

Platform

Groene Grondstoffen



Biomassa
in de
Nederlandse
energiehuishouding
in 2030

januari 2006

Biomassa in de Nederlandse energiehuishouding in 2030

L.P.L.M Rabou en E.P. Deurwaarder
ECN

H.W. Elbersen en E.L. Scott
WUR, A&F



Januari 2006

Voorwoord

In april 2005 is het Platform Groene Grondstoffen ingesteld in het kader van het energietransitiebeleid van de overheid. Het platform heeft als doel het bevorderen van een omschakeling van het gebruik van fossiele grondstoffen naar hernieuwbare of “groene” grondstoffen. Hiermee wordt Nederland minder afhankelijk van fossiele grondstoffen die eindig zijn en waar we voor de levering afhankelijk zijn van politiek minder stabiele regio's. Ook draagt de omschakeling belangrijk bij aan het terugdringen van de Nederlandse broeikasemissies die tot klimaatverandering leiden. En de omschakeling biedt kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven. Met name de sectoren agro, food, chemie en haven/logistiek kunnen hun positie hiermee versterken.

Het Platform Groene Grondstoffen heeft een visie ontwikkeld, waarin in 2030 30% van de fossiele grondstoffen vervangen worden door groene grondstoffen, als volgt verdeeld over de verschillende eindtoepassingen:

- 60% vervanging bij transportbrandstoffen,
- 25% vervanging voor de productie van chemicaliën en materialen,
- 17% vervanging bij het warmteverbruik,
- 25% vervanging bij het elektriciteitsverbruik.

Hierbij gaat het platform uit van een scenario waarin energiebesparing centraal staat. Daarnaast beseft het platform dat Nederland een beperkt landbouwareaal heeft en een begrensde hoeveelheid bijproducten en dat zeker 60-80% van de benodigde groene grondstoffen geïmporteerd moeten worden.

Om beter zicht te krijgen op wat er nodig is om bovenstaande ambitieuze visie te realiseren, heeft het Platform aan ECN en WUR de opdracht verstrekt om een analyse te maken van het huidige grondstoffengebruik voor onze energievoorziening en de verwachte energievoorziening in 2030, de inpasbaarheid van groene grondstoffen in die energievoorziening en inzicht in de beschikbaarheid van biomassa voor het realiseren van die visie.

Dit rapport geeft naar de mening van het Platform op zeer gestructureerde en gedegen wijze inzicht in het huidige en toekomstige grondstoffenverbruik. Dat de door ECN en WUR als haalbaar ingeschatte inzet van groene grondstoffen per toepassing soms afwijkt van de ambitie van het platform, is voor het Platform aanleiding voor verdere discussie. Worden de knelpunten die ECN en WUR signaleren herkend door andere experts? Kunnen ze met gerichte maatregelen dusdanig worden weggenomen dat de ambities toch gerealiseerd kunnen worden? Hier pakt het Platform Groene Grondstoffen de handschoen weer op. De werkgroepen binnen het Platform gaan aan de slag met het opstellen van een implementatieagenda en zullen hierbij de knelpunten in de haalbaarheid van de ambities verder onderzoeken. Dit rapport biedt een goede basis voor verdere discussie, wanneer u hieraan wil bijdragen kunt u uw reactie sturen naar groenegrondstoffen@senternovem.nl.

Paul Hamm
Voorzitter Platform Groene Grondstoffen

Inhoud

Voorwoord.....	3
Inhoud.....	4
Samenvatting.....	5
1 Inleiding.....	7
2 Energiehuishouding Nederland, situatie in 2000.....	8
2.1 Aardgas.....	8
2.2 Aardolie en aardolieproducten.....	9
2.3 Steenkool en steenkoolproducten.....	10
2.4 Elektriciteit.....	11
2.5 Overige energiedragers.....	11
2.6 Samenvatting verbruik.....	12
2.7 Niet-energetisch finaal verbruik energiedragers.....	14
3 Biomassa, Nederlandse situatie in 2000.....	16
3.1 Bruto beschikbaarheid van biomassa in Nederland.....	16
3.2 Nederlandse biomassa flux en verbruik in 2000.....	18
4 Energiehuishouding Nederland, prognose voor 2030.....	21
4.1 Huishoudens.....	21
4.2 Diensten en landbouw.....	22
4.3 Transport.....	22
4.4 Raffinaderijen.....	22
4.5 Industrie.....	23
4.6 E- en W-bedrijven.....	23
4.7 Energiebalans.....	24
5 Bijdrage biomassa, Nederlandse situatie in 2030.....	27
5.1 Elektriciteit en warmte.....	27
5.2 Transport en raffinaderijen.....	29
5.3 Industrie en cokesfabrieken.....	30
5.4 Biomassa vraag in 2030.....	33
6 Aanbod biomassa in 2030.....	35
6.1 Nederlandse primaire productie.....	35
6.2 Biomassa bronnen.....	36
6.3 Biomassa ontwikkelingen.....	37
7 Conclusies.....	42
Referenties.....	44
Bijlage A: Calorische waarde energiedragers.....	46
Bijlage B: Potentiële biomassa substitutie in de chemische industrie.....	48
Introductie.....	48
Concept A: niet-gefunctionaliseerde grondstof.....	50
Concept B: productie van gefunctionaliseerde chemicaliën.....	50
Conclusie.....	53

Samenvatting

Deze studie is uitgevoerd door het Energie onderzoek Centrum Nederland ECN en Wageningen Universiteit & Researchcentrum WUR, in opdracht van het Platform Groene Grondstoffen. De studie is bedoeld ter onderbouwing van de ambitie van het Platform, om in 2030 in Nederland 30% van de fossiele energiedragers te vervangen door biomassa. Uitgangspunten zijn een totaal verbruik aan primaire energiedragers van 3000 PJ en bijdragen van biomassa van 60% bij transport, 25% bij elektriciteitsproductie, 25% bij grondstoffen voor chemie, materialen en producten en 17% bij warmte.

De studie geeft een overzicht van de Nederlandse energiebalans, met de rol van verschillende energiedragers, op basis van gegevens voor het jaar 2000 en een schatting voor het jaar 2030. Voor de situatie in 2030 volgt daarna een analyse van de mogelijke rol van biomassa.

De studie geeft ook een overzicht van de Nederlandse import, export en productie van biomassa in 2000 en een schatting van de ontwikkelingen daarin tot 2030.

De analyse van het energieverbruik en de mogelijke rol van biomassa levert de volgende conclusies:

- Een totaal verbruik aan primaire energie van 3000 PJ in 2030 is lager dan op basis van huidige ontwikkelingen mag worden verwacht. Er is een extra inspanning nodig om dat niveau te bereiken.
- Een belangrijke beperking in de mogelijkheden om biomassa in te zetten wordt gevormd door de inertie van de infrastructuur die tussen nu en 2030 niet geheel afgeschreven kan worden en die momenteel geheel op fossiele grondstoffen is afgestemd.
- Een 60% aandeel van biomassa bij transport is een erg ambitieus, gezien het beleid om energieverbruik door transport te beperken. Een 40% aandeel brengt de benodigde inspanning meer in overeenstemming met die voor andere toepassingen.
- Een 25% aandeel van biomassa bij de productie van elektriciteit is alleen mogelijk bij volledige vervanging van een aantal basislast centrales op kolen of aardgas door centrales op biomassa. Via bijstoken blijft het aandeel beperkt tot ongeveer 10%. Dit aandeel kan hoger zijn als de rol van windenergie veel kleiner wordt dan nu is voorzien.
- Een 25% of zelfs iets hoger aandeel van biomassa bij grondstoffen voor chemie, materialen en producten is mogelijk, maar vereist nog veel ontwikkeling, meer dan bij andere toepassingen.
- Een 17% aandeel van biomassa bij warmte vergt de ontwikkeling van technologie en de bouw van installaties voor grootschalige productie van synthetisch aardgas (SNG). Een groter aandeel dan 17% is dan ook mogelijk.
- Voor een aantal sectoren is de techniek nu al beschikbaar, of zover gevorderd, dat bij voortgaande ontwikkeling dat ruim voor 2030 het geval zal zijn. Met name op het gebied van grondstoffen voor chemie, materialen en producten is nog veel onderzoek en ontwikkeling nodig.
- In de chemische industrie zijn er verschillende opties om grondstoffen uit fossiele energiedragers te vervangen. Biosyngas kan syngas ($\text{CO} + \text{H}_2$) uit aardgas vervangen of als grondstof voor het Fischer-Tropsch proces dienen. Bio-ethanol kan als grondstof voor ethyleen dienen. Via bioraffinage zijn uit biomassa componenten af te scheiden waaruit o.a. gefunctionaliseerde chemicaliën te produceren zijn. Deze laatste twee opties kunnen naast een besparing op grondstoffen een extra besparing van leveren dankzij een

lagere behoefte aan procesenergie. ECN schat deze extra besparing in op maximaal 20 PJ, WUR op 40 PJ tot 80 PJ.

- Op basis van de door het Platform Groene Grondstoffen aangegeven verdeling zou het aandeel van biomassa in de Nederlandse energiebalans uitkomen op 28,4%. Als ook de besparing op procesenergie in raffinaderijen en industrie wordt meegeteld, komt het totaal op 30%.
- Volgens de huidige analyse zou het aandeel van biomassa in de Nederlandse energiebalans beperkt blijven tot 21,4%. Inclusief besparing op procesenergie wordt dat 23%. Dit lagere resultaat is te wijten aan verlaging van het aandeel bij transportbrandstoffen van 60% tot 40% en aan een aandeel van slechts 10% in plaats van 25% bij elektriciteit.
- Extra inzet van biomassa voor warmte, in de vorm van procesenergie of SNG, is een relatief eenvoudige manier om het aandeel van biomassa in de Nederlandse energiebalans dichterbij 30% te brengen.
- Een biomassa aandeel van 23% vergt ruim 900 PJ aan biomassa, dat is ongeveer 60 miljoen ton droge stof. Voor een aandeel van 30% is ongeveer 1200 PJ aan biomassa nodig, dat is ongeveer 80 miljoen ton droge stof.

De analyse van het biomassa aanbod levert de volgende conclusies:

- Het bruto verbruik van biomassa (alle kort-cyclische organische stromen) in Nederland, berekend als import - export + nationale primaire productie, was in 2000 gelijk aan $32,8 - 21,5 + 31,0 = 42,3$ Mton. Uitgedrukt in energie was dat $620 - 405 + 527 = 742$ PJ. Dat komt overeen met 24% van het Nederlandse verbruik aan primaire energie in 2000. Slechts een deel van deze organische stromen kan ook daadwerkelijk beschikbaar komen voor energie en grondstoffen voor chemie, materialen en producten.
- Aan primaire bijproducten komt naar schatting in 2030 in Nederland maximaal 6 miljoen ton droge stof beschikbaar, dat is ongeveer 100 PJ.
- Aan secundaire en tertiaire bijproducten komt in 2030 in Nederland ongeveer 12 miljoen ton droge stof beschikbaar, dat is ongeveer 200 PJ.
- Om deze bijdragen te realiseren, is specifieke aandacht nodig voor het opzetten van een efficiënte infrastructuur. Voor primaire bijproducten geldt dat nog in sterkere mate dan voor secundaire en tertiaire bijproducten. Hierbij is het van groot belang om aan te sluiten bij efficiënte recycling van nutriënten en landschapsonderhoud.
- Via specifieke teelt voor energie en grondstoffen kan naar schatting tot 9 miljoen ton droge stof beschikbaar komen, dat is ongeveer 150 PJ. Deze bijdrage is onzeker en sterk afhankelijk van overheidsbeleid. Naast directe energieteelt biedt de productie van multifunctionele gewassen, waarbij door middel van bioraffinage voedsel componenten en verschillende non-food grondstoffen worden geproduceerd, een optie om deze potentie te ontsluiten.
- De maximale binnenlandse beschikbaarheid van biomassa is 450 PJ. Extra import van minstens 450 PJ biomassa is dus nodig om een biomassa aandeel van 23% te realiseren. Dat komt neer op ongeveer 30 miljoen ton.

1 Inleiding

Het Platform Groene Grondstoffen heeft als doel de verduurzaming van het Nederlandse grondstoffengebruik in gang te zetten en te demonstreren. In het platform zitten vertegenwoordigers van de overheid, het bedrijfsleven en onderzoeksinstellingen. Een belangrijk onderdeel van de activiteiten van het platform is het ontwikkelen van een visie op de toekomstige inzet van groene grondstoffen ter vervanging van fossiele grondstoffen en het definiëren van transitiepaden om tot die inzet te komen.

De leden van het Platform Groene Grondstoffen willen inzicht hebben in de huidige en toekomstige stromen van organische grondstoffen en producten in Nederland. Dit levert inzicht in de potentiële beschikbaarheid en toepasbaarheid van biomassa in Nederland voor energie en chemie voor de huidige situatie en die in 2030.

Het Platform heeft aan ECN en WUR Agrotechnology and Food Innovations B.V. de opdracht gegeven om de situatie in 2000 in kaart te brengen en een prognose van de situatie in 2030 te geven. Met name is de vraag te analyseren hoe realistisch het eerder uitgesproken ambitieniveau is, om in 2030 in Nederland 30% van de fossiele brandstoffen en grondstoffen te vervangen door alternatieven uit biomassa.

