



KONINKLIJKE NEDERLANDSE AKADEMIE VAN WETENSCHAPPEN

VISIEDOCUMENT BIOBRANDSTOF EN HOUT ALS ENERGIEBRONNEN Effect op uitstoot van broeikasgassen

Inleiding

Het verbranden van olie, kolen en gas produceert CO₂ en andere broeikasgassen. Planten nemen tijdens hun groei juist CO₂ op. De Nederlandse en EU-wetgeving stimuleren daarom het gebruik van hout voor elektriciteitscentrales en van plantaardige biobrandstoffen (biodiesel en bio-ethanol) voor wegvervoer. Beleidsmakers horen uiteenlopende geluiden over de werkzaamheid van dit beleid. Dit document vat de opinie van onafhankelijke deskundigen hierover samen. Deze samenvatting geeft alleen de hoofdlijnen; de nuances zijn te vinden in de bronnen.¹ Dit document is ook geen overzicht van de totale energieproblematiek of van toekomstige ontwikkelingen. Het bespreekt alleen welk effect de regelgeving voor hout als brandstof voor kolencentrales en voor biobrandstoffen voor transport heeft op de uitstoot van broeikasgassen. Nieuwe technologieën kunnen de situatie veranderen; onderzoek daarnaar moet doorgaan.

Hout voor elektriciteitscentrales

De EU ziet hout en houtafval als een belangrijke vorm van duurzame brandstof. Dankzij de subsidie hierop² neemt in Nederlandse kolencentrales het gebruik toe van hout uit de V.S. en Canada³. Naarmate de vraag stijgt zullen meer bossen worden gerooid.⁴ Dat produceert veel broeikasgas, want hout produceert minstens evenveel CO₂ als steenkool.⁵ Nieuw geplante bomen kunnen deze CO₂ opnemen, maar ook als voor elke gerooidde boom een nieuwe wordt aangeplant duurt het 20 tot 100 jaar tot de uitgestoten CO₂ weer is vastgelegd.⁶

Meestook van hout leidt niet tot innovatie en de bijdrage aan de vermindering van CO₂-uitstoot is onzeker. Het is geen effectieve manier om de uitstoot van broeikasgas te verlagen.

Biobrandstof voor auto's

De productie van bio-ethanol en biodiesel voor verkeer en vervoer kent fundamentele problemen:

- *Het gebruik van planten voor energie is ineffectief*

Aardolie, gas en steenkool zijn ontstaan uit samengeperste planten en diertjes. Het zijn dus biobrandstoffen. Het aanmaken daarvan kostte echter vierhonderd miljoen jaar, want planten zijn heel inefficiënt in het vastleggen van zonne-energie. Planten en bomen leggen wereldwijd slechts 0,03% van de ingestraalde zonne-energie vast.⁷ Om 5% van onze benzine en diesel te vervangen door koolzaadolie moeten we heel Nederland ten noorden van de lijn Amsterdam-Enschede met koolzaad beplanten.⁸ Zonnecentrales kunnen veel meer zonne-energie vastleggen.⁹ Wetenschappelijk en economisch ligt de toekomst bij het **directe** gebruik van zonne-energie, langs fotonvoltaïsche of bio-organische weg.

- *Er is niet genoeg goede landbouwgrond*¹⁰

Biobrandstof concurreert met voedsel.¹¹ Vanwege gebrek aan grond wordt ongerepte grond ontgonnen zodat daar het voedsel kan worden geteeld dat door biobrandstof is verdrongen ('Indirect Land Use Change' ofwel ILUC). Dit ontginnen van natuurgebieden produceert veel broeikasgas. Dat maakt de nettowinst bij vervanging van fossiele door biobrandstof beperkt en onzeker.¹²

- *Biobrandstof concurreert met hoogwaardiger en urgenter gebruik van biomassa*

Zogenaamd 'afval' moet in werkelijkheid voor een groot deel teruggegeven worden aan de grond om de bodemvruchtbaarheid te behouden.¹³ Verder kan afval, en biomassa in het algemeen, beter worden gebruikt als grondstof voor veevoer en voor hoogwaardige chemie dan als brandstof. Door bioraffinage kunnen er eiwitten, vezels en materialen voor kunststoffen uit worden gehaald. Alleen onbruikbare restanten worden dan verbrand.¹⁴

Maar als gevolg van het verplichte gebruik van biobrandstof in Europa is bijvoorbeeld gebruikt frituurvet nu duurder dan vers vet.¹⁵ De oleochemische industrie gebruikt daarom als grondstof voor smeermiddelen, verf en zeep geen frituurvet meer, maar palmolie.¹⁶ Zo leidt het gebruik van frituurvet voor biodiesel tot het rooien van oerwoud voor oliepalmen.¹⁷



