de Jong, et al., 2017).

Bioraffinaderijen met als hoofddoel de productie van biobrandstoffen, maar met daarnaast de productie van andere hoogwaardige biobased producten, kunnen de kosten van brandstoffen sterk reduceren. Biobased producten, zoals chemicaliën, leveren meer op per volume dan brandstoffen. Door ook hoogwaardige producten te produceren wordt de toegevoegde waarde van het productieproces gemaximaliseerd.

Daarnaast kan aardolieraffinage ook op verschillende manieren gecombineerd worden met bioraffinage in bestaande raffinaderijen, waarbij fossiele en bioproducten los of gemengd op de markt kunnen komen (TOTAL, 2015). Door deze combinatie kunnen kosten gereduceerd worden, doordat niet alle infrastructuur opnieuw gerealiseerd hoeft te worden en deels kan de fossiele brandstofindustrie gedeeltelijk overstappen op biobrandstoffen.

## B Beschikbaarheid Mondiaal

Tabel 74 tot en met Tabel 76 bevatten de cijfers voor de wereldwijde beschikbaarheid van biomassa in de huidige situatie, 2030 en 2050, uitgedrukt in Mton droge stof gewicht. De tabellen zijn, op de eenheid van de waarden na, gelijk aan Tabel 36 tot en met Tabel 38 in Paragraaf 3.3 (zie aldaar voor de noten bij de tabel). Bij de omrekening van primaire energie naar gewicht is gebruik gemaakt van gemiddelde energie-inhoud-kentallen voor verschillende biomassastromen. Deze variëren van 15,9 tot 19,8 MJ per kilogram droge stof.

Tabel 74 - Biomassaproductie wereldwijd, huidig (meest recente cijfers) (in Mton/jaar)

| Biomassastromen       | Landbouw     | Bosbouw      |
|-----------------------|--------------|--------------|
| Productiestroom       | 188          | 833          |
| Primaire reststroom   | 1.462        | 2.717        |
| Secundaire reststroom |              |              |
| Tertiaire reststroom  | 107          |              |
| <b>Som</b>            | <b>1.757</b> | <b>3.550</b> |

Tabel 75 - Biomassapotentieel wereldwijd in 2030 (in Mton/jaar)

| Biomassastromen       | Landbouw                     | Bosbouw                      | Mix (land- en bosbouw) |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Productiestroom       | Duurzaam: 1.768-2.089        | Duurzaam: 1.111-1.818        | Duurzaam: 1.709-6.089  |
| Primaire reststroom   | Duurzaam: 767-1.769          | Duurzaam: 657-758            |                        |
| Secundaire reststroom | Duurzaam: 315-945            |                              |                        |
| Tertiaire reststroom  | Duurzaam: 1.132              | Duurzaam: 424-444            |                        |
| <b>Som</b>            | <b>Duurzaam: 3.982-5.936</b> | <b>Duurzaam: 2.192-3.020</b> |                        |

Tabel 76 - Biomassapotentieel wereldwijd in 2050 (in Mton/jaar)

| Biomassastromen       | Landbouw                                                              | Bosbouw                                                              | Mix (land- en bosbouw)  | Mix (land- en bosbouw)                                      |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Productiestroom       | Duurzaam:<br>1.339<br>Technisch duurzaam:<br>5.357                    | Duurzaam:<br>1.263<br>Technisch duurzaam:<br>2.525                   | Duurzaam:<br>855-11.378 |                                                             |
| Primaire reststroom   | Duurzaam:<br>3.361-3.538<br>Technisch duurzaam:<br>6.899              | Duurzaam:<br>657-1.010<br>Technisch duurzaam:<br>1.414               |                         | Duurzaam:<br>4.392-4.921<br>Technisch<br>duurzaam:<br>6.614 |
| Secundaire reststroom |                                                                       |                                                                      |                         |                                                             |
| Tertiaire reststroom  |                                                                       |                                                                      |                         |                                                             |
| <b>Som</b>            | <b>Duurzaam<br/>4.700-4.877<br/>Technisch<br/>Duurzaam<br/>12.256</b> | <b>Duurzaam<br/>1.919-2.273<br/>Technisch<br/>Duurzaam<br/>8.990</b> |                         |                                                             |

## C Beschikbaarheid in EU28

Tabel 77 tot en met Tabel 79 bevatten de cijfers voor de beschikbaarheid van biomassa in de EU in de huidige situatie, 2030 en 2050, uitgedrukt in Mton droge stof gewicht. De tabellen zijn, op de eenheid van de waarden na, gelijk aan Tabel 42 tot en met Tabel 44 in Paragraaf 3.4 (zie aldaar voor de noten bij de tabel). Bij de omrekening van primaire energie naar gewicht is gebruik gemaakt van gemiddelde energie-inhoud-kentallen voor verschillende biomassastromen. Deze variëren van 15,9 tot 19,8 MJ per kilogram droge stof.

**Tabel 77 - Biomassaproductie in de EU, huidig (meest recente cijfers) (in Mton/jaar)**

| Biomassastromen       | Landbouw   | Bosbouw    |
|-----------------------|------------|------------|
| Productiestroom       | 43         | 217        |
| Primaire reststroom   | 47         | 86         |
| Secundaire reststroom | 40         | 66         |
| Tertiaire reststroom  |            | 15         |
| <b>Som</b>            | <b>130</b> | <b>384</b> |

**Tabel 78 - Biomassapotentieel in EU in 2030 (in Mton/jaar)**

| Biomassastromen       | Landbouw                                                     | Bosbouw                                                    | Mix (bosbouw)                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Productiestroom       | Duurzaam: 139-380<br>Technisch duurzaam: 846                 | Duurzaam: 187-303                                          | Technisch duurzaam:<br>253-556 |
| Primaire reststroom   | Duurzaam: 77-159                                             | Duurzaam: 76-146                                           |                                |
| Secundaire reststroom | Duurzaam: 47-110                                             | Duurzaam: 91                                               |                                |
| Tertiaire reststroom  | Duurzaam: 101-226                                            | Duurzaam: 76-177                                           |                                |
| <b>Som</b>            | <b>Duurzaam: 364-876</b><br><b>Technisch duurzaam: 1.372</b> | <b>Duurzaam: 429-626</b><br><b>Technisch duurzaam: 823</b> |                                |

**Tabel 79 - Biomassapotentieel in EU in 2050 (in Mton/jaar)**

| Biomassastromen       | Landbouw                                 | Bosbouw       |
|-----------------------|------------------------------------------|---------------|
| Productiestroom       | Duurzaam: 129<br>Technisch duurzaam: 846 | Duurzaam: 429 |
| Primaire reststroom   | Duurzaam: 88                             | Duurzaam: 61  |
| Secundaire reststroom |                                          | Duurzaam: 91  |
| Tertiaire reststroom  | Duurzaam: 101                            | Duurzaam: 15  |

## D Beschikbaarheid in Nederland

Tabel 80 bevat de cijfers voor de beschikbaarheid van biomassa in Nederland, uitgedrukt in PJ primaire energie. De tabel is identiek aan Tabel 45 op pagina 127 (zie aldaar voor de noten bij de tabel).

In Tabel 81 staan de getallen uitgedrukt in droge stof gewicht, in kton.

