



Planbureau voor de Leefomgeving

BESCHIKBAARHEID BIOGRONDSTOFFEN IN NEDERLAND EN DE EUROPESE UNIE

Notitie bij studie Trajectverkenning klimaatneutraal Nederland 2050

Jelle van Minnen, Bart Strengers, Bert Daniëls

24 April 2024

PBL

Colofon

Beschikbaarheid biogrondstoffen in Nederland en de Europese Unie Notitie bij studie Trajectverkenning Klimaatneutraal Nederland 2050

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2024

PBL-publicatienummer: 5213

Contact

jelllevanminnen@pbl.nl

Auteurs

Jelle van Minnen, Bart Strengers en Bert Daniëls

Met dank aan

Hans Elzenga, Henk Westhoek, Jaco Stremmer (allen PBL)

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Minnen, J. van et al. (2024), Beschikbaarheid biogrondstoffen in Nederland en de Europese Unie. Notitie bij studie Trajectverkenning Klimaatneutraal Nederland 2050, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Contents

Colofon	2
1. Inleiding	4
2. Productie biograndstoffen in Nederland	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Huidige productie biograndstoffen	7
2.3 Potentiële beschikbaarheid rond 2030 en 2050	11
Potentiële beschikbaarheid rond 2050	11
Potentiële beschikbaarheid rond 2030	14
3. Beschikbaarheid biograndstoffen in Europa	16
3.1 Huidige productie	16
3.2 Potentiële beschikbaarheid in EU28 rond 2030 en 2050	20
Potentiële beschikbaarheid rond 2050	20
Potentiële beschikbaarheid rond 2030	24
4. Totale beschikbaarheid voor Nederland	26
4.1 Uitgangspunten	26
4.2 Biograndstoffen voor Nederland	27
4.3 Randvoorwaarden en vervolgstappen	29
Referenties	31

1. Inleiding

In deze notitie geven we ramingen van de huidige en toekomstige beschikbaarheid van duurzame biograndstoffen voor Nederland. De notitie is onderdeel van de studie Trajectverkenning Klimaatneutraal (TVKN) 2050 (PBL, 2024a). In de TVKN wordt onderzocht welke ontwikkelingen in de Nederlandse samenleving mogelijk en/of nodig zijn om in 2050 een klimaatneutrale economie te realiseren en hoe de weg daarnaartoe er uit zou kunnen zien. Het gaat daarbij om de energie- en (chemische) grondstoffenvraag en de uitstoot van alle broeikasgassen.

Eén van de conclusies die in de TVKN worden getrokken is dat de inzet van duurzame biograndstoffen een vrijwel noodzakelijk onderdeel is van een klimaatneutrale samenleving. Deze conclusie is in lijn met de uitgangspunten van het klimaatbeleid (KA 2019; IenW 2023). Hierbij gaat het zowel om 'virgin' biograndstoffen zoals hout en sommige gewas(resten), als om gerecyclede biograndstoffen in bijvoorbeeld bioplastics. In de kamerbrief staat over de rol van biograndstoffen (EZK 2022):

- Biograndstoffen zijn een hernieuwbare grondstof en een alternatief voor fossiele grondstoffen, waardoor ook de afhankelijkheid van fossiele import verlaagd kan worden;
- ze bieden de mogelijkheid om broeikasgasemissies terug te dringen;
- ze kunnen via negatieve emissies bijdragen aan verlaging van de CO₂-concentratie in de atmosfeer en/of compensatie van moeilijk te mitigeren emissies in bijvoorbeeld de landbouwsector (CCS, CCU, BECCS) (PBL 2018; PBL 2024a);
- ze bieden mogelijkheden om bij te dragen aan circulaire economie.

Nederland importeert het grootste deel van de biograndstoffen, met name voor energetische toepassingen. Het grootste deel van deze import bestaat uit houtpellets uit Baltische Staten en Noord-Amerika voor de bij- en meestook in elektriciteitscentrales, maar die toepassing zal naar verwachting in de komende jaren worden afgebouwd (EZK & IenW 2022; SER 2020). Daar staat tegenover dat de import van biograndstoffen voor biobased bouwen, en voor de productie van bio-plastics en geavanceerde biograndstoffen voor met name de lucht- en scheepvaart in de toekomst zal toenemen. Dit zijn toepassingen waarvoor weinig duurzame alternatieven beschikbaar zijn (SER 2020; PBL 2020a).

Bij de cijfers gepresenteerd in dit rapport geven we een aantal kanttekeningen mee.

Ten eerste hebben de ramingen van de hoeveelheden duurzame biograndstoffen die nu en in 2030 en 2050 in Nederland beschikbaar kunnen zijn, betrekking op de productie in Nederland en import uit de Europese Unie. Mogelijke import uit landen van buiten de EU naar Nederland is in deze studie buiten beschouwing gelaten (in 2020 kwam onder andere 10 procent van de houtige biograndstoffen in 2020 van buiten de EU, Probos 2022). Dit uitgangspunt sluit aan bij de 'Impact Assessments' van de Europese Commissie over de EU-klimaatdoelen en paden naar klimaatneutraliteit (EC, 2020c, 2024). In beide assessments wordt gesteld dat meer dan 93% procent van de biograndstoffen uit de EU zelf zal komen. Het sluit ook aan bij de constatering dat er belangrijke geopolitieke, socio-economische en regelgevende barrières zijn die import van buiten de EU compliceren (Mandley et al., 2022). Een bijkomend argument is dat andere wereldregio's ook moeten verduurzamen en daarom zelf veel biograndstoffen nodig zullen hebben; uitgaande van studies waarin schattingen worden gegeven van de mondiale beschikbaarheid zou men op basis van een 'fair share' benadering zelfs kunnen betogen dat Europa netto zou moeten exporteren. Zo is in een recente modelvergelijking van 'Integrated Assessment Models' (IIASA, 2022) de bandbreedte in het mondiale primaire gebruik van bio-energie geschat op 73 tot 194 EJ in 2050. Het GDP (in termen van 'Purchasing Power Parity' PPP) van de EU28 zal dan ongeveer 10% procent zijn van het mondiale GDP. De bevolking rond 5,5% procent. Dat betekent

dat de 'fair share' op basis van het GDP (7,3 tot 19,4 EJ) in dezelfde range zou liggen als het duurzame potentieel uit de EU zelf (9 tot 16 EJ, zie paragraaf 4.2.3). Bij een fair share op basis van de bevolkingsomvang zou dat veel lager uitkomen (4 tot 11 EJ) en zou de EU dus moeten exporteren. Dit geeft aan dat een mondiale benadering niet logischerwijs tot een hoger potentieel voor Europa zal leiden.

Ten tweede ligt in deze notitie de focus op duurzame biograndstoffen die worden gebruikt voor directe energieopwekking (elektriciteit en warmte), vloeibare biobrandstoffen, *feedstocks* voor de chemie en materiaaltoepassingen. Een veel grotere toepassing ligt in de productie van voedsel en vooral veevoer. Met name bij veevoer spelen duurzaamheidsissues zoals grootschalige ontbossing, maar dat valt buiten het bestek van deze notitie. Wel wordt ervan uitgegaan dat de productie van *duurzame* biograndstoffen – zoals vastgelegd in de duurzaamheidscriteria in de REDIII (EC 2020; 2022) en het Nederlandse duurzaamheidskader biograndstoffen (IenW, 2023) – niet ten koste mag gaan van de productie van voedsel en veevoer.

Ten derde zijn de ranges voor 2030 en 2050 relatief breed. Dit wordt veroorzaakt door een groot aantal factoren (zie onder andere in De Wit, Londo & Faaij 2011; Dornburg, Faaij & Verweij 2008; Dornburg et al. 2010). Onder meer zijn er verschillen in aannames in de veronderstelde land- en bosbouwproductiviteit ten opzichte van potentiële productiviteit (de zogenoemde *yield gap*), landbeschikbaarheid (ook gekoppeld aan het oppervlak marginale gronden en natuurgebieden), de hoeveelheid biograndstoffen die op land moet achterblijven, en sociaaleconomische ontwikkelingen en beleid.

Ten vierde wordt de beschikbaarheid van biograndstoffen in de literatuur in diverse eenheden gegeven, bijvoorbeeld kubieke meters, tonnen vers gewicht, tonnen droge stof, *ton oil equivalent* (toe) en joules. In deze notitie zijn alle eenheden omgerekend naar joule ten einde de verschillende bronnen te kunnen vergelijken en ze bij elkaar op te kunnen tellen tot één totaal.

Ten slotte zijn maatschappelijke en politieke discussies rond duurzame biograndstoffen in eerdere (PBL-)publicaties uitvoerig behandeld (PBL 2020a; SER 2020), en zijn geen onderwerp van deze notitie. In deze notitie sluiten we aan bij het SER-advies 'Biomassa in Balans' en het daarop gebaseerde beleid van de Rijksoverheid, zoals uiteengezet in het duurzaamheidskader biograndstoffen (EZK 2022; IenW 2023). Als we het in deze notitie hebben over 'duurzame biograndstoffen' dan bedoelen we daarmee biograndstoffen die voldoen aan de daaraan gestelde duurzaamheidseisen.

Opzet rapport

Doel van dit rapport is om de huidige beschikbaarheid van duurzame biograndstoffen voor Nederland te beschrijven, en een met raming te komen voor 2030 en 2050. Om tot een dergelijke beschrijving te komen is het van belang om ook inzicht te hebben in wat er in Nederland geproduceerd kan worden, wat de beschikbaarheid is in het buitenland en hoeveel hiervan naar Nederland kan komen. Daarom beschrijven we in hoofdstuk 2 eerst wat de potentiële beschikbaarheid in Nederland zelf is, gevolgd door die in de EU28 in hoofdstuk 3. De hoeveelheid duurzame biograndstoffen die op basis van eigen productie en import beschikbaar zou kunnen komen in 2030 en 2050 beschrijven we in hoofdstuk 4. Ook wordt er kort ingegaan op randvoorwaarden om tot deze beschikbaarheden te komen.

2. Productie biograndstoffen in Nederland

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk bespreken we de raming van de huidige en toekomstige potentiële beschikbaarheden van duurzame biograndstoffen voor Nederland in 2030 en 2050. Die beschikbaarheden leiden we af uit eerder verschenen studies. Daarbij maken we een onderscheid tussen biograndstoffen uit primaire productie in land- en bosbouw, allerlei rest- en nevenstromen uit land- en bosbouw, en afvalstromen uit bijvoorbeeld recycling van afvalhout (zie kader 2.1).

Kader 2.1 Beschouwde typen Biograndstofstromen

Landbouw

De *primaire landbouwproductie* in Nederland is momenteel vooral bestemd voor voedsel en veevoer. Bij de beperkte primaire productie voor energie en feedstock gaat het met name om graan en bieten voor energieopwekking, en zetmeelaardappelen voor industriële applicaties.

De *gewasresten* uit de landbouw zijn divers van oorsprong. Ze bestaan uit onder andere loofresten en stronken die vrijkomen bij de bestaande teelten van gewassen en stro als restproduct van de graanproductie. Daarnaast gaat het om groenbemesters (of vanggewassen zoals lupine), die geteeld worden tussen twee hoofdgewassen ter behoud van de bodemkwaliteit.

Dierlijke *mest* is de grootste primaire reststroom uit de landbouw, waarvan momenteel maar een heel klein deel wordt gebruikt voor energetische toepassingen (verbranding en vergisting).

Bij de *voedings- en genotsmiddelenindustrie (VGI)* komen secundaire reststromen vrij, zoals oliezadenschroot, paprikapunten, aardappelschillen en DDGS (bijproduct van ethanolproductie uit granen).

Bosbouw en houtsector

De *primaire houtproductie* bestaat uit pulphout voor de papierindustrie en om zaaghout bedoeld voor constructie- en meubelhout. Ook wordt een deel energetisch ingezet omdat het kwalitatief niet geschikt is voor andere toepassingen.

Primaire houtige reststromen komen vrij bij beheerwerkzaamheden aan en omvorming van houtige beplantingen in de stedelijke omgeving en het landschap (bijvoorbeeld houtwallen, boomgaarden en lanen) en bij de primaire houtoogst (boomtoppen en dikke takken).

Secundaire houtige reststromen komen uit de houtverwerkende industrie zoals zagerijen en spaanplaatindustrie en betreffen een stroom van bijvoorbeeld afkorthout, zaagsel en krullen.

Tertiaire stromen

Tertiaire biograndstofstromen zijn afkomstig van producten die aan het eind van hun levenscyclus zijn en of restmaterialen na de consumptiefase (CE Delft 2020). Daarbij gaat het om sloop- en afvalhout, slib van riool- en waterzuiveringsinstallaties, papierslib en residuen uit papier-recycling, gescheiden ingezameld GFT, de organische restfractie van overig afval van huishoudens en de kantoor- en dienstensector, en de niet-houtige reststromen die vrijkomen bij het beheer van de Nederlandse natuur en landschappen (bijvoorbeeld riet, bermgras en heidemaaisel).

Voor afvalhout worden drie klassen onderscheiden, die worden aangeduid met type A, B en C. Zowel type A (onbewerkt en onbehandeld afvalhout) als type B (geperst/ verlijmd of gelakt hout) zouden in principe relatief makkelijk voor materiaaltoepassingen hergebruikt kunnen worden, maar in de praktijk gebeurt dat nu nog slechts in enkele landen. Type C (geïmpregneerd hout) kan niet worden gerecycled en wordt veelal ingezet als brandstof voor energiecentrales.

2.2 Huidige productie biograndstoffen

Tabel 2.1 en figuur 2.1 tonen de schattingen van de huidige productie en de mogelijke toekomstige beschikbaarheid van verschillende stromen biograndstoffen rond 2030 en 2050. In de volgende paragrafen gaan we daar achtereenvolgens op in.