- *Fabriceren van biobrandstof kost brandstof*

Grondbewerking, bestrijdingsmiddelen, kunstmest, transport en het omzetten van planten in vloeistof kosten elektriciteit, aardgas en benzine. Daarbij gaat een deel van de CO₂-winst verloren. Als de verdringingseffecten worden meegerekend (Indirect Land Use Change, ILUC) produceren sommige biobrandstoffen meer broeikasgas dan gewone benzine.^{18 19}

Het is twijfelachtig of tweede-generatie biobrandstof uit plantenafval, gras en bomen een oplossing biedt. Het legt beslag op vruchtbare grond en water. Het telen, transporteren en vloeibaar maken van gras en hout kosten zelf brandstof, net als bij biobrandstof uit voedsel.²⁰ Biobrandstof uit algen biedt wat meer perspectief, maar de uitvoerbaarheid is onzeker.²¹

Conclusie

Het verbranden van hout in elektriciteitscentrales en van bio-ethanol en biodiesel in auto's draagt niet of nauwelijks bij aan besparing van CO₂-uitstoot. Daarom zijn ze niet geschikt als middel voor de transitie naar een duurzame energievoorziening.

De Europese regelgeving

De EU en Nederland stimuleren het gebruik van biobrandstof en hout. De veronderstelling is dat daardoor automatisch het gebruik van kolen en olie vermindert, net als meer water drinken het gebruik van frisdrank vermindert. Mensen nemen gemiddeld tot twee liter vloeistof per dag op.²² Maar het verbruik van brandstof en elektriciteit mist zo'n natuurlijke bovengrens. Zolang energie betaalbaar is zal het verbruik stijgen, bijv. voor airconditioning. De EU-regels staan onbeperkte CO₂-uitstoot door wegverkeer toe zolang ca. 10% van de benzine of diesel afkomstig is uit biobrandstof; de overige 90% komt dan uit aardolie.

De volumedoelstelling van de EU voor biobrandstoffen en de Nederlandse subsidie op meestook leiden dus niet automatisch tot reductie van CO₂ uitstoot. Ze hebben daarnaast ongewenste effecten zoals vernietiging van natuur en concurrentie met voedsel en met hoogwaardig gebruik van biomassa. Ook zijn kostbare controlesystemen nodig om de herkomst van brandstof en 'afval' te verifiëren. Dit is geen effectief systeem. Vermindering van de uitstoot van broeikasgassen vereist directe sturing op de uitstoot zelf.

Aanbevelingen

1. Bouw de verplichtingen voor biobrandstof af. Stel intussen hogere duurzaamheidseisen aan de herkomst van biomassa en eis transparantie daarover.
2. Bouw de bij- en meestooksubsidie voor hout in elektriciteitscentrales af.
3. Verhoog de kosten voor het uitstoten van broeikasgas.
4. Bevorder dat biomassa wordt gebruikt als grondstof voor hoogwaardige materialen (cascadering, biorefinery) i.p.v. voor energie.²³ Verbrand alleen restanten die nergens anders bruikbaar voor zijn.
5. Bevorder energie-efficiëntie en brandstofbesparing. Daar is veel winst te behalen.²⁴
6. Bevorder innovaties in het directe gebruik van zonne-energie (solar, bio-organisch).²⁵

Colofon

De KNAW publiceert soms korte visiedocumenten over actuele thema's waarover de wetenschap feiten naar voren kan brengen. Zo wil de KNAW bijdragen aan het maatschappelijk debat. 'Biobrandstof en hout als energiebronnen' is zo'n thema.

Dit visiedocument is opgesteld door de KNAW-leden prof. dr. M.B. (Martijn) Katan, prof. dr. L.E.M. (Louise) Vet en prof. dr. ir. R. (Rudy) Rabbinge.

Een concept is gereviewed door prof. dr. ir. J. (Johan) Bouma en prof. dr. L. (Lucas) Reijnders.