**Tabel 80 - Schatting huidige productie voor energie en materialen in de praktijk, 'vrij beschikbaar potentieel' en (bij houtige biomassa) additionele beschikbaarheid in 2030/2050.** Cijfers in de tabel zijn in PJ primaire energie

|                                                | Keten landbouwproducten                |   |                 | Houtketen                                               | Overig                                                                                |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|---|-----------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Productiestroom</b>                         |                                        |   |                 |                                                         | -                                                                                     |
| – Huidige productie voor energie en materialen | > 7                                    | - | > 9             | 35                                                      | 30                                                                                    |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0                                      |   |                 | 5 <sup>6</sup>                                          | >30                                                                                   |
| – Additioneel beschikbaar in 2030/2050         | 0                                      | - | 25              | 1 resp. 5                                               |                                                                                       |
| Typen biomassa:                                | Akkerbouwgewassen, groenbemester, gras |   |                 | Hout uit bos, landschap, bebouwde omgeving - gesommeerd | Groenafval                                                                            |
| <b>Primaire reststroom</b>                     |                                        |   |                 |                                                         |                                                                                       |
| – Ingezaamd of achtergelaten                   | 125                                    | - | 130             |                                                         |                                                                                       |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel gewasresten    | 0                                      | - | 3               |                                                         |                                                                                       |
| – Additioneel beschikbaar in 2030/2050         | 0                                      | - | 10 <sup>5</sup> |                                                         |                                                                                       |
| Typen biomassa:                                | Stro, gewasresten akkerbouw, mest      |   |                 |                                                         |                                                                                       |
| <b>Secundaire reststroom</b>                   |                                        |   |                 |                                                         |                                                                                       |
| – Vrijkomend                                   | 80                                     | - | 110             | 10 - 15                                                 |                                                                                       |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0 - 10                                 |   |                 | 0 - 5                                                   |                                                                                       |
| Typen biomassa:                                | Bijproducten VGI, DDGS                 |   |                 | Resthout houtverwerkende industrie                      |                                                                                       |
| <b>Tertiaire reststroom</b>                    |                                        |   |                 |                                                         |                                                                                       |
| – Vrijkomend                                   | 10                                     |   |                 | 25                                                      | 30                                                                                    |
| – 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0                                      |   |                 | 0 - 5                                                   | 0                                                                                     |
| – Beschikbaar in 2030/2050                     | Neemt af (circulair beleid)            |   |                 | Neemt af (circulair beleid)                             | Neemt af (circulair beleid)                                                           |
| Typen biomassa:                                | Gescheiden ingezameld GFT              |   |                 | Afvalhout, papierresiduen en papierslib                 | RWZI-slib, grove organische fractie huishoudelijk afval, organische fractie KWD-afval |

**Tabel 81 - Schatting huidige productie voor energie en materialen in de praktijk, 'vrij beschikbaar potentieel' en (bij houtige biomassa) additionele beschikbaarheid in 2030/2050. Cijfers in de tabel zijn in gewicht droge stof (kton)**

|                                                | Keten landbouwproducten                |   |   |       | Houtketen                          |                                                         |   | Overig                      |                                                                                       |  |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|---|---|-------|------------------------------------|---------------------------------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Productiestroom</b>                         |                                        |   |   |       |                                    |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| ▫ Huidige productie voor energie en materialen | > 375                                  | - |   | > 475 |                                    | 1.768                                                   |   |                             | 1.667                                                                                 |  |
| ▫ 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0                                      |   |   |       |                                    | 253                                                     |   |                             | > 1.667                                                                               |  |
| ▫ Additioneel beschikbaar in 2030/2050         | 0                                      |   | - |       | 1.389                              | 51 resp. 253                                            |   |                             |                                                                                       |  |
| Typen biomassa:                                | Akkerbouwgewassen, groenbemester, gras |   |   |       |                                    | Hout uit bos, landschap, bebouwde omgeving - gesommeerd |   |                             | Groenafval                                                                            |  |
| <b>Primaire reststroom</b>                     |                                        |   |   |       |                                    |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| ▫ Ingezameld of achtergelaten                  | 7.377                                  | - |   | 7.672 |                                    |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| ▫ 'Vrij beschikbaar' potentieel gewasresten    | 0                                      |   | - |       | 172                                |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| ▫ Additioneel beschikbaar in 2030/2050         | 0                                      |   | - |       | 575                                |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| Typen biomassa:                                | Stro, gewasresten akkerbouw, mest      |   |   |       |                                    |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| <b>Secundaire reststroom</b>                   |                                        |   |   |       |                                    |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| ▫ Vrijkomend                                   | 4.202                                  | - |   | 5.777 |                                    | 505                                                     | - | 758                         |                                                                                       |  |
| ▫ 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0 - 525                                |   |   |       |                                    | 0 - 253                                                 |   |                             |                                                                                       |  |
| Typen biomassa:                                | Bijproducten VGI, DDGS                 |   |   |       | Resthout houtverwerkende industrie |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| <b>Tertiaire reststroom</b>                    |                                        |   |   |       |                                    |                                                         |   |                             |                                                                                       |  |
| ▫ Vrijkomend                                   | 629                                    |   |   |       |                                    | 1.263                                                   |   |                             | 645                                                                                   |  |
| ▫ 'Vrij beschikbaar' potentieel                | 0                                      |   |   |       |                                    | 0 - 253                                                 |   |                             | 0                                                                                     |  |
| ▫ Beschikbaar in 2030/2050                     | Neemt af (circulair beleid)            |   |   |       | Neemt af (circulair beleid)        |                                                         |   | Neemt af (circulair beleid) |                                                                                       |  |
| Typen biomassa:                                | Gescheiden ingezameld GFT              |   |   |       |                                    | Afvalhout, papierresiduen en papierslib                 |   |                             | RWZI-slib, grove organische fractie huishoudelijk afval, organische fractie KWD-afval |  |

# E Bronnenbeschrijving biomassa- potentieel mondiaal en EU

In deze bijlage staan de biomassapotentieelstudies kort nader beschreven die zijn gebruikt in Hoofdstuk 3 als bron voor de onder- en bovenwaardes van biomassabeschikbaarheid mondiaal en in de EU. Voor Nederland zijn zulke op Nederland gerichte algemene recente biomassapotentieelstudies (met oorspronkelijke cijfers) niet beschikbaar.

## E.1 Mondiaal

### CCC (2018).

De studie van de Committee on Climate Change schat een wereldwijd 'duurzaam-economisch' biomassapotentieel in voor het jaar 2050. Alleen 'verhandelbare' biomassastromen zijn meegenomen, d.w.z., biomassastromen die een te lage energiewaarde hebben en daarom te hoge transportkosten met zich meebrengen zijn uitgesloten. Ook 'traditionele' bioenergie wordt in deze studie niet meegenomen, omdat 'dit vaak geassocieerd wordt met onduurzame ontbossing'. Voor wat betreft productie is uitgegaan van de teelt van lignocellulosehoudende gewassen. Verder is uitsluitend gekeken naar reststromen landbouw en bosbouw. Er zijn drie scenario's opgenomen: 'High', 'Mid' en 'Low'. Het 'High'-scenario is een scenario van groene groei en innovatie en is in lijn met Shared Socio-economic Pathway 1 (SSP1) van de IPCC, het 'Mid'-scenario is een business-as-usual-scenario en is in lijn with SSP2, en het 'Low'-scenario gaat uit van een wereld met minder internationale samenwerking en in lijn met SSP3 (hoge bevolkingsgroei, hoge voedselbehoefte met vleesrijk dieet en laag innovatieniveau). Bij de berekening van beschikbare biomassa wordt gebruik gemaakt van een 'geïntegreerd raamwerk van het landgebruik' waarbij rekening wordt gehouden met 'interacties tussen biogeochemische, ecologische en menselijke systemen.' De houtachtige gewassen worden verbouwd op verlaten landbouwgrond van lagere kwaliteit, zodat er een verlaagd ILUC-risico is. Bij de inschatting van reststromen in de bosbouw is uitgegaan van duurzaam bosbeheer volgens de nieuwste inzichten van welk stromen/hoeveelheden tot lage ecologische risico's en CO<sub>2</sub>-uitstoot leiden. Voor wat betreft reststromen van de landbouw is aangenomen dat de helft van alle primaire reststromen voor bodemonderhoud en stalbedekking wordt gebruikt. De studie van de Committee on Climate Change schat een wereldwijd 'duurzaam-economisch' biomassapotentieel in voor het jaar 2050. Alleen 'verhandelbare' biomassastromen zijn meegenomen, d.w.z., biomassastromen die een te lage energiewaarde hebben en daarom te hoge transportkosten met zich meebrengen zijn uitgesloten. Ook 'traditionele' bioenergie wordt in deze studie niet meegenomen, omdat 'dit vaak geassocieerd wordt met onduurzame ontbossing'. Voor wat betreft productie is uitgegaan van de teelt van lignocellulosehoudende gewassen. Verder is uitsluitend gekeken naar reststromen landbouw en bosbouw. Er zijn drie scenario's opgenomen: 'High', 'Mid' en 'Low'. Het 'High'-scenario is een scenario van groene groei en innovatie en is in lijn met Shared Socio-economic Pathway 1 (SSP1) van de IPCC, het 'Mid'-scenario is een business-as-usual-scenario en is in lijn with SSP2, en het 'Low'-scenario gaat uit van een wereld met minder internationale samenwerking en in lijn met SSP3 (hoge bevolkingsgroei, hoge voedselbehoefte met vleesrijk dieet en laag innovatieniveau). Bij de berekening van beschikbare biomassa wordt gebruik gemaakt van een 'geïntegreerd raamwerk van het landgebruik'