Deze studie is vooral bedoeld om antwoord te geven op de vraag hoeveel biomassa nodig is, hoeveel er is, en of zo'n groot aandeel biomassa in te passen is in de Nederlandse energiehuishouding in 2030. Duurzaamheid en economische haalbaarheid komen hoogstens zijdelings aan de orde. In de huidige condities is vervanging van fossiele energiedragers door biomassa economisch niet of nauwelijks rendabel. Omdat de Nederlandse en Europese overheden het belang van een ontwikkeling naar een duurzame energievoorziening erkennen, stimuleren ze het gebruik van biomassa en andere vormen van duurzame energie via subsidies en regelgeving. Zo zetten ze de transitie in gang, die een zelfstandige rol moet opleveren voor biomassa en andere vormen van duurzame energie in de energievoorziening in 2030.

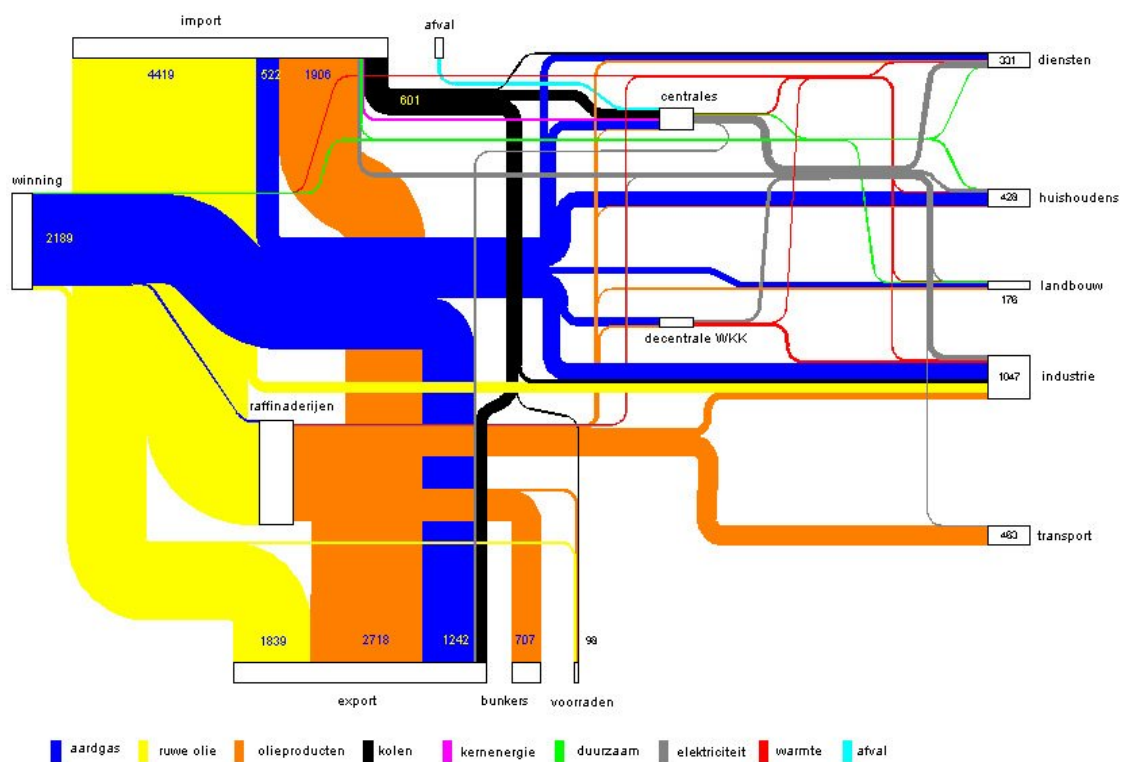
Het eerder genoemde ambitieniveau, om 30% van de fossiele energiedragers te vervangen door biomassa, is gebaseerd op de volgende bijdragen bij verschillende toepassingen:

- 60% biobrandstoffen (50% bioethanol en 50% FT-biodiesel)
- 25% chemie/materialen/producten (witte biotechnologie / bioprocestechnologie, productie van fijnchemicaliën en gefunctionaliseerde verbindingen)
- 25% elektriciteit (vooral decentrale bioWKK, bijstook blijft beperkt)
- 17% warmte (restwarmte uit bioWKK, totale warmtevraag neemt af)

Als randvoorwaarde bij de prognose voor 2030 is gesteld, dat door besparingen en efficiëntieverbetering het verbruik aan primaire energie beperkt blijft tot 3000 PJ per jaar, dat is ongeveer het gemiddelde over de periode van 1995 tot 2000. Dit verbruik is minstens 20% lager, dan het verbruik dat volgt uit scenario's die trends uit het recente verleden extrapoleren naar de toekomst. Beleidsmaatregelen, die in het kader van aanvullend beleid worden overwogen, kunnen het verschil wel verkleinen, maar niet genoeg om het hier gestelde doel te halen.

2 Energiehuishouding Nederland, situatie in 2000

Gegevens in dit hoofdstuk zijn afkomstig uit de bestanden van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, <http://statline.cbs.nl>). Volgens de Energiebalans bedroeg in 2000 het Nederlands verbruik aan primaire energie 3065 PJ. De totale import en export waren respectievelijk 2,5 en 2 keer zo groot¹. Figuur 1 geeft de routes weer die energiedragers volgen in en door de Nederlandse energiehuishouding.



Figuur 1 *Sankey diagram van energiedragers in Nederland. De breedte van de balken is een maat voor de energie inhoud van een bepaalde stroom.*

Hieronder volgt per energiedrager de energiebalans en een overzicht van het totaal verbruik door de belangrijkste verbruikers. Aan het einde van dit hoofdstuk volgt een afzonderlijk overzicht van het niet-energetisch verbruik van energiedragers. Afgezien van fermentatiegas is biomassa niet als zodanig opgenomen in de energiebalans, maar onder stoom en warmte. De rol van biomassa als energiedrager is bij CBS te vinden in het overzicht over duurzame energie. In dit rapport komt biomassa meer uitgebreid aan de orde in de hoofdstukken 3, 5 en 6.

2.1 Aardgas

In 2000 was de invoer 522 PJ, de winning 2189 PJ en de uitvoer 1242 PJ. Daarmee kwam het binnenlands verbruik uit op 1469 PJ. Deze hoeveelheden komen overeen met 16,5 miljard m³ invoer, 69,2 miljard m³ winning, 39,2 miljard m³ export en 46,4 miljard m³ binnenlands verbruik. Tabel 1 geeft de inzet van aardgas in verschillende sectoren.

¹ Voor de omrekening van PJ naar gewicht of volume en andersom, zie Bijlage A.

Tabel 1 *Verbruik van aardgas in Nederland in 2000. Het binnenlands verbruik komt overeen met ruim 46 miljard m³ Groningen aardgas.*

	Aardgas [PJ]
Raffinaderijen	33
Winningsbedrijven	34
E en W bedrijven	341
AVI's	2
Distributiebedrijven	34
Industrie	410
Transport	
Huishoudens	334
Diensten en landbouw	281
Binnenlands verbruik*	1469

* Binnenlands verbruik = Winning + Invoer - Uitvoer

2.2 Aardolie en aardolieproducten

Zoals tabel 2 laat zien, was voor aardoliegrondstoffen en aardolieproducten in 2000 de totale invoer 6324 PJ, de winning 102 PJ en de uitvoer 4557 PJ. Deze hoeveelheden komen overeen met 148,7 Mton invoer, 2,4 Mton winning en 107,1 Mton uitvoer.

Een flink deel van de aardolieproducten gaat naar "bunkers". Dit is de hoeveelheid die in Nederland door de scheep- en luchtvaart wordt getankt voor internationaal transport, zowel door Nederlandse als buitenlandse verbruikers. Dit verbruik wordt niet aan Nederland toegerekend en valt ook buiten bijvoorbeeld het Kyoto-verdrag². Ook is er nog een kleine post "mutaties voorraad". In 2000 was deze post negatief, wat wil zeggen, dat er aan de voorraad is toegevoegd. Na verrekening van deze posten, kwam het binnenlands verbruik uit op 1073 PJ. Dit komt overeen met 25,0 Mton. In dit getal zitten dus niet de bunkers en ook niet aardolieproducten die in Nederland geraffineerd en vervolgens geëxporteerd worden, maar wel de energieverliezen die met deze raffinage gepaard gaan.

Tabel 2 *Energiebalans aardolie in Nederland in 2000. De totale invoer, uitvoer en binnenlands verbruik komen overeen met ongeveer 149 Mton, 107 Mton en 25 Mton.*

	Aardoliegrondstoffen [PJ]	Aardolieproducten [PJ]	Totaal [PJ]
Invoer	4419	1906	6324
Winning	102		102
Mutaties voorraad	-34	-57	-91
Uitvoer	1839	2718	4557
Bunkers		705	705
Binnenlands verbruik*	2647	-1574	1073

* Binnenlands verbruik = Invoer + Winning + Mutaties voorraad - Uitvoer - Bunkers

² Het Kyoto verdrag meldt wel, via welke organisaties gesprekken over reductie van deze bijdrage moeten worden gevoerd.

Tabel 3 geeft de inzet van aardolie en aardolieproducten in verschillende sectoren. Na 1998 zijn de statistieken aangepast, waardoor ongeveer 180 PJ inzet is verhuisd van raffinaderijen naar de basischemie. In de referentieramingen energie en emissies 2005-2020 [van Dril, 2005] is het verbruik in de sector diensten en landbouw 45 PJ lager en die voor industrie evenveel hoger. Dat is waarschijnlijk te wijten aan een iets andere indeling van sectoren³.

Tabel 3 *Verbruik aardolie in Nederland in 2000. Het totaal binnenlands verbruik van 1073 PJ komt overeen met 25 Mton.*

	Aardoliegrondstoffen [PJ]	Aardolieproducten [PJ]	Totaal [PJ]
Raffinaderijen	2445	-2290	156
E en W bedrijven		34	34
Distributiebedrijven		1	1
Industrie	202	166	367
Transport (excl. bunkers)		457	457
Huishoudens		4	4
Diensten en landbouw		55	55
Binnenlands verbruik	2647	-1574	1073

2.3 Steenkool en steenkoolproducten

Tabel 4 laat zien, dat in 2000 de invoer van steenkool en steenkoolproducten 598 PJ was en de uitvoer 262 PJ. Deze hoeveelheden komen overeen met 23,2 Mton en 10,1 Mton. Na verrekening van de post "mutaties voorraad" kwam het binnenlands verbruik uit op 329 PJ, dat is 12,7 Mton. Tabel 5 geeft de inzet in verschillende sectoren. Daaruit blijkt, dat naast de elektriciteitssector, de cokesfabrieken en de staalindustrie (beide in IJmuiden) grote afnemers zijn.

Tabel 4 *Energiebalans steenkool in Nederland in 2000. De totale invoer, uitvoer en binnenlands verbruik komen overeen met ongeveer 23 Mton, 10 Mton en 13 Mton.*

	Steenkool en bruinkool [PJ]	Steenkoolproducten [PJ]	Totaal [PJ]
Invoer	580	17	598
Mutaties voorraad	-5	-2	-7
Uitvoer	246	16	262
Binnenlands verbruik*	329	-1	329

* Verbruik = Invoer + Mutaties voorraad - Uitvoer

³ In feite fungeert de sector diensten als sluitpost in de statistieken van het CBS. Gegevens voor die sector zijn daardoor relatief onnauwkeurig.

Tabel 5 *Verbruik steenkool in Nederland in 2000. Het totaal binnenlands verbruik van 329 PJ komt overeen met ongeveer 13 Mton.*

	Steenkool en bruinkool, [PJ]	Steenkoolproducten [PJ]	Totaal [PJ]
E en W bedrijven	209	23	232
Cokesfabrieken	86	-74	12
Industrie	32	48	81
Diensten en landbouw	1	2	3
Binnenlands verbruik	329	-1	329

2.4 Elektriciteit

In 2000 was de totale invoer van elektriciteit 83 PJ (23 miljard kWh) en de uitvoer 15 PJ (4 miljard kWh). De netto invoer kwam neer op 17% van het totale verbruik. Verder is er ruim 4 PJ (1,2 miljard kWh) gewonnen uit andere bronnen als wind, zon en water. Statistieken voor elektriciteit zijn lastig te interpreteren, omdat het geen primaire energiebron is, met uitzondering misschien van de 4 PJ die gewonnen wordt uit wind, water en zon. Tabel 6 geeft een overzicht van de productie en het verbruik. Negatieve getallen bij het verbruikssaldo geven aan dat er elektriciteit geleverd wordt aan anderen.

Tabel 6 *Productie en verbruik van elektriciteit in Nederland in 2000. Het totale verbruik van 390 PJ is gelijk aan 108 miljard kWh.*

	Productie PJ _e	Verbruikssaldo PJ _e	Verbruik PJ _e
Raffinaderijen	10	-1	9
E en W bedrijven	258	-248	10
AVI's	9	-7	2
Distributiebedrijven	12	6	18
Som energiebedrijven	289	-248	41
Industrie	22	121	143
Diensten en landbouw	7	115	122
Transport		6	6
Huishoudens		79	79
Som energieafnemers	29	321	350
Winning	4		
Saldo invoer - uitvoer	68		
Totaal	390		390

2.5 Overige energiedragers

Andere energiedragers zijn opgenomen onder de verzamelpost "overig". Dit is voornamelijk stoom en warmte. Stoom van raffinaderijen, E en W-bedrijven en distributiebedrijven betreft alleen stoom die is geleverd aan andere gebruikers. Het binnenlands verbruik komt overeen met de winning van 122 PJ uit diverse bronnen. De belangrijkste daarvan zijn kernenergie (40 PJ) en afval (51 PJ bij AVI's). De bijdrage van biomassa via bij- en meestoken in centrales komt overeen met bijna 2 PJ vermeden primaire energie. De bijdrage via houtkachels en overige verbranding komt overeen met 10 PJ en de bijdrage via vergisting en stortgas op ruim 5 PJ.