Belangrijke bronnen

- **EASAC 2012:** European Academies Science Advisory Council, 2012. The current status of biofuels in the European Union, their environmental impacts and future prospects. www.easac.eu/home/reports-and-statements/detail-view/article/the-current.html
- **FAO 2013:** Food and Agriculture Organization of the UN, 2013. Biofuels and the sustainability challenge. www.fao.org/docrep/017/i3126e/i3126e.pdf
- **FAO/OECD 2011.** FAO, IFAD, IMF, OECD, UNCTAD, WFP, the World Bank, the WTO, IFPRI and the UN HLTF. Price Volatility in Food and Agricultural Markets: Policy Responses. www.oecd.org/agriculture/pricevolatilityinfoodandagriculturalmarketspolicyresponses.htm
- **GEA 2012:** International Institute for Applied Systems Analysis, 2012 - Global Energy Assessment. Toward a Sustainable Future. www.globalenergyassessment.org Ch. 9.4.1.2 Biofuels, Ch. 9.6.4.3 Reducing the Carbon Intensity of Fuels, and Chapters 11 and 20
- **HLPE 2013:** High Level Panel of Experts, 2013. Biofuels and food security. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the UN Committee on World Food Security. [www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE 2013 Reports/HLPE-Report-5 Biofuels and food security.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_2013_Reports/HLPE-Report-5_Biofuels_and_food_security.pdf)
- **IEEP 2013:** The Institute for European Environmental Policy, 2013. The European Commission's proposal to mitigate indirect land use change from biofuels. www.ieep.eu/work-areas/climate-change-and-energy/2013/06/ieep-s-latest-reflections-on-the-european-commission-s-proposal-to-mitigate-indirect-land-use
- **IPCC-SSREN 2011:** IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. ET AL. (eds)]. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1-1075. <http://srren.ipcc-wg3.de/report>
- **JRC 2013:** European Commission, Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport, 2013. Carbon accounting of forest bioenergy. http://iet.jrc.ec.europa.eu/bf-ca/sites/bf-ca/files/files/documents/eur25354en_online-final.pdf
- **PBL 2013:** Ros, J.P., Minnen, J.G., Arets, E.J.M.M., 2013. Climate effects of wood used for bioenergy. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. www.pbl.nl/publicaties/klimaat-effecten-door-gebruik-van-hout-voor-bio-energie
- **UK 2008:** House of Commons, Environmental Audit Committee, 2008. Are biofuels sustainable? www.publications.parliament.uk/pa/cm200708/cmselect/cmenvaud/76/76.pdf
- **UNEP 2014:** United Nations Environment Programme. 2014. Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. A Report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. Bringezu S., Schütz H., Pengue W., O'Brien M., Garcia F., Sims R., Howarth R., Kauppi L., Swilling M., and Herrick J. Paris, France. <http://www.unep.org/resourcepanel/Publications/AreasofAssessment/AssessingGlobalLandUseBalancingConsumptionw/tabid/132063/Default.aspx>

¹ Zie hierboven onder **Belangrijke bronnen**

² Brief van minister Kamp (EZ) aan de Tweede Kamer over de SDE en SDE+. 11 november 2014 www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2014/11/11/kamerbrief-over-sde-2015.html

³ USDA Global Agricultural Information Network. EU Biofuels Annual 2014. The Hague, 2014 <http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual%20The%20Hague%20EU-28%207-3-2014.pdf>

Rác K et al. From Whence the Wood? Supply Chain Transparency and the Origin of Solid Biomass for Electricity Generation in the Netherlands. SOMO, June 2013. www.somo.nl/publications-en/Publication_3971

⁴ Agostini, A., Giuntoli, J., Boulamanti, A., 2013. Carbon accounting of forest bioenergy - Conclusions and recommendations from a critical literature review. Joint Research Centre of the European Commission, Ispra. P. 52: 'the amount of bioenergy from such residues (called indirect wood) is expected to be stable (or even to decrease slightly) while the wood sourced directly from the forest (from additional fellings, harvest residues, complementary



fellings, salvage loggings, etc.) is expected to increase by 50% between 2006 and 2020'. P 52: 'the new large pellets plants (such as Greencircle, Florida, 500 ktonnes; Waycross, Georgia, 750 ktonnes; Vyborskaya, Russia, 1000 ktonnes) will rely mostly on stemwood from dedicated bioenergy harvest as feedstock' http://iet.jrc.ec.europa.eu/bf-ca/sites/bf-ca/files/files/documents/eur25354en_online-final.pdf