waarbij rekening wordt gehouden met ‘interacties tussen biogeochemische, ecologische en menselijke systemen.’ De houtachtige gewassen worden verbouwd op verlaten landbouwgrond van lagere kwaliteit, zodat er een verlaagd ILUC-risico is. Bij de inschatting van reststromen in de bosbouw is uitgegaan van duurzaam bosbeheer volgens de nieuwste inzichten van welk stromen/hoeveelheden tot lage ecologische risico’s en CO<sub>2</sub>-uitstoot leiden. Voor wat betreft reststromen van de landbouw is aangenomen dat de helft van alle primaire reststromen voor bodemonderhoud en stalbedekking wordt gebruikt.

### Creutzig et al (2015)

In dit artikel worden wereldwijde technische potentieelcijfers gegeven voor 2050, welke zijn gebaseerd op een analyse van een groot aantal studies met uiteenlopende ecologische beperkingen. De auteurs stellen dat de verschillende aannames in studies m.b.t. deze beperkingen leiden tot zeer verschillende inschattingen. De ranges die de studie geeft zijn met name groot voor de biomassacategorieën ‘toepassingsgericht gewassen’ (25-675 EJ) en ‘reststromen bos en landbouw’ (40-125 EJ). De genoemde 675 EJ per jaar voor teelt van energiegewassen (*‘dedicated crops’*) heeft volgens Creutzig et al. (2015) een lage mate van overeenstemming, met de kanttekening dat in het artikel ook nog studies worden genoemd die nog aanzienlijk hogere beschikbaarheidscijfers komen, tot boven de 1.000 EJ per jaar. Ook ‘optimaal oogsten van bos’ leidt tot een wijde range (25-75 EJ). Deze categorie is door Creutzig et al (2015) gedefinieerd als “het deel van de oogstniveaus in bossen (welke vaak gelijk worden gesteld aan de netto jaarlijkse toename) die beschikbaar zijn voor additionele extractie van hout als het verwachte oogstniveau benodigd voor de productie van andere bosproducten mee wordt genomen”. De potentie van deze categorie hangt o.a. af van het eigendom van bossen, economische prikkels en de structuur van de bosbouw-industrie. Het effect van veranderingen in oogstregimes en bosbeheer als gevolg van additionele houtextractie kan ook negatieve effecten hebben op ecosystemen. De auteurs concluderen hierover dat het optimaal oogsten van bos een ‘complex issue’ is met veel onzekerheden. Over het gebruik van reststromen bosbouw wordt gesteld dat het gebruik hiervan over het algemeen voordelig is, en dat negatieve effecten kunnen worden beperkt door de onttrekkingsgraad van deze stromen uit bossen te beperken. Over energiegewassen schrijven de auteurs dat onderzoekers het niet eens zijn over de hoeveelheid land die beschikbaar is voor verbouwing van gewassen voor energie, materialen en grondstoffen. Wel is er consensus over dat hogere gewasproductiviteit en voederefficiënties en lagere consumptie van dierlijke productie tot een hoger technisch biomassapotentieel zouden leiden.

### Daiglou et al (2016)

Deze studie richt zich op mondiale reststromen landbouw en bosbouw in 2030 en 2050, waarbij ook naar het potentieel in verschillende wereldregio’s wordt gekeken. De studie maakt expliciet onderscheid tussen een ‘theoretisch’, ‘ecologisch’ en ‘beschikbaar’ potentieel. De daarvoor gehanteerde omschrijvingen corresponderen met de omschrijvingen van technisch, ‘duurzaam’ en ‘duurzaam-economisch’ potentieel in onze studie. Bij de reststromen bosbouw zijn wortels en stronken niet meegenomen, omdat de verwijdering hiervan tot ‘aanzienlijke verstoring van het bosgebied’ leidt. De auteurs hebben een analyse uitgevoerd met het integrated assessment model IMAGE, dat veel in klimaatmitigatiestudies wordt gebruikt. Met dit model wordt landgebruik en productie van landbouw- en bosbouwproducten expliciet gemodelleerd in verschillende scenario’s. In de analyse wordt een projectie van de intensificatie van landbouw en bosbouw meegenomen. De drie opgenomen scenario’s zijn ‘Optimistic’, ‘Medium’ en ‘Pessimistic’, welke zijn gebaseerd op de Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). Dit zijn



scenario's die zijn ontwikkeld voor klimaatonderzoek, en waarin de wereldbevolking, economische welvaart, consumptiegedrag en andere socio-economische condities zich op verschillende wijzen ontwikkelen, wat energie- en landgebruik en de emissie van broeikasgassen beïnvloedt. Het 'Medium'-scenario is een business-as-usual-scenario, het 'Optimistic'-scenario staat voor een wereld met relatief lage uitdagingen voor klimaatmitigatie en -adaptatie en het 'Pessimistic'-scenario voor een wereld met hoge uitdagingen op dit gebied. De resultaten laten zien dat circa 50% van de landbouwreststromen en 30% van de bosbouwreststromen op het veld moet blijven ten behoeve van bodemkwaliteit en andere ecologische functies. Met andere woorden, het 'duurzaam' potentieel van reststromen landbouw/bosbouw is volgens deze analyse 50/30% van het technisch potentieel. Het 'duurzaam-economisch' potentieel is volgens deze analyse 50-66% van het 'duurzaam' potentieel. Hierbij is het gebruik van reststromen als veevoer en als traditionele brandstof in mindering gebracht. Bij de reststromen bosbouw komt ongeveer de helft van het potentieel van het dunnen van bossen en de andere helft van de uiteindelijke oogst, waarbij dunnen belangrijker is in plantages.

### **Daiglou et al (2019)**

Deze studie is een klimaatstudie, waarin m.b.v. het integrated assessment model IMAGE (PBL, 2014a) de biomassa-inzet wordt verkend met behulp van verschillende klimaatmitigatiescenario's. De resulterende biomassahoeveelheden van landbouw en bosbouw voor de wereld en wereldregio's in 2020, 2030 en 2050 kunnen daarom slechts als ondergrens worden beschouwd voor een biomassabeschikbaarheidspotentieel. Omdat het concurrentievermogen van biomassa wordt meegenomen in het bepalen van de biomassabehoefte, kunnen de resulterende hoeveelheden worden beschouwd als een 'duurzaam-economisch' potentieel. De biomassabehoefte in de chemische industrie is meegenomen in de analyse. Aan de productiekant zijn de voedselgewassen maïs en suikerriet en lignocellulosehoudende gewassen (incl. olifantsgras, wilg en eucalyptus) meegenomen. Omdat hout- en grasachtige gewassen hogere biomassaopbrengsten hebben, hebben deze gewassen minder land nodig en kunnen daarom tegen lagere kosten worden geteeld. In de resultaten is de productie van deze gewassen daarom veruit het grootst. De scenario's zijn gebaseerd op de Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). Deze scenario's staan voor verschillende mondiale socioeconomische ontwikkelingen en worden veel gebruikt in klimaatmitigatieonderzoek.

