Verwerkingsroutes van afvalhout

Mogelijkheden en milieukundige evaluatie middels mLCA

CE Delft

Committed to the Environment

Verwerkingsroutes van afvalhout

Mogelijkheden en milieukundige evaluatie middels mLCA

Dit rapport is opgesteld door:
Marijn Bijleveld, Maarten Bruinsma en Jessica de Koning; CE Delft
Ontwerp van de visualisatie: Yulia Kryazheva; Yulia Ink; www.yulia-ink.com

Delft, CE Delft, augustus 2022

Publicatienummer: 22.210250.106

Hout / Verwerkroutes / Mogelijkheden / Milieukundige vergelijking

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat
Uw kenmerk: 4500311042

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Marijn Bijleveld (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

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

Inhoud

Samenvatting		3
1	Inleiding	7
2	Houtafvaltypen en verwerkroutes	8
	2.1 Visualisatie afvalhouttypen en verwerkroutes	8
	2.2 Categorieën afvalhout	12
	2.3 Inzichten	12
	2.4 Hoeveelheden vrijkomend en verwerkt hout	14
3	Kosten	18
	3.1 Inleiding	18
	3.2 Kosten A-hout	18
	3.3 Kosten A/B-hout	19
4	Milieukundige analyse van houtverwerking met multicyclus-LCA	21
	4.1 Inleiding tot de multicyclus-LCA (mLCA) van houtrecycling en -hergebruik	21
	4.2 Scope van een mLCA	21
	4.3 Scenario's	25
	4.4 Rekenmethode mLCA	26
	4.5 Resultaten mLCA	27
5	Conclusies	37
6	Bibliografie	40
	Bijlagen	41
A	Informatie behorende bij Hoofdstuk 2, verwerkroutes	42
B	Aannames en achtergrondinformatie mLCA	45
	B.1 Algemene aannames	45
	B.2 Beschrijving en aannames verbranding van hout in BEC	45
	B.3 Beschrijving en aannames mechanisch recyclen van hout	46
	B.4 Beschrijving en aannames chemisch recyclen van hout	46
	B.5 Beschrijving en aannames hergebruik van hout en recycling als intact hout	47
	B.6 Beschrijving en aannames sorteren van hout	47
C	Resultaten mLCA, tabellen	48
	C.1 Resultaten scenario's, voor alle milieu-impacts	48
	C.2 Impact en vermeden impact	51

Samenvatting

Aanleiding

Rijkswaterstaat (RWS) werkt aan het opstellen van een Circulair Materialenplan (CMP) als opvolger van het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP). De huidige minimumstandaarden voor verwerking worden onder de loep genomen. RWS heeft behoefte aan inzicht in:

- mogelijke verwerktechnieken per type hout (A-, B-, C-hout en gradaties/combinaties);
- kosten van houtverwerking;
- milieukundige vergelijking van verwerkingsvormen voor houtafval.

Dit rapport bevat per onderwerp een hoofdstuk.

Overzicht verwerktechnieken en kosten

Onderzoek naar mogelijke verwerkroutes en de kostenanalyse is gedaan op basis van literatuurstudie en interviews met diverse bedrijven in de verwerkingsketen. Er zijn namelijk al diverse studies beschikbaar. Het resultaat is een visualisatie waarin vrijkomende houtstromen en verwerkroutes aan elkaar zijn geknoopt. Het toont de huidige dominante routes van hout en verwerkroutes in ontwikkeling, inclusief technieken die in het buitenland ontwikkeld worden.

De verkenning en visualisatie van resthout en verwerking ervan laat zien dat *post-consumer* hout voornamelijk terecht komt in de stroom A/B-hout bij inzamelaars. Er is sprake van concurrentie tussen hergebruik/recycling en energieopwekking:

- Partijen die hout hergebruiken en/of recyclen zijn bereid om de inzamelaar te betalen voor A-hout en A/B-hout, maar zij accepteren niet al het hout. De prijs hangt af van de kwaliteit van de aangeleverde batch hout. Inzamelaars zullen dan op kwaliteit moeten scheiden, of nasortering toepassen. Daarvoor is ruimte nodig en het gaat gepaard met verwerkingskosten.
- Om A/B-hout in een Bio Energie Centrale (BEC) te laten verbranden moet een inzamelaar betalen, maar de eisen voor acceptatie van het hout zijn veel lager dan voor hergebruik en recycling. Inzamelaars hebben dus de afweging tussen alles direct naar de BEC, zonder extra moeite, of een deel naar hergebruik/recycling met extra moeite en kosten maar ook een hogere betaling voor dat deel.

Milieukundige analyse

De milieukundige analyse is uitgevoerd volgens de methode ‘multicyclus-levenscyclus-analyse’, ofwel ‘mLCA’. mLCA is specifiek voor het vergelijken van afvalverwerkingsroutes. Het houdt rekening met grondstofbehoud over maximaal drie productcycli, of totdat het materiaal verdwenen is. Cascadering is hierbij een leidend principe: het gebruik van materiaal in opeenvolgende toepassingen. Hoofdstuk 4 bevat een toelichting op de mLCA-methodiek, die ook in het LAP is beschreven.

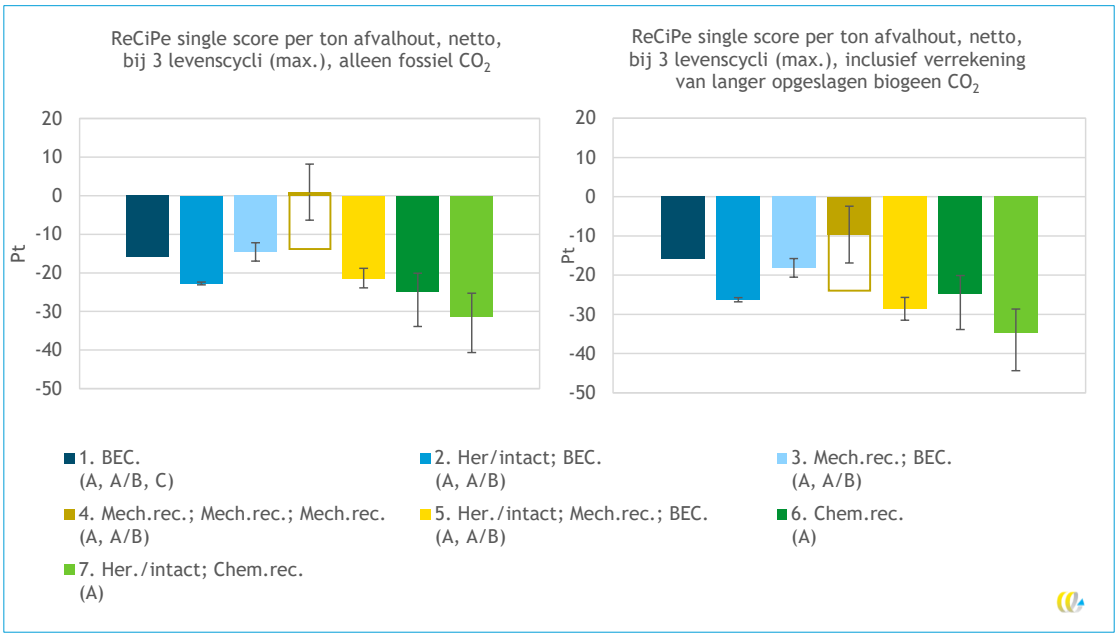
Er zijn zeven scenario’s opgesteld van (combinaties van) verwerkroutes. Hergebruik, recycling waarbij het materiaal intact blijft en mechanische recycling waarbij het materiaal wordt verspaand, houden het hout beschikbaar voor een volgende gebruikscyclus. Als er verbranding of chemische recycling wordt toegepast dan is er geen hout meer. Bij chemische recycling komen wel andere materialen vrij uit het hout, zoals suikers en lignine.

De analyse houdt rekening met verlies van materiaal (massabalans). Hergebruik en recycling waarbij het materiaal intact blijft zijn beide routes die volhout vermijden en zijn binnen deze studie samengenomen als verwerkroute (‘Her./intact’).

Figuur 1 toont de resultaten voor de gewogen milieuscore[1]. Wat uitleg bij de figuur:

- De zeven scenario’s hebben ieder een staafje. In de legenda staat welke verwerkroute het betreft en voor welk hout de route geschikt is.
- Het zijn netto resultaten. Een getal onder nul betekent een milieuwinst: er is dan meer vermeden impact door verkregen nuttige producten (energie, gerecycled materiaal) dan impact afkomstig van verbranding of inzamel- en recyclingprocessen.
- Er zijn twee analyses naast elkaar gezet. Links staat de analyse waarin de klimaat-impact[2] alleen fossiele CO_2-uitstoot bevat. Rechts staat de analyse waarin ook rekening is gehouden met de langdurige opslag[3] van biogeen CO_2. Bij elke keer hergebruik of recycling (zowel als intact als verspaand hout) blijft het koolstof 20 jaar langer vastliggen, is het uitgangspunt. Dus 20, 40 of 60 jaar in totaal.
- De grafieken bevatten ranges. Deze geven variatie aan tussen verschillende verwerkers en variatie in de verkregen nuttige producten en de milieukundige achtergrond-gegevens.

Figuur 1 - Single score (punten) van houtafvalverwerking, per ton houtafval



[1] De gewogen milieuscore ‘ReCiPe single score’ is een resultaat waarin (varianten van) 18 milieu-impact-categorieën zijn inbegrepen, zoals klimaatimpact, verzuring en toxiciteit. Uitgangspunt is daadwerkelijke schade aan mens en milieu door deze milieu-impactcategorieën.

[2] De klimaatimpact is een van de milieu-indicatoren die is inbegrepen in de gewogen milieuscore.

[3] Biogeen CO_2 is CO_2 dat uit de lucht is opgenomen en als koolstof is opgeslagen in het hout. Als het hout vergaat of wordt verbrand, komt de koolstof weer vrij als CO_2 in de lucht. In principe is er dus netto nul uitstoot van biogeen CO_2. Maar de gedachte achter langdurige opslag is: er is nu een klimaatprobleem en als de CO_2 pas over decennia vrijkomt, in plaats van nu, heeft dat over een zichtperiode van 100 jaar (standaard LCA-zichtperiode) minder effect en draagt het bij aan vermindering van het klimaatprobleem nu.

Cascadering lijkt in de meeste gevallen milieukundige voordelen te hebben boven direct verbranden. Hergebruik of recycling als intact hout heeft een duidelijk milieukundig voordeel, waarbij we opmerken dat we uitgegaan zijn van hergebruik of recycling als intact hout zonder ingrijpende opwerkprocessen[4]. Of er extra milieuwinst is door cascadering hangt bij mechanische recycling af van enkele factoren en bij de klimaatimpact of biogene CO_2 wel of niet is inbegrepen.

Bij **verbranding** van hout met energieterugwinning wordt weinig[5] fossiel CO_2 uitgestoten. De inzet van elektriciteit en warmte opgewekt in een BEC voorkomt het gebruik van fossiele energiedragers. Om deze twee redenen leidt verbranding van hout tot een netto winst van fossiele CO_2 (klimaatimpact). Bij verbranding van hout wordt echter wel degelijk CO_2 uitgestoten: CO_2 van biogene oorsprong, vastgelegd als koolstof in het hout, komt vrij. Dit CO_2 was vaak al vele decennia terug door de boom opgenomen. Uitstoot van biogeen CO_2 draagt dus wel degelijk bij aan het huidige klimaatprobleem.

Door **hergebruik of recycling** blijft de koolstof langer vastgelegd in het hout. Het hout wordt dan pas verbrand na één of meerdere keren hergebruik of recycling (cascadering). Als we 20, 40 of 60 jaar uitgestelde **biogene CO_2** meerekenen dan leveren deze scenario's een duidelijke klimaatwinst op, groter dan directe verbranding zonder hergebruik of recycling. De **levensduur** van de geproduceerde hergebruikte en gerecycled producten is wel van belang: voor wegwerpproducten en producten die slechts enkele jaren meegaan is er geen noemenswaardige vastlegging en geen verschil met directe verbranding. En uitstel levert later alsnog CO_2-uitstoot op. Qua biogeen CO_2 is het beter om het hout helemaal niet (nooit) te verbranden, maar dit gebeurt in de praktijk uiteindelijk wel. De omlijnde staaf in Scenario 4 geeft daarom de single score aan als ook de overgebleven hoeveelheid hout alsnog wordt verbrand met energieterugwinning. Dit valt eigenlijk buiten de 3x mLCA-stappen, maar is relevant om te realiseren.

Mechanische recycling levert niet altijd een **netto fossiele CO_2**-winst op. Om hout mechanisch te recyclen zijn processen nodig zoals het verspanen en het verwijderen van verontreinigingen zoals spijkers. Dit vergt wat energie, deels fossiel. Vaak wordt daarna een bindmiddel toegevoegd voor het maken van producten uit het hout. Welk soort hout vermeden wordt hangt af van de toepassing van het gerecyclede product: primaire houtchips (die ook gebonden moeten worden met bindmiddel), of houten planken. Het milieuresultaat hangt af van deze drie factoren (energie, bindmiddel en type vermeden hout). Primair hout uit duurzaam beheerde bossen heeft slechts een kleine fossiele CO_2-voetafdruk, doordat bosbouw en bewerken relatief eenvoudige processen zijn met relatief weinig uitstoot per kg hout. Als illegale kap en ontbossing zou worden vermeden door de gerecyclede producten, dan is er wel degelijk een grotere vermeden CO_2-uitstoot omdat er CO_2 vrijkomt uit de bodem en de hoeveelheid biomassa vermindert door de landgebruiksverandering.

[4] Uitganspunt is dat het hout herbruikbaar is of recyclebaar is als intact hout via selectieve demontage, waarbij het product apart wordt gehouden, en met eenvoudige ingrepen als zagen, schaven, schuren en lakken kan worden hergebruikt.

[5] Er is wat fossiele uitstoot afkomstig van lak en verf.

Chemische recycling van hout tot suikers en lignine is onderzocht. Dit procedé wordt nu toegepast op snoeihout; vermoedelijk is schoon *post-consumer* A-hout ook geschikt (mits beschikbaar). De eerste analyse is daarom nog onzeker, maar toont dat er potentieel milieuwinst (klimaat en andere milieu-indicatoren) te verwachten is. Er is een hogere impact voor productie dan bij mechanische recycling, maar het vermijden van (de productie van) suiker en glucose in het buitenland levert ook grote milieuwinst. Andere typen chemische recycling leveren andere grondstoffen op, dus de milieu-impact/winst zal daar weer anders voor zijn.

Bovenstaande conclusies gelden voor de meeste milieu-indicatoren, soms in wat extremere of minder extreme mate. Een uitzondering is landgebruik, waarbij we een duidelijk voordeel zien voor hergebruik of recycling als intact hout en alle recyclingroutes. Klimaatimpact is echter dominant in de gewogen milieuscore. Daarna volgen fijnstofvorming en landgebruik. Andere milieu-indicatoren dragen relatief weinig bij aan daadwerkelijke milieuschade, in de verwerkingsketen van hout.

1 Inleiding

Aanleiding en doel

Jaarlijks komt er in Nederland meer dan 1,5 miljoen ton aan houtafval vrij. Hiervan wordt ongeveer een derde gerecycled. Het overige deel wordt verbrand voor energieopwekking. In recente onderzoeken van Cuperus (2019), Tauw (2017) en Gemax bv. (2020) zijn mogelijkheden in beeld gebracht om hout te recyclen of te hergebruiken. Rijkswaterstaat (RWS) werkt aan een Circulair Materialenplan (CMP) als opvolger van het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP). In dat kader worden de huidige minimumstandaarden voor verwerking onder de loep genomen. Voor A- en B-hout is de minimumstandaard momenteel omschreven als 'andere nuttige toepassing'. Om te bepalen welke verwerkingsvormen wenselijk en hoogwaardig zijn heeft RWS behoefte aan een milieutechnische vergelijking van verwerkingsvormen voor houtafval. De mLCA-methode, beschreven in het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP3), is de hiertoe voorgeschreven methode, omdat het beter dan 'gewone' LCA uitdrukking geeft aan grondstofbehoud.

Daarnaast is er behoefte aan een overzicht van verwerkvormen per type hout (A-, B-, C-hout en gradaties/combinaties), met aandacht voor de kosten van verwerking.

Leeswijzer

Dit onderzoek bestaat uit drie onderdelen, elk in een eigen hoofdstuk.

In Hoofdstuk 2 brengen we in kaart wat bestaande en mogelijke verwerkroutes van hout zijn dat vrijkomt bij huishoudens via milieustraten, bedrijven, uit de bouw en bosbouw, en wat er bekend is over de kosten hiervan. Resultaat is een visualisatie van vrijkomende houtstromen en bijbehorende houtverwerkingsroutes.

In Hoofdstuk 3 gaan we beknopt in op de kosten voor verschillende verwerkingsroutes.

Hoofdstuk 4 behandelt de mLCA-analyse: de aanpak en de resultaten van de (combinaties van) verwerkingsroutes die met mLCA-methodiek zijn doorgerekend.

Aanpak overzicht verwerkingsvormen en kosten

Het overzicht over alle soorten houtafval en de bestaande en mogelijke verwerkingsroutes, is ontstaan op basis van een literatuurstudie. Enkele belangrijke bronnen zijn Tauw (2017) en Cuperus (2019). Daarnaast is op het internet gezocht naar ontwikkelingen in hout-recycling in binnen- en buitenland. Ook hebben we enkele marktpartijen geïnterviewd. Dit zijn bedrijven die actief zijn in de houtverwerkingsketen, zoals inzamelaars, sorteerders, verbranders en recyclers. De inzichten uit de literatuurstudie en de interviews zijn verwerkt in een visualisatie en tabellen in Hoofdstuk 2 en het overzicht over de kosten per verwerkingsvorm in Hoofdstuk 3.

2 Houtafvaltypen en verwerkroutes

Sinds 2017 zijn er in opdracht van Rijkswaterstaat meerdere uitgebreide studies gedaan naar afvalhout, de herkomst daarvan en verwerkingsroutes. Deze studies behandelen bestaande routes en routes die nog in ontwikkeling zijn. Ook is in deze studies waar mogelijk aangegeven over welke hoeveelheden hout het per afvalstroom en verwerkingsroute gaat. Hoewel er al veel kennis ligt, is er nog behoefte aan de mogelijkheid om snel een overzicht te krijgen over de verschillende categorieën houtafval die er bestaan en welke verwerkingsroutes deze (kunnen) afleggen. Daarom heeft deze studie als doel om een overzicht aan te reiken waarmee lezers bestaande kennis snel tot zich kunnen nemen, en kunnen zien hoe ze zich verder kunnen verdiepen. We hebben een visualisatie gemaakt waarin de vrijkomende houtstromen en mogelijke verwerkroutes aan elkaar zijn gekoppeld. Hiervoor hebben we voornamelijk informatie gebruikt uit de rapporten van Tauw (2017) en Cuperus (2019). Daarnaast hebben we geput uit interviews met marktpartijen die houtafval inzamelen, verwerken of recyclen. In Tabel 1 staan de bronnen die we voor de visualisatie hebben gebruikt. Omdat er steeds meer recycleroutes in ontwikkeling zijn is het goed mogelijk dat de visualisatie inhoudelijk niet compleet is.