De afspraken in het Energieaccord kunnen leiden tot het rooien van bijna 2000 km² bos. De subsidieerbare hoeveelheid elektriciteit uit hout voor grote centrales bedraagt 25 PJ/jaar (SER Energie-accord) gedurende 8 jaar, totaal 200 PJ. Omzetting van verbrandingswaarde naar elektriciteit is 40%, dus is vereist 500 PJ aan houtwarmte. Calorische waarde van hout is 19 GJ per ton (Aebiom Wood Fuels Handbook en Gower, S.T. et al, 1985. Aboveground energy production and distribution of southeastern hardwood swamp forests. Biomass 7, 185-197). Oude Amerikaanse bossen bevatten na 60 jaar 301 ton/ha (Gower, Biomass 1985), maar dergelijke bossen zouden juist gespaard worden. Nederlands bos (50/50 loof/naaldhout) bevat 229.8 m³ hout/ha (Schelhaas, Zesde Nederlandse Bosinventarisatie), overeenkomend met 150 ton/ha. Dan komt 500 PJ overeen met 175 439 ha bos of 1754 km². Daarnaast zullen kleine installaties ca 17 PJ/jaar elektriciteit uit hout produceren, wat in 8 jaar nog 340 PJ aan hout vereist.

Deze hoeveelheid hout vereist een subsidie van bijna 3,5 miljard euro. Berekening: de subsidie is het verschil tussen de geschatte groothandelsprijs elektriciteit 2014-2020 van €0,05/kWh (Hekkenberg, Nationale Energieverkenning 2014. ECN-O--14-036, P 109) en het basisbedrag SDE+ 2015 thermische conversie biomassa voor elektriciteit van € 0.1125 per kWh (Lensink S et al. Conceptadvies basisbedragen SDE+ 2015 voor marktconsultatie. Mei 2014. ECN-E-14-025 pag 6). Verschil is €0,0625 per kWh of $5.56 \cdot 10^{10} \cdot €0,0625 = € 3,472,222,222$. Wederom zijn de kosten van de kleine centrales niet meegenomen.

⁵ JRC 2013 p. 16: 'the combustion of woody biomass releases, in most cases, more CO₂ in the atmosphere, per unit of delivered energy, than the fossil fuels they replace. This is because biomass normally has less energy per kg of carbon and also lower conversion efficiency'

⁶ JRC 2013 p. 75: 'Most of the forest feedstocks used for bioenergy, as of today, are industrial residues, waste wood, residual wood (thinnings, harvest residues, salvage loggings, landscape care wood etc.) for which, in the short to medium term, GHG savings may be achieved. On the other hand, in the case of stemwood harvested for bioenergy purposes only, if all the carbon pools and their development with time are considered in both the bioenergy and the reference fossil scenario, there is an actual increase in CO₂ emissions compared to fossil fuels in the short-term (few decades). In the longer term (centuries) also stemwood may reach the fossil fuel parity points and then generate GHG savings if the productivity of the forest is not reduced because of bioenergy production.'

PBL 2013 p. 10: 'In many cases, it will take more than a century to realise a situation with the carbon losses in the forest equal to the carbon harvested.'

Bowyer, C, et al. (2012) The GHG emissions intensity of bioenergy: Does bioenergy have a role to play in reducing GHG emissions of Europe's economy? Institute for European Environmental Policy (IEEP): London. www.ieep.eu/assets/1008/IEEP_-_The_GHG_Emissions_Intensity_of_Bioenergy_-_October_2012.pdf

P. 5: 'increasing the intensity of forestry management and increasing biomass extraction rates over time will lead to a 'carbon deficit'. This then needs to be 'repaid' before the exploitation of bioenergy from such resources can deliver emission savings compared to burning fossil fuels.'

P 7: There are two important reasons why the net impact is often negative. One concerns the significant delay that is likely to occur in the onset of carbon sequestration on a scale additional to the payback of emissions comparable to those from the replaced fossil fuel system. This time period depends on the composition and history of the forest affected and the rate of acceleration of absorption of carbon from the atmosphere through re-growth compared to that in an unharvested forest. The second reason is that it is not sufficient to assume that consumption of bioenergy at time X is simply followed by an immediate period of regrowth until a GHG balance has been attained, as it is often assumed in life cycle assessments relying on a more schematic approach. In reality, successive episodes of bioenergy exploitation may well occur and keep creating a GHG emission debt so that the additive effects keep pushing the date for the eventual balance in GHG emissions further and further into the future.'

⁷ De zon straalt per jaar 4 miljoen ExaJoule aan energie op de aarde uit en planten en bomen leggen daarvan 1300 EJ vast, dus 0,03%.