### **Huppmann et al (2018)**

Deze bron omvat een database van resultaten van scenariostudies met klimaatmitigatiemodellen (Integrated Assessment Models). Deze data zijn publiek beschikbaar via de 'IAMC 1.5°C Scenario Explorer', gehost door IIASA. De Scenario explorer presenteert een verzameling kwantitatieve klimaatveranderingsmitigatiescenario's welke zijn gebruikt in het 'Special Report on Global Warming of 1.5°C' (SR15) door de Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2018) en in de 'Special Report on Climate Change and Land' (SRCCL) (IPCC, 2019). De scenario's afkomstig van verscheidene modelstudies zijn verwerkt in de verzameling door de auteurs van de SR15. De scenario's betreffen 'emissiepaden', waarin aannames zijn gedaan over socio-economische ontwikkelingen, transformatie van energiesystemen en verandering in landgebruik tot 2100. De biomassahoeveelheden die in de database staan, voor de wereld en wereldregio's en inclusief de zichtjaren 2020, 2030 en 2050 kunnen beschouwd worden als een ondergrens van het 'duurzaam' potentieel. Dit omdat ecologische beperkingen van biomassaproductie mee worden genomen in de klimaatmodellen. Er worden echter geen potentiële berekend, maar er wordt gemodelleerd hoe in de voedselbehoefte kan worden voorzien en welke rol biomassaproductie voor energie dan kan spelen in de energievoorziening. De biomassahoeveelheden worden op geaggregeerd niveau

weergegeven: eerste plus tweede generatie energiegewassen, en reststromen landbouw plus bosbouw. Industriële houtproductie is niet opgenomen in de data.

## IRENA (2014)

Het rapport van IRENA presenteert een 'duurzaam' biomassapotentieel van landbouw- en bosbouwstromen in de wereld en wereldregio's in 2030. Het werk bestaat uit een gedetailleerde analyse van het biomassapotentieel gebaseerd op data van de Food and Agriculture Organization (FAO) voor 118 landen, dat tweederde van het totale mondiale potentieel beslaat. Voor elk land is het potentieel van energiegewassen, bosbouwstromen, landbouwreststromen en mest van dieren ingeschat. De industriële houtproductie is niet opgenomen in de potentieelcijfers. Het potentieel van algen is buiten scope gelaten, omdat de technologieën nog in ontwikkeling zijn en de mogelijke opbrengsten 'nog steeds speculatief' zijn. Wel wordt opgemerkt dat dit potentieel substantieel kan worden. Verbeteringen in landbouwopbrengsten zijn gebaseerd op FAO-inschattingen voor graan. Dit is ongeveer 0,7% per jaar. Tot 2030 leidt dit tot een toename in opbrengst van 15%, maar de mondiale voedselbehoefte neemt toe met 30%.

De analyse gaat voor energiegewasproductie uit van beschikbaar 'resterend land' ('surplus land'), maar vervolgens wordt daarvan de hoeveelheid 'geschikt land' ingeschat, gebaseerd op landtypes en land met ecologische restricties. Graan is het enige energiegewas dat wordt geteeld in deze studie.

In de analyse wordt steeds een 'high range of supply' en een 'low range of supply' bepaald. In de 'high range of supply' worden marginaal geschikte tot zeer geschikte landtypes ingezet voor additionele biomassaproductie, terwijl 'afgesloten bossen', 'sterk beschermde gebieden' en land gereserveerd voor infrastructuur en huizenbouw worden uitgesloten.

Bij reststromen landbouw wordt de behoefte aan veevoer afgetrokken van het potentieel. Er wordt voor beide scenario's aangenomen dat 25% van de primaire reststroom kan worden onttrokken, maar voor secundaire landbouwreststromen is het winbare deel bij de 'low range of supply' 25%, tegenover 25-90% voor de 'high range of supply'.

De inschatting van bosbouwstromen is gebaseerd op de analyse van Smeets en Faaij (2007). Aangenomen is dat 25% van de totale reststroom van houtkap en 75% van de reststroom van houtverwerking en houtafval op duurzame wijze beschikbaar kan komen.

## Lehahn et al (2016)

Dit artikel geeft een theoretisch potentieel van de productie van algen op zee voor verschillende wereldregio's voor de komende 50 jaar. Het gaat om 'mogelijke maar marginaal economische volumes' van algen. Er is aangenomen dat de macroalg van de klasse *Ulva* wordt geteeld, vanwege de hoge groeisnelheid, lage lignine-inhoud en hoge proteïne-inhoud met essentiële aminozuren. Verder is een optimale opslagdichtheid van 4 kg/m<sup>2</sup> aangenomen.

De modelresultaten laten zien dat in theorie (zonder technologische of ecologische beperkingen) de *Ulva* macroalg in ca. 10% van de Wereldoceaan kan worden geteeld, in gebieden rijk aan nitraat en fosfaat. Als in alle mogelijke oceaangebieden wordt geteeld, is het wereld totaalpotentieel 2.052 EJ. Als alleen wordt geproduceerd in gebieden met waterdieptes van minder dan 100 meter en minder dan 400 kilometer van de kust, is het potentieel 'slechts' 18,0 EJ.

Dit potentieel kan worden aangewend voor productie van brandstoffen, andere vormen van energie en chemicaliën, maar kan ook als voedsel worden gebruikt. Het productiepotentieel is ingeschat met behulp van een wiskundig model van de stofwisseling en de groeisnelheid. De auteurs geven aan dat de benodigde technologie nog niet beschikbaar is en spreken dan ook van een theoretisch potentieel. Daarentegen zijn er ook milieurisico's verbonden aan



de grootschalige offshore teelt van macroalgen, zoals negatieve effecten op ecosystemen en migratiestromen van zeedieren. De algenproductie kan alle nutriënten uit de omgeving onttrekken die essentieel zijn voor ecosystemen. Aan de andere kant is eutrofiëring (teveel nutriënten) ook een risico, bijv. als het oogsten vertraagd is en algen uit het systeem 'lekker'. Het 'duurzaam' potentieel zal daarom lager zijn dan het theoretisch potentieel.

## E.2 Europees

### Biomass Policies project (2014)

Het Biomass Policies project geeft een 'duurzaam' potentieel voor landbouwstromen en bosbouwstromen in Europa voor 2020 en 2030, waarbij specifiek een potentieel voor *bioenergie* is ingeschat (niet voor materialen en grondstoffen). De studie houdt daarbij rekening met biomassa die achtergelaten moet worden voor bodembeheer/biodiversiteit/erosiecontrole en conventionele concurrerende gebruiken (veevoer, materialen, vezels, etc.). Bij landbouw is gekeken naar voedselgewassen voor energieproductie die gebruikt kunnen worden voor productie van bioethanol en biodiesel plus houtachtige gewassen. Hierbij is aangenomen dat verlaten, vrijgekomen en braakliggende landbouwgrond wordt gebruikt voor teelt van energiegewassen.