Op basis van studies (DNV 2017; RVO 2020; CE Delft 2020) schatten wij de recente productie van biograndstoffen in Nederland voor directe energietoepassing en – beperkt – voor biodiesel en *feedstocks* rond 106 petajoule, en rond 13 petajoule voor materialen. Van de genoemde 106 petajoule is bijna de helft afkomstig uit diverse afvalstromen, zoals afvalhout, maaisel en biogeen huishoudelijk en kantoorafval. Verder is bijna een derde afkomstig uit de bosbouw en de rest uit de landbouw (zowel primaire productie als reststromen). De bijdrage van de landbouwsector is momenteel dus beperkt.

Landbouw

De primaire landbouwproductie in Nederland is vooral bestemd voor voedsel en veevoer. Er is op dit moment maar een beperkte stroom direct voor energie en *feedstock*, waarbij het met name gaat om suikerbieten voor energieopwekking en zetmeelaardappelen voor industriële applicaties (CE Delft 2020; RVO 2020). De energie-inhoud van deze stroom wordt geschat op 7 petajoule per jaar (figuur 2.1), die vergroot zou kunnen worden door extra aanplant van specifieke gewassen en/of door de opbrengst per hectare van de relevante gewassen te verhogen.

De huidige stroom aan primaire resten uit de Nederlandse landbouw hebben een totale energie-inhoud van 57 petajoule. Het is een combinatie van stromen die divers wordt toegepast. Rond de 30 procent bestaat uit loofresten en stronken die vrijkomen bij de bestaande teelten van gewassen als aardappels, bieten en kolen. Het overgrote deel hiervan wordt momenteel op het veld achtergelaten, onderwerkt of doodgespoten (bijvoorbeeld bij aardappels om ziektes te voorkomen) of na compostering als bodemverbeteraar ingezet in de landbouw. Een klein deel (rond 3 petajoule, met name van suikerbieten) wordt momenteel energetisch toegepast. Vanwege het grote aandeel dat nu ongebruikt wordt, is hier ook een potentieel voor de toekomst. Daarnaast bestaan de primaire reststromen uit stro, een restproduct van de graanproductie. In Nederland vrijkomend stro wordt momenteel vrijwel volledig toegepast in de veehouderij en landbouw (deels als bodembedekker). Minder dan 1 procent vindt zijn toepassing in materialen (CE Delft 2020). Maar er zijn bestaan (bescheiden) kansen als isolatie- en bouw materiaal en als basis voor pulp. Tenslotte gaat het bij de primaire reststromen om het toepassen en oogsten van groenbemesters (of vanggewassen) zoals lupine, die geteeld worden tussen twee hoofdgewassen ter behoud van de bodemkwaliteit (onderdeel van vruchtwisseling). De groenbemesters hebben een energie-inhoud van 25 petajoule, en worden momenteel veelal op het land achtergelaten en ondergeploegd. Vrijwel niets wordt momenteel ingezet voor energie of materialen.

In Nederland komt jaarlijks een grote hoeveelheid mest beschikbaar met een energie-inhoud van 90 petajoule (zie ook PBL, 2024b). Een deel van de natte mest van rundvee en varkens (in 2020 respectievelijk 3 procent en 14 procent, samen een energie-inhoud van ongeveer 3 petajoule, zie PBL 2024b) wordt middels vergisting omgezet in biogas. Daarnaast wordt ongeveer 2 petajoule aan droge mest (van met name pluimvee) verbrand ten behoeve van de warmteproductie (zie ook PBL 2024b). Vanwege het mestoverschot wordt ook een deel naar het buitenland geëxporteerd voor gebruik in de landbouw.

Bij de voedings- en genotsmiddelenindustrie (VGI) (zie kader 2.1) komt jaarlijks 4,0 tot 4,5 megaton aan secundaire reststromen vrij met een geschatte energie-inhoud van rond de 75 petajoule. Het grootste deel van deze reststroom wordt toegepast als (eiwitrijk) veevoer of als bodemverbeteraar.

Ongeveer 14 petajoule wordt toegepast voor energie en *feedstocks* (DNV2017). Ook hier zijn er diverse mogelijkheden om dit uit te breiden (zie paragraaf 2.2.2). Sommige secundaire reststromen zonder voedingswaarde worden meegestookt in kolencentrales en cementovens, of benut bij de industriële warmteproductie. Ook gebruikte frituurvetten (UCO, *used cooking oil*) zitten in deze categorie. Nederland heeft een aanzienlijke raffinagecapaciteit om dit om te zetten in biodiesel. Het overgrote deel van de gebruikte UCO's wordt momenteel geïmporteerd; de bijdrage uit Nederland zelf is nog beperkt (RVO 2020).

Bosbouw en houtsector

Houtige biograndstoffen zijn naast bossen ook afkomstig uit landschappen, natuurgebieden en stedelijk groen. Nederland heeft op dit moment rond de 370 duizend hectare bos, waarvan 61 procent multifunctioneel bos is, inclusief houtproductie (Probos 2019; LNV 2020). Deze bossen bevatten rond 80 miljoen kubieke meter levend hout en hebben een bijgroei van ongeveer 2,7 miljoen kubieke meter per jaar (Probos 2019).

Momenteel wordt ruim de helft van de bijgroei, ongeveer 1,4 miljoen kubieke meter per jaar, geoogst (primaair hout). Hiervan gaat 800 tot 900 duizend kubieke meter naar producten/materialen (constructie- en meubelhout, papier, enzovoort) en het restant wordt gebruikt als brandhout (Probos 2023a). Bij die laatste categorie gaat het om hout van (ook dode) bomen die niet aan bepaalde eigenschappen voldoen (ten aanzien van bijvoorbeeld de gewenste houtsoort, stamvorm, of houtkwaliteit). Daarnaast wordt er nog bijna 1 miljoen kubieke meter hout geoogst uit landschappen en stedelijk groen, dat vooral in de particuliere brandhoutmarkt wordt afgezet. Omgerekend komt dit neer op 4 petajoule voor binnenlandse producten en materialen, 8 petajoule voor brandhout met name voor particuliere haarden en kachels, en 7 petajoule voor de export, bijvoorbeeld omdat hout met bepaalde eigenschappen als specifieke diktes en vormen (nog) niet in Nederland verwerkt kan worden (RVO 2020).

Daarnaast komt momenteel nog rond de 1,3 miljoen ton houtige primaire restromen vrij in Nederland bij beheerwerkzaamheden aan en omvorming van houtige beplantingen (Probos 2023a). Een derde hiervan is afkomstig uit bossen (boomtoppen en dikke takken), ongeveer de helft uit stedelijk omgeving, en de rest uit landschapsbeheer (bijvoorbeeld houtwallen, boomgaarden en lanen). Omgerekend komt dit neer op ruim 23 petajoule. Het overgrote deel hiervan wordt momenteel toegepast als brandstof in biomassacentrales. Een klein deel wordt gebruikt voor materialen (1,3 petajoule, met name pallets) of geëxporteerd (5,6 petajoule), waarbij export aan het dalen is door een groei van de binnenlandse markt.

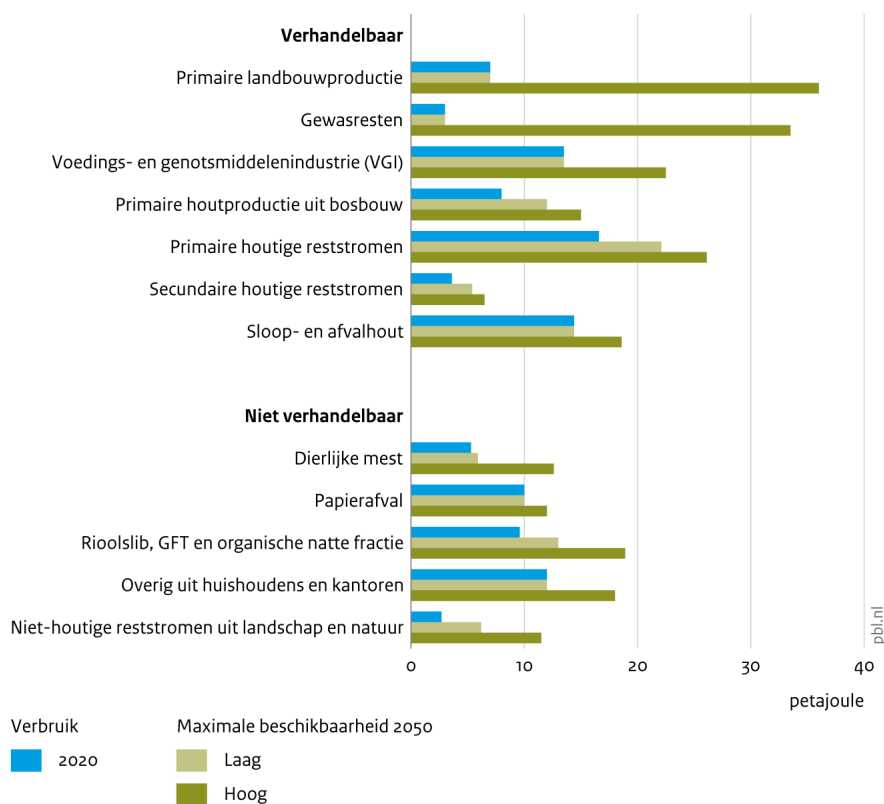
Secundair resthout uit de houtverwerkende industrie betreft afkorthout, zaagsel en krullen en heeft met een energie-inhoud van bijna 11 petajoule. Ongeveer de helft hiervan wordt of energetisch toegepast (als grondstof voor pallets met ook 1 petajoule voor export, en voor de eigen warmteproductie bij de houtverwerkende bedrijven) of dient als grondstof voor de plaatindustrie, en voor papier en karton. De andere helft wordt (nog) gebruikt als strooisel voor de dierhouderij in Nederland en het buitenland.

Tertiaire en overige rest- en afvalstromen

Naast de houtige biograndstoffen komt er jaarlijks 27 petajoule aan niet-houtige biomassa vrij in de Nederlandse natuur. Hierbij gaat het met name om natuur- en bermgras, heide en riet die bij beheer vrijkomen. Een bescheiden hoeveelheid riet wordt momenteel al ingezet voor zowel energie als materiaal. De rest wordt veelal in het veld gelaten. Deels is dit noodzakelijk voor bodemverbetering, deels is het ongebruikt. Ook hier ligt een potentieel voor bredere benutting.

Figuur 2.1

Duurzame biograndstoffen voor energie en feedstocks uit Nederland per type biograndstof



Bron: PBL

De overige tertiaire rest- en afvalstromen vormen een categorie van diverse oorsprong (zie kader 2.1). Opgeteld is de energie-inhoud van de tertiaire rest- en afvalstromen 112 petajoule per jaar, waarvan ruim 40 procent voor energetische toepassingen gebruikt wordt en zo'n 5 procent voor materialen (de rest wordt gestort, gecomposteerd of gebruikt als bodemverbeteraar, deels ook export). Het grootste deel van deze tertiaire stroom komt uit de papierindustrie, bijvoorbeeld in de vorm van papierpulp en papier dat niet recyclebaar is. Verder heeft afvalhout een grote bijdrage aan de tertiaire biograndstofstroom. Een substantieel deel hiervan wordt momenteel energetisch ingezet, waarvan ruim driekwart in Nederland en de rest via export in het buitenland (DNV 2017; PBE 2021). Verder was er rond 2020 ruim 34 petajoule aan huishoudelijk organisch afval (inclusief GFT) beschikbaar waarvan iets minder dan de helft gebruikt wordt voor energetische toepassingen. GFT-afval wordt grotendeels gecomposteerd. Het overige huishoudelijk afval wordt vooral in AVI's verwerkt. Tenslotte is er nog slib uit rioolwater- en afvalwaterzuiveringsinstallaties waarvan jaarlijks een hoeveelheid beschikbaar komt met een energie-inhoud van bijna 9 petajoule. Ongeveer twee derde hiervan wordt gebruikt voor energieopwekking (en heel beperkt voor *feedstock*), vooral via vergisting en verbranding (RVO 2020).

Tabel 2.1

Huidige (2020) en verwachte toekomstige (2030 en 2050) beschikbaarheid van duurzame biograndstoffen afkomstig uit Nederland (PJ)

Type biograndstof	Huidig gebruik	Huidig gebruik	2030	2030	2050	2050	Ref*
	Energie & feedstocks	Materiaal	Energie & feedstocks	Materiaal	Energie & feedstocks	Materiaal	
Totaal landbouw	29	0	30 tot 55	0 tot 1	30 tot 105	0 tot 3	
Waarvan Primair productie	7	0	7 tot 17	0 tot 0,3	7 tot 36	0 tot 0,9	1,2
Waarvan Primaire reststroom mest	5	0	6 tot 8	0	6 tot 13	0	1,2,3,6,7
Waarvan Primaire reststroom gewasresten	3	0	3 tot 13	0 tot 0,3	3 tot 34	0 tot 0,9	1,2,3,6
Waarvan Secundair. reststroom verwerkende industrie (met name VGI, incl. vetten)	14	0	14 tot 17	0 tot 0,3	14 tot 23	0 tot 1,0	1,2,3,6
Totaal bosbouw	28	6,8	32 tot 35	8 tot 9	40 tot 48	11 tot 13	
Waarvan Primair houtproductie	8	4	9 tot 10	5,1 tot 5,3	12 tot 15	7,2 tot 7,8	1,2,3,4,5,6
Waarvan Primaire. houtige reststroom bos- en landschappen	16,6	1,2	18 tot 20	1,3 tot 1,5	22 tot 26	1,5 tot 2,2	1,3,4,5,6
Waarvan Secundaire houtige reststroom bos- en landschappen	3,6	1,5	4 tot 5	1,9 tot 2,2	5 tot 7	2,7 tot 3,4	1,2,3,4,5
Totaal tertiair/overig	49	6,2	51 tot 59	6 tot 7	56 tot 79	6 tot 10	
Waarvan niet-houtige reststroom landschappen	2,7	0	4 tot 6	0 tot 0,7	6 tot 12	0 tot 2,0	1,2,3,6
Waarvan sloop- & afvalhout	14	6,2	14 tot 16	6,3 tot 6,8	14 tot 19	6,4 tot 8,0	1,2,3,4
Waarvan Papierafval (pulp)	10	0	10 tot 11	0	10 tot 12	0	1,3,4,6
Waarvan Slib (rioolwater, afvalwater)	6	0	6 tot 7	0	7 tot 9	0	1,3,6,7
Waarvan GFT	3	0	4 tot 6	0	6 tot 10	0	1,2,3,6
Waarvan Organische fractie overig afval huishoudens en diensten	12	0	12 tot 14	0	6 tot 12	0	1,2,7
Totaal	106	13	112 tot 148	14,6 tot 17,4	125 tot 231	17,8 tot 26,2	

*Bronnen: ¹RVO 2020; ²CE Delft 2020; ³DNV 2017; ⁴Probos 2020, 2023a; ⁵WUR 2016; ⁶PBL 2018; ⁷PBL et al 2022;

2.3 Potentiële beschikbaarheid rond 2030 en 2050

Tabel 2.1 en figuur 2.1 laten zien dat de potentiële beschikbaarheid van biograndstoffen van Nederlandse bodem in de komende dertig jaar substantieel kan stijgen. Deels is dit mogelijk door het herbestemmen van sommige bestaande stromen waarbij de toepassing verandert naar meer energie/*feedstock* of materiaal (bijvoorbeeld bij mest, meer recycling). Ook kan het potentieel toenemen door nieuwe stromen, zoals extra houtoogst en biograndstoffen te benutten waarvan het huidige gebruik nog beperkt is (zoals landresten die nu in het veld worden achtergelaten of verbrand). Daarnaast kan gekeken worden naar bestaande stromen waar ruimte is voor uitbreiding. Tenslotte is er een stroom van biograndstoffen die nu naar het buitenland gaat, bijvoorbeeld omdat Nederland nog geen mogelijkheden biedt om deze hier toe te passen. Ook deze categorie zou onder voorwaarden binnen Nederland toegepast kunnen worden. In deze paragraaf wordt eerst nader ingegaan op de potentiële beschikbaarheid in 2050 en daarna op de korte termijn van 2030.