Tabel 1 - Bronnen voor visualisatie

Bron
Cuperus, G., 2019. “Alternatieve toepassingen voor B-hout - Verkenning van de mogelijkheden”. *In opdracht van Rijkswaterstaat en RVO.*
Tauw, 2017. Knelpuntenanalyse houtrecycling. *In opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.*
Persoonlijke communicatie met PreZero, 2021.
Persoonlijke communicatie met Renewi, 2021.
Persoonlijke communicatie met Unilin, 2021.

2.1 Visualisatie afvalhouttypen en verwerkroutes

De visualisatie (Figuur 2) verbindt van links naar rechts de verschillende categorieën afvalhout via enkele tussenstappen aan de uiteindelijke verwerkingsroute. De stromen kunnen van links naar rechts gevolgd worden, om te zien welke toepassingen een bepaalde categorie afvalhout heeft. De stromen van rechts naar links volgen, laat zien welke route de gebruikte categorieën afvalhout afleggen voordat ze in een toepassing terechtkomen.

Hieronder beschrijven we wat er van links naar rechts te zien is.

Helemaal links in beeld onder ‘BRON’ staan de bronnen van houtafval: bouw en sloop, de houtindustrie en milieustraten. Hiervan is de bouw- en sloopsector de grootste ontdoener van afvalhout (Tauw, 2017). Onder ‘TYPE’ staan de kenmerken op basis waarvan drie categorieën houtafval zijn gedefinieerd onder ‘BELEID’: A, A/B,B, snoeihout en C. Op het moment dat hout wordt afgedankt en de afvalstatus krijgt, behoort het tot één van deze categorieën. De categorieën worden in beleid gehanteerd dat gaat over afvalhout.
Onder ‘VOORBEELDEN’ is te zien uit welke soorten producten de categorie bestaat.
Zie Paragraaf 2.2 voor meer uitleg over deze categorieën.

Iedere (sub)categorie heeft zijn eigen kleur. Daarmee kan de categorie worden gevolgd tot aan de toepassing (helemaal rechts). Lijnen met een schaduw eromheen geven aan dat dit

een gebruikelijke route is voor de bijbehorende categorie houtafval. Dunne lijnen geven aan dat deze route wel bestaat, maar dat deze minder vaak voorkomt. Gestreepte lijnen geven verwerkroutes in opkomst of ontwikkeling weer.

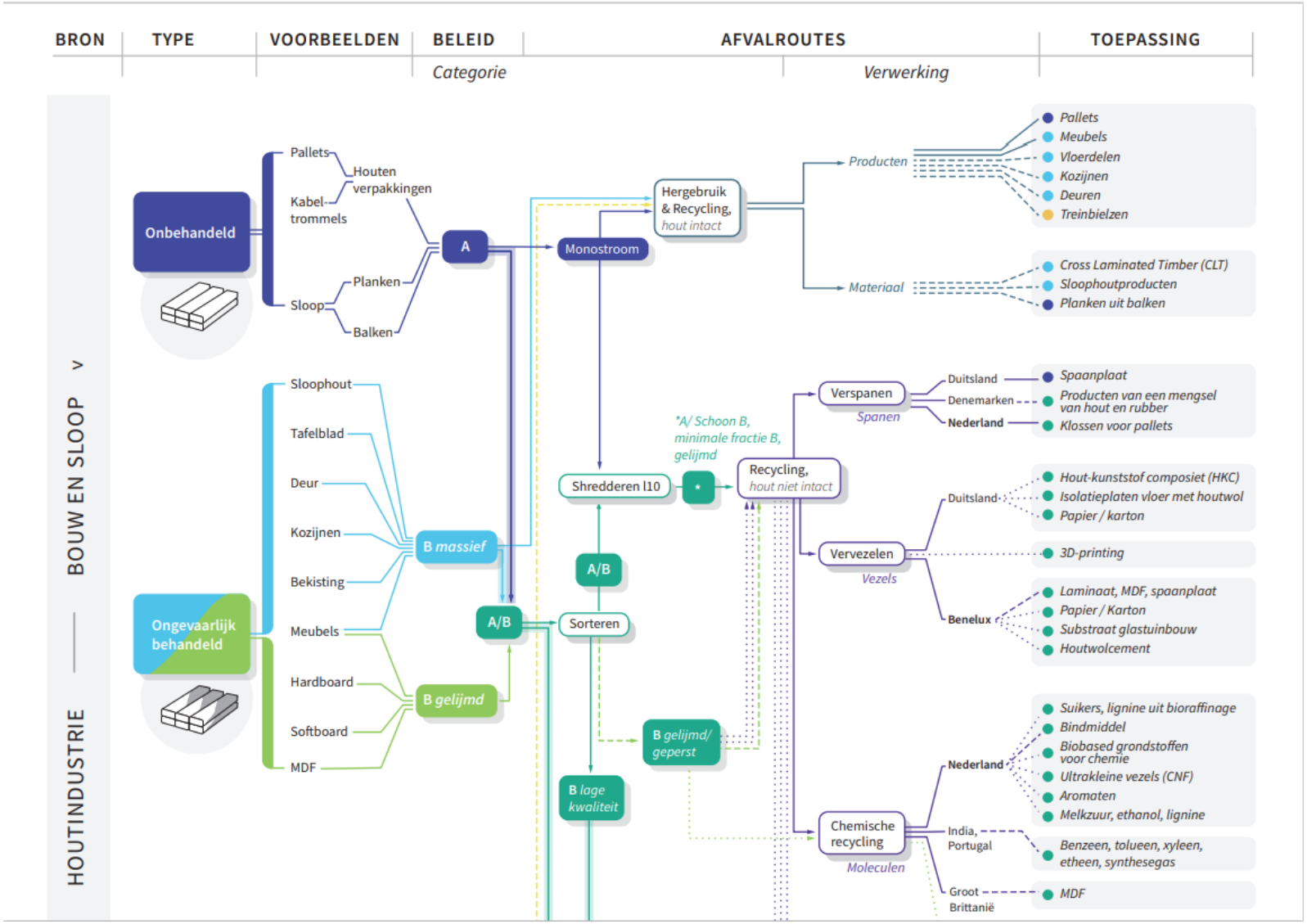
Onder 'AFVALROUTES' is links te zien welke houtafvalstromen er in de praktijk zijn, en welke verwerkingsstappen er plaatsvinden bij inzamelaars (sorteren, versnipperen, mechanische scheiding). In de praktijk zijn de categorieën A en B meestal gemengd, genaamd A/B-hout. Rechts onder 'AFVALROUTES' staan de hoofdroutes die het afvalhout kan begaan. Ook deze zijn van boven naar onder geordend naar hoogwaardigheid — met als definitie het fysieke behoud van hout — met hergebruik of recycling als intact hout als meest hoogwaardige, en stort als meest laagwaardige hoofdroute. Onder '*Verwerking*' staan opsplitsingen van de hoofdroutes die te maken hebben met de verwerking naar kleinere stukken hout. Het meest hoogwaardig is hierbij om volledige producten te hergebruiken of te recyclen als intact hout.

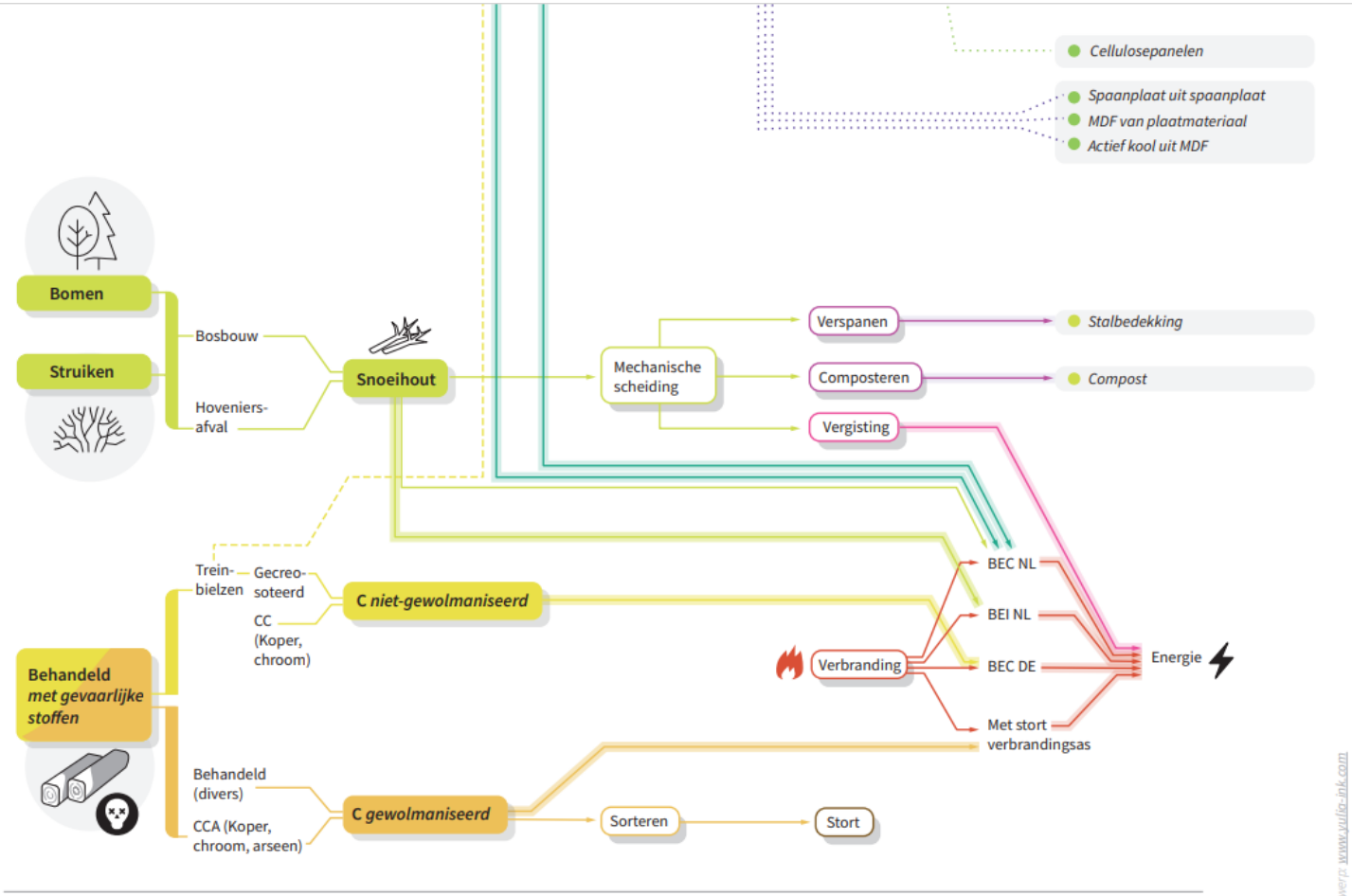
Helemaal rechts onder 'TOEPASSING' staan de uiteindelijke materialen en producten die uit de toepassing van het afvalhout worden gewonnen. De verwerkroutes zijn van boven naar beneden volgens de R-ladder[6] ingedeeld: hoe hoger, hoe meer het verkregen product op het oorspronkelijk houten product lijkt. De kleur van de bol die links naast de woorden staat geeft aan welke categorie afvalhout hiervoor ingezet kan worden. Een doorgetrokken lijn betekent dat deze toepassing al op grote schaal plaatsvindt en gebruikelijk is.
Een gestreepte lijn betekent dat van deze toepassing bekend is dat deze technisch haalbaar is, maar dat dit nog niet op grote schaal gebeurt. Een gestippelde lijn betekent dat deze toepassing nog in ontwikkeling is, en dat de technische haalbaarheid nog wordt onderzocht.

Tabel 8 in Bijlage A geeft en verwijst naar meer informatie over de hergebruik- en recycleroutes. Omdat hier in bestaande rapporten al veel over is geschreven hebben we ervoor gekozen om in dit rapport geen uitgebreide beschrijvingen te geven van de routes en hun producten. In plaats daarvan verwijzen we zo specifiek mogelijk naar bestaande teksten. In Bijlage A staat een instructie hoe de tabel te lezen is.

[6] R-ladder circulariteit: https://www.rvo.nl/onderwerpen/r-ladder

Figuur 2 - Visualisatie afvalhouttypen en verwerkroutes





LEGENDA:

- *Nu gangbare toepassing op grote schaal*
- *Nu gangbare toepassing, potentie tot opschaling*
- *Technisch haalbaar met potentie tot opschaling*
- *Technische haalbaarheid wordt nog onderzocht*

Ontwerp: www.yulia-ink.com

2.2 Categorieën afvalhout

A-, B-, A/B-hout

Bovenin de visualisatie staat A-hout, waar nog het meest mee kan. Het is onbehandeld hout, en bestaat vooral uit houten verpakkingen en hout dat vrijkomt bij demontage van gebouwen. Daaronder bevindt zich B-hout. Dit is hout dat met milieukundig ongevaarlijke stoffen behandeld is, waaronder geverfd of gelakt hout. Dit hout kom vooral vrij uit de bouw, sloop en afgedankte meubels. B-hout is ingedeeld in twee subcategorieën: B massief en B gelijmd. B gelijmd zijn materialen als spaanplaat en OSB, die zijn samengesteld uit vele kleine delen hout. In de praktijk bestaan er maar zeer beperkt monostromen van A- en B-hout. Meestal zijn A- en B-hout gemengd; dan heet het A/B-hout. Door deze stroom te sorteren wordt dit hout weer inzetbaar voor hergebruik en recycling.

De verschillende mogelijkheden voor houtrecycling stellen vaak specifieke eisen aan de samenstelling van het afvalhout, zoals in Figuur 2 is uitgelicht. Het komt daarom vaak voor dat sorteerders en verwerkers op wens van hun afnemers bepaalde samenstellingen en formaten snippers en spanen aanbieden. Voor de toepassingen die nu gebruikelijk zijn (spaanplaat en klossen voor pallets) is het van belang dat er zo min mogelijk gelijmd/geperst B-hout in de stroom zit. In bijlage B staat een overzicht van de eisen aan de kwaliteit van afvalhout voor de verschillende hergebruik- en recycleroutes.

C-hout

Onderin de visualisatie staat C-hout. Dit hout is behandeld met gevaarlijke stoffen om het te verduurzamen. C-hout is onderverdeeld in gewolmaniseerd en niet-gewolmaniseerd hout. Dit onderscheid is gebaseerd op verschillende behandelmethoden en stoffen die daarvoor worden gebruikt (zie illustratie in Figuur 2). Omdat dit hout gevaarlijk behandeld is, zijn er (op dit moment) nog geen recycleroutes voor bekend. Treinbielzen kunnen wel in dezelfde functie worden hergebruikt.

Snoeihout

Een vierde categorie afvalhout is snoeihout. Dit is hout dat direct van struiken of bomen af komt bij de bosbouw of als hoveniersafval bij het onderhoud van parken en perken.

2.3 Inzichten

Huidige routes en enkele nieuwe technische ontwikkelingen

De meest voorkomende route voor alle categorieën houtafval is de energie-route met verbranding in BECs. Er zijn enkele routes gericht op materiaalbehoud die al gangbaar zijn, zoals mechanische recycling van snoeiafval naar stalbedekking en compost, en mechanische recycling van A- en A/B-hout naar spaanplaat en klossen voor pallets. Voor nu geldt, hoe lager het gehalte van behandel- en bindmiddelen (dus gelijmd/geperst B-hout), hoe hoger de kwaliteit en bruikbaarheid van A/B-hout. Als dit hout wordt versnipperd is het in principe geschikt voor diverse recycletoepassingen. Als gelijmd/geperst B-hout gesorteerd

kan worden verhoogd dit de kwaliteit van de overgebleven A/B-stroom, en is de kans groter dat mechanische recycling van gelijmd/geperst B-hout haalbaar wordt. Ook hiervoor zijn nu namelijk enkele toepassingen in ontwikkeling. Op het moment dat er op schaal nieuw plaatmateriaal van MDF en spaanplaat kan worden gemaakt, neemt de potentie voor mechanische houtrecycling in grote mate toe. Naar schatting is dit namelijk meer dan 2/3 van het A/B-hout in Nederland gelijmd of geperst B-hout (zie Tabel 2) (Tauw, 2017). Unilin (Vlaanderen) is een partij waarvan bekend is dat zij al ver gevorderd is in de technische ontwikkeling van de benodigde processen.

De routes met hoogste grondstofbehoud zijn 1-op-1 hergebruik van producten en recycling van producten waarbij het hout intact blijft. Er zijn veel technisch haalbare, soms al lang beoefende mogelijkheden hiervoor. Deze zijn nu in omvang nog veel kleiner dan de toepassing van hout in energiewinning. Bijvoorbeeld worden meubels van sloophout nu gemaakt door kleine werkplaatsen voor consumenten uit een hoog segment. Als grote spelers met sloophout gaan werken op de schaal van massaproductie, kan dit recycling van intact hout potentieel in grote mate bevorderen. Het kan interessant zijn om naar opties te kijken hoe deze spelers ertoe gebracht kunnen worden om sloophout op grote schaal toe te passen. Een andere interessante ontwikkeling is de productie van kruislaaghout ofwel *cross laminated timber* (CLT)[7] van afvalhout. In het Verenigd Koninkrijk zijn eerste proeven gedaan, maar commerciële productie bestaat nog niet (Cuperus, 2019).

In de literatuur en interviews wordt vaak benadrukt dat het voor het verhogen van recycling en hergebruik essentieel is dat de typen afvalhout zo veel mogelijk gescheiden worden gehouden vanaf het moment van afdanking. Zo zijn er de minste tussenstappen nodig om bruikbare stromen beschikbaar te maken. Een belangrijk voorbeeld is de sloopsector. Meer aandacht voor het behouden en beschikbaar maken van bruikbaar hout kan zorgen voor meer hergebruik en recycling.

De markt en het buitenland

De vraag naar afvalhout zal in de komende jaren toenemen, met name door een uitbreiding in capaciteit van bio-energiecentrales in binnen- en buitenland, en in mindere mate door een toename van recyclingtoepassingen. Een verhoging van het aanbod zal plaatsvinden wanneer hout steeds meer gebruikt zal worden in de bouw (Tauw, 2017).

Recycling (alle vormen)

Voor A/B-hout geldt: “Partijen geven aan dat de totale afzet van afvalhout naar recycling de afgelopen jaren [vóór 2017] licht afneemt, de ontwikkelingen in de spaanplaatproductie leiden niet tot significant grotere afzet van afvalhout. De spaanplaatfabrikanten maken blijkbaar meer gebruik van afvalhout dat niet uit Nederland komt” (Tauw, 2017).