Bij bosbouw worden twee scenario's onderscheiden met betrekking tot de houtproductie: een scenario dat uitgaat van de huidige behoefte aan zaaghout en een 'conservatief' potentieel waarbij alleen residuen en brandstofhout worden meegeteld, en een scenario waarbij ook additioneel oogstbaar rondhout wordt meegeteld, wat leidt tot een 'optimistischer' potentieel. Bij tertiaire reststromen is alleen het aandeel meegenomen dat niet gerecycled wordt.

### BioSustain project (2017)

In het BioSustain project is voor Europa in 2020 en 2030 vooral een 'duurzaam' potentieel ingeschat. Het project neemt biomassapotentieel mee uit bos (producten en reststromen), landbouw (energiegewassen en reststromen) en organische afvalbronnen. Er wordt nadrukkelijk rekening gehouden met allerlei beperkingen (technisch, economisch, ecologisch, implementatie). Het project maakt daarbij gebruik van drie scenario's: 'Resource', 'Reference' en 'Restricted.' De inschattingen in de eerste twee scenario's bevatten ecologische beperkingen en kunnen worden beschouwd als een 'duurzaam' potentieel. De 'Restricted'-scenario neemt ook mobilisatiebeperkingen mee en kan worden beschouwd als een 'duurzaam-economisch' potentieel, terwijl in de 'Resource'-scenario juist een hoge inspanning wordt geleverd om stromen te mobiliseren wat leidt tot een maximaal mogelijke duurzame benutting. De ecologische duurzaamheidscriteria die worden meegenomen zijn biodiversiteit, broeikasgasemissie bij teelt, land use change en bodem, water en luchtbescherming. Voor veel potentieelwaarden uit de studie is een bio-energie-potentieel berekend, waarvoor het biomassagebruik voor materialen in mindering is gebracht. Duurzaamheidsbeperkingen voor meerjarige gewassen zijn niet meegenomen. In de resultaten van de scenario's valt op dat alleen de reststromen bosbouw variëren tussen de scenario's.

## EC (2017)

Deze studie voor de Europese Commissie geeft inschattingen van het 'duurzaam-economisch' potentieel van landbouw- en bosbouwstromen in de EU in 2020 en 2050. De toekomstscenario's gaan over de invloed van onderzoek en innovatie op ecologisch en economisch realiseerbare biomassa-hoeveelheden. De productie van biomassa voor materialen, zoals stamhout voor constructie en meubels, is niet meegenomen. Deze studie voor de Europese Commissie geeft inschattingen van het 'duurzaam-economisch' potentieel van landbouw- en bosbouwstromen in de EU in 2020 en 2050. De toekomstscenario's gaan over de invloed van onderzoek en innovatie op ecologisch en economisch realiseerbare biomassa-hoeveelheden. De productie van biomassa voor materialen, zoals stamhout voor constructie en meubels, is niet meegenomen. Er zijn vier scenario's: 'Reference', 'Improved supply', 'Enhanced production' en 'Combined R&I'. De verschillen in aannames tussen scenario's betreffen de mate van verbetering in landbouw- en bosbouwbeheer. Het 'Reference'-scenario kan worden beschouwd als business-as-usual. In het 'Improved supply scenario' gaan kosten omlaag dankzij R&I-maatregelen m.b.t. innovatieve oogstmethoden en ketenlogistiek, en door socio-economische innovaties die tot hogere mobilisatie van potentieel leiden: 20% reductie in arbeids- en investeringskosten tot 2050. In de 'Enhanced production'-scenario leiden verbeterd land- en bosbeheer (gewasrotatie, bemesting, waterbeheer, precisielandbouw) en beter plant-materiaal (hogere opbrengst, meer resistente soorten) tot gewasopbrengsten die 50% hoger zijn dan die van granen. Ook kan een groter deel van de reststromen van het land worden gehaald dankzij verbeterde landbeheeractiviteiten die tot een betere koolstofopslag in de bodem leiden. Het 'Combined R&I'-scenario omvat een combinatie van 'Improved supply' en 'Enhanced production'. Er is aangenomen dat alleen houtachtige, grasachtige en andere gewassen met een laag ILUC-risico worden geteeld. Deze groeien alleen op braakliggend land of vrijgekomen land. Gebieden in strijd met duurzaamheidsdoelen zijn van het technisch potentieel afgetrokken. Bij de primaire reststromen van landbouw is de scope beperkt tot stro, stengels en snoeisels, omdat veel reststromen voor een groot deel gebruikt worden voor andere toepassingen (voornamelijk voor de productie van veevoer). Voor stro en snoeihout zijn duurzaamheidslimieten gehanteerd, gerelateerd aan de koolstofbalans. Er is bij de potentieelberekening rekening gehouden met reststromen van gewassen en hout die moeten achterblijven op het land voor bodemkwaliteitsbehoud, erosiecontrole en biodiversiteit. De studie laat zien dat in 2050 de totale duurzame biomassa-beschikbaarheid met 50% kan zijn toegenomen voor landbouw en bosbouwstromen ten opzichte van de huidige situatie.

## Faaij (2018)

Faaij (2018) geeft een overzicht van onderzoek naar biomassa-beschikbaarheid in Europa voor energie- en materiaaltoepassingen. Over het mondiaal potentieel schrijft de auteur dat biomassapotentieën in studies variëren tussen 100 EJ/jaar en meer dan 500 EJ/jaar, waarbij er aan meer voorwaarden moet worden voldaan om de hogere hoeveelheden op duurzame wijze te realiseren. Inschattingen van het totale biomassapotentieel in Europa in 2050 variëren grofweg tussen meer dan 6 EJ/jaar tot 30 EJ/jaar. Met een huidig primair energiegebruik in Europa van 68,1 EJ betekent dit dat bioenergie een belangrijke rol kan spelen in de Europese energietransitie, aldus de auteur. Vervolgens worden een aantal omissies in recente potentieelstudies aangekaart: de beperkte aandacht voor de milieueffecten van intensivering van landbouwsystemen, voor duurzame intensiveringsmaatregelen, voor productiviteitsontwikkelingen en intensiveringsmaatregelen van veeteelt en de milieueffecten hiervan, en voor andere duurzaamheidsbeperkingen dan broeikasgas-emissies bij de selectie van energiegewassen. Dit laatste gaat o.a. over waterbehoefte van

gewassen, diversiteit van gewassen, gewasrotatie, diversificatie van landgebruik en de voordelen van het gebruik van meerjarige gewassen voor biodiversiteit. Studies die een hoog technisch potentieel berekenen gaan vaak uit van één gewasstype, wat negatief is voor de biodiversiteit en bodemkwaliteit, en hoge groei van gewasproductiviteit. Ook primaire reststromen van de landbouw zullen naar verwachting een grote bijdrage kunnen leveren aan het toekomstige biomassapotentieel. Een interessant punt is dat een toename in gewasopbrengst tot een reductie in de reststroom-per-product-ratio kan leiden, maar ook tot een toename. Een reden voor reductie van de hoeveelheid reststromen die in literatuur wordt aangedragen is dat het oogstbare deel van de planten is toegenomen in de laatste decennia en deze toename zal doorzetten. Een reden voor toename is dat minder landgebruik tot minder reststroomgebruik voor bodembescherming leidt.

Literatuur over bosbouwstromen laat ook grote ranges in biomassaopbrengst zien, wat voor een groot deel veroorzaakt wordt door het type bosbeheer en gestelde productietargets. Er is een directe relatie tussen industrieel gebruik van hout en hout voor energie: één kubieke meter hout kan tot 50% aan bijproductie leiden zoals schors en zaagsel, en meer industriële houtproductie leidt tot grotere reststroomhoeveelheden. De auteur stelt dat veranderingen in bosbeheer voor de productie van bioenergie zowel tot aangroei als verlies van koolstofvoorraden in bossen kan leiden, afhankelijk van “de dynamiek van bosbeheer-activiteiten en natuurlijke biotische en abiotische krachten”. NB: Een belangrijke bevinding in deze studie is dat de teelt van meerjarige gewassen op gedegradeerde gronden een grote bijdrage kan leveren aan de duurzame productie van gewassen voor energie en materialen.