Gebruikers zijn E en W-bedrijven, industrie, huishoudens, en dienstverlening en landbouw. De AVI's gebruikten stoom voor de productie van 2000 GWh elektriciteit. Van de daardoor vermeden inzet aan primaire energie wordt 9 PJ toegerekend aan het aandeel biomassa in afval. De AVI's leverden ook nog warmte, waarvan 4 PJ aan vermeden primaire energie wordt toegerekend aan biomassa. Dat brengt de totale bijdrage van biomassa in de energiehuishouding op bijna 29 PJ.

2.6 Samenvatting verbruik

Tabel 7 geeft een overzicht van het totale verbruik van de belangrijkste energiedragers per sector. Tabel 8 geeft een verdere uitsplitsing voor het verbruik in de industrie naar afzonderlijke sectoren. De bijdragen van aardolie grondstoffen en producten zijn gesommeerd in de categorie aardolie, en die van steenkool, bruinkool en steenkoolproducten in de categorie steenkool. Voor elektriciteit en stoom en warmte zijn de verbruikssaldi vermeld.

Tabel 7 *Totaal energetisch plus niet-energetisch verbruik van energiedragers in Nederland in 2000.*

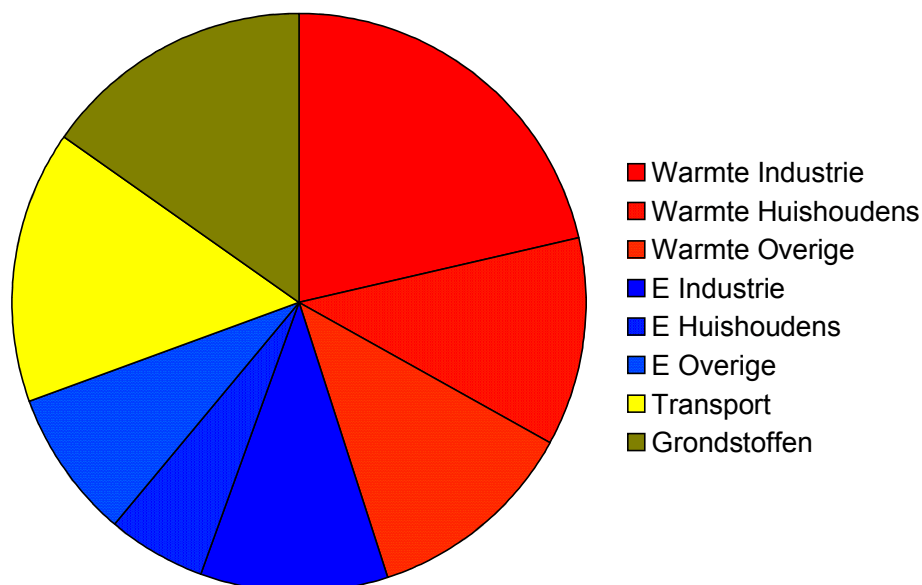
	Aardgas [PJ]	Aardolie [PJ]	Steenkool [PJ]	Elektriciteit* [PJ]	Overig [#] [PJ]	Totaal [PJ]
Raffinaderijen	33	156		-1	-8	180
Winningsbedrijven	34					35
E en W bedrijven	341	34	232	-248	-63	297
Cokesfabrieken			12			12
AVI's	2			-7	46	41
Distributiebedrijven	34	1		6	-6	35
Industrie	410	367	81	121	95	1075
Transport (excl. bunkers)		457		6		462
Huishoudens	334	4		79	16	432
Diensten en landbouw	281	55	3	115	41	496
Binnenlands verbruik	1469	1073	329	73	122	3065

* Negatief betekent elektriciteitslevering, positief verbruik. Het totaal saldo van 72 PJ is afkomstig van import (68 PJ) en winning uit zon, wind en waterkracht (4 PJ).

[#] Voornamelijk stoom en warmte, plus 5 PJ fermentatiegas.

Tabel 8 *Totaal energetisch plus niet-energetisch verbruik van energiedragers in sectoren van de Nederlandse industrie in 2000.*

Industrietak	Aardgas [PJ]	Aardolie [PJ]	Steenkool [PJ]	Elektriciteit [PJ]	Overig [PJ]	Totaal [PJ]
Kunstmest	109			1	2	112
Organische basischemie	60	318	4	9	56	447
Basischemie + kunstvezels	36	1		6	8	52
Rest anorg. basischemie	12	15	4	12	9	52
Chemische eindproducten	14	3		3	2	22
Glas, aardewerk, cement	26	2	2	6		37
Basis ferrometaal (staal)	14		69	9		91
Basis non-ferrometaal	4	4		21	1	31
Metaalproducten	22	16		16		54
Overig	113	8	2	38	17	177
Totaal	410	367	81	121	95	1075



Figuur 2 *Verdeling van het totale Nederlandse verbruik van 3065 PJ aan primaire energie in 2000 over alle toepassingen en gebruikers. Olieraffinage en cokesproductie zijn hier opgenomen bij industrie.*

Het totale verbruik van energiedragers kan worden opgesplitst in vier toepassingsgebieden: warmte, elektriciteit, transport en grondstoffen voor chemie, materialen en producten. Figuur 2 geeft het resultaat. De opsplitsing is in zekere mate arbitrair en dient alleen als indicatie. In dit rapport zijn de volgende keuzes gemaakt:

- Omzettingsverliezen bij de binnenlandse productie van elektriciteit, al dan niet in combinatie met de productie van warmte, zijn volledig toegerekend aan elektriciteit en verdeeld over de gebruikers naar rato van hun totale elektriciteitsverbruik⁴.
- Elektriciteitsgebruik door E en W-bedrijven, AVI's en distributiebedrijven zijn verrekend als omzettingsverliezen bij de productie van elektriciteit.
- Verbruik van elektriciteit voor warmte is niet opgenomen in de toepassing warmte.
- Verbruik van elektriciteit voor transport is opgenomen onder transport en niet bij elektriciteit overige.
- Niet-energetisch verbruik van elektriciteit is vermeld als elektriciteit en niet opgenomen in de toepassing grondstoffen.
- Omzettingsverliezen bij productieprocessen en bij de productie van stoom zijn toegerekend aan warmte.
- Energieverbruik door winningsbedrijven is toegerekend aan warmte.
- Energieverbruik voor de productie van aardolie- en steenkoolproducten, die worden ingezet voor transport of als grondstof voor chemicaliën, materialen en producten, is niet aan die toepassingen toegerekend. Dat verbruik is verborgen in het verbruik van elektriciteit en warmte bij de industrie. Voor aardolieproducten is dat verbruik gemiddeld 8% van de energiewaarde van de producten.⁵

⁴ Omzettingsverliezen bij de productie van elektriciteit in het buitenland worden niet meegeteld in de Nederlandse energiebalans.

⁵ Het energieverbruik van raffinaderijen is 180 PJ voor een productie van 2290 PJ aan olieproducten.

- Energieverbruik voor de productie van chemicaliën, materialen en producten is onderdeel van het verbruik van warmte en elektriciteit in de industrie. Naar schatting is dat verbruik 50% tot 60% van het niet-energetisch verbruik (zie volgende paragraaf).

Op basis van deze keuzes was in 2000 de verdeling van het totale verbruik van 3065 PJ aan energiedragers over de toepassingen als volgt:

Warmte	45%
Elektriciteit	25%
Transport	15%
Grondstoffen	15%

De volgende paragraaf gaat verder in op de toepassing van energiedragers als grondstoffen voor chemicaliën, materialen en producten.

2.7 Niet-energetisch finaal verbruik energiedragers

Niet-energetisch finaal verbruik is dat deel van het verbruik, dat wordt vastgelegd in eindproducten die niet als energiedrager ingezet worden, dus andere producten dan benzine, diesel of cokes. De tabellen 1 tot en met 8 geven de som van energetisch en niet-energetisch verbruik van primaire energiedragers.

In 2000 bedroeg het niet-energetisch finaal verbruik 493 PJ. Daarvan was 27 PJ elektriciteit, onder andere voor de productie van aluminium. De rest is hier gerekend tot de toepassing grondstoffen. Omdat biomassa door het CBS nog niet is opgenomen in de Energiebalans, bevat dit getal geen bijdrage van de inzet van hout of houtproducten in de bouw of bij de productie van meubels en papier. Dat geldt ook voor vezels als katoen, wol, jute en linnen. Tabel 9 geeft het niet-energetisch verbruik van alle energiedragers. Tabel 10 geeft een verdere onderverdeling van de categorie aardolieproducten.

Tabel 9 *Niet-energetisch finaal verbruik van energiedragers in Nederland in 2000. Bijdragen kleiner dan 1 PJ zijn niet apart vermeld maar wel in het totaal opgenomen.*

Industrietak	Aardgas [PJ]	Aardolie- producten [PJ]	Steenkool, bruinkool [PJ]	Cokes, overige [PJ]	Elektri- citeit [PJ]	Totaal [PJ]
Kunstmest	77					77
Organische basischemie	15	250		2		267
Basischemie + kunstvezels	8					8
Rest anorg. basischemie	1	9		2	8	20
Chemische eindproducten	1	3				4
Glas, aardewerk, cement		1				1
Basis ferrometaal (staal)			19	32		50
Basis non-ferrometaal		3			18	22
Metaalproducten		15				15
Niet te specificeren		7				7
Vervoer		3				3
Dienstverlening en bouw		17		2	1	20
Totaal	102	307	19	39	27	493

Tabel 10 *Niet-energetisch finaal verbruik van aardolieproducten in Nederland in 2000. Bijdragen kleiner dan 1 PJ zijn niet apart vermeld maar wel in het totaal opgenomen.*

Industrietak	LPG propaan butaan [PJ]	Nafta [PJ]	Aro- maten [PJ]	Lichte oliën [PJ]	Smeerolie vetten bitumen [PJ]	Overig [PJ]	Totaal [PJ]
Organische basischemie	61	17	70	44		56	250
Rest anorg. basischemie						9	9
Chemische eindproducten	3						3
Glas, aardewerk, cement						1	1
Basis non-ferrometaal							3
Metaalproducten						15	15
Niet te specificeren					2	4	7
Vervoer					3		3
Dienstverlening en bouw					14	3	17
Totaal	64	17	70	44	20	90	307

Het niet-energetisch finaal aardgasgebruik in de kunstmest industrie betreft de omzetting van aardgas naar waterstof door "steam reforming". De waterstof wordt vervolgens met stikstof omgezet naar ammoniak. Het niet-energetisch finaal aardgasgebruik in de organische basischemie is voor de productie van methanol. Ook dat verloopt via steam reforming, maar dan via een katalytisch proces waarbij het syngas wordt omgezet naar methanol.

Het niet-energetisch finaal verbruik van steenkool en cokes in de staalindustrie is voor het reduceren van ijzererts.

Het niet-energetisch finaal gebruik van aardolieproducten in de organische basischemie betreft voornamelijk olefinen (ethyleen, propyleen, butadiëen) die worden geproduceerd uit LPG, nafta en lichte olie fracties. Daarnaast gaat het om een grote hoeveelheid aromaten (benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen).

Uit gegevens in tabel 8 en 9 blijkt, dat de verhouding totaal verbruik/niet-energetisch verbruik in de sector kunstmest uitkomt op 145%, in de organische basischemie op 167% en in basis ferrometaal op 182%. Omdat in deze sectoren het productieproces verantwoordelijk is voor het grootste deel van het energetisch verbruik, is hieruit af te leiden, dat in 2000 procesenergie voor de productie van chemicaliën, materialen en producten overeenkwam met 50% tot 60% van het niet-energetisch verbruik. Bij een totaal niet-energetisch verbruik van 493 PJ is het daaraan gekoppeld energetisch verbruik dus in de orde van 250 PJ tot 300 PJ.

3 Biomassa, Nederlandse situatie in 2000

In het vorige hoofdstuk is vermeld, dat de bijdrage van biomassa in de Nederlandse energiehuishouding door CBS voor het jaar 2000 is berekend op ruim 29 PJ aan vermeden primaire energie. In 2004 was de bijdrage 41 PJ. Dit betreft uitsluitend bijdragen via het opwekken van stoom en warmte en uit fermentatiegas. Gegevens van het CBS geven geen inzicht in het niet-energetisch verbruik. Ook bijdragen van alcohol en plantaardige olie als transportbrandstoffen ontbreken. In 2000 waren die bijdragen verwaarloosbaar, maar binnen enkele jaren kunnen ze aanzienlijk worden, als Nederland gaat voldoen aan de EU-richtlijn 2003/30/EC voor transportbrandstoffen.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de totale productie, import, export en benutting van biomassa in Nederland. Dit levert inzicht in de mogelijkheden die er bestaan om bestaande huidige organische stromen gedeeltelijk te benutten als grondstof voor energie en chemie. Het uitdrukken van deze stromen in PJ, naast de in land- en bosbouw meer gebruikelijke eenheid kton, geeft inzicht in de bruto biomassa potentie op dit moment.