Potentiële beschikbaarheid rond 2050

De beschikbaarheid van biograndstoffen kan tot 2050 stijgen tot 125-231 petajoule voor energie/*feedstock*, en tot 18 - 26 petajoule voor materialen (zie tabel 2.1, figuur 2.1). Om de bovenkant van de bandbreedte te realiseren, moeten vooral de stromen uit de landbouw sterk worden geïntensiveerd (van 29 naar 105 petajoule). Hierbij is een belangrijke voorwaarde dat in Nederland, net als in andere delen van Europa, de huidige vorm van landbouw krimpt waardoor ruimte beschikbaar komt voor het telen van biograndstoffen. Als dat lukt, zal naar verwachting in 2050 meer dan 40 procent van de biograndstoffen afkomstig zijn uit de landbouw. Hiervoor moet echter nog veel gebeuren, zowel beleidsmatig, economisch als technisch.

Bij de onderkant van de bandbreedte geldt dat de intensivering slechts beperkt lukt. In dat geval neemt de beschikbaarheid van biograndstoffen voor energie, *feedstock* en materiaal in beperkte mate toe en zal, net als nu het geval is, de grootste bijdrage uit de tertiaire stromen komen (ruim 40 procent).

Landbouw

De hoeveelheid biograndstoffen voor energie, *feedstock* en materiaal uit de landbouw kan tussen nu en 2050 toenemen van 29 petajoule tot 30-108 petajoule.

De biograndstoffenstroom uit het primaire landbouwproces zou in Nederland naar verwachting kunnen stijgen van 7 petajoule op dit moment naar mogelijk 36 petajoule in 2050. Dit kan door:

- i. Het op grotere schaal telen van specifieke landbouwgewassen zoals bieten (in rotatie, +17 petajoule) en olifantsgras (+2 petajoule). Er is in de akkerbouw een dalende trend in het areaal van gangbare teelten (CBS 2019; CE Delft 2020), waardoor areaal beschikbaar kan komen voor deze specifieke teelten, waarbij moet worden opgemerkt dat deze teelten op dit moment voor veel boeren economisch nog weinig interessant zijn;
- ii. een andere/betere benutting van grasopbrengsten van bestaand grasland als bron voor biograndstoffen (+11 petajoule); dit vraagt deels om een omvorming van huidige toepassingen. En ook om huidige verliezen te beperken (op dit moment gaat jaarlijks bijvoorbeeld 7 petajoule verloren door kuilgrasbederf, zou eventueel vergist kunnen worden; RVO 2020);
- iii. omzetting van grasland in akkerbouwland ten behoeve van de productie van biograndstoffen, wat zou moeten samengaan met een afname van de veestapel; het areaal bouwland zou tot 38 duizend hectares kunnen toenemen, zie ook PBL (2024b). Ook hiervoor zijn extra economische prikkels noodzakelijk;

- iv. een verdere (beperkte) productiviteitsstijging in de akkerbouw als geheel (bijvoorbeeld door meer precisie landbouw), waardoor bij gelijkblijvende vraag het areaal aan gewassen voor biograndstoffen kan toenemen zonder een verlies van productie voor voedsel en veevoer.

Het is de verwachting dat in 2050 het areaal van bestaande teelten en grasland krimpt tussen de 100 en 250 duizend hectares (zie PBL 2024b), waardoor er onder andere 90 tot 100 duizend hectares aan extra areaal beschikbaar kan komen voor het telen van biograndstoffen. Hierbij zit ook extra teelten van gewassen als vlas en hennep voor *biobased* materialen (bijvoorbeeld isolatie, nu nog beperkt in omvang). Er zijn momenteel allerlei ontwikkelingen zoals het 'building balance' initiatief¹, maar er moeten nog stappen worden gezet ten aanzien van met name markt- en prijsontwikkelingen. Omdat er een rotatie van gewassen moet blijven plaatsvinden ter bescherming van de bodem en het voorkomen van ziektes, zullen deze extra arealen niet steeds op dezelfde locatie voorkomen.

In het algemeen gaat het bij de primaire productie uit de landbouw vooral om gewassen met een bescheiden marktprijs en een beperkte voedingswaarde (CE Delft 2020). Via een expliciet stimuleringsbeleid – bijvoorbeeld via het Gemeenschappelijk landbouw Beleid (GLB) of Actieplan Circulaire Economie van de Europese Unie (RVO 2020) – zouden deze gewassen de voorkeur kunnen krijgen boven huidige gewassen en toepassingen.

Het overgrote deel van de primaire reststromen wordt momenteel op het veld achtergelaten, onderwerkt of doodgespoten. Dit draagt bij aan bodemkwaliteit. Maar voor een deel zouden deze stromen ook geoogst kunnen worden. Verder zou 50 tot 70 procent van de groenbemesters, afhankelijk van de bodemgesteldheid, geoogst kunnen worden zonder een significant verlies van bodemkwaliteit (CE Delft 2020). Rond 2050 zou dit een hoeveelheid kunnen opleveren van maximaal 35 petajoule (tabel 2.1, figuur 2.1).

Mest is de grootste primaire reststroom uit de landbouw, waarvan momenteel maar een klein deel wordt gebruikt voor energetische toepassingen (verbranding en vergisting). Richting 2050 zou er meer drijfmest ingezameld en dan vergist kunnen worden. Bij varkensmest is dat percentage nu 14 procent, en zou mogelijk kunnen groeien tot 50-60 procent in 2050; bij rundveemest is het nu 3 procent en mogelijk 5-15 procent in 2050 (PBL 2024b). Dit vereist wel dat er logistieke knelpunten aangepakt worden, zodat mest sneller verwerkt kan worden met een hogere energieopbrengst tot gevolg. Anderzijds is de verwachting dat het aantal dieren (pluimvee, runderen en varkens) in Nederland de komende decennia zal dalen, waardoor minder mest beschikbaar komt. Netto is de verwachting dat tot 2050 (en ook 2030) de mestinzet voor verbranding (van vooral droge mest) min of meer gelijk blijft (rond 2 petajoule), en dat de hoeveelheid die vergist wordt kan toenemen tot 4-11 petajoule. Ook in 2050 is dit dus nog steeds maar een beperkt deel van de totale mestbeschikbaarheid. Dit komt doordat naar verwachting ook in 2050 het verzamelen en verwerken van mest duur en logistiek lastig blijft, er meer mest gebruikt zal worden binnen de sector zelf (kunstmest wordt relatief duur) terwijl het aanbod daalt (door kleiner veestapel), en het energetisch niet altijd uit kan om de mest te verzamelen en te vergisten (transport van mest kost veel energie) (PBL 2024b).

Uit de voedselverwerkende industrie kan naar verwachting rond 2050 tussen de 14 en 24 petajoule aan biograndstoffen beschikbaar komen (dus 0 tot 10 petajoule extra ten opzichte van heden). Hierbij gaat

¹ <https://circulair.zuid-holland.nl/activiteit/building-balance/> en ook <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/12/23/kabinet-zet-in-op-groener-bouwen> en ook <https://www.tno.nl/nl/duurzaam/veilige-duurzame-leefomgeving/bouwinnovatie/markt-biobased-bouwmaterialen/>

het onder meer om reststromen die vrijkomen bij de verwerking van aardappelen en uien, bierbostels, visresten en oliezaden, en ook om gebruikte (frituur)vetten (UCO's). Deze kunnen meer worden toegepast voor energieopwekking (via vergisting) (DNV 2017), al lijken met name eiwitarme reststromen ook interessant als grondstoffen voor de chemie (CE Delft 2020). Een deel van het groeipotentieel kan gerealiseerd worden door gebruik te maken van nog niet benutte reststromen (DNV 2017). Anderzijds zal het door nieuwe (andere en efficiëntere) technieken mogelijk kunnen worden om meer van deze biogrondstoffenstroom voor energie en *feedstock* te gebruiken. Bijvoorbeeld gaat het dan om stromen die deels ook vergist kunnen worden terwijl het overige deel dan nog 'traditioneel' ingezet kan worden blijven als diervoeder. Voor veel van deze stromen moeten bestaande technieken uitgebreid worden, bijvoorbeeld om bepaalde zaden via bioraffinage te kunnen verwerken (RVO 2020). Voor UCO's is er al een infrastructuur, met name gekoppeld aan import, die in Nederland bijna volledig wordt ingezet als grondstof voor biodieselproductie. Er zijn mogelijkheden om UCO's ook in te zamelen vanuit Nederlandse huishoudens (bijvoorbeeld door een uitbreiding van het aantal inleverbakken bij supermarkten), waarbij de inschatting is dat de hoeveelheid extra ingezamelde UCO's uiteindelijk beperkt zal zijn.

Bosbouw en houtsector

De hoeveelheid biogrondstoffen voor energie, *feedstock* en materiaal uit de bosbouw en de houtsector kan tussen nu en 2050 mogelijk toenemen van 35 petajoule tot 51-62 petajoule. De bandbreedte voor 2050 is hiermee kleiner dan in de landbouw. Dit komt vooral doordat de hoeveelheid biogrondstoffen met een nu andere toepassing in de bosbouw en houtsector kleiner is dan in de landbouw, waardoor potentiële stijging beperkt is. Bovendien groeien bomen relatief langzaam en zullen nieuwe bossen pas over enkele decennia kunnen bijdragen aan de binnenlandse vraag naar biogrondstoffen (Probos 2020).

Desondanks kan de primaire houtoogst voor zowel energie en *feedstocks* enerzijds als voor materiaal anderzijds in het gunstigste geval bijna zijn verdubbeld rond 2050. Naar verwachting is de toename vooral mogelijk door een intensivering van de houtoogst in bestaande bossen, een beginnende oogst in nieuwe bossen en het verlagen van de export:

- Momenteel wordt ongeveer de helft van de jaarlijkse bijgroei van de Nederlandse bossen geoogst (Probos 2019). Het is mogelijk dit aandeel duurzaam te verhogen tot driekwart door in de multifunctionele productiebossen intensiever te oogsten in combinatie met ecologische maatregelen (WUR 2016; Lerink et al 2023). Dit past in de ambitie om de vitaliteit van Nederlandse bossen te vergroten om zo meer functiecombinatie mogelijk te maken (Bossenstrategie LNV 2020; Aanvalsplan landschap, St. Deltaplan 2022). Bij elkaar zou dit 0,6 tot 0,8 miljoen kubieke meter extra hout per jaar kunnen opleveren, wat overeenkomt met maximaal 6 petajoule.
- Het bosareaal in Nederland zal tot 2030 naar verwachting met 13 tot 37 duizend hectare zijn toegenomen op basis van de doelstelling in de Nationale Bossenstrategie (LNV 2021), en in de decennia daarna met 90 duizend hectare (zie PBL 2024b). De bovengrens is in lijn met de aanname van CE Delft (2020), die uitgaat van 80.000 hectares nieuw bos. In de beginfase kan alleen dunningshout geoogst worden dat vooral geschikt is voor energieopwekking. Rond 2050 kan er naar verwachting in delen van deze nieuwe bossen hout geoogst worden dat ook voor andere toepassingen geschikt is, met name als sprake is van snelgroeiende boomsoorten zoals de populier. Dit kan tot bijna 3 petajoule aan extra hout/houtige biogrondstoffen opleveren.
- Nederland exporteert een deel van haar huidige houtoogst, bijvoorbeeld omdat stammen te dik zijn om in Nederland te kunnen verwerken. Door aanpassingen in het verwerkingsproces zou een deel hiervan een extra potentieel kunnen opleveren tot bijna 3 petajoule. Dit vraagt wel om een aanpassing van het verwerkingsproces.