## JRC (2015)

In dit rapport van het Joint Research Centre wordt het bioenergiepotentieel in de EU en naburige landen ingeschat in drie scenario's: 'High', 'Medium' en 'Low'. De biomassa voor materialen wordt hier dus niet in meegenomen. De namen van de scenario's refereren naar de beschikbaarheid van biomassa. De scenario's verschillen in aannames over landgebruik, landbouwbeheer en beschermd gebied. Het hoge scenario correspondeert met een situatie waarin maatregelen zijn genomen om biomassa te mobiliseren en/of waarin er een hoge vraag naar biomassa en betalingsbereidheid is. Het 'medium'-scenario is een referentie-scenario, waarin de meest waarschijnlijke ontwikkelingen van bioenergie zijn opgenomen. De huidige trends zijn hierin doorgetrokken naar de toekomst. Dit impliceert dat feedstocks met hoge duurzaamheidsrisico's niet worden gebruikt en dat minder wordt geconcentreerd met vraag naar biomassa vanuit andere sectoren. In het lage scenario is het efficiënt gebruik van biomassa een hoofdprioriteit. De duurzaamheidscriteria zijn hier stricter met betrekking tot de onttrekking van primaire reststromen uit bossen en de productie van energiegewassen.

Alledrie de scenarios nemen duurzaamheidscriteria mee bij de bepaling van biomassa-beschikbaarheid, maar er zijn veel gedetailleerde verschillen. Zo mogen in het 'Low'-scenario geen energiegewassen op land worden geteeld dat rijk is aan biodiversiteit, op land met hoge koolstofvoorraden of braakliggend land. In het 'High'-scenario is stamhout beschikbaar voor energieproductie en is er een hogere productiviteit van bosgebieden. Een andere voorbeeld is dat de maximale extractiegraad van biomassa van boomtoppen tijdens vroeg uitdunnen van bossen op veengebieden 40% is in het 'High'-scenario, 35% in het 'Medium'-scenario en 0% in het 'Low'-scenario. Verder wordt in het 'High'-scenario een hoge productiviteitsgroei per jaar aangenomen voor energiegewassen en in het 'Low'-scenario juist een lage.

## Verkerk (2015)

Dit proefschrift bevat een analyse van het potentieel van productiestromen en primaire reststromen uit Europese bossen, en geeft potentieelcijfers voor 24 Europese landen nu en in 2030. De productie van stamhout voor de industrie wordt in deze cijfers betrokken.

Er wordt een 'theoretisch potentieel' gegeven voor de som van productiestromen en primaire reststromen, maar de omschrijving correspondeert met de in onze studie gehanteerde omschrijving van theoretisch potentieel. Vervolgens worden waarden gegeven van 'realiseerbaar potentieel', waarin ecologische, technische en sociale beperkingen zijn meegenomen. Dit interpreteren we hier als 'duurzaam-economisch' potentieel.

Het 'realiseerbaar potentieel' is ingeschat per eenheid land voor elk van de landen.

Het potentieel is over het algemeen het hoogste in centraal en noord-Europa, vanwege de hoge bosproductiviteit (vooral centraal Europa) en/of hoge aandelen bosgebied (vooral noord-Europa).

Het technische potentieel van 1.271 Mm<sup>3</sup>/jaar hout (inclusief schors; productiestroom plus primaire reststroom) in 2010 neemt af tot 741 Mm<sup>3</sup>/jaar als de verschillende beperkingen worden meegenomen. Dit 'duurzaam-economisch' potentieel bestaat vooral uit stamhout (84%). Naar 2030 neemt dit potentieel toe of af, afhankelijk van het scenario. In het 'high mobilisation'-scenario is het totaal potentieel 891 Mm<sup>3</sup> en in het 'low mobilisation'-scenario 620 Mm<sup>3</sup>. Het verschil tussen de scenario's zit hem in de mate waarin primaire bosbouw-reststromen worden onttrokken.

# F Relatie JFF-perspectieven en cijfers

## F.1 Introductie

In de rapportage van het Joint Fact Finding project (Gemeynt (2020), zie Figuur 8 op Pagina 19 voor toelichting) worden vijf verschillende perspectieven op duurzame biomassa beschreven. De perspectieven sluiten elkaar niet uit, maar redeneren vanuit verschillende vertrekpunten in een analyse op welke vragen duurzame biomassa een antwoord vormt. De perspectieven zijn behulpzaam bij het begrijpen van de argumentaties in het maatschappelijk debat over duurzame biomassa. Dat debat omvat zowel de beschikbaarheid als de toepassingen.

In deze bijlage wordt uiteengezet hoe we de JFF-perspectieven hebben gerelateerd aan de cijfers in deze studie over beschikbaarheid van en behoefte aan duurzame biomassa. De cijfermatige uitkomsten zelf staan in het hoofdrapport.

Voor de goede orde: hoewel het in het recente maatschappelijk debat lijkt alsof biomassa een andere term voor hout is, en alsof inzet van biomassa betekent dat hout wordt verbrand voor elektriciteits- (of eventueel warmte-)productie, is de scope in dit rapport en ook in deze bijlage nadrukkelijk breder. En omvat bijvoorbeeld ook landbouwketens, materialen-inzet, et cetera. Zie Paragraaf 1.4 op Pagina 20.

## F.2 Perspectieven op duurzame biomassa en relatie met cijfers

In het JFF-project worden de volgende vijf perspectieven onderscheiden zoals weergegeven in Tabel 82.

Tabel 82 - JFF-perspectieven op duurzame biomassa (Gemeynt (2020))

|            | Klimaat                                                                                                                                     | Strikt hernieuwbaar                                                               | Ecologie                                                                                             | Duurzame ontwikkeling                                                      | Hernieuwbare grondstoffen                                                     |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| De wens    | Zo snel mogelijke reductie van broeikasgasemissies zodat opwarming wordt beperkt tot maximaal 1.5 graden                                    | Een hernieuwbaar energiesysteem met sterke focus op zon, wind en groene waterstof | Leven binnen planetaire grenzen (bv biologische landbouw)                                            | Mondiale handel die bijdraagt aan verbeteringen voor lokale gemeenschappen | Een re-generatieve economie: circulair en biobased                            |
| Realisatie | Alle opties inzetten. Technologieneutrale kosten-baten. Cruciaal is dat broeikasgassen geprijsd worden door een belasting of handelssysteem | Technologiekeuzes met zowel stimulering door de overheid als beweging van onderop | Beleid gericht op behoud en herstel van habitats en soorten. Verandering van individuele levensstijl | Eerlijke en inclusieve handel. Ontwikkelings-samenwerking en keurmerken    | De overheid moet sturen op het sluiten van kringlopen en innovatie stimuleren |

|                     | Klimaat                                                                                                                                             | Strikt hernieuwbaar                                                                                                                             | Ecologie                                                                                                                                                                                    | Duurzame ontwikkeling                                                                                                                     | Hernieuwbare grondstoffen                                                                                                                               |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| De rol van biomassa | Biomassa is noodzakelijk voor klimaatdoelen waarvoor ook negatieve emissies (BECCS) nodig zijn. Certificatie en verificatie garanderen duurzaamheid | Liefst lokaal geproduceerde biomassa voor toepassingen waar geen alternatief voor is. Biomassa is een tussenoplossing op weg naar het eindbeeld | Hout niet verbranden, maar bosaanplant en -herstel als klimaatmaatregel. Alleen bij duurzame land- en bosbouw kan een deel van de reststromen worden ingezet voor hoogwaardige toepassingen | Biomassa is niet schaars. Toename productie is mogelijk, hand in hand met verbetering van sociale omstandigheden, klimaat en leefomgeving | Biomassa inzetten voor hoogwaardige toepassingen in chemie en als materiaal. Vooral rest- en afvalstromen. Alleen na cascaderen verbranden voor energie |

Om deze perspectieven te kunnen koppelen aan de cijfers uit dit rapport over beschikbaarheid van en behoefte aan duurzame biomassa hebben we eerst de standpunten voor elk perspectief op een zevental issues rond biomassa uitgewerkt. Deze issues vormen in onze ogen sleutelvraagstukken om die cijfermatige toewijzing te kunnen uitvoeren. Er zit overigens overlap tussen de verschillende issues.