3.1 Bruto beschikbaarheid van biomassa in Nederland

Het CBS houdt geen statistieken bij van de bruto biomassa invoer, uitvoer en lokale productie en het daarbijbehorende stroomdiagram zoals wel gebeurt voor aardolie, totale energie, stikstof, fosfaat en ook kalium. Een exercitie die hier in de buurt komt is wel eens gemaakt voor de landbouw op basis van 1989 getallen (Boons, 1996).

Om de bruto beschikbaarheid van biomassa te berekenen is er analoog aan de CBS energiestromen een analyse gemaakt van de biomassa invoer, uitvoer en "winning". Tabel 11 en 12 geven de Nederlandse import en export van biomassa in 2000 [van Galen, 2002]. Op basis van een schatting van het gehalte aan droge stof (DS) komen de import en export uit op respectievelijk 32,8 en 21,5 Mton DS per jaar. De grote variatie in samenstelling, as- en vochtgehalte maakt een exacte omrekening naar energie lastig. Op basis van de in tabel 11 en 12 vermelde stookwaarden vertegenwoordigen import en export respectievelijk 620 PJ en 405 PJ.

Tabel 13 geeft een schatting van de totale Nederlandse primaire productie aan biomassa op basis van gegevens over bodemgebruik volgens het Statistisch Jaarboek 2005 van het CBS. Van de totale productie van 31 Mton (527 PJ) komt 90% uit de landbouw. De daarvoor gebruikte 2,3 miljoen ha is tweederde van het totale Nederlandse landoppervlak.

Tabel 11 *Nederlandse import van organische materialen (biomassa) in 2000⁶.*

	Totale massa [kton]	Fractie droge stof	Massa droge stof [kton]	Energie inhoud [GJ/ton]	Totale energie [PJ]
Levende dieren	200	0,2	40	20	0,8
Vlees, vis en zuivel	2.995	0,2	599	20	12,0
Levende planten	307	0,1	31	16	0,5
Groente en fruit	6.381	0,1	638	16	10,2
Granen	6.413	0,85	5.451	18	98,1
Producten van de meelindustrie	654	0,9	589	18	10,6
Oliehoudende zaden	7.133	0,95	6.776	20	135,5
Vetten en oliën	2.279	1,0	2.279	30	68,4
Suiker en cacao	1.926	1,0	1.926	20	38,5
Bereidingen voedsel	1.952	0,5	976	18	17,6
Resten en afval voedingsindustrie	8.946	0,3	2.684	16	42,9
Meststoffen (dier en plant) [#]	200	0,95	190	10	1,9
Hout en pulp	7.010	0,9	6.309	18	113,6
Papier en karton	4.092	0,9	3.683	16	58,9
Overige biomassa	1.308	0,5	654	16	10,5
Totaal *	51.796	nvt	32.824	nvt	620,0

* Totaal organische producten, exclusief rubber en dranken, inclusief papier en karton.

Het is niet duidelijk wat voor stoffen dit zijn.

Tabel 12 *Nederlandse export van organische materialen (biomassa) in 2000.*

	Totale massa [kton]	Fractie droge stof	Massa droge stof [kton]	Energie inhoud [GJ/ton]	Totale energie [PJ]
Levende dieren	398	0,2	80	20	1,6
Vlees, vis en zuivel	5.028	0,2	1.006	20	20,1
Levende planten	1.761	0,1	176	16	2,8
Groente en fruit	5.861	0,1	586	16	9,4
Granen	630	0,85	536	18	9,6
Producten van de meelindustrie	1.275	0,9	1.148	18	20,7
Oliehoudende zaden	1.845	0,95	1.753	20	35,1
Vetten en oliën	2.237	1,0	2.237	30	67,1
Suiker en cacao	1.856	1,0	1.856	20	37,1
Bereidingen voedsel	3.065	0,5	1.533	18	27,6
Resten en afval voedingsindustrie	9.310	0,3	2.793	16	44,7
Meststoffen (dier en plant) [#]	271	0,95	257	10	2,6
Hout en pulp	3.462	0,9	3.116	18	56,1
Papier en karton	3.880	0,9	3.492	16	55,9
Overige biomassa	1.871	0,5	936	16	15,0
Totaal *	42.750	nvt	21.502	nvt	405,0

* Totaal organische producten, exclusief rubber en dranken, inclusief papier en karton.

Het is niet duidelijk wat voor stoffen dit zijn.

⁶ Gegevens afkomstig van [van Galen, 2002]. Hier zijn chemicaliën niet opgenomen, omdat niet duidelijk is welke stoffen exact bedoeld zijn en welke van biologische herkomst zijn.

Tabel 13 *Inschatting Nederlandse primaire biomassaproductie, die in principe duurzaam inzetbaar is, op basis van bodemgebruik in 2000.*

Categorie	Oppervlak [10 ³ ha]*	Biomassa productie [ton DS/ha.jr]#	Opbrengst droge stof [kton/jr]	Energie inhoud [GJ/ton]	Energie opbrengst [PJ/jr]
Verkeer	113	3	339	17	5,8
Bebouwd	318	1	318	17	5,4
Semi-bebouwd	49	2	98	17	1,7
Recreatie	89	3	267	17	4,5
Landbouw	2.326	12	27.912	17	474,5
Bos en Natuur	483	3,5	1.691	17	28,7
Binnenwater	357	1	357	17	6,1
Buitenwater	417	0	0	17	0,0
Totaal	4.153	nvt	30.982	17	526,7

* CBS, Statistisch jaarboek 2005.

Dit is een inschatting van alle biomassa droge stof (DS) productie die in principe jaarlijks oogstbaar is en afgevoerd kan worden.

Onderbouwing van de biomassaproducties

De bruto totale oogstbare landbouw productie is geschat op 12 ton DS/ha. Dit is alle biomassa, dus inclusief bijproducten, die realistisch kan worden verwijderd. De belangrijkste gewassen zijn:

- Tarwe: 130.000 ha, gemiddelde opbrengst korrel: 8,4 ton/ha (droge stof is 10 tot 15% lager) over de afgelopen 5 jaar [Statline]. De inschatting van de hoeveelheid beschikbaar stro is zo'n 5 ton/ha. Dit geeft een totale opbrengst van 12 tot 13,4 ton/ha (afhankelijk van het vochtgehalte).
- Suikerbieten: 100.000 ha, 60 ton bieten over de laatste 5 jaren. Uit 1 ton bieten worden 140 kg suiker, 58 kg droge pulp, 40 kg melasse, 15 kg bietenstaartjes en 600 kg bietenkoppen en blad geproduceerd. Totaal geeft dat bij benadering 140 + 50 + 30 + 100 = 320 kg DS/ton x 60 ton = 19,2 ton DS/ha.
- Aardappelen: 160.000 ha, 44 ton/ha. Bij 25% droge stof is dat 11 ton DS/ha. Plus naar schatting 2,5 tot 3 ton DS/ha loof. Dit geeft 13,5 tot 14 ton DS/ha.
- Mais; 200.000 ha met 14,2 ton DS/ha gemiddeld over de 2000 tot 2004.
- Gras; 1 miljoen ha, 12 ton DS/ha.

Er zijn kleinere gewassen zoals koolzaad en pootaardappelen die een lagere DS opbrengst hebben. Verder vermeldt het CBS de bruto oppervlakte, waarvoor gecompenseerd moet worden.

3.2 Nederlandse biomassa flux en verbruik in 2000

De biomassa flux is het totaal van import en primaire productie en deze bedraagt 32,8+31,0 = 63,8 Mton biomassa, wat neerkomt op 15,4 ton per ha. Het getal geeft een indicatie voor de biomassa dichtheid van Nederland en daarmee voor de kansen om biomassa richting energie en producten in te zetten.

Het bruto verbruik van biomassa in Nederland is berekend uit import – export + nationale primaire productie. Het resultaat voor het jaar 2000 is op basis van droge massa:

$$32,8 - 21,5 + 31,0 = 42,3 \text{ Mton per jaar}$$

Het resultaat op basis van de energie-inhoud is:

$620 - 405 + 527 = 742$ PJ per jaar.

Het bruto biomassa verbruik van 742 PJ komt overeen met 24% van het Nederlandse verbruik aan primaire energie in 2000. Dit is veel meer dan de 29 PJ bijdrage die biomassa volgens de gegevens van het CBS in 2000 leverde of de prognose van 57 PJ voor 2005. De 742 PJ biomassa die jaarlijks in Nederland wordt verbruikt is natuurlijk grotendeels niet beschikbaar als energiedrager of grondstof. Het grootste deel is immers grondstof voor de voedingsindustrie en veevoer. Om een indruk te krijgen wat hiervan potentieel beschikbaar is voor energie en non-food moeten wij een indruk hebben van het nuttig gebruik van deze stromen. Dit bepaalt of biomassa beschikbaar kan komen voor energie en producten.

Hier is het aannemelijk dat veel van de biomassa die geproduceerd wordt niet benut wordt en dus in principe beschikbaar kan komen voor energie en producten. In tabel 13 gaat het bijvoorbeeld om de 3,5 ton/ha biomassa die in bossen en de natuur wordt geproduceerd, maar die slechts beperkt wordt gebruikt. Zo is het bekend, dat de afvoer van hout uit Nederlandse bossen slechts de helft van de jaarlijkse bijgroei bedraagt. Verder zijn er stromen als top- en takhout en natuurgras die wel afgevoerd zouden kunnen worden maar geen toepassing hebben. Het "Grasoil" project van Staatsbosbeheer en partners richt zich op deze onbenutte grasstroom [Innovatienetwerk, 2005]. In de landbouw zijn er ook veel primaire stromen te onderscheiden die niet worden benut, maar die wel benut zouden kunnen worden (zie bespreking van figuur 3 hieronder). Ook biomassa afkomstig van wegen, uit de bebouwde omgeving en van onderhoud van watergangen wordt slechts beperkt benut. De meeste biomassa blijft achter. Verder is de efficiëntie van de benutting meestal beperkt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan compost productie waarbij de "proceswarmte" verloren gaat.

In figuur 3 staat het stroomschema van organische koolstof in de Nederlandse landbouw voor 1989. De figuur laat zien dat van de totale aanvoer (invoer en plantaardige productie) van 20.534 kton C (equivalent aan ongeveer 55 Mton biomassa) slechts 3.307 kton C (equivalent aan ongeveer 8,9 Mton biomassa) in eindproducten terechtkomt. Het rendement van agro-grondstoffen is dus momenteel ongeveer 16%. Hiermee wordt bedoeld, dat van een primair product maar 16% in het eindproduct terechtkomt en dat in principe 84% verloren gaat. Verliezen zijn o.a. mestproductie, ongebruikte gewasresten, CO₂ en methaan uitstoot. De efficiëntie van benutting van grondstoffen in de voedingsmiddelenindustrie is dan nog niet meegeteld.

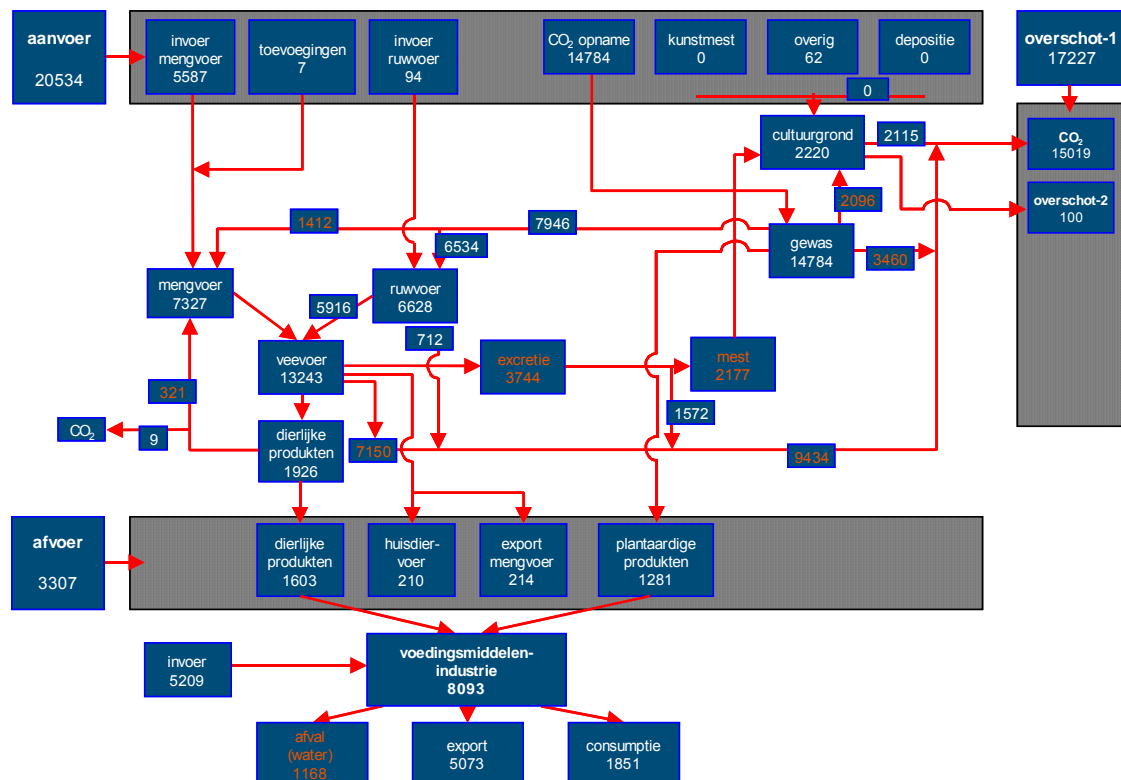
Het is duidelijk dat hier veel onvermijdelijke verliezen zijn, maar er liggen ook veel kansen om de efficiëntie te verhogen van de omzetting van grondstoffen naar eindproducten. Denk bijvoorbeeld aan beter voer, dat met een hogere efficiëntie wordt omgezet in dierlijke producten. Hiervoor is het waarschijnlijk nodig om grondstoffen te raffineren, wat een beter diervoer oplevert en een stroom die voor energieproductie geschikt is. Bijproducten, die in de landbouw worden geproduceerd, worden vaak niet of niet efficiënt benut.