IPCC SSREN 2011, p 172: 'On a global basis, it is estimated that RE accounted for 12.9% of the total 492 EJ of primary energy supply in 2008 (IEA, 2010a).'

p. 341: 'the amount of irradiance at the Earth's surface (land and ocean) that is theoretically available for energy purposes, has been estimated at 3.9×10^6 EJ/yr (Rogner et al., 2000; their Table 5.18)'

P 222: 'the total annual aboveground net primary production (NPP: the net amount of carbon assimilated in a time period by vegetation) on the Earth's terrestrial surface. This is estimated to be about 35 Gt carbon, or 1,260 EJ'... 'the global harvest of major crops (cereals, oil crops, sugar crops, roots, tubers and pulses) corresponds to about 60 EJ/yr'



⁸ Berekening:

1 ha koolzaad levert bruto 1.18 ton oil equivalent aan biodiesel (Janssens B. et al. Beschikbaarheid Koolzaad Voor Biodiesel. Rapport 6.05.07. Landbouw Economisch Instituut (LEI) 2005, Tabel 5.1).

Het productietraject vereist een investering van ca 0.5 ton per ton, dus 1 ha levert netto 0.59 ton. (Zah, R., 2007. Life cycle assessment of energy products: environmental impact assessment of biofuels - Executive Summary. Bundesamt für Energie BFE, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bundesamt für Landwirtschaft BLW., Bern, Figure 4: cumulated non-renewable energy demand voor rape ME CH is ca 56%.)

Het Nederlandse wegverkeer verbruikte in 2012 463 PJ aan brandstof (CBS).

1 PJ = 23 885 ton oil equivalent, dus 5% van het Nederlandse verbruik is 552 938 ton oil equivalent. Dat vereist 937 183 ha aan koolzaad als 1 ha netto 0.59 ton levert.

Dat is ca 67% van het landoppervlak ten noorden van de lijn Amsterdam-Enschede. (http://www.holland-info.nl/holland.php?page=provincies.nl&menu=menu_nl). De overige 33% is waarschijnlijk niet cultiveerbaar; Nederland heeft op een landoppervlak van 3 382 000 ha 1 895 194 ha cultuurgrond, dat is 56% [CBS].

⁹ IPCC SSREN 2011, P 342: 'resulting technical potentials for 2050 are 1,689 EJ/yr for PV <photovoltaics, dus zonnepanelen> and 8,043 EJ/yr for CSP <Concentrated Solar Power, bijv. centrales met holle spiegels>'

¹⁰ UNEP 2014, P. 5: 'the growing demand for food and non-food biomass could lead to a gross expansion of cropland in the range of 320 to 850 million hectares by 2050. Expansion of such magnitude is simply not compatible with the imperative of sustaining the basic life-supporting services that ecosystems provide'. P 13-14: "Major options to reduce cropland requirements and to relieve the social and environmental pressures associated with land use change include: <...> Delinking the markets for fuels and food by reducing the direct and indirect subsidization of fuel crops (including the reduction and phase out of biofuel quotas in consuming countries);'

Edwards, R., Mulligan, D., Marelli, L., 2010. Indirect land use change from increased biofuels demand - Comparison of models and results for marginal biofuels production from different feedstocks. European Commission Joint Research Centre, Ispra.

http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/land_use_change/study_4_iluc_modelling_comparison.pdf

Laborde, D., 2011. Assessing the land use change consequences of European biofuel policies. Carried out by the International Food Policy Institute (IFPRI) for the Directorate General for Trade of the European Commission. <http://trade.ec.europa.eu/doclib/html/148289.htm> <Zie Edwards 2010 voor een vergelijking van de uitkomsten van IFPRI met andere modellen.>

¹¹ FAO/OECD 2011 p. 10: 'biofuel production will exert considerable upward pressure on prices in the future.' P 27: 'world market prices of these products (and their substitutes) are substantially higher than they would be if no biofuels were produced. Biofuels also influence products that do not play much of a role as feedstocks, for example wheat'.

HLPE 2013 p. 107: 'It is the very expansion of the consumption of biofuels, their beginning to have an impact outside the frontiers of the major producers, either by reducing exports of food or by increasing imports, driving the increase of international prices, which can have a negative impact on food security, on poor importing countries, poor consumers.'

¹² EASAC 2012, p. 20: 'in most countries, using liquid biofuels instead of fossil fuels does not lead to a net reduction of greenhouse gas emissions.'