Die issues vormen vervolgens een brug naar de koppeling met de cijfers voor beschikbaarheid en behoefte.

De verschillende soorten potentieel verwijzen naar de potentieelsoorten biomassa zoals we die bij de beschikbaarheid hebben onderscheiden.

Tabel 83 - Zeven 'sleutel-issues' om cijfers aan de perspectieven te kunnen koppelen

|                                      | Klimaat                                  | Strikt hernieuwbaar                                                                                               | Ecologie                                                                                                                                                                              | Duurzame ontwikkeling                                                                                   | Hernieuwbare grondstoffen                                                                                                          |
|--------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Positie t.a.v. inzet van hout</b> | Maximaal (technisch-duurzaam potentieel) | Bovengrens duurzaam potentieel (wel prioriteit bij wind, zon, waterstof). Hout voor houtbouw is OK, mits duurzaam | Tertiaire stromen plus strikt duurzame deel van primaire/ secundaire reststromen (ondergrens duurzaam potentieel), die laatste minimaliseren. Hout voor houtbouw is OK, mits duurzaam | Bovengrens duurzaam potentieel, kansen pakken. Wel met eerlijke verdeling van opbrengsten over de keten | Reststromen mogen energetisch ingezet, zoveel als mogelijk proberen te cascaderen                                                  |
| <b>Biomassa voor energie?</b>        | Maximaal (technisch-duurzaam potentieel) | Bovengrens duurzaam potentieel in 2030, in 2050 biomassa alleen nog voor grondstof en materiaal                   | Ondergrens duurzaam potentieel                                                                                                                                                        | Bovengrens duurzaam potentieel, kansen pakken. Wel met eerlijke verdeling van opbrengsten over de keten | Inzet voor grondstoffen heeft prioriteit. Voor energie minimaliseren, en proberen te cascaderen (grondstoffen en materialen eerst) |

|                                                                      | Klimaat                                                                             | Strikt hernieuwbaar                                                                           | Ecologie                                                                           | Duurzame ontwikkeling                                                                                                                                                | Hernieuwbare grondstoffen                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vertrouwen in import van biomassa?</b>                            | Ja. Overlaten aan de markt, o.b.v. goede duurzaamheids criteria en goede governance | Uit Nederland en EU, biomassa uit andere wereld-delen daar laten voor de eigen transitie daar | Nee, alleen NL en EU, en liefst alleen lokaal                                      | Ja, met goede duurzaamheids-criteria incl. sociale criteria. Bovengrens duurzaam potentieel, kansen pakken. Wel met eerlijke verdeling van opbrengsten over de keten | Aan de markt, met duurzaamheidscriteria en goede governance. Echter focus op toepassing voor materiaal en feedstock, en zoveel mogelijk circulair. Beleid is nodig om dat aan te jagen  |
| <b>Vertrouwen in teelt 'energy crops'?</b>                           | Ja (technisch-duurzaam potentieel)                                                  | Ondergrens duurzaam potentieel                                                                | Nee, gebruik eventueel vrijkomende grond voor natuur en voor ecologische landbouw  | Technisch-duurzaam potentieel, kansen pakken op samen-gaan met duurzame sociale ontwikkeling                                                                         | Alleen voor materialen en feedstock. Reststromen minimaliseren en cascaderen, maar kunnen indien nodig wel voor energie-toepassingen                                                    |
| <b>Positie t.a.v. BECCS</b>                                          | Noodzakelijk om klimaat-doelen te halen, inzetten op tijdig ontwikkelen daarvan     | Liever niet                                                                                   | Geen BECCS maar bos aanplanten en opslag van koolstof in bodems                    | BECCS is nodig om klimaatdoelen te halen, klimaatcrisis is risico voor duurzame ontwikke-ling                                                                        | BECCS-discussie geen duidelijke mening, maar wel liever CCU                                                                                                                             |
| <b>Inzet biomassa maximaliseren (kans) of minimaliseren (risico)</b> | Maximaliseren o.b.v. kosten per tCO <sub>2</sub>                                    | Minimaliseren, prioriteit ligt bij zon, wind, waterstof                                       | Minimaliseren, want risico voor ecologie                                           | Maximaliseren, echter wel met eerlijke verdeling van opbrengsten over de keten                                                                                       | Voor energie minimaliseren, voor materialen en feedstock maxima-liseren echter wel binnen prioriteits-stelling circulaire economie                                                      |
| <b>Positie t.a.v. aandeel voor Nederland</b>                         | Overlaten aan de markt, o.b.v. goede duurzaamheids criteria en goede governance     | Uit Nederland en EU; biomassa uit andere wereld-delen daar laten voor de eigen transitie daar | Uit Nederland is OK, wel minimaliseren en zo lokaal moge-lijk. Uit EU liever niet. | Import is OK, echter wel met eerlijke verdeling van opbrengsten over de keten                                                                                        | Import is OK, met duurzaamheidscriteria en goede governance. Echter focus op toepassing voor materiaal en feed-stock, en zoveel mogelijk circulair. Beleid is nodig om dat aan te jagen |

Vanuit de algemene beschrijving van elk perspectief en vanuit de nadere uitwerking van de issues zoals weergegeven in bovenstaande tabel komen we tot de toewijzing van de volgende potentieelsoorten biomassa voor elk perspectief voor beschikbaarheid van en behoefte aan duurzame biomassa. Tabel 84 bestrijkt de beschikbaarheidsstromen, met

daarbij de nadrukkelijke kanttekening dat de verschillende perspectieven eisen stellen aan waar die stromen voor worden ingezet en/of de prioritaire volgorde daarvan.