Bijproducten zijn rood aangegeven in figuur 3. Deze worden veelal niet benut, zoals de 3.744 kton C (ongeveer 9 Mton droge stof) in mest en de 2.095 kton C (meer dan 5 Mton DS) in gewasbijproducten die niet van het veld afgevoerd worden. Ook de 321 kton C in dierlijke bijproducten (700 kton DS) wordt nu niet meer gebruikt in mengvoer. Door veranderingen in de regelgeving zijn die voor een groot deel beschikbaar voor non-food non-feed toepassingen. Voorbeeld is beendermeel, dat nu ingezet wordt voor energie. Dierlijke vetten worden steeds meer voor

kasverwarming en biodiesel ingezet. Verder is er 1.168 kton C in afvalwater (bijna 3 Mton DS).

Deze exercitie laat zien, dat er in de landbouw bruto meer dan 18 Mton DS biomassa te vinden is, die ingezet kan worden als biomassa. Die hoeveelheid zou ongeveer 300 PJ vertegenwoordigen. Houdt er rekening mee, dat dit gegevens uit 1989 zijn, en dat ook met 2030 technologie niet al deze potentie aan bijproducten economisch te ontsluiten is. Tabel 13 zegt nog niets over de mogelijkheid om energiegewassen te telen of de mogelijkheid gewassen te bioraffineren en daarna delen zowel voor food/feed als non-food in te zetten.

De vraag, hoeveel het biomassa verbruik in 2030 kan zijn en hoeveel hiervan beschikbaar kan komen als grondstof voor energie en chemie, komt aan de orde in hoofdstuk 6.



Figuur 3 Koolstof stroomdiagram voor de Nederlandse landbouw in 1989 [Boons, 1996]. Hoeveelheden in kton.

4 Energiehuishouding Nederland, prognose voor 2030

In de afgelopen jaren zijn diverse studies uitgevoerd, die op basis van verschillende veronderstellingen en scenario's laten zien, dat de vraag naar energie in Nederland in de komende 20 tot 40 jaar kan dalen tot 1700 PJ of stijgen tot 4500 PJ [Seebregts, 2002]. In dit rapport is uitgegaan van de meest recente "Referentieramingen energie en emissies 2005-2020" [van Dril, 2005]. Daarin staan twee scenario's beschreven, waarvan het SE-scenario (Strong Europe) het beste aansluit bij een transitiebeleid, dat inzet op een sterke groei van de bijdrage van biomassa. Het SE-scenario komt overeen met scenario B1, zoals dat door het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wordt gehanteerd. Kenmerken van deze scenario's zijn internationale samenwerking en publieke verantwoordelijkheid.

Het SE-scenario gaat uit van een groei van het Bruto Binnenlands Product met 1,7% per jaar. De referentieraming geeft groeicijfers voor afzonderlijke sectoren voor de perioden 2000-2010 en 2010-2020. Verwacht wordt, dat het energieverbruik tussen 2000 en 2010 jaarlijks groeit met 0,9% en tussen 2010 en 2020 jaarlijks met 0,7%. Op basis daarvan komt de vraag in 2020 uit op 3550 PJ. Het ministerie van EZ heeft aanvullend beleid voorgesteld, dat tot een vermindering van de vraag met 214 PJ kan leiden⁷ [Brinkhorst, 2005].

Op verzoek van het Platform, is als uitgangspunt genomen, dat de vraag in 2030 uitkomt op 3000 PJ, dat is het gemiddelde over de periode 1995-2000. Dit is duidelijk lager dan op basis van de referentieramingen te verwachten is, zelfs bij aanvullend beleid. Dit uitgangspunt is dus niet zozeer gebaseerd op een scenario als wel op een ambitieniveau.

Om een verbruik van 3000 PJ in 2030 te bereiken, is iets minder economische groei verondersteld dan in de referentieramingen. Verder is aangenomen, dat vergaande energiebesparing en verhoging van efficiëntie de vraag doen dalen. Hieronder volgt een samenvatting van de verwachte ontwikkelingen in afzonderlijke sectoren. In eerste instantie is daarbij uitgegaan van klassieke energiedragers, met bijdragen van zon, wind en water. Het volgende hoofdstuk gaat expliciet in op mogelijkheden om fossiele brandstoffen te vervangen door biomassa.

4.1 Huishoudens

Volgens de middenvariant van de CBS prognose neemt het aantal inwoners van Nederland toe van 15,9 miljoen in 2000 tot 17,9 miljoen in 2030. Het aantal huishoudens stijgt van 6,8 miljoen tot 8,3 miljoen. De meeste woningen in 2030 zullen dateren van vóór 2000 en dus met aardgas verwarmd worden. Het gemiddeld verbruik per huis voor verwarming daalt door afbraak of renovatie van oude woningen en energiezuinige nieuwbouw. De vraag daalt ook, omdat in huizen meer warmte vrijkomt door het groeiend gebruik van elektriciteit.

Het verbruik voor warm tapwater blijft per persoon bijna hetzelfde en daalt per huis. Een deel van de groei, als gevolg van de groeiende bevolking, kan worden opgevangen door toenemend gebruik van zonneboilers.

De gemiddeld lagere vraag naar warmte per huis, zeker in de nieuwbouw, maakt wijkverwarming economisch minder aantrekkelijk. De bijdrage hiervan zal ongeveer gelijk blijven. Door stimulering van gebruik van restwarmte en een grotere bijdrage

⁷ Dit is de besparing ten opzichte van het GE-scenario (Global Economy), dat zonder aanvullend beleid uitkomt op een verbruik van 3867 PJ in 2020.

van warmte via zonnepanelen en warmtepompen stijgt het totale verbruik aan stoom en warmte tot 25 PJ. De vraag naar aardgas zal dalen van 334 PJ in 2000 tot 230 PJ in 2030.

De vraag naar elektriciteit neemt al jaren toe door het toenemend aantal elektrische apparaten in huis. Verwacht wordt, dat de groei zal afnemen vanwege verzadiging, maar ook dat een toenemend gebruik van audio- en videoapparatuur en computers voor een verdere groei zal zorgen. Het toenemend gebruik van koeling heeft een beperkt effect. Het totale elektriciteitsverbruik zal groeien van 78 PJ in 2000 tot 115 PJ in 2030.

4.2 Diensten en landbouw

Het grootste deel van het energieverbruik in de dienstensector is voor ruimteverwarming, koeling en elektrische apparatuur. De ontwikkeling in het verbruik lijkt op die bij huishoudens, maar er zijn grotere besparingen mogelijk. Het aardgasverbruik daalt van 180 PJ in 2000 tot 110 PJ in 2030. Het verbruik van olieproducten halveert. Dit is vooral te danken aan de gevolgen van de Europese Richtlijn Energieprestaties Gebouwen⁸ bij bestaande bouw en de Energie Prestatie Norm bij nieuwbouw. Ook het groeiende gebruik van elektriciteit doet de warmtevraag iets dalen. Het verbruik aan stoom en warmte blijft gelijk op 25 PJ. Een deel daarvan is winning uit zon en omgeving. Het elektriciteitsverbruik blijft stijgen, van 105 PJ in 2000 tot 120 PJ in 2030. Daarvan is 10 PJ uit eigen productie.

In de sector landbouw domineert de glastuinbouw het energieverbruik. Juist in die sector wordt economische groei verwacht, tegen krimp bij veehouderij en lichte groei bij akkerbouw. Volgens het Convenant Glastuinbouw en Milieu moet de energie-efficiëntie tot 2010 nog aanzienlijk verbeteren. Het aardgasverbruik daalt van 110 PJ in 2000 tot 80 PJ in 2030, terwijl het verbruik van stoom en warmte stijgt, van 15 PJ in 2000 tot 20 PJ in 2030. Het verbruik van olie halveert bijna en het verbruik van elektriciteit blijft gelijk op 15 PJ. Daarvan is 5 PJ uit eigen productie.

4.3 Transport

Volgens de verkeersprognose, die in de referentieramingen is gebruikt, zal het aantal voertuigkilometers groeien van 125 miljard kilometer in 2000 naar 175 miljard in 2020. Juist in deze sector moet nieuw beleid voor een forse reductie zorgen. Daarom is hier aangenomen, dat het aantal voertuigkilometers in 2030 uitkomt op 170 miljard kilometer. Het gemiddelde brandstofverbruik per kilometer is van 1991 tot 1997 gedaald met 4%. Dat is deels te danken aan de groei van het aantal personenauto's met relatief zuinige dieselmotoren, maar deels ook het gevolg van technische verbeteringen. Tussen 2000 en 2030 kan het specifiek brandstofverbruik met 15% dalen. Dan groeit het totale brandstofverbruik van 457 PJ in 2000 tot 530 PJ in 2030. Het niet-energetisch verbruik groeit van 3 PJ naar 4 PJ. Het verbruik van elektriciteit voor transport stijgt door het in gebruik nemen van nieuwe spoortrajecten en hogere snelheden.

4.4 Raffinaderijen

De raffinaderijen hebben de afgelopen jaren gedraaid op maximale capaciteit. Tot 2010 zijn geen grote uitbreidingsplannen voorzien. Ook in de jaren daarna wordt geen grote uitbreiding verwacht. Dat kan veranderen, als een grote installatie wordt gebouwd die biomassa omzet in transportbrandstoffen. Vooralsnog is aangenomen,

⁸ Nederland heeft overigens de EU gemeld deze richtlijn niet te willen implementeren. Hier is aangenomen, dat Nederland in elk geval maatregelen neemt met vergelijkbaar effect.

dat alleen de doorzet iets stijgt door kleine aanpassingen, van 2450 PJ in 2000 tot 2700 PJ in 2030. Besparingen door verhogen van de efficiëntie worden deels tenietgedaan door de grotere vraag naar waterstof voor ontzwaveling, met name als die ook voor bunkerolie gaat worden toegepast. Het eigen verbruik stijgt daarom van 180 PJ in 2000 tot 200 PJ in 2030. De bijdrage daarin van aardgas neemt toe tot 40% en die van olie daalt tot 60%.

De kleine stijging in de capaciteit is mogelijk net voldoende om de stijging van de binnenlandse afzet en van bunkers op te vangen. Wel is een verschuiving nodig tussen verschillende producten uit raffinage, import en export. Onafhankelijk van de capaciteit van de raffinaderijen kunnen import en export groeien door toenemende doorvoer van met name aardolieproducten.

4.5 Industrie

De industrie speelt een belangrijke rol bij het terugdringen van de vraag naar energie. De meest eenvoudige optie is het verplaatsen van energie-intensieve industrie naar het buitenland [Jeeninga, 2002]. Er zijn tekenen, dat zoiets nu al gebeurt als reactie op de hoge prijs voor energie. De referentieramingen verwachten juist een relatief sterke groei bij de chemische industrie, die verantwoordelijk is voor het grootste deel van het niet-energetisch gebruik van energiedragers. Ook bij de basismetaalindustrie, hoofdverantwoordelijk voor het niet-energetisch gebruik van kolen, is de verwachte groei groter dan gemiddeld. Deze groei wordt deels gecompenseerd door energiebesparing.

Het elektriciteitsverbruik stijgt van 140 PJ in 2000 tot 160 PJ in 2030. Daarvan is 30 PJ uit eigen productie. Het niet-energetisch verbruik van energiedragers exclusief elektriciteit stijgt van 444 PJ in 2000 tot 530 PJ in 2030. Tegenover deze groei staat een grote besparing op energie voor warmteproductie. Het totaal energieverbruik stijgt van 1075 PJ in 2000 tot 1110 PJ in 2030.

4.6 E- en W-bedrijven

In het SE-scenario groeit het totale elektriciteitsverbruik van 390 PJ in 2000 tot 500 PJ in 2020. Nieuw beleid moet dat al beperken tot 440 PJ. Hier is aangenomen, dat het verbruik in 2030 op 462 PJ uitkomt. Import en export komen meer in evenwicht, maar netto blijft Nederland importeren om pieken en dalen in de productie door windturbines op te vangen. Aangenomen is, dat het importsaldo daalt van bijna 70 PJ in 2000 tot 30 PJ in 2030.

De bijdrage van windenergie is gebaseerd op de plannen om 6000 MW op zee en 1500 MW op land te plaatsen. Deze capaciteit is oorspronkelijk voor 2020 gepland en kan zeker in 2030 zijn gerealiseerd. Als de gemiddelde opbrengst neerkomt op 35% vollasturen, levert windenergie jaarlijks 83 PJ. Dat komt overeen met ruim 16% van het verwachte verbruik in 2030. De bijdragen van zon en water brengen de totale winning op 90 PJ.