“Er zijn plannen voor uitbreiding van de capaciteit van de Belgische spaanplaatindustrie, dit zal leiden tot een grotere vraag naar afvalhout. De verwachting is dat ook vanuit innovatieve kleinschalige recyclingmogelijkheden meer vraag naar A-hout zal ontstaan” (Tauw, 2017).

[7] Kluislaaghout, of cross laminated timber (CLT in het Engels, is massief meerlaags constructiehout, opgebouwd uit minimaal drie kruislings verlijmde houten platen. De balken en platen die zo ontstaan worden gebruikt als constructieve elementen voor gebouwen (houtskeletbouw) en andere bouwwerken die (groten)deels uit hout bestaan.

Het valt op dat de meeste nieuwe mechanische recyclingmethoden op basis van spanen en vezels in België en Duitsland, en dus niet in Nederland plaatsvinden (zie Figuur 2). De chemische recyclingmethodes worden daarentegen wel grotendeels in Nederland ontwikkeld.

Energie

Een grotere stijging in de vraag naar afvalhout is de groeiende capaciteit van bio-energie-centrales. In Nederland hebben de SDE+-subsidie en ISDE-subsidie het aantrekkelijker gemaakt om hout te verbranden voor energieopwekking. Nu worden deze subsidies afgebouwd (zie Paragraaf 3.2 en 3.3), maar de grotere capaciteit van bio-energiecentrales die hierdoor is gerealiseerd blijft afvalhout vragen. Het VK heft een stortbelasting, waardoor energieopwekking met hout interessant wordt. De verwachting is dat deze stortbelasting ook hoog zal blijven (Rebel, 2021). Ook in Vlaanderen is er sprake van een capaciteitsuitbreiding van bio-energiecentrales. In totaal stijgt dus de vraag naar Nederlands afvalhout voor energieopwekking. Deze ontwikkeling heeft in verschillende mate invloed op markten van de verschillende categorieën afvalhout. De simpele (en dus minder kostbare) verbrandingsinstallaties kunnen alleen A-hout en snoeihout inzetten omdat deze geen rookgasreiniging hebben. Hoe meer van deze energiecentrales er zijn, hoe hoger de prijs van A-hout en snoeihout oplopen. De prijs van A/B-hout en B-hout zal achterblijven of minder snel oplopen. Daarom kan het op enig moment ook aantrekkelijk worden om rookgasreinigingsinstallaties toe te passen, zodat ook A/B-hout kan worden verbrand. Hoe rendabeler het is om hout te verbranden, hoe meer dat ook hetgeen is wat er met afvalhout gebeurt.

2.4 Hoeveelheden vrijkomend en verwerkt hout

In deze paragraaf gaan we in op hoeveelheden vrijkomend en verwerkt hout. De hoeveelheden hebben we gepoogd te achterhalen uit literatuur. Hierbij gaf Tauw (2017) de meeste informatie. Het valt op dat de balans tussen vrijkomend en verwerkt afvalhout niet sluitend is, zowel van de totale hoeveelheden, als voor de individuele stromen. Dit ligt mede aan onnauwkeurigheden die ontstaan omdat we cijfers uit verschillende jaren gebruiken. Er waren namelijk niet voor alle hoeveelheden data beschikbaar over dezelfde jaren. Daarnaast zijn eventueel exportstromen niet in de cijfers inbegrepen. De cijfers zijn daarom als indicatie te gebruiken, en niet als één-op-één representatief voor de realiteit.

Met gebruik van de cijfers in Tabel 2 en de cijfers voor hout afkomstig uit Nederland in Tabel 4 komen we op ~2.500 kton vrijkomend afvalhout en ~2.100 kton verwerkt afvalhout.

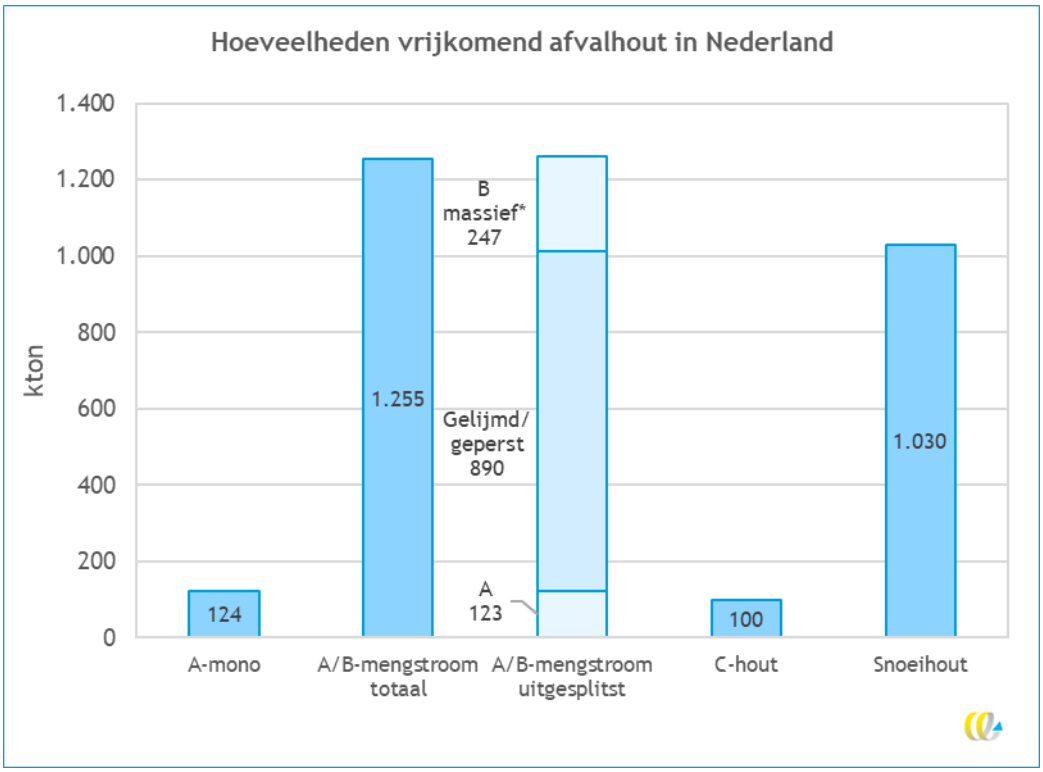
Hoeveelheden vrijkomend hout

Tabel 2 en Figuur 3 geven de hoeveelheden vrijkomend hout in Nederland weer. Tabel 2 bevat dezelfde informatie als de figuur, plus de bronnen en jaren. In 2015 bestond het vrijkomende hout bestaat uit een monostroom van A-hout van 124 kton, 1.255 kton A/B-hout, 1.030 kton snoeihout en 100 kton C-hout. De gemengde A/B-houtstroom kan verder uitgesplitst worden door ook data van 2017 te bekijken. Er is dan een kleine discrepantie: 1.260 kton in plaats van 1.255 kton totaal A/B-hout. Het gaat om 890 kton gelijmd/geperst B-hout in de A/B-fractie. Ook is bekend dat er 370 kton totaal A-hout + massief B-hout is. Daarvan is 123 kton A-hout dat zich in de A/B-fractie bevindt. Zo beredeneren we dat er 370 – 123 = 247 kton massief B-hout in de A/B-fractie zit.

Tabel 2 - Hoeveelheden vrijkomend afvalhout in Nederland

Type hout	Hoeveelheid vrijkomend (kton)	Bron	Jaar waarvoor de hoeveelheid geldt
A-monostroom, waarvan ca. 80% verpakkingshout	124	Tauw (2017), P.44	2015
A/B-mengstroom, totaal	1.255	Tauw (2017), P.44	2015
Waarvan gelijmd/geperst B-hout	890	Tauw (2017), P.54	2017
Waarvan A-hout	123	Tauw (2017), P.54	2017
Waarvan massief B-hout	247	Tauw (2017), P.44, gededuceerd o.b.v. 370 kton gemengd A & massief B	2015
Snoeihout	1.030	Tauw (2017), P.51	2015
C totaal	100	Tauw (2017), P.52	Onbekend, gemiddelde
Totaal	**2.509**		

Figuur 3 - Hoeveelheden vrijkomend afvalhout in Nederland



* NB: de hoeveelheid massief B-hout in de A/B-stroom is beredeneerd.

Hoeveelheden verwerkt hout

De hoeveelheden verwerkt hout, anders dan verbranding, zijn weergegeven in Tabel 3. De bron hiervoor is Tauw (2017) over het jaar 2015. Binnen Nederland is de recycling-capaciteit naar inschatting 260 kton. Volgens registraties wordt er daarnaast 120 kton A- en B-afvalhout gerecycled bij Duitse en Belgische spaanplaatproducenten in 2015, maar vermoedelijk ligt dit hoger: tussen 300 en 350 kton. Dat komt waarschijnlijk doordat een deel zuiver A-hout buiten de statistieken valt, omdat zuiver A-hout (monostroom) niet gemeld hoeft te worden onder EVOA-wetgeving. In gerecyclede hoeveelheid zit 49 kton A-hout afkomstig van verpakkingen (pallets) inbegrepen. Ook werd 350 kton snoeihout verwerkt tot compost. In totaal komt dat neer op 960 tot 1.010 kton nuttig toegepast materiaal.

Volgens registraties werd 1.310 kton vrijkomend hout verbrand in Bio Energie Centrales (BEC, 10-300 MW[8]) en kleinere Bio Energie Installaties (BEI, 0-25 MW[8]) voor energiewinning, in 2015. Zie Tabel 4.

Als we de hoeveelheid gerecycled en verbrand hout optellen komen we uit op zo'n 2.300 kton verwerkt hout, terwijl eerder we op ongeveer 2.500 vrijkomend hout uitkwamen. Het verschil zou kunnen zitten in de grote hoeveelheid vrijkomend snoeihout (ruim 1.000 kton) waarvan de verwerking niet altijd wordt geregistreerd.

Tabel 3 – Hoeveelheden verwerkt hout, anders dan verbranding

Type hout	Type verwerking en land van verwerking	Hoeveelheid Verwerkt	Bron	Jaar waarvoor de hoeveel-heid geldt
A- en B-hout	Klossen, geperst hout, of snippers; NL	260 kton (inschatting)	Tauw (2017), P.45	
	Spaanplaat; DE en BE	121 kton (geregistreerd onder EVOA-beschikkingen) Maar vermoedelijk 300 tot 350 kton	Tauw (2017), P.46	2015
Snoeihout	Compost; NL	350 kton	Tauw (2017), P.50	2015
C totaal		N.v.t.		

Tabel 4 toont de hoeveelheden afvalhout die in Nederland, Duitsland en België in BECs en BEIs worden verbrand voor energiewinning. Ongeveer 75% (958 kton van de 1.310 kton) Nederlands afvalhout dat wordt verbrand gaat naar BECs, de overige 25% (352 kton) belandt in BEIs. Van het Nederlandse A/B-hout wordt 514 kton in Nederlandse, 294 kton in Duitse en 19 kton in Belgische BECs verbrand. 3 kton gaat naar Nederlandse BEIs die meer dan 1 MW energie produceren. Van het Nederlandse A-hout wordt 1 kton in Nederlandse BECs, en 9 kton in Nederlandse BEIs verbrand. De op één na grootste stroom Nederlands afvalhout die wordt verbrand (na A/B) is snoeihout, met 340 kton. Dit gebeurt in BEIs die meer dan 1 MW aan energie opwekken. Nederlands C-hout wordt over het algemeen in Duitse BECs verbrand; Nederlandse BECs zijn hier niet geschikt voor.

[8] Definitie volgens Tauw (2017, pp. 33-34).

Wel moet vermeld worden dat de hoeveelheden die verbrand worden in kleinere BEIs wellicht niet volledig zijn, omdat er geen meldingsplicht is voor veel van dit soort installaties. Vooral snoeihout dat wordt verbrand in BEIs is niet in beeld is.

Tabel 4 - Hoeveelheden afvalhout verbrand voor energiewinning in 2015

Verbrandingsroute	Land verbranding	Type hout	Land van herkomst	Hoeveelheid	Bron
BEC	NL	A/B	NL	514 kton	Tauw (2017), P.47
		A	NL	1 kton	
		A/B	buitenland	274 kton	
		Vers resthout	NL	48 kton	
BEC	DE	A/B	NL	271 kton	Tauw (2017), P.49
		C	NL	105 kton	
BEC	BE	A/B	NL	19 kton	Tauw (2017). P.49
BEI > 1MW	NL	A/B	NL	3 kton	Tauw (2017), P.48
		A	NL	9 kton	
		Vers resthout	NL	340 kton	
		A	buitenland	9 kton	
		Snoeihout	buitenland	20 kton	
Totaal afkomstig uit NL				**1.310**	
Totaal afkomstig uit buitenland				**303**	

3 Kosten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk geven we kosten van de verschillende verwerkingsroutes van A-hout en A/B-hout. Hiervoor is gebruik gemaakt van interviews met verwerkers, aangevuld met gegevens uit literatuur. Omdat de kosten vaak bedrijfsvertrouwelijke informatie bevatten geven we kwalitatief inzicht in de richting, aangevuld met openbare observaties uit de literatuur.

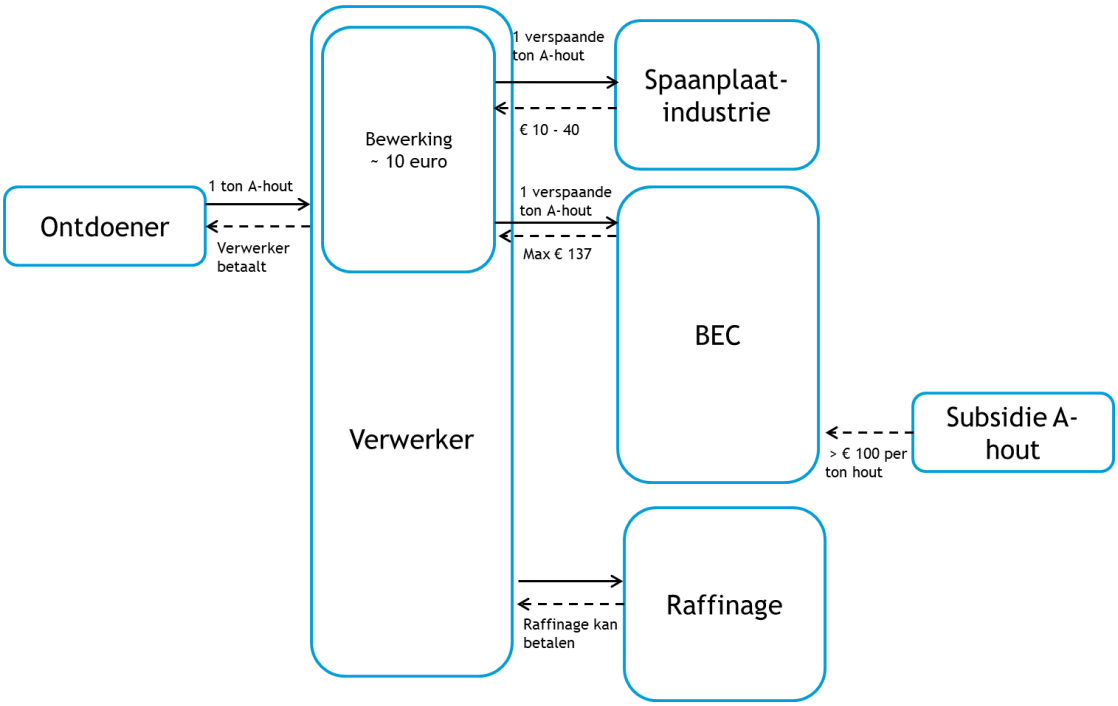
3.2 Kosten A-hout

Figuur 4 geeft een overzicht van de verwerkingsroutes van a-hout en de bijbehorende kosten, voor zover kon worden nagegaan binnen dit project. Voor A-hout is het gebruikelijk dat de verwerker betaalt aan de ontdoener. Vervolgens kan deze het hout verwerken en doorverkopen. Bewerking kost ongeveer € 10 per ton (Tauw, 2017), geactualiseerd door marktpartijen). Doorverkopen gebeurt doorgaans aan de spaanplaatindustrie voor recycling-doelen of voor energieopwekking in een BEC. Een alternatieve route is houtraffinage, maar dit is nog geen gebruikelijke route. De spaanplaatindustrie betaalt per ton A-hout. De prijs zal afhangen van de kwaliteit. Marktprijzen liggen rond de € 10 – 40 per ton (Tauw, 2017), geactualiseerd door marktpartijen). Alternatief kan het hout worden afgezet aan een bio-energiecentrale. Hier is SDE+-subsidie voor beschikbaar. In de huidige SDE+(+)-ronde mag in de categorie 'Ketel op houtpellets' 15% pellets uit A-hout worden ingezet[9]. In berekeningen van PBL voor de SDE+(+) wordt uitgegaan van € 160 per ton houtpellets, gecorrigeerd voor energie-inhoud is dat voor A-hout € 137 per ton (PBL, 2020a). Dit is een benadering van de maximale betalingsbereidheid van BEC-eigenaren aan leveranciers van hout. Of ze dit daadwerkelijk betalen is hoogst onzeker. In ieder geval is er sprake van concurrentie tussen hergebruik/recycling en energieopwekking.

De huidige recycle-industrie is in deze omstandigheden van stijgende prijzen voor (in eerste instantie) A-hout "nog in staat om op prijs te concurreren met verbranding voor energiewinning. In de praktijk kiest de recycle-industrie voor de stroom B-hout. Die stroom is kwalitatief hoogwaardig genoeg en heeft een iets lagere prijs dan zuiver A-hout" (Tauw, 2017). Ook kan A-hout worden gebruikt voor raffinage, hiervoor is de raffinagesector bereid te betalen.

[9] Het ministerie van EZK stelt voor om alleen hoogwaardige toepassingen van hout in de SDE++ op te nemen (geavanceerde biomassa, hoge temperatuurwarmte, groen gas), laagwaardige toepassingen (warmte voor glastuinbouw en gebouwde omgeving) komen niet meer aanmerking (Ministerie EZK, 2021b).