FAO 2013, p. 68: 'LCAs of the environmental impacts of biofuel production and consumption have shown a wide disparity in results, from net reduction in GHG emissions to a net increase'

IEEP 2013, P.1: ' When these additional emissions are taken into account, the potential GHG emissions savings arising from the use of biofuels rather than fossil fuels are reduced significantly (or in some case emissions could increase compared to fossil fuels)'

International Institute for Applied Systems Analysis, 2012. Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future, Cambridge University Press, Ch 9, P 601: CO2 emissions from direct and indirect land-use change are often neglected, tend to worsen GHG benefits, and add considerable uncertainties over the net GHG benefits of biofuels. Ch 9, p 602: 'biofuels currently available in the market place have questionable impact on GHG emissions'

Scharlemann, J.P.W., Laurance, W.F., 2008. How Green Are Biofuels?(Perspective). Science 319, 43–44. 'The findings of Zah et al. are striking (13). <...> nearly half (12 out of 26) of the biofuels—including the economically most important ones, namely U.S. corn ethanol, Brazilian sugarcane ethanol and soy diesel, and Malaysian palm-oil diesel—have greater aggregate environmental costs than do fossil fuels'



Searchinger, T., et al., 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319, 1238–1240. www.sciencemag.org/content/319/5867/1238.long Abstract: 'These analyses have failed to count the carbon emissions that occur as farmers worldwide respond to higher prices and convert forest and grassland to new cropland to replace the grain (or cropland) diverted to biofuels. <...> we found that corn-based ethanol, instead of producing a 20% savings, nearly doubles greenhouse emissions over 30 years and increases greenhouse gases for 167 years. Biofuels from switchgrass, if grown on U.S. corn lands, increase emissions by 50%.'

IPCC-SRREN 2011, Ch 9, p. 735: 'The total lifecycle GHG emissions of fuels critically depend on the sign and magnitude of direct and indirect LUC effects, which could potentially negate or exceed any GHG reduction benefit from the displacement of petroleum fuels by biofuels'. P 735-736 geven een grondig overzicht van de verdringingsproblematiek.

¹³ IPCC-SRREN 2011, ch 2, p 229: 'the cost of soil productivity loss may restrict residue removal intensity to much lower levels than the quantity of biomass physically available in forestry'

Schils R. 30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid. 2012. Alterra/Wageningen UR. P. 109: 'Een risico op verschraling van de bodem ontstaat bij een toename van het gebruik van primaire bijproducten uit de landbouw. Als gewasresten als stro of bietenloof worden afgevoerd zonder compensatie, komt de organische stofvoorziening van de bodem in de knel.'

¹⁴ Sociaal-Economische Raad, 2010. Meer chemie tussen groen en groei - De kansen en dilemma's van een biobased economy (No. 10/05). www.ser.nl/~media/db_adviezen/2010_2019/2010/b29279.ashx

¹⁵ Arup URS Consortium, 2014. Advanced Biofuel Feedstocks – An Assessment of Sustainability. Produced by the Arup URS Consortium for the Department for Transport (UK). P. 21: 'UCO <Used Cooking Oil> now trades at a 5- 20% premium <over virgin vegetable oils> stakeholders pointed towards evidence of fraud in reporting of volumes of UCO, and the perverse incentive created for artificially increasing the volumes of UCO in the market it was asserted by one stakeholder that other industries which use the same wastes and residues have been disadvantaged as a result of double counting incentives. The example of animal fats as used by the oleochemicals industry was given'

¹⁶ Voorlichtingsbureau margarine, vetten en oliën. Gebruikt frituurvet – de keten gesloten. Augustus 2012. Gebruikt frituurvet werd gebruikt voor productie van smeermiddelen, weekmakers voor kunststoffen, coatings en verven, inkt en oplosmiddelen. www.frituurvetrecyclehet.nl/resources/File/Factsheet%20Gebruikt%20frituurvet%202012.pdf

¹⁷ Bovendien zijn de beschikbare hoeveelheden afval te klein. Het Nederlandse wegverkeer kan maar 1 dag per jaar rijden op al het Nederlandse frituurvet. In 2012 werd 1.1% van het energieverbruik van verkeer en vervoer, goed voor 3.9 dagen rijden per jaar, geleverd door dubbeltellende biodiesel (FAME). Deze kwam voor ongeveer tweederde uit dierlijke vetten en talg en voor eenderde, dus 1.3 dag per jaar, uit gebruikt frituurvet. Bron: Nederlandse Emissie Autoriteit. *Naleving jaarverplichting 2012 hernieuwbare energie vervoer en verplichting brandstoffen luchtverontreiniging*. P. 26: 9119 TJ, of enkelgeteld 4560 TJ, geleverd door dubbeltellende FAME. P. 18: eenderde daarvan is frituurvet. Dat komt overeen 1520 TJ of 41 000 ton frituurvet. Op jaarbasis kan potentieel 44 000 ton worden ingezameld uit de horeca en 10 000 van particulieren. Het gebruik van 41 000 ton frituurvet in brandstof in 2012 benaderde dus al het maximaal haalbare. (www.frituurvetrecyclehet.nl/meest-gestelde-vragen).