Ook de houtige primaire (bijvoorbeeld takken en snoeihout) en secundaire reststromen (zoals resthout en zaagsel uit zagerijen en meubelfabrieken) kunnen naar verwachting fors toenemen richting 2030 en 2050. Een toename van de primaire houtige reststromen is potentieel vooral mogelijk dankzij aangepast landschapsbeheer (bijvoorbeeld van kleine bossen), het meer inzamelen van takken en toppen bij oogst in (stads)bossen en lanen, als ook deels het herbestemmen van bestaande reststromen, zoals hout dat nu door particulieren wordt gebruikt in kachels (rond de 12 petajoule, Probos 2023a). Ook kunnen primaire reststromen ingezet worden voor materialen, met name als het gaat om dikkere takken (max 1 petajoule). Dit vraagt wel om gericht beleid, bijvoorbeeld omdat het inzamelen nu nog economisch weinig interessant is. Met name voor hoogwaardig gebruik van houtige biograndstoffen is een hanteerbaar beprijsingssysteem en ketenontwikkeling nodig (RVO 2021).

De hoeveelheid secundaire houtige reststromen kan rond 2050 worden verdubbeld ten opzichte van 2020. Deels komt zo een grotere beschikbaarheid dankzij een grotere houtoogst en houtverwerking in Nederland. Ook komt dit door het anders inzetten van bestaande stromen, zoals in de houtverwerkende industrie. Nu wordt resthout vooral afgezet als strooisel in de dierhouderij in Nederland en het buitenland. Bovendien gaan zaagsel, resthout en andere secundaire stromen veelal naar het buitenland (CE Delft 2020), omdat deze niet in Nederland verwerkt kunnen worden (bijvoorbeeld omdat de spaanplaatindustrie beperkt is in Nederland). Delen van deze stromen zouden op termijn ook in Nederland verwerkt en gebruikt kunnen worden, mits alternatieven gevonden worden voor die huidige toepassingen en de juiste infrastructuur in Nederland wordt opgezet (WUR 2016).

Tertiaire en overige rest- en afvalstromen

De hoeveelheid biograndstoffen voor energie, *feedstock* en materiaal zal naar verwachting tussen nu en 2050 kunnen toenemen van 55 tot 62-89 petajoule.

Niet-houtige reststromen die vrijkomen bij het beheer van de Nederlandse natuur en landschappen (bijvoorbeeld riet, bermgras en heidemaaisel) worden nu veelal in het veld achtergelaten. Via ander beheer en betere inzameling zou rond 2050 potentieel tussen de 9 en 17 petajoule beschikbaar kunnen komen. Daarbij gaat het deels om het verwerken van maaisel en deels om extra riet voor toepassing in de bouwsector.

Het potentieel aan overige tertiaire rest- en afvalstromen (afvalhout, slib, GFT-afval, organische fracties huishoudelijk- en kantoorafval, en papierresiduen) zou fors verhoogd kunnen worden door het efficiënter verzamelen en omzetten van bestaande bronnen (bijvoorbeeld in de papierindustrie of meer gebruik van groenafval uit landschapsbeheer). Een klein deel kan via recycling opnieuw gebruikt worden. Dat geldt vooral voor afvalhout, waarvan bijvoorbeeld weer spaanplaat en klossen gemaakt kunnen worden. Een belangrijk aandachtspunt is de samenstelling en kwaliteit van deze tertiaire stromen (bijvoorbeeld wel/niet verschillende stromen afvalhout, of slib) (RVO 2020). Voor een grootschalige inzet in bijvoorbeeld de industrie is een stroom van meer constante kwaliteit nodig, hetgeen bijvoorbeeld realiseerbaar is door het voor te bewerken door middel van torreficatie.

Potentiële beschikbaarheid rond 2030

Voor 2030 zijn niet veel ramingen beschikbaar, en die er zijn, hebben een grote bandbreedte. Sommige literatuurbronnen signaleren dat tussen 2020 en 2030 al een grote stijging zou kunnen plaatsvinden. Zelf zijn we terughoudender, omdat daarvoor op korte termijn tot 2030 veel in gang gezet zou moeten worden op het gebied van beschikbare arealen (met daarbij ook de duurzaamheidseis dat het geen effect mag hebben op voedselproductie), benodigde infrastructuur en logistiek (inzameling, transport en

verwerking van bijvoorbeeld mest), en socio-economische randvoorwaarden (boeren en bosbouwers moeten ook willen).

Op basis van bovenstaande overwegingen gaan we uit van lineaire toename richting 2030 op basis waarvan de beschikbaarheid van biograndstoffen voor energetische toepassingen en industriële *feedstock* met 6 tot 42 petajoule zou kunnen toenemen, en van biograndstoffen voor materialen met 2 tot 5 petajoule (tabel 2.1). Deze cijfers zijn in lijn met de inschatting van CE Delft (2021) die een bandbreedte aanhoudt van 0 tot maximaal 48 petajoule, maar wel lager dan de maximale toenames tot 82 petajoule door RVO (2020).

3. Beschikbaarheid biograndstoffen in Europa

In dit hoofdstuk ramen we de huidige en mogelijk toekomstige beschikbaarheid van duurzame biograndstoffen voor energie, *feedstock* en materiaal in de 27 lidstaten van de Europese Unie plus het Verenigd Koninkrijk² (hierna verder aangeduid met EU28).

De geraamde beschikbaarheden in de EU28 laten voor 2030 en 2050 grote bandbreedtes zien. De bovenkant van die bandbreedtes kan meestal alleen worden gerealiseerd als grote organisatorische en logistieke uitdagingen worden overwonnen. Zo zal het in de praktijk niet eenvoudig zijn om verlaten landbouwgronden weer grootschalig in gebruik te nemen voor het telen van energiegewassen en om een grootschalige inzameling en verwerking van mest en afvalstromen vorm te geven.

3.1 Huidige productie

Tabel 3.1 en figuur 3.1 geven een overzicht van de huidige productie (in 2020) en de mogelijk toekomstige beschikbaarheid van duurzame biograndstoffen in de EU28. In totaal gaat het bij het huidige productie om 10,5 exajoule, waarvan ruim 6 exajoule voor energie en *feedstock*, en ruim 4 exajoule voor materialen. De achterliggende studies laten daarbij zien dat er in afgelopen twintig jaar een sterke stijging heeft plaatsgevonden in de productie van biograndstoffen. Daarbij is er een ruime verdubbeling van de hoeveelheid die wordt toegepast voor elektriciteit, warmte, transport en als *feedstock* voor de industrie. De hoeveelheid aan (houtige) biograndstoffen voor materialen is rond de 20 procent gestegen (MatEcon 2021).

Van het totale beschikbaarheid van 10,5 exajoule is ruim 20 procent afkomstig uit de landbouw, bijna 70 procent uit de bosbouw en het overige deel uit tertiaire en afvalstromen. Meer dan de helft van de productie uit de bosbouw in Europa wordt gebruikt voor materiaaltoepassingen zoals zaaghout en papier. Stromen vanuit de landbouw en vanuit afval worden (bijna) uitsluitend gebruikt voor energieopwekking en als *feedstock* in de industrie.

Landbouw

De huidige primaire productie van biograndstoffen voor energie, *feedstock* en materiaal in de landbouwsector is voor een belangrijk deel afkomstig van energiegewassen zoals koolzaad en suikerbieten die in Europa verbouwd worden op ruim 5 miljoen hectares (wat neerkomt op 5 procent van het huidige areaal akkerland) (Panoutsou et al 2017; MatEcon 2021). Nieuwe energiegewassen zoals olifantsgras worden nog weinig verbouwd. Dat geldt ook voor gewassen die materialen produceren die met name in de bouwsector worden toegepast zoals vlas, hennep en riet. Ondanks de beperkte huidige productie van deze gewassen in de EU28 is de verwachting dat dit significant kan toenemen in de komende jaren, met name in Frankrijk, Spanje en Polen (ICL 2020).

Ook primaire reststromen uit de landbouw (niet zijnde mest), zoals stro en gewasloof, worden nu maar voor een klein deel gebruikt voor energieproductie of in de industrie. Driekwart van deze stromen blijft op het land achter. Daarnaast wordt er momenteel een hoeveelheid mest vergist en verbrandt met een

² Het Verenigd Koninkrijk behoorde in de aangehaalde literatuur nog tot de EU.

energie-inhoud van 0,14 exajoule; ongeveer 50 procent van de totale biogasproductie in de EU28 (IRENA 2018).

Secundaire reststromen binnen de landbouw zijn vooral afkomstig van de verwerking van gewassen in de voedsel- en genotsmiddelenindustrie (VGI), zoals bietenpulp of notendoppen. Ook hiervan wordt in de EU28 momenteel maar een deel gebruikt voor (lokale) energieproductie.

Bosbouw en houtsector

In totaal levert de bosbouw en houtsector in de EU28 momenteel ongeveer vijftien keer zoveel biograndstoffen als de landbouw. Het bosoppervlak in de EU28 is ruim 160 miljoen hectares (EC 2018b). Uit deze bossen, maar ook uit landschappen, en andere gebieden zoals stadsbossen is rond 2020 een hoeveelheid primair hout geoogst met een energie-inhoud van ruim 4 exajoule. Driekwart hiervan heeft een materiaaltoepassing (zaaghout, pulp en papier) en de rest wordt vooral gebruikt voor directe energetische toepassingen. De totale oogst is rond 60 procent van de jaarlijkse bijgroei (EC 2018b), wat opgehoogd zou kunnen worden met beperkte ecologische gevolgen (WUR 2016) en dus kansen biedt voor de toekomst (Lerink et al 2023). Daarbij geldt de kanttekening dat deze oogstintensiteit per lidstaat en tussen de jaren sterk varieert en in natuurbossen de prioriteiten veelal bij biodiversiteit en natuurbehoud liggen en minder bij biograndstoffenproductie (WUR 2016). Ook zijn er doelen om de CO₂ vastlegging in Europese bossen te verhogen.

Naast de primaire oogst wordt er nog rond 3 exajoule aan diverse reststromen uit de bosbouwsector gebruikt (CE Delft 2020; MatEcon 2021). Ruim de helft daarvan bestaat uit primaire reststromen die vrijkomen bij de houtoogst (zoals toppen en takken). Deze reststromen worden ook in Europa nog beperkt ingezameld (EC 2018b) – deels vanwege ecologische instandhouding van de bossen. De andere helft bestaat uit secundaire reststromen die beschikbaar komen in de houtverwerkende industrie zoals zagerijen in vooral de traditionele bosbouwlanden van de EU28, zoals de Scandinavische landen, de Baltische staten, Frankrijk en Duitsland (ICL 2021).

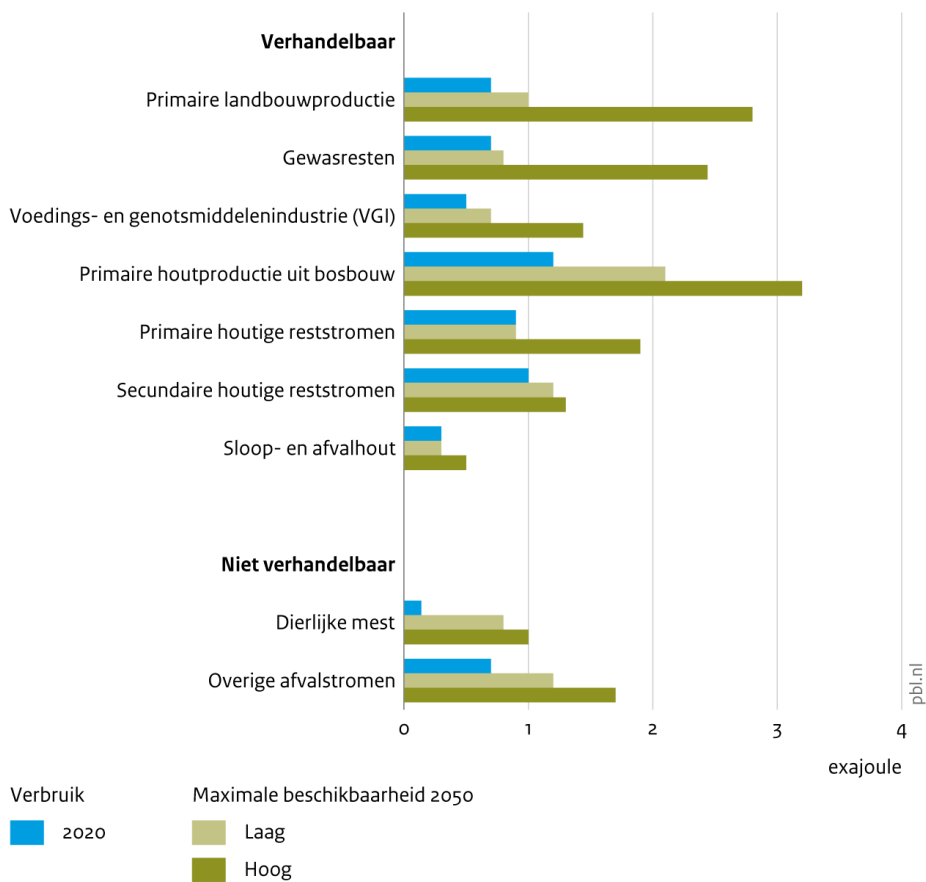
Tertiaire - en afvalstromen

De huidige beschikbaarheid van de tertiaire - en afvalstromen wordt voor de EU28 geschat op circa 1 exajoule (tabel 3.1). Ongeveer 30 procent van deze stroom bestaat uit sloop- en afvalhout, de rest uit met name papierafval, huishoudelijk afval, vetten, en slib uit water- en afvalverwerking. Daarnaast is er een stroom aan niet-houtige biograndstoffen die beschikbaar komt door natuurbeheer. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om heide, riet en natuur- en bermgras. In de EU28 is deze stroom beperkt ten opzichte van de grote andere stromen. Elbersen et al (2016) kwantificeren deze stroom op slechts 0,07 exajoule en daarom is deze stroom, net als in veel andere studies, wat betreft Europees potentieel verder niet meegenomen.

Bij een deel van deze tertiaire stromen is de inzameling al vrij hoog, maar bij een ander deel is dat nog niet het geval. In potentie kan ook daar de inzameling worden vergroot, maar daarvoor moeten wel de nodige uitdagingen worden overwonnen. Zo zijn de prijzen laag, is er sprake van verschillende soorten en kwaliteiten en ontbreken vooralsnog centrale inzamelpunten (Seay and You 2016; Elbersen et al 2017).