Figuur 4 - Overzicht kosten A-hout



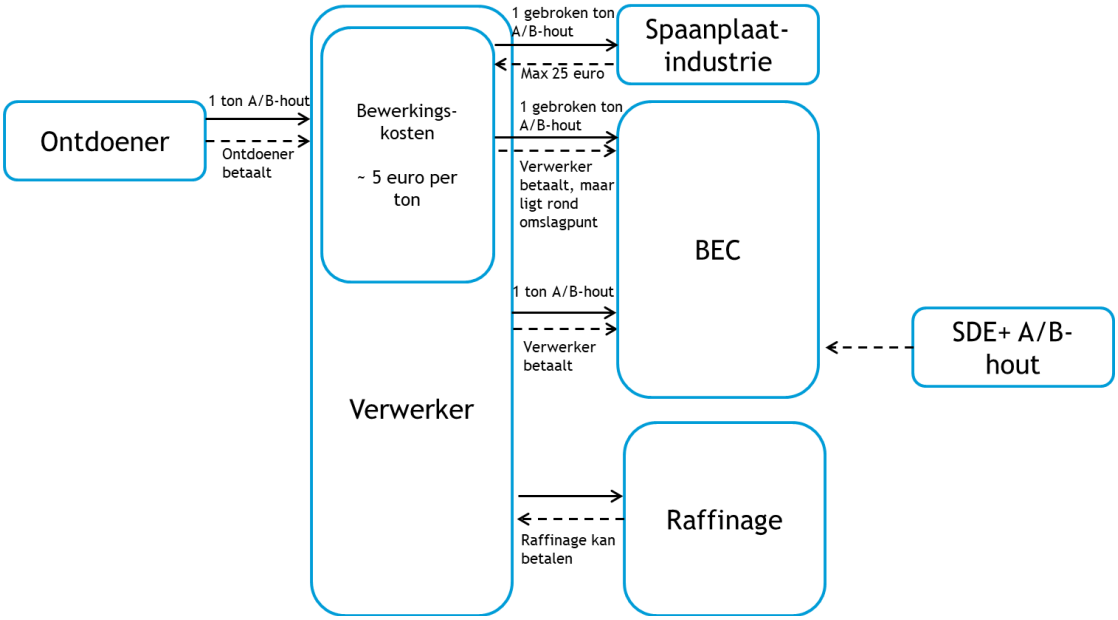
Bron: Tauw (2017), PBL (2020a), aangevuld en geactualiseerd door marktpartijen.

3.3 Kosten A/B-hout

Figuur 5 geeft een overzicht van de kosten van A/B-hout, voor zover kon worden nagegaan binnen dit project. Zie Paragraaf 2.2. voor de definitie van A/B-hout. Voor A/B-hout geldt dat dit kan worden ingezet voor mechanische recycling in de spaanplaatindustrie, kan worden verbrand in een BEC of (toekomstig) kan worden gebruikt voor bioraffinage. A/B-hout is minder waardevol dan A-hout, daarom moet een ontdoener doorgaans betalen om van zijn A/B-hout af te komen. Om het geschikt te maken voor mechanische recycling tot spaanplaat is er een bewerkingsstap nodig (selectie van hout, breken, verwijderen van eventuele stoorstoffen). De bewerkingskosten van A/B-hout liggen rond de € 5 per ton (Tauw, 2017). De spaanplaatindustrie is bereid te betalen voor A/B-hout; deze betalings-bereidheid hangt af van de kwaliteit van het hout, die dus steeds wordt bepaald en gecontroleerd, en ligt rond maximaal € 25 per ton (Tauw, 2017), geactualiseerd door marktpartijen).

Voor inzet van A/B-hout in een BEC is SDE+-subsidie beschikbaar, net als voor A-hout. In de huidige SDE+-ronde is ‘vergassing van B-hout’ opgenomen. In de berekening van het subsidiebedrag is gerekend met een lagere kostprijs voor A/B-hout (€ 0/ton) dan de markt-prijs om een prijsopdrijvend effect te voorkomen (PBL, 2020a). Volgens marktpartijen is de marktprijs echter (nog) negatief. In eerdere jaren is B-hout ook in andere SDE+-categorieën gestimuleerd, deze subsidies lopen langzaam af. Ook A/B-hout kan worden ingezet voor raffinage. De betalingsbereidheid hiervoor is lager dan voor A-hout, omdat de kwaliteit minder hoog is.

Figuur 5 - Overzicht kosten A/B-hout



Bron: Tauw (2017), PBL (2020a), aangevuld en geactualiseerd door marktpartijen.

4 Milieukundige analyse van houtverwerking met multicyclus-LCA

4.1 Inleiding tot de multicyclus-LCA (mLCA) van houtrecycling en -hergebruik

Levenscyclusanalyse (LCA) brengt op gestandaardiseerde manier de milieu-impact in kaart van producten en productieprocessen. Ook verwerkroutes van afvalmateriaal kunnen onderworpen worden aan levenscyclusanalyse. In het proces van LCA wordt geïnventariseerd welke aspecten van de verwerkroute tot emissies leiden en hoeveel nuttig eindproduct de verwerkroute oplevert.

Een mLCA start als traditionele LCA: een wordt LCA uitgevoerd van diverse verwerkroutes die met elkaar vergeleken moeten worden. Dan volgt uitbreiding tot multicyclus-LCA, ofwel mLCA. Er worden scenario's opgesteld die verwerking na meerdere 'levens' van meerdere verwerkroutes na elkaar laten zien. Met 'na elkaar' wordt bedoeld: gerecycled of hergebruikt materiaal krijgt een tweede leven en kan daarna weer verwerkt worden. Soms gerecycled, soms verbrand. mLCA kijkt naar meerdere keren materiaalverwerking via meerdere levenscycli, tot een maximum van drie levenscycli.

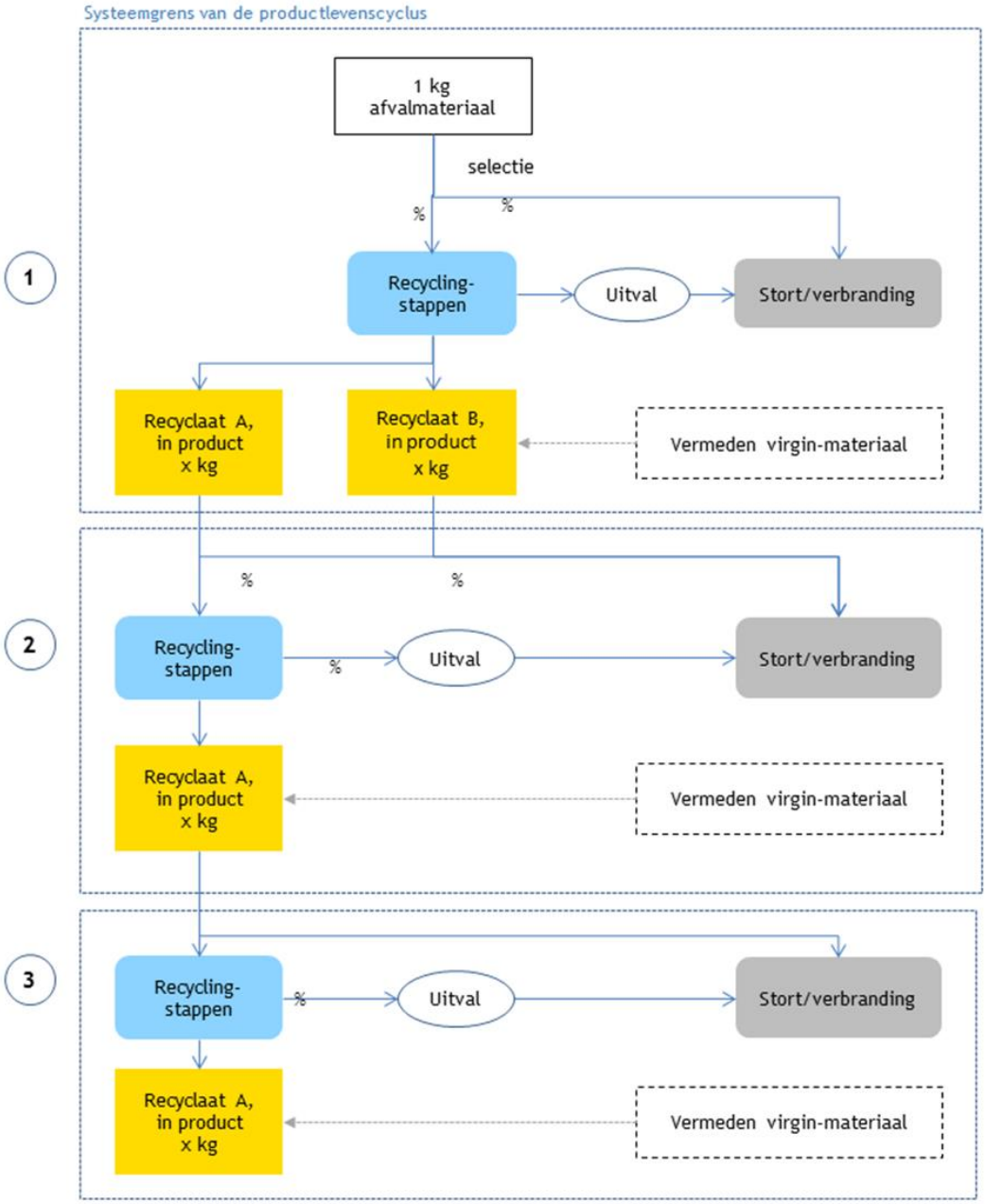
4.2 Scope van een mLCA

De systeemgrenzen zijn in Figuur 6 beknopt weergegeven.

Multicyclus-LCA beschouwt drie opeenvolgende levenscycli met als vertrekpunt één ton houtafval. Ten opzichte van een conventionele LCA worden de systeemgrenzen daarmee uitgebreid tot drie keer een hergebruik/recyclingstap heeft plaatsgevonden of tot finale afvalverwerking van al het materiaal. Bij verbranding verdwijnt het materiaal immers en kan geen volgende cyclus meer plaatsvinden. Cruciaal bij dit type analyse is hoeveel hout verloren gaat en hoeveel overblijft voor de volgende levenscyclus. Bij elke cyclus wordt in kaart gebracht wat de milieu-impacts en de vermeden milieu-impacts van de verwerking van het hout zijn. De mLCA is puur gericht op het beoordelen van verwerkroutes na gebruik, dus toepassing en gebruik (en bijbehorend transport) vallen buiten de scope.

Ook buiten de scope vallen niet-houtige materialen, zoals spijkers, verf en lak. Energie voor eventueel verwijdering is inbegrepen in de analyse en dit soort toevoegingen hebben wel invloed op de hoeveelheid hout die kan worden hergebruikt of gerecycled. Maar niet inbegrepen is de verbranding van dit soort materialen of de eindverwerking nadat dit soort materialen zijn verwijderd uit het hout.

Figuur 6 – Systeemgrens mLCA bij drie keer hergebruik of recycling, beknopt*



* Iedere levenscyclus omvatten de activiteiten voor de recyclingstappen: inzameling, sortering, verwerking en verwerking van verliezen.

Bij scenario's waarin het materiaal minder dan drie keer opnieuw toegepast wordt, modelleren we tot het moment dat er geen materiaal in de keten meer over is. Bij een scenario waarbij het afvalhout direct verbrand wordt in een BEC, bijvoorbeeld, is er na de eerste levenscyclus geen hout meer over. Zo'n scenario omvat daarom maar één levenscyclus.

4.2.1 Impacts en vermeden impacts

Bij elke levenscyclus wordt er energie verbruikt en kan materiaal verloren gaan dat wordt gestort of verbrand. Daarnaast komt na elke levenscyclus ook materiaal vrij dat toegepast kan worden in nieuwe producten en/of wordt na elke levenscyclus energie opgewekt door verbranding van hout in een BEC. Dit vermijdt primaire productie van materialen en/of brandstoffen.

Om de vermeden productie vast te stellen, beschouwen we binnen elke levenscyclus alle bruikbare fracties die vrijkomen uit de verschillende verwerkingsroutes. Zo komt er bij mechanisch recyclen bijvoorbeeld spaanhout en niet-bruikbaar hout vrij. Het spaanhout wordt toegepast in spaanplaatproductie en vermijdt daarmee spaanhoutproductie uit primair hout. Het niet-bruikbare hout — enkele procenten — wordt toegepast als brandstof in een BEC en vermijdt daarmee energieproductie met andere (hoofdzakelijk fossiele) brandstoffen. In Bijlage B staat een toelichting op de vermeden impacts per verwerkroute.

Bij het vermijden van volhout zijn we zijn uitgegaan van hout uit duurzaam beheerde bossen. Er vindt geen landgebruiksverandering plaats (*land use change*), er is geen afname van het bos en er is een koolstofbalans in biomassa en bodem. Als illegale kap en ontbossing zou worden vermeden door de hergebruikte of gerecyclede producten, dan is er wel degelijk een grotere vermeden CO_2-uitstoot omdat er CO_2 vrijkomt uit de bodem en de hoeveelheid biomassa vermindert door de landgebruiksverandering.

4.2.2 Biogeen CO_2

Binnen deze studie geven we de resultaten op twee manieren weer, namelijk met en zonder verrekening van langer vastgelegd CO_2. Biogeen CO_2 is CO_2 dat uit de lucht is opgenomen door biomassa (binnen deze studie hout), waardoor de koolstof is vastgelegd in deze biomassa. Als deze biomassa vergaat of wordt verbrand, komt de koolstof weer vrij als CO_2 in de lucht. Bij het vergaan of verbranden van één ton hout komt zo'n 1,45 ton biogeen CO_2 vrij (op basis van 25% vochtgehalte van afvalhout).

Bij LCA-studies wordt biogeen CO_2 gewoonlijk niet meegenomen bij het berekenen van klimaatimpact. De opslag van biogeen koolstof in biomassa zoals hout is namelijk over het algemeen tijdelijk (kortcyclisch) en komt binnen 100 jaar weer vrij in de lucht doordat de biomassa vergaat of wordt verbrand. Omdat de huidige rekenmethodes voor klimaatimpact (zoals IPCC GWP en ReCiPe2016) uitgaan van een periode van 100 jaar, betekent dit dat de opgenomen CO_2 binnen de periode waarin gerekend wordt weer vrijkomt. De redenatie is daarom dat er netto geen CO_2 wordt opgenomen of uitgestoten, tenzij kan worden bewezen dat de koolstof langer dan 100 jaar opgeslagen blijft (langcyclisch).

De uitstoot van biogeen CO_2 draagt echter wel degelijk bij aan klimaatverandering. Momenteel wordt wereldwijd meer CO_2 uitgestoten dan wordt opgenomen. Door hergebruik en recycling wordt de uitstoot van biogeen CO_2 uitgesteld, wat bijdraagt aan het nationale klimaatdoel om in 2050 95% minder CO_2 uit te stoten dan in 1990. Hoe meer en hoe vaker hout hergebruikt of gerecycled wordt, hoe langer de biogene CO_2 opgeslagen blijft, ook als deze CO_2 korter dan 100 jaar wordt opgeslagen. In 2010 constateerde het Europese Institute for Environment and Sustainability de beperking van de huidige LCA-methode: "Assigning a full GWP100 factor to these [biogenic] emissions that happen in 80 years would contradict the logic of the GWP100 [method]" (ILCD, 2010). Naar aanleiding van een manifest ondertekend door ruim 200 marktpartijen over dit onderwerp (VORM, 2020) onderzoekt de Nederlandse overheid momenteel de mogelijkheden en methoden om uitgestelde biogene CO_2-uitstoot mee te nemen in klimaatimpactberekeningen.

Aanpak

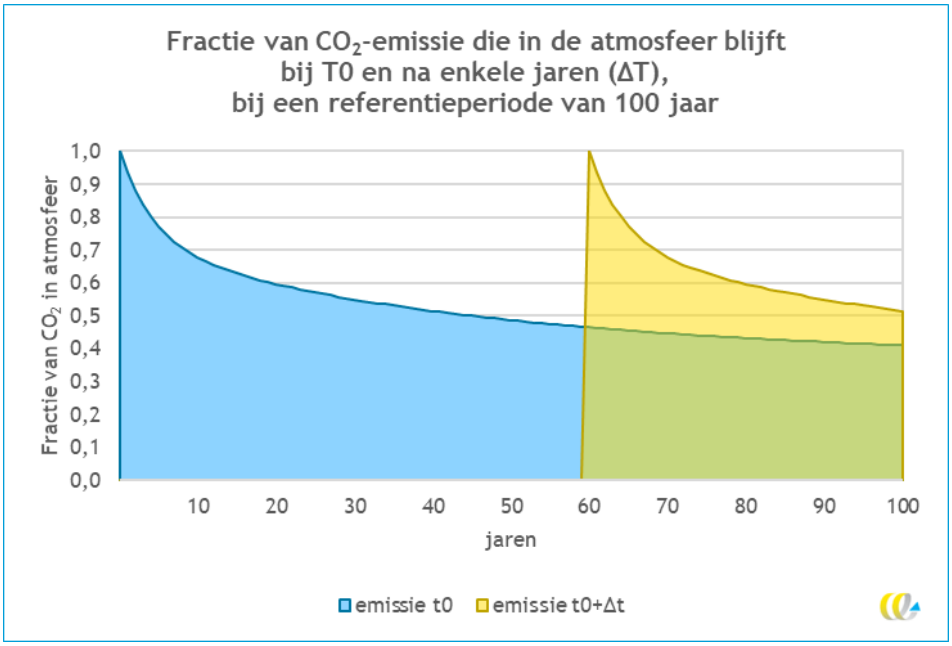
In deze analyse vergelijken we diverse verwerkroutes van hout na afdanking. In die context is sprake van uitgestelde biogene CO_2-uitstoot als er via hergebruik of recycling doelgericht actie ondernomen wordt om biogeen koolstof langer vast te leggen, in plaats van het hout te verbranden.

De Britse PAS2050-methodiek biedt een versimpelde aanpak en stelt: bij elk jaar van uitgestelde CO_2-uitstoot wordt de klimaatimpact gecorrigeerd met 1/100^e. Deze lineaire aanpak is echter niet geheel terecht omdat na een uitstoot de CO_2-concentratie in de atmosfeer afneemt.

Wij volgen daarom een dynamisch model dat ook werd toegepast door TNO in 'Een verkenning van het potentieel van tijdelijke CO_2-opslag bij houtbouw' (TNO, 2021). Figuur 7 geeft het principe weer. CO_2-uitstoot op een later tijdstip draagt, gezien over 100 jaar vanaf nu, minder bij dan CO_2 die nu wordt uitgestoten. De CO_2-uitstoot die in mindering mag worden gebracht is het verschil tussen de oppervlakten onder de lijnen (blauw min geel). Voor een uitgebreider toelichting op CO_2-vastlegging in hout verwijzen we naar het rapport van TNO.

Wel is het zo dat ook latere uitstoot op lange termijn evenveel broeikasgaseffect oplevert. Uitstoot is immers uitstoot. Op korte termijn kan dit een bijdrage leveren aan het oplossen van het klimaatprobleem van nu, maar om te voorkomen dat de uitgestelde uitstoot het probleem afwentelt op de toekomst is het noodzakelijk dat de maatschappij op grote schaal CO_2-uitstoot gaat reduceren. Het best is om het hout ook in de toekomst niet te verbranden.

Figuur 7 - CO_2-uitstoot en afname in de atmosfeer bij een uitstoot CO_2 op t=o (blauw) en een uitgestelde uitstoot op t=60 (geel). Het oppervlak onder de curve geeft weer wat de bijdrage is aan het broeikasgaseffect over een periode van 100 jaar gezien vanaf t=0



Voor de vastlegging door hergebruik en recycling gaan we ervan uit dat het CO_2 20 jaar vastgelegd blijft. Dit is gebaseerd op producten die in de afbouw worden gebruikt, zoals plaatmateriaal. De levensduur is afgestemd met houtrecyclers op het gebied van dit soort producten.