Een grotere bijdrage van gebruikt frituurvet aan brandstofproductie is alleen mogelijk door import uit Azië. Dat kan fraude uitlokken; het labelen van nieuwe Indonesische palmolie als 'Used Cooking Oil' verhoogt de prijs ervan met 5-20%. (Bron: Arup URS Consortium, 2014, zie boven)

¹⁸ EASAC 2012 p. 20: 'using liquid biofuels instead of fossil fuels does not lead to a net reduction of greenhouse gas emissions'

GEA 2012 Ch 9.4.1.2 P 601: 'corn ethanol has twice as high lifecycle emissions as gasoline' P 602: 'biofuels currently available in the market place have questionable impact on GHG emissions'

IPCC-SRREN 2011, p 214: 'land use conversion and forest management that lead to a loss of carbon stocks (direct) in addition to indirect land use change (d+iLUC) effects can lessen, and in some cases more than neutralize, the net positive GHG mitigation impacts'

Hiederer, R. et al, 2010. Biofuels: a new methodology to estimate GHG emissions due to global land use change—A methodology involving spatial allocation of agricultural land demand, calculation of carbon stocks and estimation of N2O emissions. European Commission Joint Research Centre Report. <http://iet.jrc.ec.europa.eu/remea/biofuels-new-methodology-estimate-ghg-emissions-due-global-land-use-change-methodology-involving> Table 35: Indirect land use change (ILUC) leidt, afhankelijk van het gebruikte model, tot een extra productie van 34 tot 63 gram CO2 equivalenten per MJ energie. Table 36 and 37, alle modellen, ontginningseffecten gespreid over 20 jaar: In totaal leiden



biobrandstoffen tot een netto uitstoot van 56 tot 111 gram CO₂ equivalenten per MJ energie. Fossiele benzine en diesel produceren een well-to-wheel uitstoot van 83-87 gram CO₂ equivalenten per MJ energie. Het is dus onzeker of vervanging van benzine en diesel door biobrandstof de uitstoot van broeikasgassen zal verminderen of juist vermeerderen: de uitstoot is 56/85 tot 111/85 dus 65% tot 130% van die van benzine of diesel.

¹⁹ De Europese doelstellingen eisen een uitstootverlaging t.o.v. fossiele brandstof van minimaal 35% en die limiet wordt de komende jaren strenger. In de berekening van de uitstootverlaging worden echter belangrijke bronnen van broeikasgasproductie niet meegenomen. Gezaghebbende deskundigen schatten dat vervanging van fossiele door biobrandstof leidt tot tussen de 35% minder en de 30% méér broeikasgas [Zie Hiederer et al, 2010, hierboven]

²⁰ EASAC 2012, p. 15: 'Some second-generation technologies appear to offer much improved reductions in greenhouse gas emissions. However, they will not be in fullscale production before 2020 and the anticipated improvements remain to be demonstrated at the commercial scale.'

GEA 2012 Ch 9.4.1.2, P 602: 'recent studies question the economic viability of second generation biofuels and point out that these biofuels compete with food production, too'

Sims, R.E.H., Mabee, W., Saddler, J.N., Taylor, M., 2010. An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource Technology* 101, 1570–1580. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409015508. P. 1578: 'full commercialisation of either biochemical or thermo-chemical conversion routes for producing 2nd-generation biofuels appears to remain some years away. This is in spite of several decades of research and development, and more recent investment in several pilot-scale and demonstration plants in US, Europe and elsewhere. Even with generous government subsidies, the commercial risks remain high'

Richard Doornbosch and Ronald Steenblik. Biofuels: is the cure worse than the disease? Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD / OESO) Round Table on Sustainable Development. Paris, 11-12 September 2007. www.oecd.org/dataoecd/9/3/39411732.pdf p 5: 'As second-generation technologies are still in the demonstration phase, it remains to be seen whether they will become economically viable over the next decade, if ever. Even with positive technological developments there are serious doubts about the feasibility of using residue material as biomass feedstock on a large scale. The logistical challenge of transporting biomass material to large production facilities is likely to impose a floor below which production costs cannot be lowered. This leads some to believe that the second-generation biofuels will remain niche players, produced mainly in plants where the residue material is already available in situ, such as bagasse (cellulosic residue from sugarcane pressing) and wood-process residues.'