Volgens het SE-scenario neemt het aandeel van kolencentrales in de elektriciteitsproductie af van 25% in 2000 tot 16% in 2020. Dit is op basis van de verwachting, dat de oudste kolengestookte centrales zullen worden gesloten en er geen nieuwe worden bijgebouwd. Gezien recente plannen voor een nieuwe grote kolencentrale, lijkt het meer reëel uit te gaan van een gelijkblijvende of zelfs toenemende productie uit kolencentrales. Het aandeel in de totale productie komt dan op 20%, uit 215 PJ aan kolen. Grotere doorzet en hoger rendement doen het aandeel van AVI's in de elektriciteitsproductie stijgen van 9 PJ tot 15 PJ. Daarvoor gebruiken de AVI's 60 PJ stoom.

De productie van gasgestookte WarmteKracht-eenheden (WKK) bij industrie, diensten en landbouw stijgt met ongeveer 50%. De warmteproductie van WKK-eenheden stijgt nauwelijks, omdat oudere eenheden worden vervangen door nieuwe met een lagere W/K-verhouding.

Aangenomen is, dat kernenergie geen bijdrage levert aan de elektriciteitsproductie en dat de inzet van olie tot nul daalt. Voor de productie van 165 PJ elektriciteit en 95 PJ aan warmte zetten de E en W-bedrijven 400 PJ aardgas in. Tabel 14 geeft een overzicht van de totale productie en het verbruik van elektriciteit.

Tabel 14 *Productie en verbruik van elektriciteit in Nederland in 2030.*

	Productie PJ _e	Verbruikssaldo PJ _e	Verbruik PJ _e
Raffinaderijen	10	0	10
E en W bedrijven	257	-246	11
AVI's	15	-12	3
Distributiebedrijven	15	5	20
Som energiebedrijven	297	-253	44
Industrie	30	130	160
Diensten en landbouw	15	120	135
Transport		8	8
Huishoudens		115	115
Som energieafnemers	45	373	418
Winning	90		
Saldo invoer - uitvoer	30		
Totaal	462		462

4.7 Energiebalans

Tabel 15 geeft een overzicht van de energiebalans in 2030 op basis van bovenstaande beschouwingen. De bijdrage van biomassa is daarin niet verwerkt, afgezien van de bijdrage via AVI's en de in 2000 al bestaande kleine bijdragen in de categorie "overig". Zie voor een vergelijking met 2000 ook tabel 7.

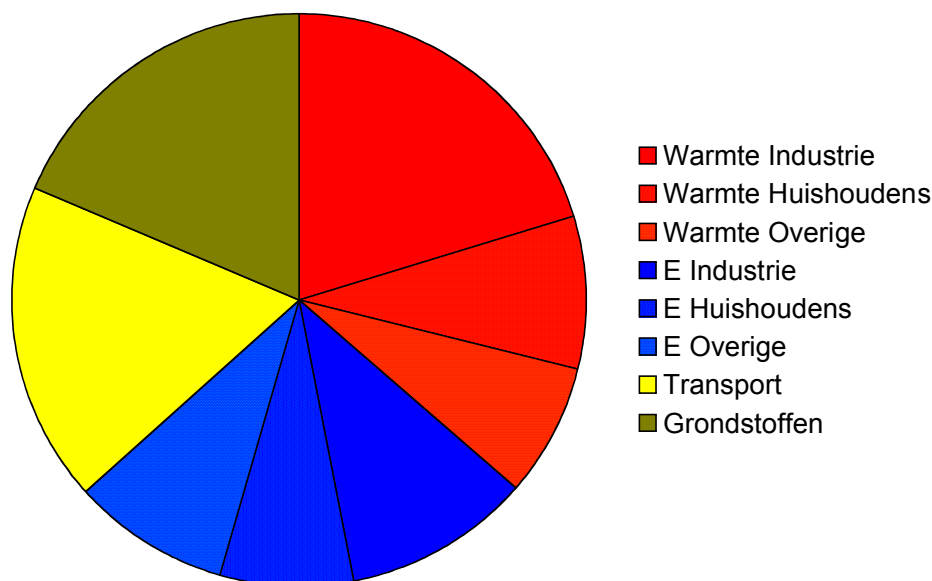
Tabel 15 *Totaal energetisch plus niet-energetisch verbruik energiedragers in Nederland in 2030.*

	Aardgas [PJ]	Aardolie [PJ]	Steenkool [PJ]	Elektriciteit* [PJ]	Overig* [PJ]	Totaal [PJ]
Raffinaderijen	80	130			-10	200
Winningsbedrijven	25					25
E en W bedrijven	400		215	-246	-95	274
Cokesfabrieken			15			15
AVI's	2			-12	60	50
Distributiebedrijven	33			5	-5	33
Industrie	380	420	85	130	95	1110 [#]
Transport(excl. bunkers)		530		8		538
Huishoudens	230			115	25	370
Diensten en landbouw	190	30		120	45	385
Binnenlands verbruik	1340	1110	315	120	115	3000

* Zie voor verduidelijking van deze posten het commentaar in de paragraaf bij tabel 7.

[#] Waarvan ongeveer de helft voor niet-energetisch gebruik.

Op dezelfde manier als voor de situatie in 2000 kan het totale verbruik aan energiedragers worden opgesplitst in de vier toepassingsgebieden warmte, elektriciteit, transport en grondstoffen. Figuur 4 geeft het resultaat voor 2030.



Figuur 4 *Verdeling van het totale Nederlandse verbruik van 3000 PJ aan primaire energie in 2030 over alle toepassingen en gebruikers. Olieraffinatie en cokesproductie zijn hier opgenomen bij industrie.*

Op basis van de in paragraaf 2.6 beschreven keuzes⁹ voor de toedeling van verschillende posten is de verdeling van het totale verbruik van 3000 PJ aan energiedragers over de toepassingen als volgt:

Warmte	36%
Elektriciteit	27%
Transport	18%
Grondstoffen	19%

Op basis van deze verdeling en het ambitieniveau, dat is uitgesproken door het Platform Groene Grondstoffen, is de bijdrage van biomassa per toepassing te berekenen. Tabel 16 geeft het resultaat. Bij de aangegeven percentages per toepassing levert biomassa in totaal een bijdrage van 28,4%. Als ook de besparing op procesenergie in raffinaderijen en industrie wordt meegeteld (zie hoofdstuk 5), komt het totaal op het gewenste aandeel van 30%. Het volgende hoofdstuk gaat verder in op de bijdrage die biomassa in 2030 kan leveren.

⁹ Dit betekent o.a., dat energieverbruik in raffinaderijen en procesenergie in de industrie zijn toegerekend aan warmte. Als een evenredig aandeel van het verbruik in raffinaderijen zou worden toegerekend aan transport, zou het aandeel daarvan stijgen tot 19%. Bij grondstoffen zou het aandeel stijgen tot ongeveer 26%, als naast een evenredig deel van het verbruik in raffinaderijen ook de voor productie benodigde procesenergie wordt meegeteld.

Tabel 16 *Gewenste bijdrage biomassa per toepassing in 2030.*

Toepassing	Verbruik [PJ]	Vervangingsgraad [%]	Vervanging fossiele energiedragers [PJ]
Warmte	1090	17	185
Elektriciteit	810	25	203
Transport	540	60	324
Grondstoffen	560	25	140
Totaal	3000		852

5 Bijdrage biomassa, Nederlandse situatie in 2030

Het Platform Groene Grondstoffen heeft een inschatting gegeven, dat 30% groene grond- en brandstoffen in 2030 een reële doelstelling zou kunnen zijn. Specifiek werd gedacht aan 60% van de transportbrandstoffen, 25% van de grondstoffen voor chemicaliën, materialen en producten, 25% van de elektriciteit en 17% van de warmte. Hieronder wordt een analyse gemaakt of deze getallen haalbaar zijn.

5.1 Elektriciteit en warmte

Centrale inzet

In alle sectoren kan aardgas worden vervangen door SNG, synthetisch aardgas dat via vergassing uit biomassa kan worden geproduceerd met een energetisch rendement van ongeveer 70%. Ook kan SNG via vergisting van natte biomassa geproduceerd worden. Voor 2030 is de bijdrage van SNG geschat op 9% van het totale aardgasverbruik, dat is bijna 18% van de hoeveelheid aardgas die niet wordt gebruikt als grondstof of voor de productie van elektriciteit.

Biomassa kan worden omgezet in elektriciteit en dan in alle sectoren toegepast. Het rendement naar elektriciteit kan 40% tot 45% zijn via verbranding en 50% via vergassing met benutting in STEG's (SToom- En Gasturbine).

Bijstoken van biomassa in kolencentrales kan bij 20% vervanging van kolen een aandeel van 4% in de totale productie leveren. Als het vervangingspercentage wordt verhoogd tot 30%, of als een uitsluitend met biomassa gestookte 400 MW_e centrale wordt gebouwd, neemt het aandeel in de productie toe tot 6%. In plaats van één grote centrale kunnen ook meerdere kleinere centrales gebouwd worden, die zowel elektriciteit als warmte leveren. In de energiebalans komt een 6% bijdrage neer op het vervangen van 65 PJ kolen door 65 PJ in de categorie "overig". Vanwege het iets lagere rendement is 70 PJ biomassa nodig. Daarnaast levert biomassa via de AVI's nog een bijdrage van 30 PJ.

Vloeibare brandstoffen uit biomassa kunnen worden bijgestookt in gasturbines om aardgas te besparen. Dat gebeurt nu al bij twee aardgas gestookte centrales. Deze optie is hier niet meegenomen, vanwege de te verwachten concurrentie met de toepassing transport.

Op deze manier kan biomassa centraal en grootschalig worden omgezet in SNG of elektriciteit en decentraal worden benut, met gebruik van bestaande infrastructuur zoals het gasnet en het elektriciteitsnet. Bestaande technologie voor kolen vormt een goed startpunt voor de ontwikkeling van technologie voor biomassa. Bij import van biomassa levert centrale conversie een aanzienlijke besparing in kosten voor transport en distributie.

Decentrale inzet

Directe omzetting van biomassa in warmte kan plaatsvinden met een rendement dat vergelijkbaar is met dat bij andere brandstoffen. Zo kan de verwarming van huizen en gebouwen plaatsvinden met cv-ketels die houtpellets als brandstof gebruiken. In de industrie is biomassa in te zetten voor het leveren van proceswarmte. Decentrale verbranding van biomassa heeft als belangrijk nadeel hogere emissie van stof en verzurende gassen (zoals in het verleden bij decentraal gebruik van kolen). Die emissies zijn wel te bestrijden, maar bij kleine installaties brengt dat teveel kosten met zich mee. Voor huishoudens is biomassa inzet via SNG daarom aantrekkelijker.

Bij specifieke toepassingen kunnen problemen optreden, die vervanging van fossiele brandstoffen door biomassa verhinderen of onpraktisch maken. Ook de regelbaarheid van het verbrandingsproces is duidelijk lastiger bij biomassa dan bij aardgas of olie. Verder is de verbrandingstemperatuur van biomassa lager, wat een nadeel is bij processen die warmte op hoge temperatuur vereisen.

Decentrale gecombineerde productie van warmte en elektriciteit is vooral mogelijk in de sector diensten en landbouw, met gebruik van lokaal beschikbare biomassa reststromen of speciaal geteelde biomassa. De biomassa zal deels via vergisting of vergassing worden omgezet in gas, voor gebruik in gasmotoren, en deels worden verbrand om stoom te produceren voor stoomturbines.

Bijdrage biomassa

De vraag naar warmte is ongeveer 36% van het totale verbruik aan primaire energie, ofwel 1090 PJ. De bijdrage daarin van biomassa bestaat uit een mix van warmte uit kleinschalige biomassa-WKK, warmtelevering door centrales met biomassa bij- of meestook en AVI's, directe verbranding van biomassa en van SNG. Deze warmte zal gebruikt worden in de industrie, huishoudens en diensten en de tuinbouw sector.

De totale inzet van biomassa voor elektriciteit en warmte komt uit op 355 PJ. Dit getal is opgebouwd uit de volgende bijdragen:

Centrale elektriciteitsproductie	70 PJ => 28 PJ _e
AVI's	30 PJ => 7 PJ _e + 3 PJ _{th}
Kleinschalige WKK	35 PJ => 12 PJ _e + 14 PJ _{th}
Directe verbranding	48 PJ => 0 PJ _e + 41 PJ _{th}
SNG ¹⁰	172 PJ => 0 PJ _e + 120 PJ _{th}
Totaal	355 PJ => 47 PJ_e + 178 PJ_{th}

Volgens deze gegevens levert biomassa 10% van het totale elektriciteitsverbruik. De hier berekende bijdrage van 47 PJ_e correspondeert met een besparing van 98 PJ aan fossiele brandstoffen. Dit is veel lager dan beoogd door het Platform Groene Grondstoffen. Het aandeel biomassa wordt beperkt door het veronderstelde grote aandeel van wind. De elektriciteitsproductie door windturbines, gemiddeld 16% van het verbruik in 2030, kan in theorie variëren van 0% tot 50% van de gemiddelde vraag. Tijdens daluren kan het aandeel nog hoger worden. Ter compensatie is goed en snel regelbaar productievermogen nodig, terwijl centrales op basis van kolen of biomassa meer geschikt zijn voor basislast. Variaties in de productie door windturbines moeten dus vooral worden opgevangen door centrales op aardgas.

Een grotere rol van biomassa bij de productie van elektriciteit is te realiseren door aardgas te vervangen door olie uit biomassa, of door volledige vervanging van een kolencentrale door een biomassa centrale. Op dit moment is alleen plantaardige olie bruikbaar in gasturbines. De kwaliteit van pyrolyse olie voldoet nu niet voor die toepassing. Als daar verandering in komt, kan er veel meer aanbod van olie komen ter vervanging van aardgas.