4.3 Scenario's

De volgende verwerkingsroutes zijn onderdeel van het milieukundig onderzoek:
- verbranden van verspaand A-, A/B- en C-afvalhout in een BEC;
- mechanisch recyclen van gesorteerd A- en A/B-hout tot spaanhouten producten;
- chemisch recyclen van A-hout;
- hergebruik of recycling als intact hout van A- en A/B-hout.

Tabel 5 toont de scenario's die we binnen deze studie onderzoeken. Hierbij is ook aangegeven voor welke typen hout de scenario's geschikt zijn en is te zien hoeveel hout na elke verwerkingsstap door wordt gegeven naar de volgende levenscyclus.

Tabel 5 – mLCA-scenario's, massabalans en additioneel aantal jaren vastgelegd (biogeen) CO_2

Scenario	Van toepassing op	Verwerkingsstap na 1e levenscyclus	Verwerkingsstap na 2e levenscyclus	Verwerkingsstap na 3e levenscyclus	Aantal jaren vastgelegd (biogeen) CO_2
1	A-, A/B-, C-hout	Verbranden in een BEC *Output: 0 ton hout*			0
2	A-, A/B-hout	Hergebruik of recycling als intact hout *Output: 0,95 ton hout*	Verbranden in een BEC *Output: 0 ton hout*		20
3	A-, A/B-hout	Mechanisch recyclen (versnipperd hout) *Output: 94 ton hout*	Verbranden in een BEC *Output: 0 ton hout*		20
4	A-, A/B-hout	Mechanisch recyclen (versnipperd hout) *Output: 0,94 ton hout*	Mechanisch recyclen als spaanhouten product *Output: 0,88 ton hout*	Mechanisch recyclen als spaanhouten product *Output: 0,82 ton hout*	60
5	A-, A/B-hout	Hergebruik of recycling als intact hout *Output: 0,95 ton hout*	Mechanisch recyclen als spaanhouten product *Output: 89 ton hout*	Verbranden in een BEC *Output: 0 ton hout*	40
6	A-hout	Chemisch recyclen *Output: 0 ton hout**			0
7	A-hout	Hergebruik of recycling als intact hout *Output: 0,95 ton hout*	Chemisch recyclen *Output: 0 ton hout*		20

* Chemische recycling levert geen hout op, maar wel andere nuttige grondstoffen (voor de chemie).

Van deze verwerkingsroutes is op dit moment voldoende data beschikbaar om een LCA uit te voeren, hoewel er soms wel aannames gedaan moeten worden. Voor chemisch recyclen gaat het om een productieproces op pilot-schaal, in ontwikkeling. Ook gaan we ervan uit dat chemische recycling alleen op A-hout kan worden toegepast, dus niet op al eens gerecycled hout dat vaak vermengd is met bindmiddel. De onderliggende data en aannames zijn beschreven in Bijlage B.

Scenario 4 representeert 3x mechanische recycling. De resultaten van dit scenario geven het meest duidelijk weer wat de impact/milieuwinst is van mechanische recycling. Uiteindelijk is de verwachting dat het hout alsnog zal worden verbrand, of (in de toekomst) chemisch gerecycled. Dat levert dan een additionele impact/milieuwinst op. Dit benoemen we bij de resultaatbespreking in Paragraaf 4.5.

Het vertrekpunt voor de CO_2-vastlegging — wat een uitgestelde biogene CO_2-uitstoot oplevert — is gemiddeld 20 jaar per keer recycling of hergebruik. We gaan er dus van uit dat het gerecyclede of hergebruikte product 20 jaar meegaat. Dit kan natuurlijk fluctueren. In sommige toepassingen zal een houten plaat of balk langer meegaan; bij mechanische recycling tot een verpakkingsmateriaal of wegwerpproduct kan de levensduur beperkt zijn tot enkele dagen tot maanden en blijft het (biogene) CO_2 aanzienlijk minder lang vastgelegd.

Aan chemische recycling tot glucose of suiker hebben we nu geen CO_2-vastlegging toegekend, omdat het geen hout meer betreft en omdat het onduidelijk is of de toepassing een lange levensduur kan hebben.

4.4 Rekenmethode mLCA

Alle berekeningen worden uitgevoerd in SimaPro 9.2.0.2 met de ReCiPe 2016 impact-assessmentmethodes[10]. Hierbij worden 18 (varianten van) milieu-impactcategorieën meegenomen, zie Tabel 6.

Tabel 6 - ReCiPe 2016 midpoint (H) milieu-impactcategorieën

Milieu-impactcategorie	Eenheid
Klimaatverandering	kg CO_2-eq.
Stratosferische ozondepletie	kg CFC_{11}-eq.
Ioniserende straling	kBq ^{60}Co-eq.
Ozonvorming (menselijke gezondheid)	kg NO_X-eq.
Fijnstofvorming	kg PM2,5-eq.
Ozonvorming (ecosystemen)	kg NO_X-eq.
Verzuring van grond	kg SO_2-eq.
Vermesting van zoetwater	kg P-eq.
Vermesting van zeewater	kg N-eq.
Ecotoxiciteit van grond	kg 1,4-DCB
Ecotoxiciteit van zoetwater	kg 1,4-DCB
Ecotoxiciteit van zeewater	kg 1,4-DCB
Menselijke toxiciteit (carcinogeen)	kg 1,4-DCB
Menselijke toxiciteit (niet-carcinogeen)	kg 1,4-DCB
Landgebruik	m^2 gewas-eq.
Grondstofuitputting (mineralen)	kg Cu-eq.

[10] https://rivm.openrepository.com/handle/10029/620793

Milieu-impactcategorie	Eenheid
Grondstofuitputting (fossiele grondstoffen)	kg olie-eq.
Waterverbruik	m^3

Bovenstaande milieu-impactcategorieën wegen we ook tot één gewogen milieuscore, de single score, volgens de ReCiPe2016 Endpoint (H/A) impact-assessmentmethode. Dit maakt het mogelijk om alle milieu-impacts van de verschillende scenario's te vergelijken met één score waarin alle milieu-impacts zijn meegenomen. Daarnaast geeft de gewogen milieu-score ook inzicht in de meest relevante milieu-impactcategorieën van de verschillende scenario's, aangezien de bijdrage van de verschillende impactcategorieën aan de totale single score in kaart kan worden gebracht.

4.5 Resultaten mLCA

In deze paragraaf gaan we in op de resultaten van de mLCA voor drie belangrijke milieu-impactcategorieën en een gewogen milieuscore:
- gewogen milieuscore 'ReCiPe single score' (dimensieloze 'milieupunten');
- klimaatimpact (kg CO_2-eq.);
- fijnstofvorming (kg PM2,5-eq.);
- landgebruik (m^2a gewas-eq.).

De resultaten voor alle 18 milieu-impactcategorieën in cijfers zijn weergegeven in een tabel in Bijlage C.

De resultaten voor de klimaatimpact en de ReCiPe single score[11] zijn berekend op twee manieren die naast elkaar worden getoond:
- alleen fossiel CO_2;
- fossiel CO_2 en een verrekening van langer opgeslagen biogeen CO_2, zie Paragraaf 0 voor toelichting hierop.

Ranges

De resultaten in de grafieken bevatten **ranges.** Deze ranges omvatten meerdere variaties binnen verwerkroutes of de voornaamste gevoeligheden:
- De range bij hergebruik of recycling als intact hout geeft variatie in materiaalverlies aan. Als basis gaan we uit van 5% verlies bij opwerkprocessen; de range geeft 0 tot 10% aan.
- De range bij mechanische recycling komt voort uit:
  - Meerdere recyclers. De basis toont het gemiddelde van meerdere recyclers die deelnamen aan het onderzoek; de range komt voort uit verschil in verwerk-methoden.
  - Het wel en niet meerekenen van vermeden emissies door verbranding van uitval van hout bij recyclingprocessen (enkele procenten).
  - Variatie in impact van de vermeden producten.
  - Variatie in gebruikte hulpstoffen.
  - Variatie in wel of niet hoeven drogen van vermeden hout voor gelijke toepassing.
- De range bij chemische recycling komt uit variatie in milieukundige achtergrond-gegevens van vermeden suiker en glucose: er zijn meerdere datasets beschikbaar die verschillende resultaten opleveren.

[11] De klimaatimpact draagt ook bij aan de ReCiPe single score, daarom tonen we ook resultaten voor de single score op twee manieren.

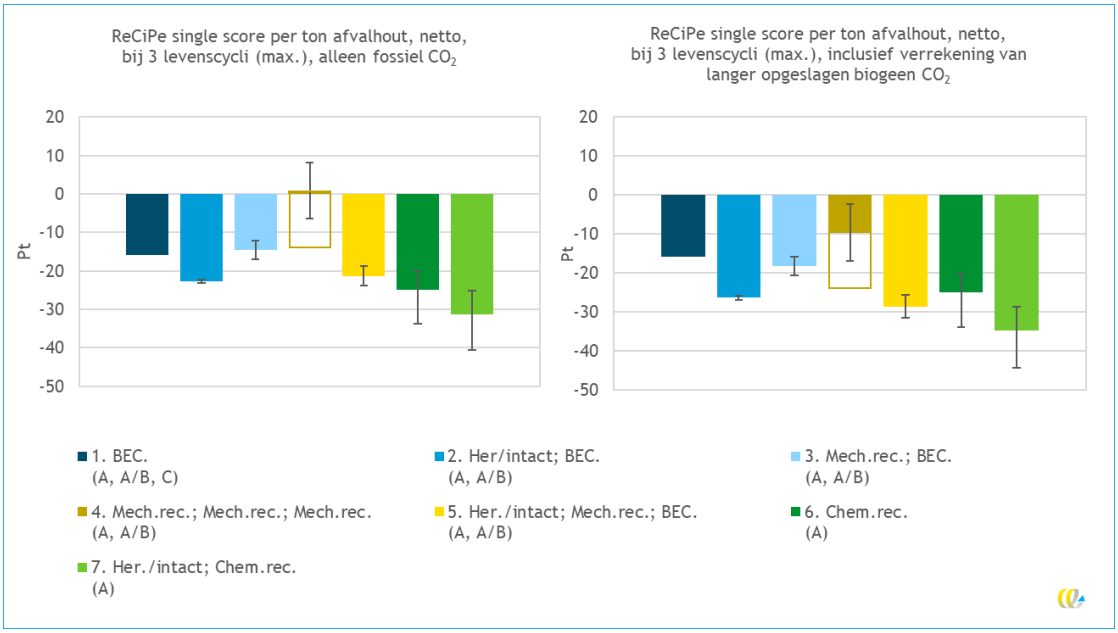
4.5.1 Gewogen milieuscore ‘ReCiPe single score’

De ReCiPe single score is een gewogen milieuscore, uitgedrukt in dimensieloze punten, waarin 18 milieu-indicatoren zijn inbegrepen. In Figuur 8 staan de single-score-resultaten voor de zeven mLCA-scenario’s[12] voor verwerking van 1 ton houtafval. In de legenda is te zien welke verwerkroute of -routes het scenario omvat en voor welke houtsoorten het scenario geschikt is (A-, gemengd A/B- en/of C-hout). De resultaten geven weer: “wat als 1 ton houtafval in de loop der tijd via deze routes verwerkt wordt”. In de resultaten zijn emissies én vermeden emissies[13] inbegrepen. De resultaten tonen ook een range op basis van verschillende verwerkers en/of variatie in aannames bij de berekeningen.

De meeste resultaten zijn ‘onder de streep’ (negatieve waarde) wat betekent dat de verwerking een netto milieuwinst oplevert. Hoe langer de staaf, hoe meer milieuwinst. Overall is te zien dat er vrijwel altijd een milieuwinst te verwachten is door verwerking van afvalhout. Slechts in uitzondering is er een (kleine) netto impact. Combinaties van hergebruik of recycling als intact hout, mechanische recycling en daarna pas verbranden leveren gecombineerd een grotere winst op dan direct verbranden (Scenario 1).

Na de figuur nemen we de resultaten door per scenario.

Figuur 8 - Single score (punten) van houtafvalverwerking, per ton houtafval



Scenario 1, verbranding in een BEC, leidt tot een milieuwinst: de vermeden impact door opgewekte energie is groter dan de emissies[14] door verbranding.

[12] Zie Tabel 5 voor het overzicht van de scenario’s.

[13] Vermeden emissies komen door energieopwekking bij verbranding dat conventionele energie vermijdt en door geproduceerd gerecycled materiaal dat virgin grondstoffen vermijdt.

[14] Bij verbranding van hout komt biogeen CO_2 vrij; beide analysemethoden (grafieken links en rechts) is deze emissie van biogeen CO_2 *niet* inbegrepen als losstaande emissie. We volgen de LCA-lijn dat het CO_2 eerder was opgenomen in het hout (de -1/+1-methode, of de netto nul-methode).

Scenario 2 representeert 1x hergebruik of recycling als intact hout, bijvoorbeeld van houten balken, deuren of tafelbladen die een tweede leven krijgen, plus verbranding na dit hergebruik of recycling als intact hout. Het hergebruik of recycling als intact hout vermijdt een nieuwe houten balk of plank. Dit levert een extra milieuwinst op ten opzichte van directe verbranding (Scenario 1). Het hergebruik of recycling als intact hout levert een levensduurverlenging op van (tenminste) 20 jaar, is ons uitgangspunt. Als de uitgestelde CO_2-emissie wordt verrekend van 20 jaar (zie rechter grafiek), dan is de milieuwinst nog wat groter.

Scenario 3 representeert 1x mechanische recycling tot een houten product versnipperd hout en daarna verbranding. In de linker grafiek, op basis van alleen fossiel CO_2, zien we gemiddeld weinig verschil met directe verbranding (Scenario 1). Als, in de rechter grafiek, een de uitgestelde CO_2-emissie wordt verrekend van 20 jaar, dan is er wel degelijk een extra milieuwinst ten opzichte van direct verbranden. Ook zien we aan de range dat mechanische recycling milieuwinst kan opleveren: enkele parameters hebben daar invloed op (zie Paragraaf 4.5 voor toelichting). Dus de mate van milieuwinst is afhankelijk van karakteristieken van de recyclingmethode en van het geproduceerde product.

Scenario 4 representeert 3x mechanische recycling, opeenvolgend. We laten dit scenario zien om inzicht te bieden in mechanische recycling op zichzelf. In de praktijk zal 3x mechanische recycling nog niet vaak gebeuren, maar technisch kan het wel. Uiteindelijk zal toch ook dat hout verbrand worden (of in de toekomst mogelijk chemisch gerecycled). De omlijnde staaf geeft aan als ook de overgebleven hoeveelheid hout alsnog wordt verbrand met energieterugwinning. Dit valt eigenlijk buiten de 3x mLCA-stappen, maar is relevant om te realiseren.

In de rechter grafiek toont Scenario 4 het resultaat als het biogeen CO_2 3 x 20 = 60 jaar langer vastgelegd wordt dan bij directe verbranding. Dit levert een aanzienlijke milieuwinst op, bij alle typen mechanische recycling en gevoeligheden. Wel ligt het aan het type product of daadwerkelijk 3 x 20 = 60 jaar vastlegging wordt behaald; sommige producten zullen korter meegaan. Mechanische recycling tot eenmalig product zoals (houten/karton-nen) verpakking leidt tot kortere vastlegging en dan gaat de grafiek niet op. Aan de andere kant kan het ook zijn dat een product wordt gemaakt dat wel langer dan 20 jaar meegaat, afhankelijk van de toepassing. In zo'n geval kan de CO_2-vastlegging juist groter zijn dan getoond in de rechter grafiek.

De range in Scenario 4 is drie keer groter dan in Scenario 3 omdat het gaat om 3x mechanisch recyclen in plaats van 1x. In Scenario 4 zien we dus nog duidelijker dat verschillen in type mechanische recycling, type vermeden grondstof en gebruik van hulpstoffen invloed hebben op de resultaten.

Scenario 5 is een combinatie van Scenario 2 en 3: hergebruik of recycling als intact hout, mechanische recycling en daarna verbranding met energieterugwinning. Het resultaat, een netto milieuwinst, komt voort uit de opgetelde milieuwinsten van deze drie routes tezamen. Door de cascadering duurt de CO_2-vastlegging langer (er is gerekend met 40 jaar), wat een extra milieuwinst oplevert.

Scenario 6 toont (indicatieve) resultaten voor het chemisch recyclen van hout tot lignine, suikers en glucose. Het is nog onzeker of dit scenario uiteindelijk werkelijkheid wordt voor gebruikt hout. We gaan ervan uit dat alleen schoon A-hout op deze manier kan worden verwerkt. Maar als dat zo is, dan zien we dat er een aanzienlijke milieuwinst kan worden behaald. Die milieuwinst komt vooral voort uit vermeden suiker en glucose. De beperkte beschikbaarheid van milieu-informatie over suiker en glucose is de oorzaak van de range.

Toekomstige ontwikkelingen en tests zullen moeten uitwijzen of de milieuwinst standhoudt voor *post-consumer* afvalhout. Want daarbij zal de uitval van materiaal hoger zijn en zal extra sortering of voorbewerking nodig zijn. Voor de resultaten zijn de massabalans (hoeveelheid verkregen producten per ton afvalhout) en energiebehoefte van doorslaggevend belang.