The Costs Of Biofuels. Two views on whether corn ethanol and, eventually, ethanol from cellulosic biomass will efficiently deliver national energy security. *Chemical & Engineering News*. December 17, 2007. Volume 85, Number 51 pp. 12-16. <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/85/8551cover.html>

²¹ Reijnders, L., 2013. Lipid-based liquid biofuels from autotrophic microalgae: energetic and environmental performance. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment* 2, 73–85. doi:10.1002/wene.29 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wene.29/full> P 81: 'assumptions about the future impact of proposals for improving energy return on investment seem overly optimistic. In other cases, the impact of proposals for improvement of EROI is highly uncertain because research is at an early stage. So, prospects ... appear to be largely dependent on breakthroughs in production technology which may, or may not, occur.'

IPCC SSREN 2011, Ch. 2, p 304: 'The prospects of algae-based fuels and chemicals are at this stage uncertain, with wide ranges for potential production costs reported in the literature'

Scott, S.A., Davey, M.P., Dennis, J.S., Horst, I., Howe, C.J., Lea-Smith, D.J., Smith, A.G., 2010. Biodiesel from algae: challenges and prospects. *Current Opinion in Biotechnology* 21, 277–286. https://course.ku.ac.th/lms/files/resources_files/3900/130564/biodiesel_from_algae-challenges_and_prospects_2010.pdf 'Life-cycle analyses suggest that – using current methodologies – the process is marginal in terms of positive energy balance and global warming potential. Prospective schemes for the scale-up of algal production need to be informed by careful process modeling and LCA from the design stage. Without careful assessment of the energy balances and environmental impacts, there is a danger that many proposed schemes would be nonsensical from the point of view of sustainability. Moreover the lack of data from real-life demonstrations means that economic assessments are essentially hypothetical, and there is a pressing need to conduct pilot studies at a realistic scale and under prevailing weather conditions, so as to assess productivities likely to be achieved in practice.'

Sander, K., Murthy, G.S., 2010. Life cycle analysis of algae biodiesel. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15, 704–714. www.rshanthini.com/tmp/DPR514/Module07_LifeCycleAnalysis_of_algae_biodiesel.pdf P. 704: 'The potential of green algae as a fuel source is not a new idea; however, this LCA and other sources clearly show a need for new technologies to make algae biofuels a sustainable, commercial reality.' (Zij vinden dat biodiesel uit algen meer brandstof kost dan het oplevert. Alleen als algen naast biodiesel andere waardevolle bestanddelen opleveren wordt het proces de moeite waard.)



Lardon, L., Hélias, A., Sialve, B., Steyer, J.P., Bernard, O., 2009. Life-cycle assessment of biodiesel production from microalgae. *Environmental science & technology* 43, 6475–6481.
https://wiki.umn.edu/pub/Biodiesel/WebHome/life_cycle_assesment_of_biodiesel_form_micro_algae.pdf P. 6280: 'algal biodiesel suffers from several drawbacks at the current level of maturity of the technology. In comparison to conventional energetic crops, high photosynthetic yields of microalgae significantly reduce land and pesticide use but not fertilizer needs. Moreover, production, harvesting, and oil extraction induce high energy consumption, which can jeopardize the overall energetic balance. It appears that even if the algal biodiesel is not really environmentally competitive under current feasibility assumptions, there are several improvement tracks which could contribute to reduce most of its impacts.'

²² Meinders, A.-J., Meinders, A.E., 2010. Hoeveel water moeten we eigenlijk drinken? *Ned Tijdschr Geneesk* 154, A1757. De gemiddelde vochtopname is 1.5-2 liter per dag.

²³ Sociaal-Economische Raad, 2010. Meer chemie tussen groen en groei - De kansen en dilemma's van een biobased economy (No. 10/05). https://www.ser.nl/~media/db_adviezen/2010_2019/2010/b29279.ashx

A. Brinkmann. Biomassa als grondstof of als brandstof - praktijkvoorbeelden van ongewenste concurrentie om Nederlandse biomassastromen. Mei 2014. In opdracht van Greenpeace Nederland, Stichting Natuur & Milieu, IUCN – National Committee of the Netherlands en Wereld Natuur Fonds.
www.natuurenmilieu.nl/media/1131057/concurrentie-om-biomassa-nederlandsepraktijkvoorbeelden.pdf

²⁴ IPCC-SRREN, p. 663.

²⁵ Daarnaast vindt onderzoek plaats naar vele andere technologieën die de uitstoot van broeikasgas zouden kunnen verminderen, waaronder opslag van CO₂ (eventueel in vaste verbindingen), kernfusie, geothermische energie, waterkracht, wind, getijden etc. etc. Bespreking daarvan valt buiten het bestek van dit document.