Een biomassa bijdrage van 178 PJ aan warmte levert een besparing op fossiele brandstoffen van 184 PJ (120 PJ via SNG en 64 PJ via warmte). Dat is 17% van de vraag en voldoet daarmee aan de doelstelling van het Platform Groene Grondstoffen.

¹⁰ SNG vervangt aardgas zonder verschil in rendement bij toepassingen. Warmte vervangt aardgas, dat gemiddeld met 90% rendement wordt ingezet voor de productie van warmte. Voor directe productie van warmte uit biomassa is een rendement van 85% aangehouden.

Een grotere rol van biomassa bij de productie van warmte is te realiseren door een grotere inzet van biomassa in kleinschalige WKK of bij directe verbranding. Bedenk wel, dat een bijdrage van 1 PJ neerkomt op een industriële installatie van 40 MW die 7000 uur per jaar in bedrijf is, of op 35.000 huishoudens met stadsverwarming. Met name voor huishoudens is extra productie van SNG uit biomassa een alternatief.

In totaal bespaart de inzet van 355 PJ biomassa in de sector elektriciteit en warmte volgens deze analyse 282 PJ aan fossiele brandstoffen. In deze cijfers is niet verrekend de bijdrage die grondstoffen en nieuwe procesroutes op basis van biomassa kunnen leveren aan een lager verbruik van elektriciteit en warmte in de industrie. Dit komt aan de orde in paragraaf 5.3 en bijlage B.

5.2 Transport en raffinaderijen

De EU heeft in haar "Biofuels Directive" een doelstelling van 2% voor 2005 en 5,75% voor 2010 vastgelegd. In het voorstel voor de Directive was ook een bijdrage van 8% voor 2020 voorzien. In een onderzoek in opdracht van de Europese Commissie heeft de "Alternative Fuels Contact Group" eind 2003 geconcludeerd, dat 15% in 2020 mogelijk is, omdat de tweede-generatie biobrandstoffen een hogere opbrengst per hectare hebben. Echter, in deze studie en ook in vergelijkbare studies wordt het biomassa potentieel in Europa altijd als beperkende factor gezien. Als er ook met import van buiten Europa rekening gehouden wordt, is een hoger potentieel mogelijk. Andere factoren kunnen dan het aandeel van biobrandstoffen beperken, zoals hieronder beschreven.

Hoewel er op dit moment aan nieuwe aandrijfsystemen wordt gewerkt, zullen in 2030 de verbrandingsmotoren op basis van diesel en benzine nog een dominante rol spelen in het transport. Voor beide typen motoren bestaan ook op dit moment al alternatieve biobrandstoffen (biodiesel en conventionele bio-ethanol). Rond 2010 zullen daarnaast de eerder genoemde tweede generatie biobrandstoffen in de markt komen. Voor dieselmotoren kan dan Fischer-Tropsch diesel uit biomassa gebruikt worden, in pure vorm of gemengd met fossiele diesel. Voor benzinemotoren kan bio-ethanol uit cellulose gebruikt worden. Bio-ethanol kan in kleine hoeveelheden bijgemengd worden bij benzine. Voor gebruik van grote hoeveelheden ethanol zijn flexi-fuel voertuigen nodig, die op ethanol/benzine mengsels met een maximum van 85% ethanol kunnen rijden. Deze voertuigen zijn nu al in verschillende landen op de markt.

De mix van biobrandstoffen die op de markt komt, moet zodanig zijn, dat de verhouding tussen fossiele diesel en benzine enigszins gelijk blijft. Er kan dus niet alleen ethanol in grote hoeveelheden op de markt gebracht worden zonder ook een dieselsubstituut op de markt te brengen. De reden hiervoor is, dat olieraffinaderijen een vaste verhouding van diesel en benzine produceren. Alleen bij de bouw van een nieuwe raffinaderij kan tot op zekere hoogte voor een bepaalde verhouding tussen diesel en benzine gekozen worden, daarna kan deze nauwelijks meer veranderd worden.

Een beperkende factor voor het aandeel biobrandstoffen komt van de huidige omvang van olieraffinagecapaciteit. Het niet benutten van deze raffinagecapaciteit en tegelijkertijd produceren van biobrandstoffen, betekent feitelijk kapitaalvernietiging. Omdat de Europese raffinaderijen op dit moment maximaal benut worden, kan in principe echter elke toename in brandstofvraag door biobrandstoffen gedekt worden door het bouwen van productiecapaciteit hiervoor en/of door import. Tussen 2000 en 2030 groeit de vraag naar transportbrandstoffen met 73 PJ, dat is 16%. Daarnaast zal een deel van de huidige olieraffinagecapaciteit voor 2030 vervangen moeten

worden. De levensduur van olieraffinaderijen is relatief lang, maar de levensduur van de verschillende onderdelen is gemiddeld zo'n 25 jaar.

Om een doelstelling van 60% biobrandstoffen te halen, is 318 PJ biobrandstoffen nodig¹¹. Naast de 73 PJ nieuwe capaciteit of import, is dus nog 245 PJ nodig. Dit is ruim de helft van de olieraffinagecapaciteit die in 2000 voor Nederlandse transportbrandstoffen ingezet wordt. Dat lijkt te veel om al in 2030 vervangen te hebben. Omdat de raffinagecapaciteit in Nederland veel groter is dan alleen voor de Nederlandse markt (zie tabel 3), is deze vervanging wel mogelijk, maar niet waarschijnlijk als Nederland gelijke pas wil houden met andere landen in Europa bij de invoering van transportbrandstoffen uit biomassa. In Europees verband is het streefcijfer voor 2030 ongeveer 20%.

Verder moet er rekening mee gehouden worden, dat olieraffinaderijen ook veel olieproducten voor de chemische industrie produceren. Als de olieraffinagecapaciteit afneemt, zal ook de beschikbare hoeveelheid basischemicaliën uit olieproducten voor de chemische industrie afnemen. Dan moeten voor de chemische industrie dus ook alternatieve grondstoffen (biomassa) en productieprocessen beschikbaar komen. Bij substitutie van de huidige transportbrandstoffen uit aardolie door biobrandstoffen moeten de olieraffinage en de chemische industrie dus als één organisch geheel gezien worden.

De sector transport biedt goede mogelijkheden om grootschalig biomassa in te zetten. De technologie is al redelijk ver ontwikkeld, zodat een grote bijdrage van biomassa in 2030 mogelijk is. Op basis van bovenstaande overwegingen lijkt het toch meer realistisch, de doelstelling voor 2030 op 40% te stellen. Dit komt neer op 212 PJ. Bij een gemiddeld rendement van 60% van biomassa naar brandstof, is 353 PJ aan biomassa nodig¹². De productie van transportbrandstoffen uit biomassa kan een besparing leveren op het verbruik van energie voor raffinage. Maximaal kan die besparing neerkomen op een extra bijdrage van 17 PJ. Omdat omzettingverliezen en energieverbruik voor raffinage zijn gerekend tot gebruik van warmte in de industrie, moet ook de besparing op die post geboekt worden.

De hier geschatte bijdrage van biomassa bij transport is beduidend lager dan de doelstelling van het Platform Groene Grondstoffen. In dit geval is het verschil vooral te danken aan een andere inschatting van de haalbaarheid, deels op economische gronden en deels op basis van ontwikkelingen in de rest van Europa.

5.3 Industrie en cokesfabrieken

De sector industrie is verantwoordelijk voor 95% van het niet-energetisch gebruik van energiedragers, dat is het gebruik van energiedragers als grondstoffen voor chemicaliën, materialen en producten. Daarnaast gebruikt de industrie ook energie in de productieprocessen. Dat gebruik is toegerekend aan de toepassingen elektriciteit en warmte. Daar waar de inzet van biomassa als grondstof loopt via procesroutes die duidelijk minder energie vergen, kan de besparing op procesenergie ook worden toegerekend aan de toepassing grondstoffen. Hieronder worden die bijdragen apart vermeld.

¹¹ Hier is het aandeel van 60% berekend over het aandeel van 530 PJ uit aardolie. Voor de 8 PJ uit elektriciteit geldt het aandeel dat voor de productie daarvan is aangehouden.

¹² Bij de productie van bio-ethanol blijft een restproduct over, dat kan worden ingezet bij de productie van elektriciteit en warmte, waarvan een deel in het proces zelf nodig is. Ook de productie van diesel via het Fischer-Tropsch proces levert een overschot aan elektriciteit. De levering van een overschot aan elektriciteit is verrekend in het gemiddelde rendement van 60% [Tampier, 2004; Ahlvik, 2001].

In de kunstmest industrie is niet-energetisch gebruik van aardgas (92 PJ in 2030) voor de productie van ammoniak deels te vervangen door gebruik van waterstof dat uit biomassa kan worden geproduceerd. In de organische basischemie is het verbruik van aardgas in 2030 op 31 PJ geschat. Voor de productie van methanol is synthesesegas uit biomassa vergassing te gebruiken. In de huidige economische omstandigheden is dat alleen een theoretische mogelijkheid. Voor een bijdrage van 30% in deze beide sectoren is 44 PJ aan biomassa nodig, bij een verondersteld substitutie rendement van 85%. Een grotere bijdrage, of lagere biomassa behoefte, is mogelijk, via rechtstreekse productie van stikstofverbindingen uit biomassa (zie bijlage B).

In de staalindustrie zijn steenkool en cokes te vervangen door biomassa. Bij niet-energetisch verbruik (65 PJ in 2030) betreft het vooral de vervanging van cokes door houtskool. Technisch lijkt een bijdrage van 50% zeker haalbaar. Vervanging van 33 PJ cokes vereist 47 PJ aan biomassa¹³. Als vervanging van cokes door houtskool leidt tot een lagere cokesproductie, neemt de vraag naar warmte bij cokesfabrieken af. Die bijdrage, ongeveer 6 PJ, is hier verwaarloosd.

Het niet-energetisch gebruik van aardolieproducten in de organische basischemie (315 PJ in 2030) bestaat voornamelijk uit olefinen (ethyleen, propyleen, butadiëen) die worden geproduceerd uit LPG, nafta en lichte olie fracties. Daarnaast wordt een grote hoeveelheid aromaten (benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen) gebruikt. Er zijn momenteel nog geen geschikte mogelijkheden om deze basischemicaliën te vervangen door biomassaproducten. Er zijn wel verschillende mogelijkheden voor de toekomst. Globaal kunnen er 5 routes worden onderscheiden, die hieronder kort worden beschreven. In toenemende mate passen die routes bij het concept "bioraffinage, waarbij geprobeerd wordt de biomassa structuur intact te laten en zoveel mogelijk te benutten.

1. Syngas.

Via vergassing bij hoge temperatuur is biomassa om te zetten in synthesesegas, met als belangrijkste componenten CO en H₂. Dit synthesesegas is o.a. te gebruiken in het Fischer-Tropsch proces voor de productie van koolwaterstoffen. Dit proces levert naast de diesel fractie, die als biobrandstof kan worden gebruikt, ook andere fracties, net als een raffinaderij. Deze andere fracties kunnen gebruik worden om basischemicaliën zoals olefinen te produceren. Het Fischer-Tropsch proces produceert wel veel minder aromaten dan een raffinaderij.

2. Vergassing middelhoge temperatuur.

Bij relatief lage temperatuur (ca. 700-900 °C) levert vergassing van biomassa een gas, dat naast de gebruikelijke synthesesegas componenten ook methaan, ethyleen, benzeen en andere koolwaterstoffen bevat. Met nog te ontwikkelen efficiënte scheidingstechnieken zouden componenten als ethyleen en benzeen afscheiden kunnen worden. Die kunnen dan net als nu in de basis organische chemie gebruikt worden. Ook het BTG pyrolyseproces en het HTU proces kunnen tot deze route gerekend worden. Deze processen leveren namelijk een mengsel van olie en water, dat verschillende componenten bevat die voor toepassing in de chemie geschikt zijn.

¹³ Hierbij is rekening gehouden met 30% omzettingsverlies van biomassa naar houtskool. Als de omzetting in het buitenland plaatsvindt, komt dat verlies niet ten laste van de Nederlandse energiebalans.

3. Getrapte ontgassing.
Dit is een nog subtielere benadering, waarbij biomassa eerst bij nog lagere temperaturen (vanaf 200°C) in afwezigheid van zuurstof wordt ontgast. Hierbij ontstaan interessante basischemicaliën zoals methanol en azijnzuur. De toepassing van katalysatoren in verschillende processen kan de opbrengst van bepaalde gewenste producten maximaliseren. Dit is echter een onderzoeksgebied waarvan momenteel wel bepaalde delen zijn bestudeerd, maar waarvan het volledige potentieel nog lang niet bekend is.
4. Fermentatie, microbiële en enzymatische omzettingen.
Middels isolatie van componenten uit plantaardig materiaal, dan wel door fermentatie op basis van suikers kunnen (basis) chemicaliën worden geproduceerd waardoor fossiele grondstoffen worden bespaard. Voorbeelden van de productie van bestaande chemicaliën zijn het ABE proces (aceton-butanol-ethanol fermentatie proces) en biologische waterstof productie. Bovendien kunnen ook nieuwe chemicaliën worden geproduceerd of tussenproducten daartoe. Op dit ogenblik zijn met name in de USA fermentatieprocessen ontwikkeld voor gefunctionaliseerde verbindingen zoals 1,3-propaandiol en (poly)melkzuur.¹⁴ Het is te voorzien dat deze ontwikkeling leidt tot een groot aantal verbindingen en nieuwe materialen.
5. Specifieke productie van chemicaliën in planten.
In dit concept worden chemicaliën (of grondstoffen) in planten geproduceerd en door scheiding gewonnen. Voorbeelden hiervan zijn de productie van aminozuren of peptiden die gemakkelijk kunnen worden geïsoleerd en gezuiverd en die goede uitgangstoffen vormen voor een aantal bestaande (bulk)chemicaliën. Een voorbeeld is het peptide cyanofycine dat tot de bulkchemicaliën 1,4-butaandiamine, ureum en acrylonitril kan leiden.