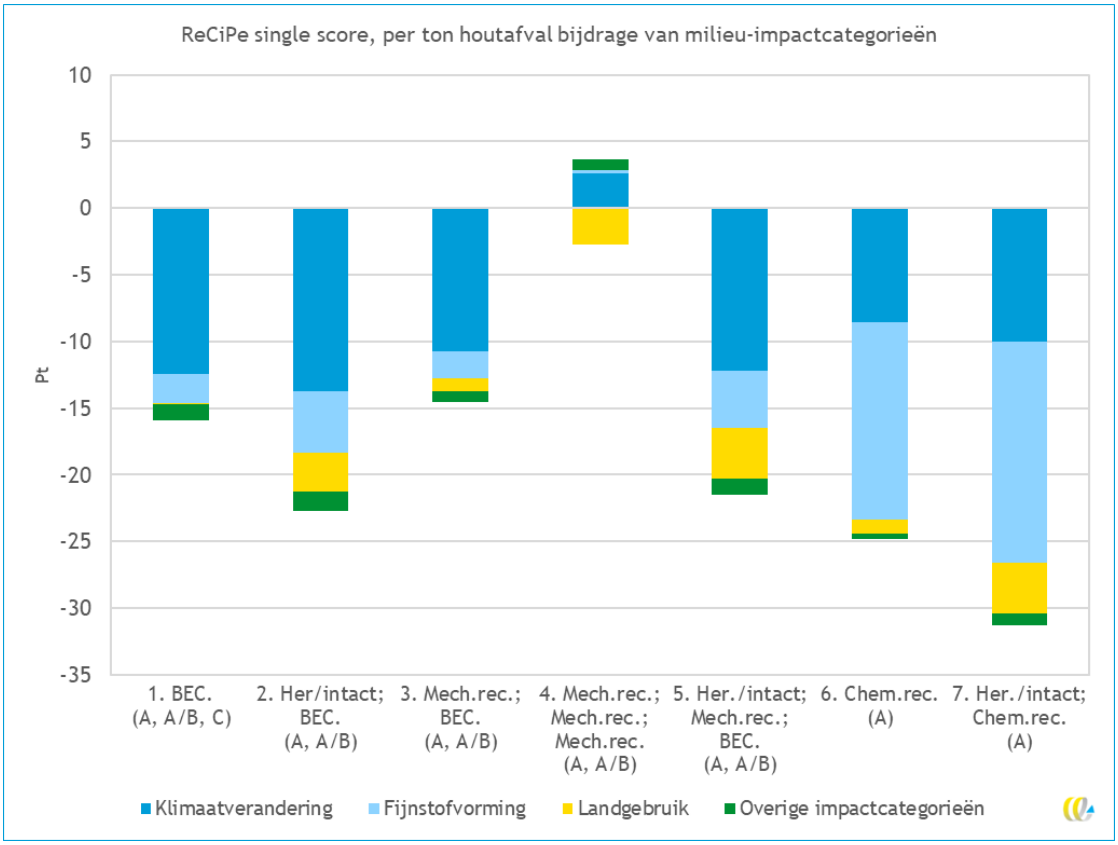
Door chemisch te recyclen verdwijnt het hout als materiaal en is daarmee aan het eind van de cascade. Mogelijk kan ook suiker en lignine zodanig worden toegepast dat cascadering van deze grondstoffen mogelijk is, dus dat die grondstoffen weer meerdere cycli mee kunnen gaan. Zo ja, dan is de potentiële milieuwinst groter dan hier berekend.

Scenario 7 is te vergelijken met Scenario 2, alleen de eindverwerking is anders: chemische recycling na 1x hergebruik of recycling als intact hout in plaats van verbranding. Zoals ook genoemd bij Scenario 6, komt chemische recycling als gunstiger naar voren dan verbranding met de huidig beschikbare gegevens, die nog wel onzeker zijn.

4.5.2 Bijdrage per milieu-indicator aan de ReCiPe single score

In Figuur 9 is de bijdrage van alle 18 milieu-impactscategorieën aan de single score weergegeven. Met name klimaatverandering, fijnstofvorming en landgebruik dragen bij aan de ReCiPe single score. Deze drie milieu-indicatoren zijn voor alle scenario's verantwoordelijk voor 90% of meer van de totale single score. Daarom gaan we in de volgende subparagrafen nader in op klimaatverandering, fijnstofvorming en landgebruik.

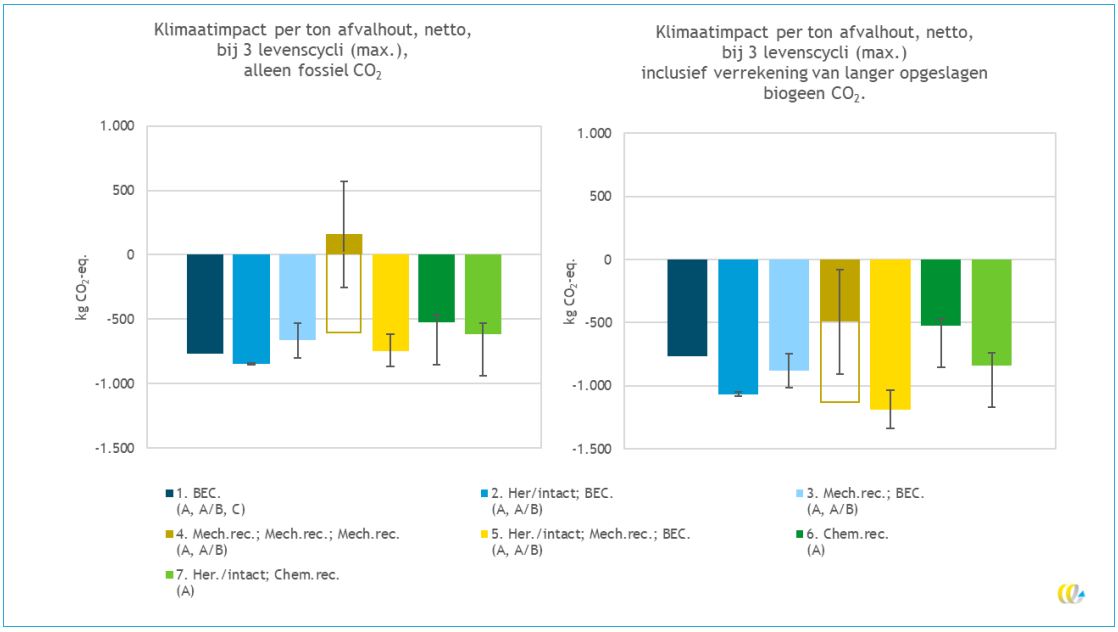
Figuur 9 - Bijdrage impactcategorieën aan single score, per ton houtafval, alleen fossiele CO_2



4.5.3 Klimaatimpact

De klimaatimpact is de milieu-indicator voor opwarming van de aarde en omvat de uitstoot van alle broeikasgassen waaronder koolstofdioxide (CO_2), methaan (CH_4) en lachgas (N_2O). De klimaatimpact van alle scenario's is weergegeven in Figuur 10. Het gaat om het netto resultaat, waarin de impact en de vermeden impact is samengenomen. We tonen resultaten voor twee analyses: met alleen fossiel CO_2 en met verrekening van uitgestelde biogene CO_2-emissie (zie Paragraaf 0 voor toelichting). En ook hier tonen we een range[15] in resultaten. In Bijlage C staan de bijbehorende getallen.

Figuur 10 - Klimaatimpact van houtafvalverwerking, per ton houtafval



NB: In de rechter figuur is alleen de verrekening van langer opgeslagen biogeen CO_2 meegenomen; niet de uitstoot van biogeen CO_2 bij verbranding. Zie hiervoor Figuur 11.

Op hoofdlijnen lijken deze resultaten op die van de ReCiPe single score. Dat komt omdat klimaatimpact dominant is in de single score. We bespreken de resultaten aanvullend op de eerdere bespreking in Paragraaf 4.5.2.

Scenario 1, verbranding in een BEC, levert een relatief grote klimaatwinst op omdat het energiewinning met (grotendeels) fossiele energiebronnen vermijdt.

In de rechter grafiek is te zien dat hergebruik/recycling als intact hout en mechanische recycling — Scenario's 2 t/m 5 — aanzienlijk bijdragen aan een lagere klimaatimpact, mede door het langer vastleggen van biogene CO_2. Hergebruik/recycling als intact hout en/of mechanische recycling voordat wordt verbrand levert een extra klimaatwinst op.
Bij mechanische recycling hangt de hoogte van klimaatwinst wel af van de recycling-karakteristieken. Als we alleen naar fossiele CO_2 kijken, dan leveren hergebruik en

[15] Deze range komt voort uit variatie in aannames over materiaaluitval bij hergebruik en recyclingprocessen, verschil in toepassing bij recycling, vergelijkbaarheid van verkregen en vermeden product en variatie in beschikbare milieu-informatie van vermeden producten/grondstoffen. Zie Paragraaf 4.5 (begin) voor meer uitleg.

mechanische recycling een relatief kleine extra klimaatwinst op[16]. Dat deze relatief klein is doet er minder toe; het is vooral belangrijk dat er geen extra netto klimaatimpact plaatsvindt door de verwerking. Want dan kan je het beter laten. Verduurzaming van het energieverbruik voor mechanische recyclingprocessen is vaak echter nog mogelijk, dus dan is er een netto klimaatwinst te behalen.

In gunstig geval levert chemische recycling, Scenario's 6 en 7, ongeveer evenveel klimaatwinst op als verbranding. De winst komt door vermijden van suiker- en glucoseproductie en het is nog onzeker hoe groot die winst precies is. Chemische recycling levert geen langere opslag van biogene CO_2 op, nemen we aan. Tenzij duidelijker wordt in welke toepassingen de suiker, glucose en lignine belandt is chemische recycling voor nu een eindverwerkingsroute die idealiter plaatsvindt nadat het hout in andere toepassingen is ingezet.

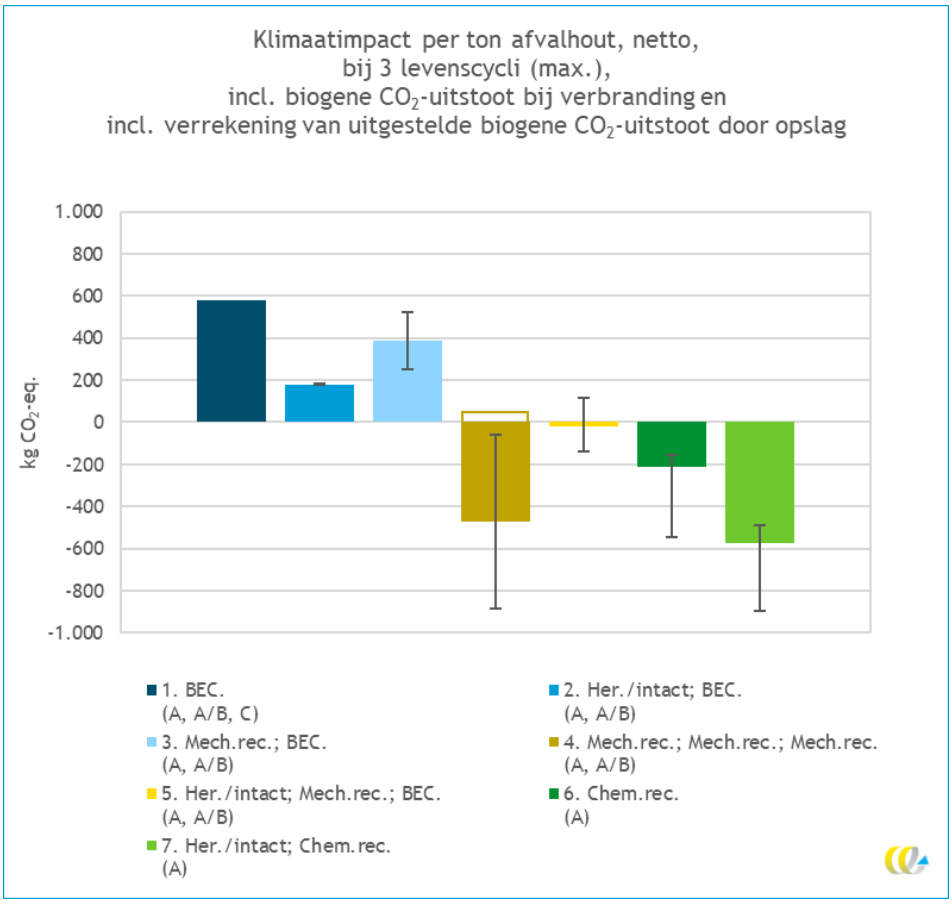
Uitstoot van biogene CO_2 bij verbranding

Als hout wordt verbrand komt er CO_2 vrij. De basisanalyse heeft als vertrekpunt dat deze biogene CO_2 ooit was opgenomen en dat de biogene CO_2-emissie daarom netto nul is. Je kan het echter ook anders zien: hout dat wordt verbrand levert een CO_2-uitstoot op en dat levert een 'koolstofschuld' op. Er is wel degelijk een CO_2-emissie en die levert nu voor klimaatproblemen. De uitgestoten CO_2 zal in de toekomst weer moeten worden opgenomen door (nieuwe) groeiende bomen en planten maar dat duurt een hele tijd.

Figuur 11 laat de klimaatimpact zien als de biogene CO_2-uitstoot wel wordt meegenomen maar een eerdere opname niet. Ook verrekenen we hier uitgestelde biogene CO_2-uitstoot: als de CO_2 pas na 20, 40 of 60 jaar wordt uitgestoten dan wordt dit als minder ernstig beoordeeld over een periode van 100 jaar vanaf nu. Zie voor toelichting Paragraaf 4.2.2.

[16] Dit heeft twee redenen: 1) We zijn uitgegaan van vermeden houtgebruik uit duurzaam beheerde bossen, waarbij geen afname van bos plaatsvindt en waar de CO_2-opname en -uitstoot in biomassa en bodem in balans is. Als illegale kap en ontbossing wordt vermeden dan is er wel degelijk een grotere vermeden CO_2-uitstoot. 2) De primaire productie (oogst) van hout en houtchips omvat relatief eenvoudige processtappen die tot weinig fossiele CO_2-uitstoot leiden: alleen door wat brandstof voor het onderhouden van het bos en zagen van het hout. Voor recycling zijn meer processtappen nodig en afhankelijk van de recyclemethode ook bindmiddelen, wat uitstoot oplevert. Hierdoor is de netto klimaatwinst van hergebruik en recycling zelf relatief klein en kan deze zelfs negatief uitvallen.

Figuur 11 - Netto klimaatimpact per ton houtafval, inclusief uitstoot van biogene CO_2 bij verbranding



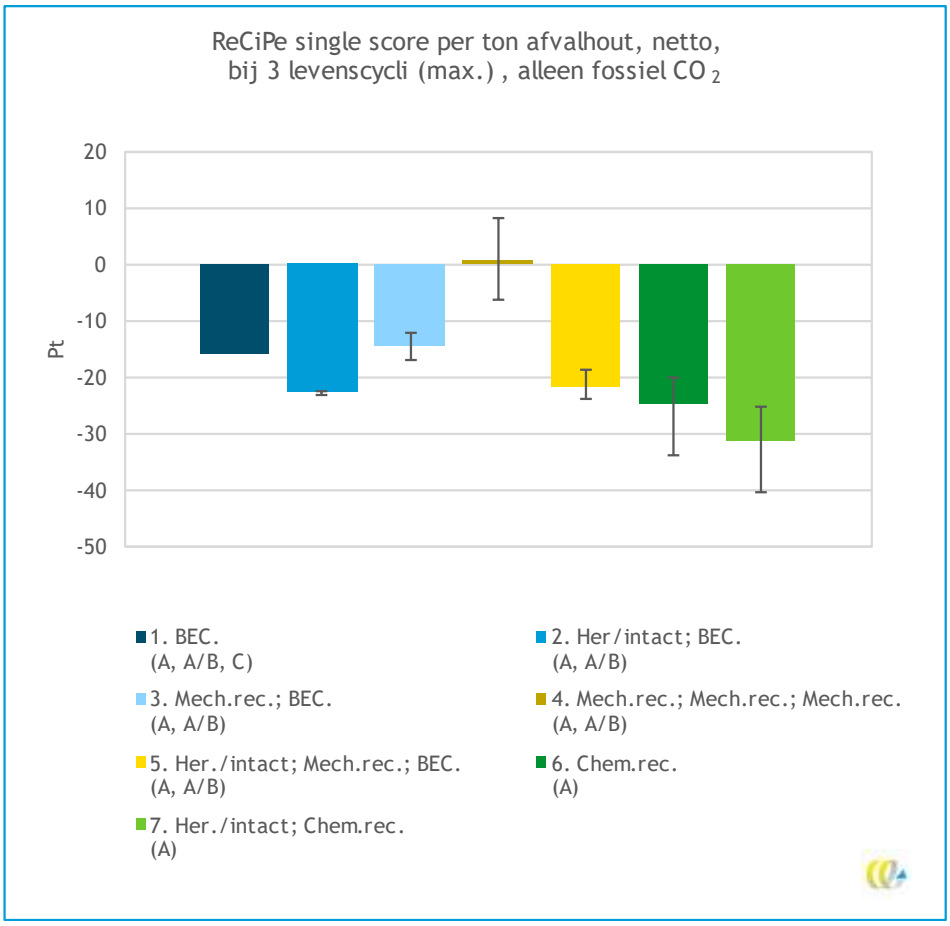
Verbranding (Scenario 1) levert dan een de grootst netto klimaatimpact. Hergebruik en recycling kunnen deze uitstoot tijdelijk tegengaan maar als er daarna toch verbrand wordt komt de CO_2 alsnog vrij. Wel levert hergebruik en recycling minder uitstoot op (Scenario's 2 en 3), of een netto klimaatwinst (Scenario's 4 en 5). Dat komt door de vermeden hout(chips)productie (in het geval van mechanische recycling) en door de uitgestelde CO_2-uitstoot. De klimaatimpact van chemische recycling verandert niet.

Bij chemische recycling als eindverwerking gaan we ervan uit dat de CO_2 vrijwel direct na recyclen vrijkomt. Suiker en lignine worden bijvoorbeeld toegepast als grondstof voor onder andere de productie van bioplastics, artikelen voor persoonlijke verzorging en chemicaliën. Dergelijke producten voor eenmalig gebruik en/of verpakking hebben over het algemeen een levensduur van minder dan een jaar, waardoor de CO_2 snel weer vrijkomt. Dit is een worst-casebenadering, die we aanhouden omdat nog niet alle details over de toepassing van de materialen uit chemisch recyclen bekend zijn.

4.5.4 Fijnstofvorming

Fijnstof zijn kleine deeltjes in de lucht die voor luchtwegproblemen kunnen zorgen. Stoffen die vooral bijdragen zijn ammoniak, stikstofoxides (NO_X en N_2O) en zwaveloxides (SO_x en S_2O). De fijnstofvorming van alle scenario's is weergegeven in Figuur 12. Het betreft het netto resultaat, waarin uitstoot van fijnstof en vermeden uitstoot is inbegrepen.
De resultaten in cijfers staan in Bijlage C.