Figuur 3.1

Duurzame biograndstoffen voor energie en feedstocks uit EU27 en Verenigd Koninkrijk, per type biograndstof



Bron: PBL

Tabel 3.1

Huidige en verwachte toekomstige (2030 en 2050) beschikbaarheid van duurzame biograndstoffen in de EU28 (in EJ)

Type biograndstof	Huidig gebruik	Huidig gebruik	2030	2030	2050	2050	Ref*
	Energie & feedstocks	Materiaal	Energie & feedstocks	Materiaal	Energie & feedstocks	Materiaal	
Totaal landbouw	2,0	0,2	2,5-4,0	0,3-0,5	3,4 - 7,8	0,5 - 1,0	
Waarvan primaire productie	0,7	0,1	0,8-1,4	0,1-0,2	1 - 2,8	0,1 - 0,4	1,2,3, 7
Waarvan Primaire reststroom, Mest	0,14	0	0,4-0,5	0	0,8 -1,0	0	4,5
Waarvan Primaire reststroom ge-wasresten	0,7	0,1	0,7-1,3	0,1-0,2	0,8 - 2,4	0,2 - 0,3	1,2,5
Waarvan secundaire reststroom verwerkende industrie (met name VGI, incl. vetten)	0,5	0	0,6-0,8	0,1-0,1	0,7 - 1,4	0,2 - 0,4	1,5
Totaal bosbouw	3,1	4,2	3,5-4,2	4,3-4,6	4,2 - 6,4	4,6 - 5,4	
Waarvan primaire houtproductie	1,2	3,1	1,5-1,9	3,1-3,1	2,1 - 3,2	3,0 - 3,3	1,2,5,7
Waarvan primaire houtige rest-stroombos- en landschappen	0,9	0,8	0,9-1,2	0,8-1,0	0,9 - 1,9	0,9 - 1,3	1,2,5
Waarvan Secundaire houtige rest-stroom bos- en landschappen	1,0	0,3	1,1-1,1	0,4-0,5	1,2 -1,3	0,7 - 0,8	2,5
Totaal tertiair/overig	1,0	0	1,2-1,4	0,2-0,2	1,5 - 2,2	0,5 - 0,7	
Waarvan sloop- en afvalhout	0,3	0	0,3-0,4	0,0-0,1	0,3 - 0,5	0,1 - 0,2	1,2
Waarvan niet-houtig uit landschap	0	0	0	0	0	0	6
Waarvan aquatisch	0	0	0	0	0	0	2
Waarvan Overige afvalstromen ³	0,7	0	0,9-1,0	0,1-0,2	1,2 - 1,7	0,4 - 0,5	1,2,5
Totaal	6,1	4,5	7,1 - 9,6	4,8 - 5,3	9,1 - 16,3	5,6 - 7,1	

*Bronnen: ¹ CE Delft 2020; ²MatEcon 2021; ³JRC 2015; ⁴IRENA 2018; ⁵ICL 2021; ⁶Elbersen et al 2016; ⁷EC 2017

³ Onder andere rioolslib, GFT-afval, reststromen uit de industrie (b.v. papier), een ook reststromen uit beheer van bos- en natuurgebieden.

3.2 Beschikbaarheid in EU28 rond 2030 en 2050

Richting 2030 en vooral 2050 kan de productie van biograndstoffen in de EU28 in potentie fors verhoogd worden. Dit onder andere door meer gebruik te maken van verlaten en/of marginale landbouwgronden, die volgens JRC (2018) in 2030 tot 11 procent van het EU28 landbouwareaal kan beslaan (of te wel meer dan 20 miljoen hectares). Verder kunnen biograndstoffen beter verzameld worden, kunnen bepaalde stromen anders ingezet worden (bijvoorbeeld mest) of nieuwe stromen aangeboord worden. Om dit te realiseren is er wel veel nodig, bijvoorbeeld ten aanzien van de te ontwikkelen 'supply chains' (marktontwikkeling, constante kwaliteit en productie, verwerkingscapaciteit, transport, enzovoort) (ICL 2021). In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de potentiële beschikbaarheid in 2050. De inschatting van de potentiële beschikbaarheid in 2030, is, net als voor Nederland, gebaseerd op een lineaire groei tussen 2020 en 2050.

Beschikbaarheid rond 2050

Tabel 3.1 en figuur 3.1 geven de beschikbaarheid van biograndstoffen in de EU28 rond 2050 op basis van studies als ICL (2021) en het 'maximaal'-scenario van MatEcon (2021). De verwachte groei tussen 2020 en 2050 komt voor een groot deel op het conto van biograndstoffen voor industriële *feedstocks* (minder voor energie) uit met name de landbouw, en voor een deel van biograndstoffen voor materialen (met name uit houtige biograndstoffen). De grote bandbreedtes zijn het gevolg van grote onzekerheden bij zowel de aanbod- als de vraagkant van biograndstoffen (MatEcon, 2021). De ramingen in de tabel 3.1 zijn rond 3 tot 7 exajoule lager dan die in CE (2020) doordat ons inziens in die studie uitgegaan wordt van een erg hoge houtoogst voor materialen en een te hoge beschikbaarheid van mest voor energie. De beschikbaarheid van biograndstoffen voor energie en *feedstock* in tabel 3.1 ligt binnen de bandbreedte die JRC (2015) voor deze toepassingen geeft.

Zoals aangegeven zal naar verwachting vooral aan de bovenkant van de bandbreedte de grootste toename plaatsvinden in de landbouw. Er zal wel sprake zijn van bosuitbreiding (zie ook PBL 2024b), maar landbouw blijft (ook economisch) een interessantere optie. Bovendien leidt een hogere productie en kortere omlopen in de landbouw sneller tot een hogere beschikbaarheid. Daardoor daalt het aandeel houtige biograndstoffen in het totaal van bijna 70 procent in 2020 naar 50 tot 60 procent in 2050. Ook andere studies laten zien dat een toename in de beschikbaarheid van biograndstoffen voor het grootste deel zal komen uit de landbouw (bijvoorbeeld MatEcon 2021).

Landbouw

De grote bandbreedte in de potentiële beschikbaarheid van biograndstoffen uit de primaire landbouwproductie wordt vooral bepaald door verschillende aannames in de literatuur rond de verhoging van de gewasopbrengst, en de uitbreiding van het areaal dat in productie genomen kan worden voor het telen van energiegewassen zoals olifantsgras of bieten (onder andere door gebruik van verlaten gronden, Vera et al 2021). Volgens de in tabel 3.1 genoemde studies kunnen de opbrengsten van gewassen specifiek voor biograndstoffenteelten (bijvoorbeeld olifantsgras) in de EU28 stijgen met maximaal 1-2 procent per jaar door nieuwe technieken zoals verdere mechanisatie en aangepast beheer. Daarnaast wordt op veel plekken in Europa landbouwgrond verlaten vanwege sociaaleconomische redenen en omgevingsfactoren (bijvoorbeeld bodemdegradatie). Stimuleringsbeleid (bijvoorbeeld Groenfondsen in GLB beleid) voor het verbouwen van biograndstofgewassen op deze gronden kan zorgen voor een toename van de productie, met name richting 2050 (zie CE Delft 2020; Elbersen et al 2016). Daarbij wordt uitbreiding vooral mogelijk geacht in Spanje, Frankrijk, Duitsland en Polen (ICL 2021). In totaal kan het gaan om een areaal van 20

miljoen hectares in 2030 (JRC 2018, ICL 2021) en tot 35 miljoen hectares rond 2050 (AdvanceFuel 2018; MatEcon 2021). In deze studie gaan we voor 2050 uit van maximaal 20 miljoen hectares extra landbouwgrond, waarmee het huidige landbouwareaal van ruim 179 miljoen hectares (Eurostat 2021⁴) fors uitgebreid zou worden. De resterende gronden kunnen dan bijvoorbeeld worden gebruikt voor de aanplant van bossen of andere natuur.

Als op deze gronden energiegewassen zoals olifantsgras geteeld worden, kunnen hier opbrengsten van 6 ton (op meer marginale gronden) tot 10 ton droge stof per hectare (0.15 tot 0.25 terajoule per hectare) behaald worden (JRC 2015; ICL 2021). Het is daarbij van belang dat gebruik van deze gronden samengaat met aandacht voor bodem, water en biodiversiteit (WUR 2019, 2021; PBL 2020a,b).

Bij de onderkant van de in tabel 3.1 genoemde bandbreedte wordt uitgegaan van een beperkte jaarlijkse stijging van de gewasopbrengsten in de landbouw (0,5 tot 1 procent per jaar) en ook weinig extra hectares die in gebruik genomen worden.

De beschikbare hoeveelheid primaire reststromen uit de landbouw (naast mest) is gekoppeld aan de primaire landbouwproductie (inclusief voedselgewassen). De literatuur geeft een waarde van 1 tot 1,5 voor de ratio tussen primaire landbouwproductie en reststroom (CE Delft 2020; ICL 2021). De exacte ratio hangt onder meer samen met factoren als bodemgesteldheid en vruchtbaarheid, want onder slechte condities moeten er relatief meer restproducten op het land achterblijven. Bij de onderwaarde van de bandbreedte wordt ervan uitgegaan dat alleen het landbouwareaal voor het telen van biograndstoffen in Europa omhoog gaat, en dat de andere factoren (zoals opbrengst, oogstintensiteit⁵ en type reststromen) gelijk blijven (ICL 2021). Bij de bovenwaarde van de bandbreedte – een verdrievoudiging in 2050 van de huidige beschikbaarheid – is tevens uitgegaan van een algehele productiestijging en een verhoging van de oogstintensiteit op vruchtbare gronden tot 50 procent ten opzichte van 23 procent nu (ICL 2021; MatEcon 2021).

Overigens stijgt de beschikbaarheid van reststromen bij de bovenwaarde van de bandbreedte niet in dezelfde mate als de primaire productie. Dat komt doordat er in dat geval van wordt uitgegaan dat ook marginale gronden bebouwd worden voor het telen van biograndstoffen, waar relatief veel residuen moeten achterblijven voor de instandhouding of verbetering van de bodemkwaliteit (bodemvruchtbaarheid en bodembescherming).

Slechts weinig studies nemen mest mee in hun ramingen voor 2050, mede doordat mest momenteel veelal andere toepassingen heeft en inzameling lastig is (MatEcon 2021). ICL (2021) geeft wel een raming op basis van Elbersen (2016), en CE Delft (2020) maakt mest onderdeel van de stroom afval/overig landbouw (afgeleid van IRENA 2014). Op basis van deze studies gaan wij voor 2050 uit van een beschikbaarheid voor energieopwekking van 0,8 en 1 exajoule per jaar. Dit is een forse stijging ten opzichte van 2020, maar een kleine daling ten opzichte van 2030 door een veronderstelde verkleining van de veestapel in de EU28 (zie volgende paragraaf). Deze stijging ten opzichte van 2020 komt, net als in Nederland, voort uit een toename in de hoeveelheid mest die wordt

⁴ <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/nl/sheet/104/het-gemeenschappelijk-landbouwbeleid-in-cijfers>

⁵ Oogstintensiteit is de fractie van een product die van het land gehaald wordt. De rest blijft op het land (ICL, 2021)

verzameld en uit een snellere (en efficiëntere) verwerking van vooral natte mest. Hoe sneller de verwerking, hoe hoger de energetische opbrengst.

De energie-inhoud van secundaire reststromen vanuit met name de voedselverwerkende industrie (VGI), zoals olijfpitten en notendoppen, kan in de EU28 richting 2050 uitkomen op een mogelijke verdubbeling tot verviervoudiging ten opzichte van 2020 (tabel 3.1). Het merendeel van deze stijging zou afkomstig kunnen zijn uit Frankrijk en Oostenrijk, en in mindere mate uit Duitsland, Polen en Italië. Dit door een betere inzameling en ook nieuwe verwerkingstechnieken waardoor deze stromen breder toepasbaar worden. Studies geven aan dat ook deze stroom vooral ingezet kan worden voor directe energie en industriële *feedstocks*, deels ook lokaal (ICL 2021).

Opgeteld laat de totale potentiële beschikbaarheid van biograndstoffen uit de landbouw in de EU28 voor 2050 een grote stijging (plus 1.7 tot 6.6 exajoule) zien ten opzichte van de huidige beschikbaarheid (tabel 3.1). Om deze stijging te realiseren moet de productie per hectare worden verhoogd van met name specifieke gewassen als olifantsgras, moet daarnaast een groter areaal beschikbaar komen voor deze gewassen (bijvoorbeeld op gronden die anders verlaten zouden worden), en moet ten slotte de inzameling en verwerking van zowel primaire als secundaire reststromen worden verbeterd. Uitdagingen liggen zowel bij de markt (die er voor moet zorgen dat er betrouwbare toeleveringsketens komen), de overheid (consistente en stimulerende wet- en regelgeving) als ook de kennisinstellingen (bijvoorbeeld ten aanzien van nieuwe verwerkingsmethoden van een stroom biograndstoffen van verschillende kwaliteit).

Bosbouw en houtsector

De in tabel 3.1 getoonde bandbreedte in de beschikbaarheid in 2050 van biograndstoffen vanuit de bos- en houtsector is vergelijkbaar met die van ICL (2021), lager dan die van CE Delft (2020) en hoger dan die van JRC (2015) en MatEcon (2021). Deze verschillen zijn te verklaren door verschillende aannames over kansen van extra houtoogst en verschillende inzichten over de mogelijkheid om extra reststromen in te zamelen zonder dat dit ten koste gaat van bodemkwaliteit, biodiversiteit, en andere milieufactoren. Verder variëren de beschikbaarheden door verschillende aannames rond het bosareaal dat extra kan worden aangeplant in Europa. Zoals hierboven aangegeven wordt in MatEcon (2021) uitgegaan van maximaal 35 miljoen hectare aan landbouwareaal voor biograndstoffen (bijvoorbeeld olifantsgras) op verlaten en marginale landbouwgronden, waardoor er beperkt ruimte zou overblijven voor extra bossen. Wij gaan uit van het gebruik van maximaal 20 miljoen hectares aan extra landbouwgrond voor telen van biograndstoffen, waardoor een uitbreiding van bossen wel mogelijk is. Dit is in lijn met ICL (2021), en ook met de Europese bossenstrategie binnen het *Fit for 55* programma van de Europese Commissie om in de komende decennia 3 miljard extra bomen te planten⁶ (waarvoor één miljoen hectares nodig zijn, Lee et al 2023), die tevens extra houtige biograndstoffen kunnen leveren.