Tabel 84 - Toewijzing potentieelsoort per perspectief voor de aanbodstromen

|                                      | Klimaat                       | Strikt hernieuwbaar            | Ecologie                                                      | Duurzame ontwikkeling                                                | Hernieuwbare grondstoffen                                                                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Landbouw productie incl. energycrops | Technisch-duurzaam potentieel | Bovengrens duurzaam potentieel | nee, evt. vrijkomend land voor natuur en ecologische landbouw | Bovengrens duurzaam potentieel (met extra aandacht sociale criteria) | Bovengrens duurzaam potentieel (materiaal en feedstock heeft niet zoveel nodig, daarom niet zo'n issue) |
| Landbouw primaire reststroom         | Technisch-duurzaam potentieel | Bovengrens duurzaam potentieel | Nee, op het land laten                                        | Bovengrens duurzaam potentieel (met extra aandacht sociale criteria) | Bovengrens duurzaam potentieel (materiaal en feedstock heeft niet zoveel nodig, daarom niet zo'n issue) |
| Landbouw secundaire reststroom       | Technisch-duurzaam potentieel | Bovengrens duurzaam potentieel | Ondergrens duurzaam potentieel                                | Bovengrens duurzaam potentieel (met extra aandacht sociale criteria) | Bovengrens duurzaam potentieel (materiaal en feedstock heeft niet zoveel nodig, daarom niet zo'n issue) |
| Landbouw tertiaire reststroom        | Technisch-duurzaam potentieel | Bovengrens duurzaam potentieel | Ondergrens duurzaam potentieel                                | Bovengrens duurzaam potentieel (met extra aandacht sociale criteria) | Bovengrens duurzaam potentieel (materiaal en feedstock heeft niet zoveel nodig, daarom niet zo'n issue) |
| Bosbouw productie                    | Technisch-duurzaam potentieel | Bovengrens duurzaam potentieel | Ondergrens duurzaam potentieel                                | Bovengrens duurzaam potentieel (met extra aandacht sociale criteria) | Bovengrens duurzaam potentieel (materiaal en feedstock heeft niet zoveel nodig, daarom niet zo'n issue) |
| Bosbouw primaire reststroom          | Technisch-duurzaam potentieel | Bovengrens duurzaam potentieel | nee, in het bos laten                                         | Bovengrens duurzaam potentieel (met extra aandacht sociale criteria) | Bovengrens duurzaam potentieel (materiaal en feedstock heeft niet zoveel nodig, daarom niet zo'n issue) |
| Bosbouw secundaire reststroom        | Technisch-duurzaam potentieel | Bovengrens duurzaam potentieel | Ondergrens duurzaam potentieel                                | Bovengrens duurzaam potentieel (met extra aandacht sociale criteria) | Bovengrens duurzaam potentieel (materiaal en feedstock heeft niet zoveel nodig, daarom niet zo'n issue) |
| Bosbouw tertiaire reststroom         | Technisch-duurzaam potentieel | Bovengrens duurzaam potentieel | Ondergrens duurzaam potentieel                                | Bovengrens duurzaam potentieel (met extra aandacht sociale criteria) | Bovengrens duurzaam potentieel (materiaal en feedstock heeft niet zoveel nodig, daarom niet zo'n issue) |

Tabel 85 bestrijkt de behoefte aan duurzame biomassa voor de verschillende toepassingen. Die is in de analyses in Hoofdstuk 2 in het algemeen neergezet als range, met een boven- en onderwaarde. Met daarbij de kanttekening dat de verschillende perspectieven eisen stellen aan waar die stromen voor worden ingezet.

Tabel 85 - Toewijzing per perspectief voor de behoefte aan biomassa per toepassing

|                                   | Klimaat                                                                                                                                                                                                    | Strikt hernieuwbaar                                                                                                 | Ecologie                            | Duurzame ontwikkeling                                      | Hernieuwbare grondstoffen                                                                      |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mobiliteit en transport           | Bovenzijde range, prioriteitsstelling op basis van laagste kosten per tCO <sub>2</sub> ; innovatiegelden inzetten voor nieuwe opties die lagere kosten voor de totale oplossing klimaatprobleem realiseren | Onderzijde range (want liever elektrisch). Niet meer in 2050.                                                       | Onderzijde range                    | Bovenzijde range, wel met eerlijke verdeling van inkomsten | Onderzijde range, invulling in gecascadeerde vorm (meervoudig verwaarden in raffinage concept) |
| Feedstock chemische industrie     | Bovenzijde range, prioriteitsstelling op basis van laagste kosten per tCO <sub>2</sub> ; innovatiegelden inzetten voor nieuwe opties die lagere kosten voor de totale oplossing klimaatprobleem realiseren | Bovenzijde range                                                                                                    | Onderzijde range                    | Bovenzijde range, wel met eerlijke verdeling van inkomsten | Bovenzijde range, voorkeursinzet. Wel prioritering circulaire economie doorlopen               |
| Warmte hoge-temperatuur industrie | Bovenzijde range, prioriteitsstelling op basis van laagste kosten per tCO <sub>2</sub> ; innovatiegelden inzetten voor nieuwe opties die lagere kosten voor de totale oplossing klimaatprobleem realiseren | Onderzijde range (want liever elektrisch). Niet meer in 2050                                                        | Onderzijde range                    | Bovenzijde range, wel met eerlijke verdeling van inkomsten | Onderzijde range, invulling in gecascadeerde vorm (meervoudig verwaarden in raffinage concept) |
| Warmte lage-temperatuur           | Bovenzijde range, prioriteitsstelling op basis van laagste kosten per tCO <sub>2</sub> ; innovatiegelden inzetten voor nieuwe opties die lagere kosten voor de totale oplossing klimaatprobleem realiseren | Onderzijde range (want liever elektrisch of geothermie of LT-restwarmte). Niet meer in 2050                         | Onderzijde range                    | Bovenzijde range, wel met eerlijke verdeling van inkomsten | Onderzijde range, invulling in gecascadeerde vorm (meervoudig verwaarden in raffinage concept) |
| Elektriciteits productie          | Bovenzijde range, prioriteitsstelling op basis van laagste kosten per tCO <sub>2</sub> ; innovatiegelden inzetten voor nieuwe opties die lagere kosten voor de totale oplossing klimaatprobleem realiseren | Onderzijde range, alleen gering aandeel pieklust, de rest met zon, wind, waterstof, opslag, flex. Niet meer in 2050 | Onderzijde range                    | Bovenzijde range, wel met eerlijke verdeling van inkomsten | Onderzijde range, invulling in gecascadeerde vorm (meervoudig verwaarden in raffinage concept) |
| Materialen (o.a. houtbouw)        | Bovenzijde range, prioriteitsstelling op basis van laagste kosten per tCO <sub>2</sub> ; innovatiegelden                                                                                                   | Bovenzijde range                                                                                                    | Onderzijde range. Zaaghout ook voor | Bovenzijde range, wel met eerlijke                         | Bovenzijde range, voorkeursinzet. Wel prioritering circulaire economie doorlopen               |

|                                       | Klimaat                                                                                                                                                                                                    | Strikt hernieuwbaar | Ecologie                                   | Duurzame ontwikkeling                                      | Hernieuwbare grondstoffen                                                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | inzetten voor nieuwe opties die lagere kosten voor de totale oplossing klimaatprobleem realiseren                                                                                                          |                     | houtbouw en meubels.                       | verdeling van inkomsten                                    |                                                                                              |
| Landbouw (bodemverbeteraar, meststof) | Bovenzijde range, prioriteitsstelling op basis van laagste kosten per tCO <sub>2</sub> ; innovatiegelden inzetten voor nieuwe opties die lagere kosten voor de totale oplossing klimaatprobleem realiseren | Bovenzijde range    | Bovenzijde range, mits gericht op ecologie | Bovenzijde range, wel met eerlijke verdeling van inkomsten | Voldoen aan wettelijke duurzaamheids eisen, geen specifieke mening over ('onderzijde range') |

Samengevat hebben we de cijfers toegewezen aan de vijf perspectieven zoals beschreven in Tabel 86.

Tabel 86 - Koppeling van cijfers beschikbaarheid en behoefte aan de vijf perspectieven

| Perspectief                                                       | Beschikbaarheid biomassa                                                                   | Toepassingen (behoefte aan biomassa)                                           |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Klimaat                                                           | Import: Mondiaal<br>Technisch-duurzaam                                                     | Bovenkant ranges                                                               |
| Duurzame ontwikkeling                                             | Import: Mondiaal<br>Max_duurzaam                                                           | Bovenkant ranges                                                               |
| Hernieuwbare grondstoffen                                         | Import: Mondiaal<br>Max_duurzaam                                                           | Onderkant ranges bij 'energie'<br>Feedstock en materialen:<br>bovenkant ranges |
| Strikt hernieuwbaar (met focus op zon, wind, en groene waterstof) | Import: EU28<br>Max_duurzaam                                                               | 2030: onderkant ranges<br>2050: geen biomassa-inzet meer voor 'energie'        |
| Ecologie                                                          | Import: EU28<br>Min_duurzaam<br>Niet productiestroom landbouw<br>Niet primaire reststromen | Onderkant ranges<br>Bovenkant range bij toepassing in de landbouw              |