Figuur 12 - Netto fijnstofvorming (PM2.5-eq.) van houtafvalverwerkingsscenario's, per ton houtafval



Wat opvalt in deze grafiek is:

- Scenario 1, verbranding met energieterugwinning levert een netto winst. Er is wel fijnstofuitstoot bij verbranding, maar de vermeden fijnstofemissie door vermeden aardgas- en kolenverbranding (voor elektriciteit) is groter[17].
- Eerst hergebruik of recycling als intact hout en later pas verbranding BEC levert een verbetering op ten opzichte van direct verbranden. Dit komt waarschijnlijk vooral door vermeden brandstof bij houtproductie en zaagstof.
- Scenario 3 en 4 tonen dat mechanische recycling gemiddeld neutraal is qua fijnstof-vorming: energieverbruik en (eventuele) bindmiddelverbruik levert een uitstoot op, maar die is van dezelfde orde als de vermeden fijnstofvorming.
- In Scenario's 6 en 7, met chemische recycling, valt de relatief grote vermeden fijnstofemissie op. Deze vermeden fijnstof komt voort uit de productie van suiker en glucose (de vermeden grondstoffen). Daarbij moet gezegd worden dat vooral het kleinste fijnstof (<2.5 µm) bijdraagt aan het resultaat. Kennelijk komt er bij suiker- en glucoseproductie fijnstof van de kleinste categorie vrij dan bij het zagen van hout. Het is niet goed te verklaren uit de milieukundige achtergrondgegevens tot onze

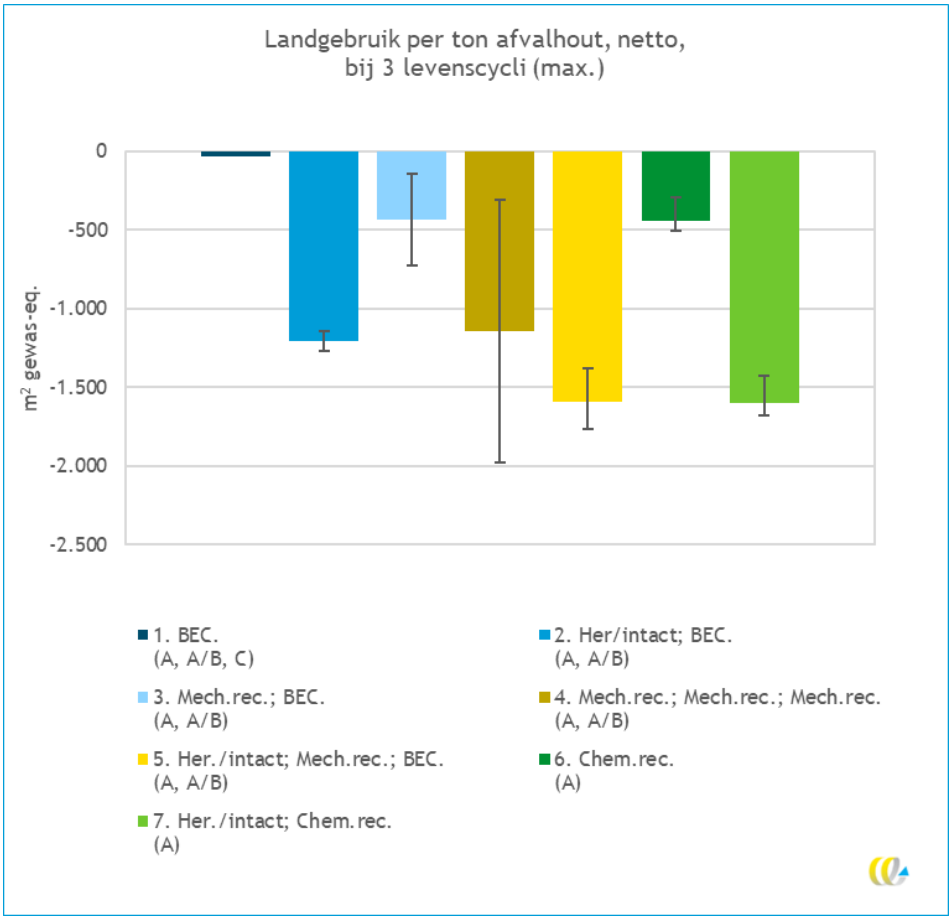
[17] De elektriciteitsmix van Nederland is gebaseerd op data van de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) van het PBL (2020b) en de daaraan gerelateerde actualisatie van de elektriciteitsmix in Nederland door CE Delft (2020). De milieu-impacts van deze elektriciteitsmix zullen naar verwachting de komende jaren stijgen, doordat momenteel een groter aandeel van de elektriciteit wordt opgewekt in kolencentrales.

beschikking, maar het zou kunnen komen door fossiel energieverbruik, en met name steenkool, bij suikerraffinage.

4.5.5 Landgebruik

Landgebruik gaat over de jaarlijkse behoefte aan land, in m^2. Het gaat om vruchtbaar land voor bosbouw en gewassen (suikerriet en -biet) en in mindere mate bezetting van land industrieterreinen, infrastructuur. Ook transformatie van natuur (bos, grasland, etc.) voor ingebruikname door de mens wordt meegenomen. De impact op landgebruik van alle scenario's is weergegeven in Figuur 13. De resultaten in cijfers zijn te vinden in Bijlage C.

Figuur 13 - Netto landgebruik (m^2a gewas-equivalent) van houtafvalverwerkingsscenario's, per ton houtafval



Landgebruik speelt geen rol bij verbranding (zowel landgebruik als vermeden landgebruik). Het speelt wel een rol bij het vermijden van hout en suiker. Met name het vermijden van massief hout door hergebruik/recycling als intact hout – Scenario's 2, 5 en 7 – leidt tot relatief veel vermeden landgebruik. De range in Scenario 4 wordt ook daardoor bepaald: het vermijden van massief hout is gunstiger dan het vermijden van houtchips, wat betreft landgebruik. Het vermijden van suiker/glucose (Scenario 6) en houtchips (Scenario 4, bovenkant van de range) levert minder vermeden landgebruik op.

4.5.6 Resultaten overige milieu-indicatoren

In Bijlage C staan de resultaten in cijfers, zonder bandbreedte, voor alle uitgerekende milieu-indicatoren. We zien veel negatieve cijfers, wat wil zeggen dat er veelal milieuwinst wordt behaald. Belangrijk om te realiseren is dat de daadwerkelijke (vermeden) schade door de meeste milieu-indicatoren klein is: de negen 'overige' milieu-indicatoren dragen minder dan 5% bij aan de single score-resultaten. Klimaatimpact is dominant in de schadebeoordeling, gevolgd door fijnstofvorming en landgebruik (ReCiPe single score, zie Paragraaf 4.5.2).

Verbranding van hout levert bij alle milieu-indicatoren minder impact op dan wordt vermeden door de opgewekte energie (dit vermijdt de productie en verbranding van fossiele brandstoffen).

Opvallend is dat de scenario's met chemische recycling tot relatief grote milieuwinsten leiden ten opzichte van de andere scenario's voor enkele milieu-indicatoren, bijvoorbeeld voor verzuring en ecotoxiciteit. Ondanks dat chemische recycling ook energie en hulp-stoffen vergt. Dit komt waarschijnlijk door het vermijden van brandstofgebruik bij suiker- en glucoseproductie. Wel plaatsen we weer de kanttekening dat het onzeker is of chemische recycling met de geïnventariseerde massabalans ook echt toepasbaar is op *post-consumer* hout.

Hergebruik of recycling als intact hout voorafgaand aan verbranding of chemische recycling leidt tot aanzienlijke extra milieuwinst. Voor mechanische recycling zien we een kleine extra netto milieuwinst of een relatief kleine netto milieu-impact (ten opzichte van de andere verwerkroutes). Zoals ook eerder aangegeven kan de impact omslaan in een winst als er weinig of duurzame energie wordt gebruikt of als het een product vermijdt dat even vaak meegaat. Ook speelt mee wat voor bindmiddel wordt gebruikt en of het vermeden product ook bindmiddel bevat of niet.

5 Conclusies

Verkenning van houtverwerkingsroutes en kosten

In een circulaire economie is een belangrijke rol voorzien voor hernieuwbare materialen zoals hout. Zowel voor energie, ter vervanging van fossiele energiedragers, als voor bouwmaterialen en producten. Uiteindelijk zal in een circulaire economie onze vraag naar zowel brandstoffen en grondstoffen moeten worden vervuld door hernieuwbare bronnen en duurzaam geproduceerde mineralen en ertsen.

De verkenning en visualisatie van resthout en verwerking ervan laat zien dat *post-consumer* hout voornamelijk terecht komt in de stroom A/B-hout.

Partijen die hout hergebruiken en/of recyclen zijn bereid om de inzamelaar te betalen voor A-hout en A/B-hout. De prijs hangt af van de kwaliteit van de aangeleverde batch hout. Inzamelaars zullen rekening moeten houden met een minimumkwaliteit: het faciliteren van op kwaliteit scheiden of het nasorteren van het hout. Daarvoor is ruimte nodig hebben en het brengt verwerkingskosten met zich mee.

Om A/B-hout in een BEC te laten verbranden moet een inzamelaar betalen, maar de eisen voor acceptatie van het hout zijn veel lager dan voor hergebruik en recycling. Inzamelaars hebben dus de afweging tussen alles direct naar de BEC, zonder extra moeite, of een deel naar hergebruik/recycling met extra moeite en kosten maar ook een hogere betaling voor dat deel. Er is zodoende sprake van concurrentie tussen hergebruik/recycling en energieopwekking.

Gezien de toenemende vraag naar hernieuwbare en secundaire brand- en grondstoffen wordt cascadering van belang gevonden: het materiaal zo lang mogelijk gebruiken voordat het als brandstof wordt ingezet. Met het A-hout zijn de meeste opties voor verwerking nog open. We zien ook dat recycle-initiatieven ontstaan die gebaat zijn bij zo schoon mogelijk resthout. Als A-hout gemengd wordt ingezameld met B-hout nemen de mogelijkheden af. Vanuit het principe van cascadering, ten behoeve van een circulaire economie, is het aan te raden om grootschalig(er) in te zetten op inzameling en/of sortering op kwaliteit van het hout. In Vlaanderen is gescheiden inzameling gangbaarder dan in Nederland. De kosten en werking van het systeem in Vlaanderen zijn niet nader onderzocht in deze studie[18].

Chemische recycling van hout is in ontwikkeling. Chemische recyclingtechnieken isoleren de lignine en cellulose in het hout en verwerken het tot grondstoffen voor de chemie zoals aromaten, bindmiddelen of suikers. Het hout verdwijnt als zodanig en het zijn daarmee verwerkingstechnieken aan het eind van de cascade. De mate van geschiktheid voor verwerking van A- en/of A/B-hout is nog niet bekend.

[18] Het nader onderzoeken van de kosten en werking van het systeem in Vlaanderen kan interessant zijn om in een vervolg op te pakken.

Milieukundige analyse

Cascadering lijkt in de meeste gevallen milieukundige voordelen te hebben boven direct verbranden. Hergebruik of recycling als intact hout heeft een duidelijk milieukundig voordeel, waarbij we opmerken dat we uitgegaan zijn van hergebruik of recycling als intact hout zonder ingrijpende opwerkprocessen[19]. Of er extra milieuwinst door cascadering is bij mechanische recycling hangt af van enkele factoren en bij de klimaatimpact of biogene CO_2 wel of niet is inbegrepen.

Klimaatimpact, het milieueffect dat de uitstoot van broeikasgassen uitdrukt, is het belangrijkste milieueffect als we kijken naar daadwerkelijke schade op basis van de weging binnen de milieuprijs. Daarna volgen fijnstofvorming en landgebruik. Andere milieueffecten dragen relatief weinig bij aan daadwerkelijke milieuschade, in de verwerkingsketen van hout.

Bij verbranding van hout met energieterugwinning wordt weinig[20] fossiel CO_2 uitgestoten. De inzet van elektriciteit en warmte opgewekt in een BEC voorkomt het gebruik van fossiele energiedragers voor energieopwekking. Om deze twee redenen leidt verbranding van hout tot een netto winst van fossiele CO_2 (klimaatimpact).

Bij verbranding van hout wordt echter wel CO_2 uitgestoten: CO_2 van biogene oorsprong, vastgelegd als koolstof in het hout, komt vrij. Deze CO_2 werd vaak al vele decennia terug door de boom opgenomen. Uitstoot van biogeen CO_2 draagt dus wel degelijk mee aan het huidige klimaatprobleem.

Door **hergebruik of recycling** blijft de koolstof langer vastgelegd in het hout. Het hout wordt dan pas verbrand na één of meerdere keren hergebruik of recycling (cascadering). Als we 20, 40 of 60 jaar uitgestelde **biogene CO_2** meerekenen dan leveren deze scenario's een duidelijke klimaatwinst op, groter dan directe verbranding zonder hergebruik of recycling. De **levensduur** van de geproduceerde hergebruikte en gerecyclede producten is wel van belang: als een product slechts eenmalig of enkele jaren meegaat is er geen noemenswaardige vastlegging en nauwelijks tot geen verschil met directe verbranding. Daarnaast is uitstel slechts uitstel: het levert later alsnog een CO_2-uitstoot op. Qua biogeen CO_2 is het beter om het hout helemaal niet (nooit) te verbranden.

Mechanische recycling levert niet altijd een **netto fossiele CO_2-**winst op. Om hout mechanisch te recyclen zijn processen nodig zoals het verspanen en het verwijderen van verontreinigingen zoals spijkers. Dit vergt wat energie (deels fossiel). Vaak wordt daarna een bindmiddel toegevoegd voor het maken van producten uit het hout. Welk soort hout vermeden wordt hangt af van de toepassing van het gerecyclede product: primaire houtchips (die ook gebonden moeten worden met bindmiddel), of houten planken.
Het milieuresultaat hangt af van deze drie (energie, bindmiddel en type vermeden hout). Primair hout uit duurzaam beheerde bossen heeft slechts een kleine fossiele CO_2-voet-afdruk, doordat bosbouw en bewerken relatief eenvoudige processen zijn met relatief weinig uitstoot per kg hout. Als illegale kap en ontbossing zou worden vermeden door de gerecyclede producten, dan is er wel degelijk een grotere vermeden CO_2-uitstoot omdat er CO_2 vrijkomt uit de bodem en de hoeveelheid biomassa vermindert door de landgebruiks-verandering.

[19] Uitganspunt is dat het hout herbruikbaar is via selectieve demontage waarbij het product apart wordt gehouden, en met eenvoudige ingrepen als zagen, schaven, schuren en lakken kan worden hergebruikt.
[20] Er is een verwaarloosbare hoeveelheid fossiele uitstoot afkomstig van lak en verf.

Chemische recycling van hout tot suikers en lignine is onderzocht. Dit procedé wordt nu toegepast op snoeihout; vermoedelijk is schoon *post-consumer* A-hout ook geschikt (mits beschikbaar). De eerste analyse is daarom nog onzeker, maar toont dat er potentieel milieuwinst (klimaat en andere milieu-indicatoren) te verwachten is. Er is een hogere impact voor productie dan bij mechanische recycling, maar het vermijden van (de productie van) suiker en glucose in het buitenland levert ook grote milieuwinst. Andere typen chemische recycling leveren andere grondstoffen op, dus de milieu-impact/winst zal daar weer anders voor zijn.

Bij andere milieueffecten zien we veelal eenzelfde beeld als hierboven geschetst, soms in wat extremere of minder extreme mate. Een uitzondering is landgebruik, waarbij we een duidelijk voordeel zien voor hergebruik of recycling als intact hout, mechanische recycling en chemische recycling.

6 Bibliografie

CE Delft, 2020. *Emissiekentallen elektriciteit,* Delft: CE Delft.
CE Delft, 2020. *Energie uit biomassa in AEC of BEC - Analyse milieueffecten,* Delft: CE Delft.
Cuperus, G., 2019. *Alternatieve toepassingen voor B-hout - Verkenning van de mogelijkheden,* sl: Rijkswaterstaat en RVO.
Gemax B.V., 2020. *Meer hergebruik en recycling van afvalhout,* sl: sn
ILCD, 2010. *International reference Life Cycle Data system (ILCD) - General guide for life cycle assessment - Detailed guidance,* sl: European Commission; Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability; Publications Office of the EU.
Ministerie EZK, 2021b. *Houtige biomassa in de SDE++,* Den Haag : Ministerie EZK.
PBL, 2020a. *CONCEPTADVIES SDE++ 2021 Verbranding en Vergassing van Biomassa,* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving..
PBL, 2020b. *Klimaat- en Energieverkenning 2020,* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
Rebel, 2021. *Actualisatie toekomstscenario's voor afvalverbranding in Nederland,* Rotterda,: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
Tauw, 2017. *Knelpuntenanalyse houtrecycling,* Utrecht: Tauw.
TNO, 2021. *Een verkenning van het potentieel van tijdelijke CO2-opslag bij houtbouw,* Utrecht: sn
VORM, 2020. *Manifest voor een eerlijk speelveld voor een duurzamer Nederland.* [Online] Available at: https://vorm.nl/nieuws/manifest-een-eerlijk-speelveld-voor-een-duurzamer-nederland

Bijlagen

A Informatie behorende bij Hoofdstuk 2, verwerkroutes

Tabel 8 bevat beknopte toelichtingen en verwijzingen naar extra informatie over de verwerkroutes; met name de hergebruik- en recycleroutes. De volgorde in de tabel is dezelfde als op de visualisatie in Figuur 2. In de kolommen (links naar rechts) is aangegeven om welke route het gaat, welk type afvalhout hiermee wordt verwerkt, welke bedrijven dit doen, in welk land de techniek al wordt toegepast, een literatuurverwijzing en een beknopte toelichting op de route. De literatuurverwijzing bestaat uit de code van de bron (I-V) en het paginanummer. In Tabel 7 staat welke bronnen bij welke code hoort.

Tabel 7 - Bronnen voor visualisatie

Code	
I	Cuperus, G., 2019. "Alternatieve toepassingen voor B-hout - Verkenning van de mogelijkheden". *In opdracht van Rijkswaterstaat en RVO.*
II	Persoonlijke communicatie met PreZero.
III	Persoonlijke communicatie met Renewi.
IV	Persoonlijke communicatie met Unilin.
V	Touw, 2017. Knelpuntenanalyse houtrecycling. *In opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.*

Tabel 8 - Verwijzingen naar meer informatie over hergebruik- en recycleroutes. Bm= massief B-hout; Bgg = gelijmd/geperst B-hout

Route	Type hout	Bedrijf	Locatie	Bron, pagina	Toelichting
Hergebruik of recycling als intact hout					
CLT (Cross Laminated Timber)	A, Bm	N.v.t.	DE	I9	Bouwmateriaal van overdwars verlijmde planken. Eerste proeven met afvalhout zijn gedaan in het VK. Nog geen commerciële productie.
Sloophoutproducten	Bm	N.v.t.		I7,9	Nu nog kleinschalig. Opschaling door middel van beleid en samenwerking met grote partijen is kansrijk.
Planken uit balken	A	N.v.t.	NL	I6	Balken die direct uit de sloop komen.
Mechanische recycling					
Spaanplaat	A/B	Onbekend Unilin	DE, BE	IV1, I8	
Producten van een mengsel van hout en rubber	A/B	Woodrub-project	5 EU-landen, niet NL	V108	Geluidsdemping, antislip en trilling dempende ondergronden voor industrie, wandpanelen, valonder-grond voor speeltuinen, straat-meubilair, gipsblokken met een del hout en rubber.