Ongeveer de helft van de extra stroom aan houtige biograndstoffen in 2050 (+1.5 tot + 4.5 exajoule per jaar, tabel 3.1) is afkomstig uit de primaire houtproductie. Deze groei komt door extra houtoogst in bestaande bossen en verbeterd management, met name in Zweden, Finland, Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Polen (ICL 2021). Momenteel is de oogst in Europese bossen rond 60 procent van de jaarlijkse bijgroei (EC 2018b), een fractie die verhoogd kan worden naar 70

⁶ https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030/3-billion-trees_en

tot 75 procent met beperkte ecologische effecten, met name in productie- en multifunctionele bossen (WUR 2016; Lerink et al 2023). Verder zullen de bossen, indien aangeplant met snelgroeïende soorten, rond 2050 deels al geoogst kunnen worden. De in tabel 3.1 genoemde productie van primaire houtige biograndstoffen voor energetische toepassingen liggen in de bandbreedte zoals gegeven door JRC (2015). De totale primaire houtige biograndstoffenproductie voor materiaaltoepassingen in 2050, die 50 tot 75 procent van de totale houtoogst beslaat, is afgeleid uit ICL (2021).

Bij primaire reststromen uit de bosbouw zoals boomtoppen, takken en schors speelt onder meer de vraag in hoeverre deze geoogst kunnen worden met behoud van de bodemcondities, biodiversiteit en andere milieufactoren. Bij de onderwaarde van de bandbreedte in tabel 3.1 is uitgegaan van een beperkte stijging ten opzichte van 2020. Bij de bovenkant van de range is uitgegaan van een grotere houtoogst waardoor ook meer reststromen ontstaan, waarvan bovendien een grotere fractie wordt ingezameld en verwerkt. Verder gaat het om het (meer) inzamelen en verwerken van snoeihout en beheer van stedelijke groen. De houtige reststromen zullen naar verwachting in 2050 afkomstig zijn uit traditionele bosbouwlanden zoals de Scandinavische landen, Frankrijk en Duitsland, maar ook uit landen met een lagere primaire houtproductie, zoals Italië, Slowakije, Bulgarije en Slovenië. Bij laatstgenoemde landen gaat het veelal om een biograndstoffenstroom met een lagere kwaliteit (ICL 2021). De bandbreedte komt overeen met 30 procent (onderwaarde) tot 50 procent (bovenwaarde) van de jaarlijkse primaire houtproductie in EU28 (MatEcon 2021). Meer dan bij de primaire houtproductie worden primaire reststromen gebruikt voor energietoepassingen en industriële *feedstocks* (53 tot 59 procent). Toch zal ook een substantieel deel van deze stroom gebruikt kunnen worden voor materialen. Het gaat dan bijvoorbeeld om reststromen die toegepast kunnen worden in de spaanplaatindustrie, en met nieuwe technieken als CLT⁷ worden de materiaaltoepassingen verbreed (Van der Lugt en Harstra 2022). De uitdaging is om de inzameling zo te organiseren dat er een constante stroom van voldoende omvang en kwaliteit komt, die interessant is voor de houtverwerkende industrie. Een complicatie is dat hout een natuurlijk product is, waardoor ook primaire reststromen in de tijd sterk in samenstelling kunnen verschillen. Verder spelen markt, transport, kosten en houtprijs een rol. De marktvaart naar biograndstoffen is op dit moment beperkt (bijvoorbeeld omdat alternatieven goedkoper zijn en de markt niet meteen bereid is extra te betalen voor een duurzamer alternatief). Daarom wordt een consistent en concreet stimuleringsbeleid vaak genoemd als belangrijke randvoorwaarde, net als de juiste instrumenten (zoals subsidies, normering en beprijzing gekoppeld aan CO₂ uitstoot) die nodig zijn voor het stimuleren van duurzame toepassing en om transitie hierheen mogelijk te maken (SER 2020; De Gemeijnt 2023).

De secundaire reststromen uit de houtverwerkende industrieën zoals zagerijen, zullen ook in de toekomst vooral uit landen komen die nu al een grote houtverwerkende industrie hebben, zoals Zweden, Finland en Duitsland (ICL 2021). De toename zoals weergegeven in de tabel 3.1 komt vooral door een verwachte stijgende houtoogst en bijbehorende verwerking, en een betere inzameling binnen de industrie. De schattingen in ICL (2021) zijn hoger dan die in CE Delft (2020) en MatEcon (2021), doordat in die studie afvalhout ook tot de secundaire stroom gerekend wordt (het onderscheid is niet uit de studie af te leiden).

⁷ Cross Laminated Timber (CLT) genoemd bestaat uit verschillende lagen hout die kruislings op elkaar gelijmd zijn en onder hoge druk worden samengeperst. Hierdoor is het materiaal constructief sterk en vormt een alternatief voor beton en staal en daardoor geschikt voor bijvoorbeeld hoogbouw.

Tertiaire- en afvalstromen

Naar verwachting zal richting 2050 de potentiële beschikbaarheid van afvalhout in de EU28 ruim kunnen verdubbelen naar maximaal 0,7 exajoule per jaar. Dit is in lijn met MatEcon (2021) en CE Delft (2020). Een (groot) deel van de groei komt door huidige stromen aan te passen. Hout storten (zoals nu nog beperkt gebeurt, 0,15 exajoule per jaar volgens MatEcon 2021) zal naar verwachting richting 2050 zijn afgebouwd. Op basis van de literatuur en de verschillende kwaliteiten (A, B en C afvalhout) gaan we er van uit dat maximaal 30 procent van het afvalhout gerecycled kan worden (bijvoorbeeld in spaanplaatproductie), en 70 procent omgezet kan worden in energie (afgeleid uit CE Delft 2020).

De overige afvalstromen zijn samen groter dan die van afvalhout maar ook heel divers: papier, GFT, vetresten, slib uit waterzuiveringsinstallaties, en huishoudelijk en industrieel afval met een organische fractie. De verwachting is dat tot 2050 deze stromen netto zullen verdubbelen tot verdrievoudigen. Papier zal naar verwachting bijna de helft van het totaal omvatten (0,8 tot 0,9 exajoule volgens MatEcon 2021). Dit is op basis van de aanname dat door het opkomen van een meer circulaire economie en dus meer recycling, 50 procent van het papier hergebruikt wordt als grondstof voor nieuw papier, wat zal leiden tot een afname van het gebruik voor energetische toepassingen. Grote landen in Europa zoals Duitsland, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Italië lijken de grootste potentiële te hebben (ICL 2021).

Naast de bovengenoemde afvalstromen zijn er ook nog niet-houtige biograndstoffen uit landschapsbeheer (zoals maaisel). Maar de totale omvang zal naar verwachting in de EU28 beperkt zijn, ook omdat wat potentieel verzameld zou kunnen worden voor met name energie (via vergisting) veelal al andere toepassing heeft (met name compost). Daarom wordt dit, zoals eerder aangegeven, in de meeste studies ook beperkt meegenomen.

De beschikbaarheid van aquatische biograndstoffen in de EU28 is nog zeer beperkt; ze worden vooral gebruikt in de voedingsindustrie (ICL 2021). Richting 2050 (mogelijk al rond 2030) zou de productie ervan opgeschaald kunnen worden en daarom wordt dit door sommige studies als een veelbelovende bron gezien als basis voor onder meer biobrandstoffen (CE Delft 2020; ICL 2021). Er zijn desalniettemin geen scenariostudies beschikbaar met goed onderbouwde toekomstverwachtingen voor de omvang hiervan. Daarom is het potentieel van aquatische biograndstoffen in deze studie op nul gezet.

Beschikbaarheid rond 2030

Voor de raming van de beschikbaarheid in de EU28 rond 2030 is uitgegaan van een lineaire toename van de hoeveelheden tussen 2020 en 2050, ook al kan er volgens sommige literatuurbronnen een grotere stijging plaatsvinden tussen 2020 en 2030. Bij sommige stromen geven deze studies aan dat de groei tot 2030 al 80 tot 90 procent van het potentieel in 2050 zou kunnen zijn. Dit komt voort uit diverse aannames zoals de verwachting dat tot 2030 11 procent van het huidige landbouwareaal in de EU28 (20 miljoen hectares, JRC 2015) omgezet kan worden voor teelten van biograndstoffen (al dan niet houtig), of dat mest al in grote hoeveelheden verzameld en vergist kan worden en zo een grotere bijdrage kan leveren aan de energievraag in Europa (Elbersen et al 2016; ICL 2021).

Wij zijn terughoudender wat betreft dergelijke aannames en dus ook over de mogelijke ontwikkelingssnelheid in de korte periode tot 2030. Dat betreft de uitbreiding van arealen, maar ook de

infrastructuur (verwerking, transport) die nodig is om de biograndstoffen daadwerkelijk beschikbaar te krijgen voor energieopwekking, *feedstocks* en materiaal.

4. Totale beschikbaarheid voor Nederland

In de voorafgaande hoofdstukken hebben we de huidige en mogelijk toekomstige beschikbaarheid van verschillende vormen van biograndstoffen in Nederland als ook in de EU28 (inclusief Nederland) gekwantificeerd. Dit hoofdstuk gaat in op de vraag welk deel daarvan aan Nederland toegerekend zou kunnen worden. Er zijn verschillende manieren denkbaar en verdedigbaar om hiervoor een inschatting te maken. Hierbij spelen vele factoren een rol, die mede afhankelijk zijn van de rol die de Europese Unie heeft voor de rol van biograndstoffen in het verduurzamen van sectoren zoals luchtvaart, scheepvaart en industrie.

Het volledig uitwerken van alle factoren zou een integrale Europese studie vergen, wat buiten het bestek valt van dit project. Daarom is de toekenning van de Europees beschikbare biograndstoffen aan Nederland op een meer vereenvoudigde manier uitgewerkt.

4.1 Uitgangspunten

Allereerst wordt voor het bepalen van de beschikbaarheid voor Nederland rekening gehouden met de mogelijke omvang van de verschillende toepassingen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen biograndstoffen voor directe energetische toepassingen (elektriciteit en warmte), koolwaterstoffen (met name brandstoffen voor de lucht- en scheepvaart en *feedstocks* voor plasticproductie en chemicaliën), en materialen. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat, ook op Europees niveau, de directe energetische toepassingen van biograndstoffen steeds verder worden afgebouwd. Daarnaast wordt voorrang gegeven aan de genoemde koolwaterstoffen omdat dat toepassingen zijn waarvoor biograndstoffen het hardst nodig zijn om ze te kunnen verduurzamen. Dat kan zijn omdat alternatieven ontbreken of te duur zijn, of qua volume (nog) ontoereikend zijn. Deze focus op koolwaterstoffen is ook in lijn met het SER-advies (SER 2020), waarin wordt verondersteld dat er prikkels (zoals prijzen, beleidsdoelen) zullen moeten komen om dit te bevorderen. Hieruit volgt dat de verhouding tussen directe energetische toepassingen van biograndstoffen enerzijds en het gebruik van biograndstoffen voor de productie van koolwaterstoffen anderzijds over de jaren zal verschuiven. Voor 2030 is de aanname dat het laatste nog beperkt is en worden biograndstoffen in de EU28 hoofdzakelijk direct energetisch ingezet. Alleen bestaand Europees beleid als de bijmengverplichting (REDIII) wordt meegenomen bij de allocatie van biograndstoffen aan de koolwaterstofproductie.

Richting 2050 zal de totale omvang van de directe energetische toepassingen afnemen en een steeds groter deel van de beschikbare biograndstoffen worden ingezet voor koolwaterstoffen. Daarbij hebben we verondersteld dat het deel van de Europese biograndstoffen dat uiteindelijk naar de productie van koolwaterstoffen gaat, onder meer zal afhangen van de (emissie)doelen en bijbehorende beleidsprijkkels voor lucht- en scheepvaart en voor de verduurzaming van *feedstocks*. Bij ambitieuze doelen en een bijbehorende (prijs)prikkel vanuit het beleid ligt het voor de hand dat een groter deel van de beschikbare biograndstoffen voor die toepassingen wordt gebruikt. Hoeveel hangt onder meer af van de mogelijkheden voor en kosten van alternatieven zoals de inzet van niet-koolstofhoudende brandstoffen, en de recycling van plastics. Door recycling van plastics blijven koolwaterstoffen immers langer in het systeem, en wordt de vraag naar primaire koolwaterstoffen voor plastics lager.

Bij de toepassing van biograndstoffen voor primaire koolwaterstoffen is de aanname gedaan dat bedrijven die hierop overschakelen waarschijnlijk ook het best in staat zijn om de daarvoor benodigde hoeveelheid biograndstoffen naar zich toe te halen. Daaruit is een verdeling afgeleid van de Europees beschikbare biograndstoffen over de lidstaten - en dus ook de toekenning aan Nederland

- naar rato van de verwachte productieomvang van die primaire koolwaterstoffen, waarbij we ons baseren op het 'EU Reference Scenario 2020' van de Europese Commissie (EC 2020b). Voor biograndstoffen voor directe energetische toepassingen en voor materialen hebben we gekozen voor een verdeling over lidstaten naar rato van het Bruto Nationaal Product (BNP) als grove maat voor de relatieve omvang van deze toepassingen.