Route	Type hout	Bedrijf	Locatie	Bron, pagina	Toelichting
Klossen voor pallets en geperste pellets	A/B	Werzalit, Presswood Suez	DE, NL	I10	Blokken, geperst van houtspanen die gebruikt worden voor het maken van houten pallets.
Hout-kunststofcomposiet	A/B	Envirodeck	DE	I11	Plaatmateriaal voor diverse toepassingen. Mengsel van houtstof en kunststof.
Isolatieplaten met houtwol	A/B	Best Wood, Technostucen Warmgreen	EU, buiten NL	V110	
Papier/Karton	A/B	Geen, potentieel mogelijk	DE, NL	I11	Papierpulp komt vooral uit het buitenland. Er is één verpulper in NL.
3D-printing	A/B	Onbekend	Onbekend	I11	Nog in een vroeg stadium van ontwikkeling.
Laminaat	A/B	Unilin		IV1, I8	
MDF	A/B	Unilin	BE VK	I11 I14	Voor de producent in VK geen informatie bekend.
Substraat Glastuinbouw	A/B	Attero	NL	I11	Houtvezels mogelijke vervanger van veen.
Houtwolcement	A/B	TU Delft	NL	I11	Platen voor bijv. in plafonds.
Suikers, lignine	A/B	AkzoNobel, Avantium	NL	I12	Proefopstelling bioraffinage bij Avantium.
Bindmiddel uit afvalhout,	A/B	DSM, Fairf		I12	Het bindmiddel is ontwikkeld door DSM. Fairf gebruikt het middel in duurzame verfproducten.
Biobased Feedstock	A/B	DSM, Suez (Bio-forever)	NL	I12	Grondstoffen in de chemische industrie. 'feedstock' is een benaming voor grondstoffen die ook in het eindproduct terechtkomen (dus geen hulpstoffen).
Ultrakleine vezels (CNF)	A/B	Sappi (proef-fabriek)	NL	I12	De ultrakleine vezels voor CNF worden geproduceerd van cellulose uit afvalhout. CNF zit bijv. in verpakkingen, touchscreens en verf).
Aromaten	A/B	Project van RUG: BIO-BTX	NL	I12	Onbekend of overwogen wordt afvalhout mee te nemen in deze optie.
Melkzuur, Ethanol lignine,	A/B	Project Biobased Delta	NL	I12	Samenwerking van overheid, bedrijven, kennisinstellingen.
Benzeen, tolueen en xyleen (BTX), etheen, synthesegas	A/B	ECN, Dahlman (Milena-Olga-proces)		I12	BTX is een mengsel van benzeen, tolueen en xyleen.
Cellulosepanelen	Bgg	ECOR	NL	I11	Of spaanplaat en MDF als grondstof kunnen dienen wordt onderzocht.
Spaanplaat uit spaanplaat	Bgg	Unilin	BE	III1	

Route	Type hout	Bedrijf	Locatie	Bron, pagina	Toelichting
MDF van plaatmateriaal	Bgg	Unilin	BE	IV1	
Actiefkool uit MDF	Bgg	Cleantech Flanders Act&Sorb-proces	BE	III1	Actief kool wordt in de industrie gebruikt om water en lucht te zuiveren.

B Aannames en achtergrond-informatie mLCA

In Paragraaf 4.1 zijn de verschillende verwerkingsroutes geïntroduceerd die onderdeel zijn van de mLCA. In deze bijlage gaan we in op de aannames die aan de basis staan van de mLCA-berekeningen. Daarnaast beschrijven we per verwerkingsroute wat deze route inhoudt en van welke data we gebruik hebben gemaakt.

B.1 Algemene aannames

Binnen dit onderzoek werken we met enkele algemene aannames voor alle berekeningen:

- Verbranding van hout in een BEC en de energie die hiermee vermeden wordt, modelleren we voor alle verwerkingsroutes hetzelfde (zie Paragraaf B.2).
- Als voor verwerkingsroutes meerdere opties zijn onderzocht, nemen we in alle gevallen het ongewogen gemiddelde van deze opties. Als er bijvoorbeeld twee opties zijn voor dezelfde verwerkingsroute, worden deze allebei voor 50% meegenomen in het totaal.
- We houden rekening met verschillen in vochtigheid van secundair en primair hout.
- We houden rekening met verschillende verbrandingswaarden van schoon hout (A-, A/B- en B-hout), en vervuild hout (C-hout) en andere materialen/producten die vrijkomen uit de verwerking van afvalhout en verbrand worden. Hierbij gaan we uit van de lower heating value (LHV) van de materialen, die vastgesteld is binnen de Phyllis2-database.
- Allocatie van impacts binnen een proces vindt plaats op basis van de functie van het proces. Metalen zien we daarom als stoorstoffen, aangezien metaal wordt uitgesorteerd zodat het hout verder kan worden verwerkt (hoofdfunctie: hout beschikbaar maken voor verdere verwerking). De milieu-impact van het sorteren is zodoende volledig gealloceerd aan het hout (het doelmateriaal).
- Allocatie van impacts binnen multi-inputprocessen vindt plaats op basis van massa:
  - Per verwerkingsroute heeft elk materiaal per kilogram dezelfde impact.
  - Uitzondering hierop zijn processen die specifiek voor één type eindproduct worden toegepast. Zo alloceren we bijvoorbeeld aardgasverbruik voor het drogen van lignine uit chemische recycling alleen aan de fractie lignine, niet aan de fracties suiker en glucose die in een voorafgaand proces al onttrokken zijn van het hout.

B.2 Beschrijving en aannames verbranding van hout in BEC

Verbranding van hout in een BEC is geschikt voor alle soorten hout (A-, A/B- en C-hout). Bij C-hout moeten de rookgassen wel beter gefilterd worden, vanwege de extra stoffen die zich in C-hout bevinden.

Met afvalhout dat verbrand wordt in een BEC wordt energie opgewekt. Hiermee wordt primaire energieproductie vermeden. Deze vermeden impact berekenen we op basis van het Nederlandse elektriciteitsnet, zoals vastgesteld door CE Delft (2020) op basis van de Klimaat- en Energieverkenning 2020 (KEV) zoals deze is vastgesteld door het PBL (2020b). De milieu-impact van deze elektriciteitsmix zal naar verwachting op korte termijn stijgen, doordat momenteel een groter aandeel van de elektriciteit wordt opgewekt in kolencentrales. In de verdere toekomst is de verwachting dat de milieu-impact van de elektriciteitsmix daalt vanwege verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening. Een hogere

milieu-impact per kWh levert meer CO_2-reductie op en dus gunstiger resultaten voor verbranding van materiaal; een lagere milieu-impact per kWh levert minder CO_2-reductie op (ongunstiger voor verbranding).

B.3 Beschrijving en aannames mechanisch recyclen van hout

Mechanisch recyclen van hout is geschikt voor A- en A/B-hout. Ook gerecycled hout kan nogmaals mechanisch gerecycled worden, afhankelijk van de toepassing waarin het hout is ingezet.

Versnipperd hout wordt toegepast in spaanplaten en vermijd in die toepassing de productie van houtchips uit primair hout, waaruit spaanplaat doorgaans wordt gemaakt. Daarnaast wordt bij gebruik van gerecyclede houtchips ook wat verbranding van aardgas vermeden: primair hout bevat namelijk meer vocht (70%) dan secundair hout (25%) en moet worden gedroogd voordat het kan worden toegepast.

Versnipperd hout kan ook worden verwerkt tot producten die (producten uit) houten planken vermijden, zoals pallets of kistjes. Hiervoor wordt het hout gemengd met een bindmiddel. Omdat geperst hout lichter is dan primair gezaagd hout bij een gelijke draagkracht, vermijdt 1 kg geperst hout zo'n 1,7 kg primair gezaagd hout. Een punt waarop we een gevoeligheidsanalyse doen is het aantal keer gebruik of verschil in levensduur van zo'n gerecycled product versus een product uit primair houten planken. We tonen een range in de resultaten. Deze range wordt beïnvloed door:

- verschillende typen mechanisch recyclen;
- het type product dat vermeden wordt, en verschil in impact tussen productvarianten.

Het aantal keren dat de gerecyclede producten en de vermeden producten gebruikt kunnen worden.
De vermeden producten en range verschilt per recyclemethode en recyclers. De exacte achterliggende redenen zijn vertrouwelijke informatie van de verschillende recyclers.

Bij het vermijden van volhout zijn we zijn uitgegaan van hout uit duurzaam beheerde bossen. Er vindt geen landgebruiksverandering plaats (*land use change*), er is geen afname van het bos en er is een koolstofbalans in biomassa en bodem. Als illegale kap en ontbossing zou worden vermeden door de gerecyclede producten, dan is er wel degelijk een grotere vermeden CO_2-uitstoot omdat er CO_2 vrijkomt uit de bodem en de hoeveelheid biomassa vermindert door de landgebruiksverandering.

Voor de inventarisatie van deze toepassingen zijn diverse verwerkers van afvalhout betrokken.

B.4 Beschrijving en aannames chemisch recyclen van hout

Chemisch recyclen van hout is alleen geschikt voor A-hout. Hoewel verf geen probleem is, gaan we ervan uit dat chemische recycling (nog) niet op al eens gerecycled hout kan worden toegepast, omdat dit hout vaak vermengd is met bindmiddel. Op dit moment wordt chemisch recyclen nog niet toegepast op *post-consumer* afvalhout, maar op snoeihout uit bossen. De procesgegevens die we hebben ontvangen voor de (m)LCA zijn dus gebaseerd op schoon hout zonder verf, metaalresten (spijkers), of eventueel andere verstoringen.
Bij gebruik van *post-consumer* hout zijn massabalans en energieverbruik hoogstwaarschijnlijk anders. We verwachten dat er wellicht minder nuttige eindproducten worden geproduceerd, meer afval en dat er meer energie nodig is voor voorbereidende processen. De huidige analyse is dus een indicatie.

Bij het chemisch recyclen van hout worden onder andere pure glucose, suikers en lignine uit hout onttrokken. Pure glucose vermijd de productie van glucose uit zetmeel en suikers vermijden de productie van suiker uit suikerbiet of suikerriet (in deze studie hebben we gekozen voor suiker uit suikerbiet, als worst-case). Lignine kan mogelijk toegepast worden als (gedeeltelijke) vervanger van bitumen. Er wordt echter nog onderzoek gedaan naar de technische en financiële haalbaarheid hiervan. Daarom gaan we binnen dit onderzoek er nog vanuit dat lignine verbrand wordt in een BEC voor energieopwekking. Lignine vermijdt daarmee primaire energieproductie.

Na chemisch recyclen is er geen hout meer over, maar komen andere materialen vrij uit het hout. Er is daarna geen hergebruik of recycling van het hout meer mogelijk. Chemische recycling is daarmee een eindverwerking bij de cascadering van hout.

B.5 Beschrijving en aannames hergebruik van hout en recycling als intact hout

A- en A/B-hout kan worden hergebruikt of als intact hout worden gerecycled. We nemen aan dat hout eenmaal hergebruikt of intact gerecycled kan worden voordat het niet meer geschikt is voor hergebruik of intacte recycling. We hebben dus geen scenario's opgesteld met 2x hergebruik/recycling intact.

Helaas hebben we geen directe procesgegevens ontvangen van bedrijven die massief hout opwerken tot hergebruik of recycling als intact hout. Daarom maken we gebruik van inschattingen.

Indien apart gehouden, kan een deel van het A- en A/B-hout direct gebruik worden in nieuwe toepassingen, bijvoorbeeld als balken, palen of planken. Het hout wordt dus niet verspaand, zoals bij mechanische recycling. Hergebruik of recycling als intact hout vermijdt ruwe balken, palen of planken van primair hout. Met name hout uit de bouw is hiervoor geschikt. Er zullen bewerkingen nodig zijn als zagen, schaven en schuren. Maar ook primair hout heeft dit soort bewerkingen nodig (van stam tot balk of plank). Daarom gaan we ervan uit dat, ten opzichte primair hout, geen *aanvullende* bewerkingen nodig zijn. Opwerk-bewerkingen zijn dus niet inbegrepen in de analyse, ook niet bij het vermeden primaire hout.

B.6 Beschrijving en aannames sorteren van hout

Hout van particulieren en bedrijven kan worden gesorteerd, zodat A-, A/B- en C-fracties gescheiden worden of blijven. Zo kan het hout geschikt worden voor een verwerkroute hoger op de R-ladder (zie ook de visualisatie in Hoofdstuk 2). Vooral hout dat bij demontage van constructies wordt verkregen kan, door apart te houden of te sorteren, nog worden verwerkt via routes hoog op de R-ladder.

Tijdens het sorteren worden de grootste vervuilingen uit het hout ook verwijderd, waaronder metalen en andere niet-houtachtige materialen. Voor deze analyse werd data verzameld — energiebehoefte en massabalans — van enkele sorteerlocaties in Nederland.

C Resultaten mLCA, tabellen

In deze bijlage zijn alle resultaten van de mLCA-scenario's weergegeven.

C.1 Resultaten scenario's, voor alle milieu-impacts

In Tabel 9 zijn de resultaten van de scenario's voor alle milieu-impacts en de single score weergegeven, per ton houtafval. Een negatief getal representeert een netto milieuwinst; een positief getal representeert een netto milieu-impact.

Tabel 9 - Totale milieu-impacts van houtafvalverwerking van Scenario 1 t/m 7 voor alle ReCiPe midpoint milieu-impactcategorieën en de Single score, per ton houtafval

Impact categorie	Unit	1. BEC. (A, A/B, C)	2. Her/intact; BEC. (A, A/B)	3. Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	4. 3x Mech.rec (A, A/B)	5. Her./intact; Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	6. Chem.rec. (A)	7. Her./intact; Chem.rec. (A)
ReCiPe single score - klimaatimpact fossiel en met verrekening uitgestelde biogene CO_2-emissie	Pt	-16	-26	-18	-10	-29	-25	-35
ReCiPe single score - klimaatimpact alleen fossiel	Pt	-16	-23	-15	1	-21	-25	-31
Klimaatimpact - fossiel en met verrekening uitgestelde biogene CO_2-emissie	kg CO_2-eq.	-768	-1.068	-884	-494	-1.191	-527	-838
Klimaatimpact - fossiel en biogene CO_2-emissie bij verbranding en verrekening uitgestelde biogene CO_2-emissie	kg CO_2-eq.	578	179	384	-471	-18	-214	-573
Klimaatimpact - alleen fossiel	kg CO_2-eq.	-768	-848	-664	158	-749	-527	-619
Stratosferische ozondepletie	kg CFC_{11}-eq.	-3,18E-04	-3,87E-04	-2,89E-04	2,68E-05	-3,59E-04	-3,60E-03	-3,51E-03
Fijnstofvorming	kg PM2,5-eq.	-0,21	-0,44	-0,19	0,03	-0,41	-1,41	-1,58
Ioniserende straling	kBq ^{60}Co-eq.	-2,8	-4,0	-3,0	-1,1	-4,2	-1,6	-2,9
Ozonvorming (menselijke gezondheid)	kg NO_X-eq.	-0,44	-1,0	-0,49	-0,20	-1,06	-1,42	-1,95
Ozonvorming (ecosystemen)	kg NO_X-eq.	-0,46	-1,1	-0,52	-0,25	-1,13	-1,44	-2,01
Verzuring	kg SO_2-eq.	-0,46	-0,81	-0,31	0,36	-0,66	-6,35	-6,40
Vermesting van zoetwater	kg P-eq.	-0,03	-0,06	-0,04	-0,03	-0,06	-0,07	-0,09
Vermesting van zeewater	kg N-eq.	-1,63E-03	-4,17E-03	-1,08E-03	1,30E-03	-3,64E-03	-8,14E-01	-7,76E-01
Ecotoxiciteit van grond	kg 1,4-DCB	-247	-818	-196	102	-770	-3252	-3673
Ecotoxiciteit van zoetwater	kg 1,4-DCB	-0,13	-0,25	-0,15	-0,08	-0,27	-3,29	-3,25
Ecotoxiciteit van zeewater	kg 1,4-DCB	-1,2	-1,7	-1,1	0,30	-1,56	-3,00	-3,40
Menselijke toxiciteit (carcinogeen)	kg 1,4-DCB	-2,2	-4,3	-2,5	-1,3	-4,6	-9,2	-10,9
Menselijke toxiciteit (niet-carcinogeen)	kg 1,4-DCB	-98	-128	-82	27	-113	414	359

Impact categorie	Unit	1. BEC. (A, A/B, C)	2. Her/intact; BEC. (A, A/B)	3. Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	4. 3x Mech.rec (A, A/B)	5. Her./intact; Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	6. Chem.rec. (A)	7. Her./intact; Chem.rec. (A)
Landgebruik	m^2 gewas-eq.	-33	-1210	-434	-1.144	-1.591	-447	-1.603
Grondstofuitputting (mineralen)	kg Cu-eq.	-0,47	-0,77	-0,42	0,06	-0,72	-3,17	-3,33
Grondstofuitputting (fossiele grondstoffen)	kg olie-eq.	-262	-286	-195	144	-222	-183	-212
Waterverbruik	m^3	-2,2	-2,8	1,6	10,3	0,7	-18,3	-18,1

C.2 Impact en vermeden impact

De volgende tabellen tonen het netto resultaat in tabelvorm, en uitgesplitst naar impact en vermeden impact.

Tabel 10 - Single score en vermeden single score; per ton houtafval

Single Score - (klimaatimpact alleen fossiel CO_2)	1. BEC. (A, A/B, C)	2. Her/intact; BEC. (A, A/B)	3. Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	4. 3x Mech.rec (A, A/B)	5. Her./intact; Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	6. Chem.rec. (A)	7. Her./intact; Chem.rec. (A)
Impact	1,8	1,7	7,2	16	6,9	13	12
Vermeden impact	-18	-24	-22	-14	-28	-37	-42
Netto resultaat	-16	-22	-14	2	-21	-24	-30

Tabel 11 - Klimaatimpact en vermeden klimaatimpact (kg CO_2-eq.), per ton houtafval

Klimaatimpact	1. BEC. (A, A/B, C)	2. Her/intact; BEC. (A, A/B)	3. Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	4. 3x Mech.rec (A, A/B)	5. Her./intact; Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	6. Chem.rec. (A)	7. Her./intact; Chem.rec. (A)
Impact	7,9	7,5	197	540	187	460	437
Vermeden impact	-775	-791	-851	-354	-863	-985	-991
Netto resultaat	-767	-784	-654	186	-676	-525	-554

Tabel 12 - Fijnstofvorming en vermeden fijnstofvorming (PM2,5-eq.), per ton houtafval

Fijnstofvorming	1. BEC. (A, A/B, C)	2. Her/intact; BEC. (A, A/B)	3. Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	4. 3x Mech.rec (A, A/B)	5. Her./intact; Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	6. Chem.rec. (A)	7. Her./intact; Chem.rec. (A)
Impact	0,14	0,14	0,29	0,44	0,27	0,41	0,40
Vermeden impact	-0,34	-0,57	-0,46	-0,39	-0,68	-1,8	-1,9
Netto resultaat	-0,20	-0,43	-0,17	0,05	-0,41	-1,4	-1,5

Tabel 13 - Landgebruik en vermeden landgebruik (m^2a gewas-eq), per ton houtafval

Landverbruik	1. BEC. (A, A/B, C)	2. Her/intact; BEC. (A, A/B)	3. Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	4. 3x Mech.rec (A, A/B)	5. Her./intact; Mech.rec.; BEC. (A, A/B)	6. Chem.rec. (A)	7. Her./intact; Chem.rec. (A)
Impact	0,36	0,34	3,6	9,1	3,4	9,1	8,7
Vermeden impact	-32	-1.432	-403	-1.058	-1.784	-455	-1.833
Netto resultaat	-32	-1.432	-399	-1.049	-1.781	-446	-1.825