Ten tweede gaan we, zoals toegelicht in hoofdstuk 1, in deze notitie ervan uit dat de Europese Unie, zeker op termijn van 2050, in hoge mate in zijn eigen behoefte aan biograndstoffen zal voorzien. Ten derde hebben we de biograndstofstromen onderverdeeld in stromen die verhandelbaar zijn als internationale 'commodities' en meer lokale stromen waarvoor dat niet of minder het geval is of waarvoor het economisch onrendabel is. Deze laatste stromen, zoals mest, worden vooral lokaal toegepast en zijn in deze notitie daarom als 'niet-verhandelbaar' geclassificeerd⁸. De commodities – vaak houtige biomassa of, in de toekomst, ook getorreficeerde reststromen uit met name de landbouw – lenen zich voor verschillende verwerkingsroutes waarmee in principe elke gewenste koolwaterstof te maken is (zie PBL 2024a en 2024b). De directe toepassingsmogelijkheden van lokale stromen zijn beperkter. Deze worden vaak vergist tot biogas en lokaal toegepast, maar soms ook opgewerkt tot groengas. In dat geval is verdere opwerking tot allerlei koolwaterstoffen technisch wel mogelijk. Voor de import naar Nederland zijn met name de goed verhandelbare biograndstoffen van belang.

4.2 Biograndstoffen voor Nederland

In hoofdstuk 3 beschreven we de hoeveelheden duurzame biograndstoffen die mogelijk beschikbaar zijn in de EU28. Op basis van de hiervoor gegeven aannames is hieruit de beschikbaarheid voor Nederland bepaald. Verder zijn voor het bepalen van de hoeveelheid biograndstoffen die nodig is om in de vraag naar koolwaterstoffen te voorzien allerlei aannames van belang zoals omzettingrendementen en beschikbaarheid en inzet van waterstof (details zie PBL 2024a en 2024c). Allereerst zijn de EU28 hoeveelheden uit hoofdstuk 3 omgezet naar de EU27 omdat het eerdergenoemde 'EU reference scenario 2020' alleen informatie verschaft voor de EU27. Die opsplitsing tussen EU27 en het Verenigd Koninkrijk hebben we berekend op basis van het BNP in 2020. Voor de EU27 blijven dan de in tabel 4.1 genoemde hoeveelheden aan verhandelbare biograndstoffen over. De hoeveelheid verhandelbare biograndstoffen voor energie/koolwaterstoffen in de EU27 in 2050 in tabel 4.1 zou voldoende zijn voor 3 tot bijna 6 exajoule aan koolwaterstoffen. Als met extra waterstof alle koolstof uit die biograndstoffen omgezet zou worden in koolwaterstoffen dan zouden er meer koolwaterstoffen geproduceerd kunnen worden (maximaal ongeveer een factor 3). De vraag is echter of hiervoor voldoende waterstof beschikbaar is en daarnaast zou het betekenen dat er geen biogene CO₂ meer beschikbaar zou zijn voor CCS en dus voor negatieve emissies zie PBL (2024a) voor een uitgebreide analyse op dit punt.

⁸ Hier gedefinieerd als mest en de tertiaire stromen, uitgezonderd houtafval. Ook voor (delen van) andere stromen, zoals secundaire landbouwstromen, kan verhandelbaarheid een issue zijn, maar dat is hier verder niet expliciet uitgewerkt.

Tabel 4.1

Totale beschikbaarheid van biograndstoffen voor energie, koolwaterstofproductie en materialen voor Nederland (uitgedrukt in petajoule) op basis van EU stromen (uitgedrukt in exajoule).

Regio	Type stroom	2020	2030	2030	2050	2050
				Laag	Hoog	laag
EU28	Totaal	10,5	11,9	14,9	14,6	23,4
EU27	Totaal	8,9	10,1	12,6	12,4	19,8
EU27	Energie & koolwaterstof	5,2	6,0	8,1	7,6	13,8
EU27	Materiaal	3,7	4,0	4,4	4,4	5,6
EU27	Verhandelbaar energie & koolwaterstof	4,5	5,0	6,8	5,9	11,5
EU27	Gebruikte Ratio energie/koolwaterstof ¹	100/0	80/20	80/20	20/80	20/80
NL	Verhandelbaar energie & koolwaterstof ²	258	379	521	635	1231
	(waarvan Import)	192	309	424	558	1073
NL	Niet verhandelbaar energie & koolwaterstof uit Nederland	40	42	51	47	73
NL	Totaal beschikbaar Energie & koolwaterstof	298	421	572	682	1304
NL	Totaal beschikbaar Materiaal	210	219	243	243	309

¹ Deze ratio wordt gebruikt voor de toewijzing van verhandelbare biograndstoffen van EU27 naar Nederland (zie tekst)

² is gelijk aan de som van het verhandelbare deel in Nederland en import (zie ook tekst)

Het grootste deel (in 2050 ongeveer 80 procent van de verhandelbare biograndstoffen voor energie en *feedstock*, zie tabel 4.1) van de biograndstoffen wordt, zoals gezegd, verdeeld over de lidstaten naar rato van de primaire productie van koolwaterstoffen op basis van het eerder genoemde 'EU Reference Scenario 2020'.

Voor het restant van de verhandelbare biograndstoffen voor de directe energetische toepassingen (tot 2050 afnemend tot 20 procent van totale Europese beschikbaarheid) hebben wij gekozen voor een toekenning aan Nederland op basis van de omvang van de economie (BNP). Voor zowel 2030 als 2050 is dat ongeveer 5,5 procent van het BNP van de EU27 (EC 2020b). De omvang van restant zou in 2050 ook meer of minder kunnen zijn dan 20 procent, maar wij hebben ons hier gebaseerd op de omvang van de huidige, vooral kleinschalige toepassingen waarvan we veronderstellen dat die in 2050 ook nog aan de orde zullen zijn. Voor het uiteindelijke beeld op systeemniveau (zie PBL 2024a) is ons inziens het exacte percentage ook minder van belang en gaat het vooral om de eerdergenoemde verschuiving van direct energetische toepassingen naar koolwaterstoffen. Van veel grotere invloed is de totale hoeveelheid biograndstoffen die op Europees niveau beschikbaar komen (hoofdstuk 3) en geïmporteerd worden naar Nederland.

Uitgaande van een recyclingspercentage van plastics van rond de 40 procent en een koolwaterstofproductie zoals beschreven in PBL, 2024c en het TVKN-hoofdrapport (PBL 2024a), zou Nederland rond 2050 de in tabel 4.1 genoemde range aan 'verhandelbare' biograndstoffen tot haar beschikking kunnen hebben. Dit gaat in 2050 om bijna 11 procent van de Europees beschikbare

verhandelbare biograndstoffen⁹. Dit is relatief veel omdat Nederland (nu en in de toekomst) een relatief groot deel van de Europese koolwaterstofproductie voor haar rekening neemt. Dit betekent ook dat als Nederland een minder groot deel van de Europese koolwaterstofproductie voor haar rekening zou nemen, er in deze benadering ook minder biograndstoffen naar Nederland zouden gaan. In die zin zou een vermindering van de koolwaterstofproductie door de Nederlandse industrie ook niet direct een voordeel opleveren voor de verduurzaming daarvan; zie het TVKN-hoofdrapport (PBL 2024a) voor een meer uitgebreide discussie op dit punt.

Daarnaast is er in Nederland (net als in andere landen) nog een relatief kleine hoeveelheid 'niet-verhandelbare' biograndstoffen waarvan we aannemen dat die binnen Nederland geproduceerd en gebruikt zullen worden (tabel 4.1). En tot slot is er nog een (met name houtige) biograndstoffenstroom uit eigen productie en import uit de EU27 die als basismateriaal wordt gebruikt in bijvoorbeeld de bouw. De toewijzing naar Nederland van deze stroom gebeurt ook naar rato van BNP (tabel 4.1).

Voor 2030 volgen we dezelfde methode als voor 2050 met dat verschil dat de toekenning aan Nederland dan nog maar voor 20 procent plaatsvindt op basis van de Europese koolwaterstofproductie (onder meer op basis van de gestelde doelen in de REDIII ten aanzien van de bijmenging van biobrandstoffen) en de overige 80 procent op basis van het BNP. Dit resulteert voor Nederland in ruim 7,5 procent van de totaal beschikbare hoeveelheid verhandelbare biograndstoffen in de EU27 (tabel 4.1).

4.3 Randvoorwaarden en vervolgstappen

Naar verwachting kan de beschikbaarheid van duurzame biograndstoffen in Nederland flink toenemen richting 2030 en vooral 2050. Om dit te realiseren zijn er de nodige uitdagingen en randvoorwaarden waaraan moet worden voldaan. Deze liggen op het beleidsmatige/bestuurlijke, economische, technische en logistieke vlak (MatEcon 2021) en worden in rest van deze paragraaf besproken.

Beleidsmatig kan de overheid op verschillende manieren de productie en gebruik van biograndstoffen in Nederland stimuleren en zo een duidelijk commitment tonen (RVO 2020). Ten eerste kan het beleid zich richten op het formuleren van *duidelijke en meetbare doelen* over de rol van biograndstoffen op de langetermijn (zie ook PBL 2020a, RVO 2020, ICL 2021). Deze kunnen gericht zijn op zowel de hoeveelheid biograndstoffen die in processen moeten worden ingezet (zoals recent in Nationaal Aanpak Biobased Bouwen), als ook gericht op type biograndstoffen (bijvoorbeeld op basis van het advies van de SER 2020).

Wet- en regelgeving kan bepaalde processen versnellen of juist afremmen. Zo stimuleert de herziening van de Europese *Renewable Energy Directive* de productie van biograndstoffen op marginale en verlaten gronden in de EU (ICL 2021), maar worden ook bepaalde stromen uitgesloten (veelal vanwege duurzaamheidscriteria) en worden strenge eisen gesteld ten aanzien bescherming biodiversiteit (PBL 2020, CE Delft 2020). Hierbij geeft het bedrijfsleven aan vooral behoefte te hebben aan een langjarig en consistent beleid vanuit de overheid (in Nederland en de Europese Unie) om

⁹ Dit is overigens niet alleen import omdat Nederland ook zelf verhandelbare biograndstoffen zal produceren.

onzekerheden te beperken en een gelijk speelveld te creëren voor verschillende (nieuwe) toepassingen (De Gemeynt 2023).

Ook kan de overheid instrumenten zoals subsidies inzetten om ontwikkelingen te stimuleren,, zowel bij de productie als hoogwaardige toepassing van biograndstoffen (RVO 2020; De Gemeynt 2023). Dit kan bijdragen aan meer vertrouwen in biograndstoffenmarkt. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om subsidies op CO₂-reducerende toepassingen/materialen, en om normering en beprijzing van meer CO₂-intensieve activiteiten. De SDE++ kent wel categorieën voor geavanceerde biograndstoffen, maar die zijn vooral bedoeld voor de uitrol van marktrijpe technologieën en niet voor technologieën die zich nog in een vroeg stadium van ontwikkeling bevinden. En het kan hier gaan om het certificeren van bepaalde nieuwe stromen om deze als basismateriaal te kunnen gebruiken bijvoorbeeld in de bouwsector (De Gemeynt, 2023). Bij het uitwerken van deze instrumenten is het de vraag waar de prikkels worden neergelegd, bij de producent of aan het einde van de keten bij de consument.

Economische randvoorwaarden zijn er in de gehele keten van biograndstoffen. Zekerheid voor de producent, een stabiele markt en verdienmodel zijn hier sleutelbegrippen (CE Delft 2020; De Gemeynt2023). Nu zijn de financiële opbrengst van biograndstofgewassen zoals hennep, stro, vlas of olifantsgras(substantieel) veelal lager dan die van veel van de huidige gewassen als aardappelen, bieten en uien. En bosareaal kent momenteel een veel lagere prijs dan landbouwgrond. Technologieën bevinden zich nog veelal in vroege stadia van ontwikkeling, waarbij opschalen van huidige pilots vaak lastig en prijzig is (CE Delft 2020; JRC 2019; RVO 2020). Stimuleringsbeleid kan helpen bij het creëren en (tijdelijk) ondersteunen van (nieuwe) markten van biograndstoffen (bijvoorbeeld ten aanzien van gebruik van reststromen).

Een grotere en breder toepasbare stroom aan biograndstoffen is ook afhankelijk van *technische en logistieke randvoorwaarden*. Dit geldt wederom voor alle delen van de keten. Zo zal de beschreven stijging van de landbouwproductie (zowel van de traditionele gewassen als ook typische gewassen voor biograndstoffen) verdergaande mechanisatie en meer precisie-irrigatie vragen, met name buiten Nederland. Logistieke uitdagingen liggen bij het meer inzamelen van reststromen zowel in land- en bosbouw (dat nu niet kostendekkend is), en het (effectiever) verwerken van alle stromen. Bijvoorbeeld kan een snelle inzameling en verwerking van mest resulteren in een substantieel hogere (energie) opbrengst. En voor het opschalen van biograndstoffengebruik in de (chemische) industrie is er de noodzaak voor 'robuuste' verwerkingstechnieken op industriële schaal (in plaats van pilots), waarbij zowel een grote diversiteit aan biomassastromen verwerkt kan worden, als ook (tussen)producten gemaakt kunnen worden die verschillende toepassingsmogelijkheden kunnen hebben (De Gemeynt 2023). Zo zijn er technieken die primair gericht zijn om de productie van bioplastics maar ook (meer laagwaardige) rest/tussenstromen voor biograndstoffen hebben.

Referenties

- AdvanceFuel (2018) Supply potential, suitability and status of lignocellulosic feedstocks for advanced biofuels. <http://www.advancefuel.eu/contents/reports/d21-report-on-lignocellulosic-feedstock-availability.pdf>
- CE Delft (2020) Bio-Scope: Toepassingen en beschikbaarheid van duurzame biomassa. Rapport CE Delft nr 20.190186.017. <https://ce.nl/publicaties/bio-scope-toepassingen-en-beschikbaarheid-van-duurzame-biomassa/>
- De Gemeynt (2023). Stakeholders over het biograndstoffenbeleid - Overzicht en analyse van wat stakeholders vinden van het biograndstoffenbeleid. Van Soest, J. P. Van & H. Wiltink (Eds), 22blz <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/05/12/bijlage-3-bijlage-bij-rapport-stakeholdersvisies-op-het-biograndstoffenbeleid>
- De Wit, M., Londo, M., & Faaij, A. (2011). Productivity developments in European agriculture: Relations to and opportunities for biomass production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(5), 2397–2412. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.022>
- DNV (2017) Biomassapotentieel in Nederland. Verkennende studie naar vrij beschikbaar biomassa-potentieel voor energieopwekking in Nederland. https://www.fluxenergie.nl/wp-content/uploads/2017/04/DNVGL_Rapport_Biomassabeschikbaarheid-in-Nederland.pdf
- Dornburg, V., Faaij, A. P. C., & Verweij, P. A. (2008). Assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy. <https://doi.org/10.1007/s00521-010-0414-4>
- Dornburg, Veronika, Vuuren, D. van, Ven, G. van de, Langeveld, H., Meeusen, M., Banse, M., ... Faaij, A. (2010). Bioenergy revisited: Key factors in global potentials of bioenergy. Energy & Environmental Science, (3), 258–267. Retrieved from <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2010/ee/b922422j>
- EC (2017) Research and innovation perspective of the mid-and long-term potential for advanced biofuels in Europe – Final report, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/37969>
- EC (2018) Bioeconomy: the European way to use our natural resources Action plan 2018; https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/bioeconomy-european-way-use-our-natural-resources-action-plan-2018_en
- EC (2018b) Brief on forestry biomass production. The European Commission’s Knowledge Centre for Bioeconomy. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5cbae2b1-526b-11e8-be1d-01aa75ed71a1/language-en>
- EC (2020) Stepping up Europe’s 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people; Impact assessment, 141p, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020SC0176>
- EC (2020b) EU reference scenario 2020 – Energy, transport and GHG emissions : trends to 2050, Publications Office, 2021, De Vita, A., Capros, P., Paroussos, L. et al (Eds) https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/eu-reference-scenario-2020_en
- EC. (2020c). Impact assessment. Stepping up Europe’s 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people Part 2/2. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020SC0176>
- EC (2022) Assessment of the potential for new feedstocks for the production of advanced biofuels – Final report, Haye, S., Panchaksharam, Y., Raphael, E. et al.(Eds) 788p, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/719121>
- EC. (2024). Europe’s 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. IMPACT

- ASSESSMENT REPORT. Part 1. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2040-climate-target_en
- Elbersen, B., I. Staritsky, G. Hengeveld, L. Jeurissen, JP Lesschen and Calliope Panoutsou (2016) Outlook of spatial biomass value chains in EU28. Deliverable 2.3 of the Biomass Policies project. [https://iinas.org/app/downloads_from_old_page/bio/biomasspolicies/Elbersen_et_al_2016_Outlook_of_spatial_biomass_value_chains_in_EU28_\(D2.3_Biomass_Policies\).pdf](https://iinas.org/app/downloads_from_old_page/bio/biomasspolicies/Elbersen_et_al_2016_Outlook_of_spatial_biomass_value_chains_in_EU28_(D2.3_Biomass_Policies).pdf)
- Elbersen W, Lammens TM, Alakangas EA, Annevelink B, Harmsen P, Elbersen B. (2017) Lignocellulosic Biomass Quality: Matching Characteristics With Biomass Conversion Requirements. Chapter 3 In: Panoutsou C (Eds) Modeling and Optimization of Biomass Supply Chains. Academic Press; 2017. p. 55–78. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812303-4.00003-3>
- Eurostat (2021) Het gemeenschappelijk landbouwbeleid in cijfers. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/nl/sheet/104/het-gemeenschappelijk-landbouwbeleid-in-cijfers>
- EZK & I&N (2022) Kamerbrief “Beleidsinzet biograndstoffen”, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, DGKE-K/22182578 <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/04/22/beleidsinzet-biograndstoffen>
- IASA. (2022). Promising climate progress. IASA Policy Brief, 34, 1–4. https://www.engage-climate.org/wp-content/uploads/2023/01/PB34_Net-Zero-Pledges.pdf
- ICL (2021) Sustainable biomass availability in the EU, to 2050 Imperial College London Consultant, 129p <https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/Sustainable-Biomass-Availability-in-the-EU-Part-I-and-II-final-version.pdf>
- IRENA (2014). Global Bioenergy. Supply and Demand Projections. A working paper for REmap 2030. International Renewable Energy Agency; 88p <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Solid-Bio-mass-Supply-for-Heat-and-Power>
- IRENA (2018) Renewable Energy Prospects for the European Union; International Renewable Energy Agency; 120p https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap_EU_2018.pdf
- IenW (2023) Kamerbrief “Stand van zaken Implementatie duurzaamheidscriteria biograndstoffen in regelgeving” Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, IENW/BSK-2023/107364 <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/05/12/kamerbrief-stand-van-zaken-implementatie-duurzaamheidscriteria-biograndstoffen-in-regelgeving>
- JRC (2015) The JRC-EU-TIMES model. Bioenergy potentials for EU and neighboring countries.; European Commission Joint Research Centre. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC98626>
- JRC, 2021 The biomass of European forests, An integrated assessment of forest biomass maps, field plots and national statistics; European Commission Joint Research Centre JRC122635, 52p, <https://doi:10.2760/758855>
- KA/EZK (2019). Klimaataakkoord. Retrieved from <https://www.klimaataakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaataakkoord>
- Lee, H. T. A. M. Pugh, M. Patacca, B. Seo, K. Winkler and M. Rounsevell (2023) Three billion new trees in the EU’s biodiversity strategy: low ambition, but better environmental outcomes? *Environmental Research Letters*. 18; <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acb95c>
- Lerink, B. J., Schelhaas, M. J., Schreiber, R., Aurenhammer, P., Kies, U., Vuillermoz, M., ... & Nabuurs, G. J. (2023). How much wood can we expect from European forests in the near future?. *Forestry*; <https://doi.org/10.1093/forestry/cpado09>
- LNV/ IPO (2020), Bos voor de toekomst : uitwerking ambities en doelen landelijke Bossenstrategie en beleidsagenda 2030. Den Haag: Interprovinciaal Overleg (IPO) en IMinisterie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2020/11/18/uitwerking-ambities-en-doelen-landelijke-bossenstrategie-en-beleidsagenda-2030>

- Mandley, S. J., Wicke, B., Junginger, M., van Vuuren, D. P., & Daioglou, V. (2022). The implications of geopolitical, socioeconomic, and regulatory constraints on European bioenergy imports and associated greenhouse gas emissions to 2050. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(6), 1551–1567. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bbb.2421>
- MatEcon (2021) EU Biomass Use in a Net-Zero Economy. A course correction for EU biomass; *Material Economics*, Sweden, 102p; <https://materialeconomics.com/latest-updates/eu-biomass-use>
- Nabuurs, G.J. M.J. Schelhaas, J. Oldenburger, A 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/Probos 88p; <https://edepot.wur.nl/390425>
- Panoutsou, C., Ch. Perakis, B. Elbersen, et al (2017) Assessing Potentials for Agricultural Residues; in C. Panoutsou (Ed). Modeling and optimization of biomass supply chains. Top down and bottom-up assessment for agricultural, forest and waste feedstock. London, UK: Academic Press.
- PBE (2021) Gebruik van houtige biomassa voor energieopwekking Jaarverslag 2020 Platform Bio-Economie. 35 pp. <https://edepot.wur.nl/554480>
- PBL (2018) Negatieve emissies - Technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Den Haag, rapport 2606; <https://www.pbl.nl/publicaties/negatieve-emissies-technisch-potentieel-realistisch-potentieel-en-kosten-voor-nederland>
- PBL (2020a) Beschikbaarheid en toepassingsmogelijkheden van duurzame biomassa. Verslag van een zoektocht naar gedeelde feiten en opvattingen Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Den Haag, rapport 4188. <https://www.pbl.nl/publicaties/beschikbaarheid-en-toepassingsmogelijkheden-van-duurzame-biomassa-verslag-van-een-zoektocht-naar-gedeelde-feiten>
- PBL (2020b) Advies Uitfasering Houtige Biograndstoffen Voor Warmtetoepassingen; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Den Haag, rapport 2606 <https://www.pbl.nl/publicaties/advies-uitfasering-houtige-biograndstoffen-voor-warmtetoepassingen>
- PBL, TNO, CBS en RIVM (2022), Klimaat- en Energieverkenning 2022. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 240p, <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2022>
- PBL (2024a) Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050; Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050, Hoofdrapport; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Den Haag, in druk
- PBL (2024b) Mogelijke trajecten naar 'klimaatneutrale' landbouw, landgebruik en voedsel in 2050; Achtergrondrapport bij studie Trajectverkenning klimaatneutraal Nederland 2050 (TVKN). PBL, den Haag, In voorbereiding
- PBL (2024c) Trajecten naar een klimaatneutrale Nederlandse industrie met klimaatneutrale grondstoffen; Achtergrondrapport bij studie Trajectverkenning klimaatneutraal Nederland 2050 (TVKN). PBL, den Haag, In voorbereiding
- PBL (2024d) Productie, import en opslag van waterstof in Nederland; Achtergrondrapport bij studie Trajectverkenning klimaatneutraal Nederland 2050 (TVKN). PBL, den Haag, In voorbereiding
- PHE (2022) Samenstelling grondstoffen biobrandstoffen. Factsheet Platform Hernieuwbare Brandstoffen, Amsterdam. 2p, <https://www.hernieuwbarebrandstoffen.nl/post/phb-factsheet-bio-brandstoffen-en-e-fuels-in-nederland-2023>
- Probos (2018) Beschikbaarheid van Nederlandse verse houtige biomassa in 2030 en 2050. Studie naar binnenlands potentieel en toekomstige vraag vanuit energie en biobased ontwikkelingen. M. Boosten, J. Oldenburger, J. Kremers et al (Eds) Stichting Probos, Wageningen, 80p, https://www.probos.nl/images/pdf/rapporten/Rap2018_Beschikbaarheid_NL_verse_houtige_biomassa.pdf

- Probos (2019) Stand van zaken bos in Nederland. Factsheet ten behoeve van de werkbijeenkomsten Bossenstrategie. J. Oldenburger. Stichting Probos, Wageningen, 31p. https://www.probos.nl/images/pdf/rapporten/Rap2019_Factsheet_Stand_van_zaken_bos_in_Nederland.pdf
- Probos (2020) Meer hoogwaardig gebruik van Nederlands hout. Een studie in het kader van de Nationale Bossenstrategie en de Strategische verkenning biobased bouwen. J. Oldenburger, A. Reichgelt, M. Boosten et al (Eds) Stichting Probos, Wageningen, 101p, <https://www.probos.nl/images/pdf/rapporten/hoogwaardig-houtgebruik.pdf>
- Probos (2023a) Houtproductie en -gebruik in Nederland in 2021. Productie, import, export en consumptie van houtproducten in 2021. S. Teeuwen, J. Oldenburger, G Beerkens et al. (Eds) Stichting Probos, Wageningen, 57p https://www.probos.nl/images/pdf/rapporten/230223_Rapportage_houtgebruik_in_Nederland_2021_def.pdf
- Probos (2023b) Infographic Nederlandse Houtimport. Vooral Uit Europa. 2p, https://www.probos.nl/images/pdf/overig/Infographic_Beschikbaarheid_Nederlandse_verse_houtige_biomassa_2030en2050_2019.pdf
- Rijksoverheid (2021). Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst Coalitieakkoord 2021 – 2025 VVD, D66, CDA en ChristenUnie. <https://www.rijksoverheid.nl/regering/documenten/publicaties/2022/01/10/coalitieakkoord-omzien-naar-elkaar-vooruitkijken-naar-de-toekomst>
- RVO (2020) Routekaart nationale Biograndstoffen. Naar een groter aanbod en betere benutting. Stuurgroep Biograndstoffen binnen het Klimaatakkoord. Corbey, D. ; de Haas, C. de ; de Gooijer, K. et al. 94p <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2020/06/29/routekaart-nationale-biograndstoffen>
- Seay J.R. and F. You (2016) Biomass supply, demand, and markets. In H. Nielsen, J. Bo Ehimen & A. Ehiaye (Eds) Biomass Supply Chains for Bioenergy and Biorefining, p 85-100, <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-366-9.00004-6>
- SER (2020) Biomassa in balans. Een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen. Sociaal Economische Raad, Advies 20/07, 172p, <https://www.ser.nl/-/media/ser/downloads/adviezen/2020/biomassa-in-balans.pdf>
- Stichting Deltaplan Biodiversiteitsherstel (2020) Aanvalsplan Landschap <https://www.samenvoorbiodiversiteit.nl/updates/nieuwsbericht-presentatie-aanvalsplan-landschap/813>
- Van der Lugt, P. en A. Harstra (2022) De Houtbouw Revolutie. Op weg naar een circulaire toekomst, 192p
- WUR, (2016). Nederlands bosbeheer en bos- en houtsector in de bio-economie : Scenario's tot 2030 in een internationaal bio-economie perspectief, Nabuurs, GJ. M.J. Schelhaas, J. Oldenburger, A et al (Eds) Wageningen: WUR/Probos 88p; <https://edepot.wur.nl/390425>
- WUR (2019) Biograndstoffen Programmeringsstudies Landbouw, Water en Voedsel. B. Elbersen, I. Ammerlaan, R. Klein Lankhorst, et al (Eds) Wageningen Universiteit & Research, 67p, <https://edepot.wur.nl/514318>
- WUR (2021) De potentie voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw. JP. Lesschen, Ch. Hendriks, Th. Slier, et al (eds) Wageningen Environmental Reserach rapport 3130 88p, <https://edepot.wur.nl/557330>
- Zappa W., M. Junginger, & M. van den Broek (2019) Is a 100% renewable European power system feasible by 2050? *Applied Energy*: 1027-1050; <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.109>