Het is mogelijk, dat ontwikkelingen in microbiologische omzettingen en productie van chemicaliën in planten leiden tot een nieuwe klasse van functionele chemicaliën en producten die deels bestaande producten kunnen vervangen. Hier kan men denken aan het gebruik van (poly)melkzuur als vervanger van polyethyleen in sommige toepassingen. Verder is het ook mogelijk dat nieuwe eindproducten direct gevormd kunnen worden vanuit bio-grondstoffen zonder gebruik te maken van bestaande routes en infrastructuur. Hier kan men denken aan de productie en het gebruik van Solanyl^{®15} als vervanger van bestaande polymeren in sommige toepassingen.

Met gebruik van routes 4 en 5 is het mogelijk om tot twee typen concepten te komen:

- Energie reductie door de niet gefunctionaliseerde grondstof te vervangen. Bij (gedeeltelijke) vervanging van de grondstof blijven alle andere factoren gelijk.
- Reductie van de energiebehoefte door het gebruik van alternatieve grondstoffen voor gefunctionaliseerde chemicaliën. Hierdoor wordt tevens de behoefte aan productiemiddelen en energie en het gebruik van reagentia beperkt.

Deze twee concepten worden nader toegelicht in bijlage B.

Vervanging van 25% van het niet-energetisch verbruik van aardolieproducten komt neer op 79 PJ. Net als bij transportbrandstoffen en cokes kan daar nog een extra bijdrage bijkomen voor energiebesparing in raffinaderijen. Ook hier is die bijdrage verwaarloosd¹⁶. Bij routes 4 en 5 is een extra besparing op procesenergie mogelijk.

¹⁴ Cargil-Dow, DuPont, Genecor.

¹⁵ www.biopolymers.com

¹⁶ Bedoeld is hier besparing op het energieverbruik in de raffinaderij voor de productie van grondstoffen uit aardolie. Bij vervanging van 79 PJ aan grondstoffen gaat het om 6 PJ.

Naar schatting van ECN is deze besparing maximaal 20 PJ. Dit resultaat volgt uit de veronderstelling, dat deze routes de helft leveren van de 79 PJ besparing op niet-energetisch verbruik van olieproducten en dat de besparing op procesenergie daar weer de helft van is¹⁷. Verder is daarvoor nodig, dat biomassa alle procesenergie levert voor het nieuwe proces.

Naar schatting van WUR kan de besparing 40 PJ tot 80 PJ worden. Dit resultaat volgt uit de veronderstelling, dat deze routes de volledige 79 PJ besparing op niet-energetisch verbruik van olieproducten leveren plus een deel van de op aardgas gebaseerde productie van ammoniak. Nieuwe routes moeten dan vooral gezocht worden voor processen, waarbij het klassieke proces meer procesenergie vraagt dan gemiddeld. Verder is daarvoor nodig, dat biomassa alle procesenergie levert voor het nieuwe proces.

Het rendement van biomassa naar chemicaliën, materialen en producten kan variëren van minder dan 60% voor vergassing in combinatie met het Fischer-Tropsch proces en opwerking tot 90% voor langzame ontgassing en biochemische routes. Bij een gemiddeld rendement van 70% is 113 PJ biomassa nodig. Die inzet kan 79 PJ aan aardolieproducten besparen plus 20 PJ aan procesenergie. Een grotere besparing op procesenergie vergt een grotere inzet aan biomassa.

De mogelijke niet-energetische inzet van biomassa bij overige industrie is vanwege de diversiteit moeilijk in te schatten en hier verwaarloosd. Niet-energetische inzet van aardolieproducten in dienstverlening en bouw betreft voornamelijk bitumen voor asfalt. Aangenomen is, dat daar geen vervanging door biomassa mogelijk is.

Op basis van het bovenstaande kan in 2030 de inzet van biomassa voor niet-energetisch verbruik in de industrie 149 PJ aan fossiele energiedragers besparen. Dat komt neer op bijna 27% van het niet-energetisch verbruik. Dit resultaat is iets hoger dan de doelstelling van het Platform Groene Grondstoffen, vooral door het hoog ingeschatte potentieel in de staalindustrie. Voor deze bijdrage is 204 PJ aan biomassa nodig. Naast een directe besparing op fossiele grondstoffen kan de inzet van biomassa een besparing opleveren op procesenergie in de chemische industrie en mogelijk enkele kleinere bijdragen bij de cokesfabrieken en raffinaderijen. Volgens ECN kan de extra besparing in de chemische industrie uitkomen op maximaal 20 PJ, volgens WUR is 40 PJ tot 80 PJ haalbaar. Het totaal van deze extra bijdragen komt bij een voorzichtige schatting neer op 4,5% van de vraag naar warmte en 1,6% van de totale vraag naar primaire energie.

Het verdient aanbeveling om eerst die inzet van biomassa na te streven, waarbij aanpassing van de infrastructuur beperkt nodig is. Verder zouden ook die processen moeten worden bevorderd die leiden tot een beperking van de procesenergie.

5.4 Biomassa vraag in 2030

Tabel 17 geeft een overzicht van de veronderstelde bijdragen van biomassa in diverse sectoren en de daarvoor benodigde hoeveelheid biomassa. De inzet van 912 PJ aan biomassa levert een besparing van 643 PJ aan fossiele energiedragers, wat neerkomt op 21,4% van de totale vraag naar primaire energie. Inclusief diverse besparingen op procesenergie komt het totaal uit op 692 PJ, wat neerkomt op 23%. Dit is lager dan de 30% die het Platform als ambitieniveau gesteld heeft. Het verschil

¹⁷ In hoofdstuk 2 is gesteld, dat de procesenergie 50% tot 60% is van het niet-energetisch verbruik. Hier is aangenomen, dat in 2030 hooguit nog 50% nodig is.

is vooral te danken aan belangrijk lagere bijdragen bij elektriciteit (-105 PJ) en transport (-112 PJ).

Tabel 17 *Biomassa bijdragen energiebalans Nederland en daarvoor benodigde biomassa in 2030.*

Sector	Energie- vraag [PJ]	Aandeel biomassa [%]	Besparing fossiele energie [PJ]	Benodigde biomassa [PJ]
Warmte	1090	17	184 [#]	240
Elektriciteit	810	12	98	115
Transport	540	40 [*]	212 [#]	353
Grondstoffen Metaalindustrie	65	50	33 [#]	47
Chemie aardgas	123	30	37	44
Chemie aardolie	315	25	79 [#]	113
Overige	57			
Totaal	3000		643 [#]	912

* Het verbruik van elektriciteit voor transport is hier niet meegerekend.

De besparingen op energieverbruik bij olieraffinage en bij cokesproductie en die op procesenergie in de chemische industrie zijn verwaarloosd. Deze besparingen kunnen samen zorgen voor een extra bijdrage van 49 PJ bij warmte, dat is 4,5% van het verbruik voor warmte.

6 Aanbod biomassa in 2030

In het voorgaande hoofdstuk is aangegeven, hoe de inzet van biomassa in 2030 een besparing aan fossiele energiedragers kan leveren ter grootte van 23% van het Nederlandse energieverbruik. Daarvoor is ruim 900 PJ biomassa nodig. Deze behoefte zal moeten worden gedekt door binnenlandse biomassa en import van biomassa.

Dit hoofdstuk gaat in op de vraag, hoeveel biomassa (en biobrandstoffen) beschikbaar kan komen uit Nederland en door import, en waar deze ingezet zal kunnen worden. Hiervoor wordt het landgebruik voor 2030 in Nederland geanalyseerd. Dat geeft inzicht in de bruto productiviteit en de soort biomassa die hier vrij kan komen. Verder wordt er een analyse gemaakt van bestaande studies, die de beschikbaarheid van biomassa in Nederland en in de wereld hebben onderzocht.

Om meer inzicht te verkrijgen waar en welke stromen beschikbaar zouden kunnen komen is een korte analyse van 5 verschillende stromen gemaakt, te weten: primaire, secundaire en tertiaire bijproducten, biomassateelt en import van biomassa.

6.1 Nederlandse primaire productie

Tabel 18 geeft een inschatting van de Nederlandse primaire biomassa productie voor 2030 op basis van het verwachte landgebruik. Tabel 18 laat zien, dat de totale biomassaproductie stijgt van 31 Mton (527 PJ) naar 36 Mton (627 PJ). Er is gebruik gemaakt van de verwachte veranderingen in landgebruik zoals door Londo gepresenteerd [Londo, 2002]. Onze aanname is, dat de landbouwproductie toeneemt van 12 ton DS/ha in 2010 tot 16 ton DS/ha in 2030. Dat betekent een toename van 1% per jaar. Deze opbrengstverbetering heeft zich de afgelopen jaren voor een aantal gewassen voorgedaan, zoals aardappelen en suikerbieten.

Tabel 18 *Inschatting Nederlandse primaire biomassaproductie in 2030, die in principe duurzaam inzetbaar is, op basis van ingeschat bodemgebruik in 2030 [Londo, 2002].*

Categorie	Oppervlak in 2000 [10 ³ ha]	Oppervlak in 2030 [10 ³ ha]	Biomassa productie [ton DS/ha.jr]	Opbrengst droge stof [kton/jr]	Energie inhoud [GJ/ton]	Energie opbrengst [PJ/jr]
Verkeer, bebouwd en semi-bebouwd	480	524	1,6	838	17	14,3
Recreatie	89	130	3,5	456	17	7,8
Landbouw	2.326	2.004	16,0	32.064	17	545,1
Bos en Natuur	483	579	4,0	2.315	17	39,4
Binnenwater	357	498	1,0	498	17	8,5
Buitenwater	417	417	0,0	0	17	0,0
Totaal	4.152	4.152	nvt	36.172	17	627,8

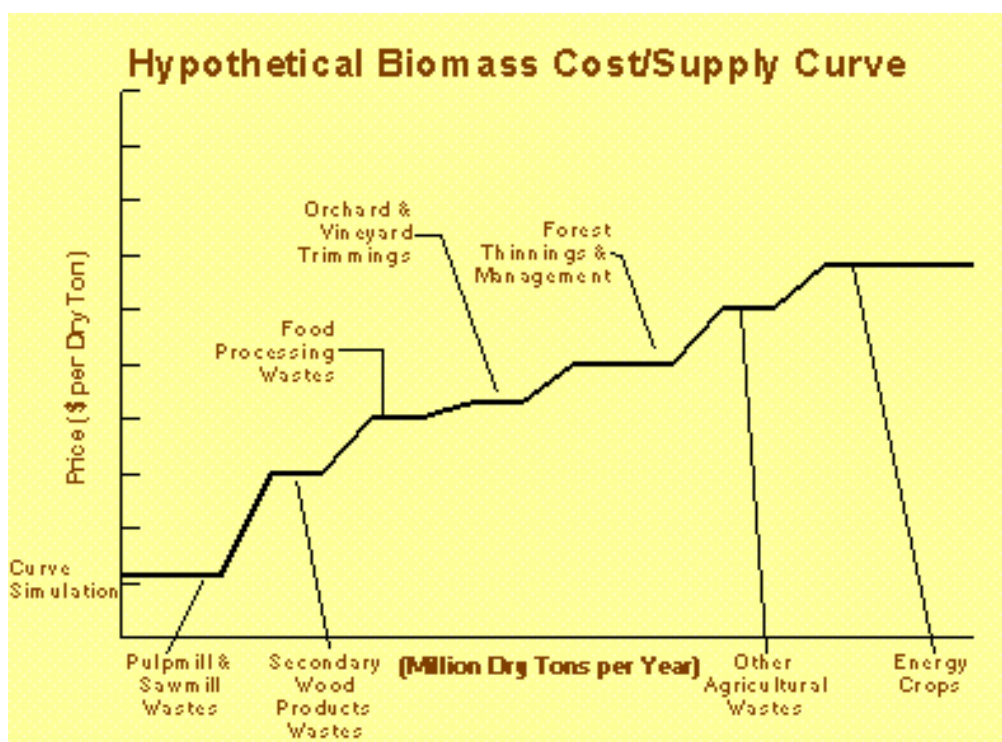
Een opbrengstverbetering tot 16 ton DS/ha in 30 jaren is mogelijk door veredeling en ontwikkeling van teelttechnologie, een langer groeiseizoen door klimaatverandering en een hoger CO₂-gehalte van de lucht. Verder zal naar verwachting met name het iets minder productieve landbouwoppervlak omgezet worden in bos en natuur en recreatie gebied. Verder kan er aangenomen worden, dat er ook grotere veranderingen optreden, zoals de teelt van productievare gewassen. Een voorbeeld is de invoering van voederbieten voor bioraffinage (suiker + eiwit + vezel). Dat kan

een 30% hogere opbrengst leveren dan de teelt van suikerbieten. Soortgelijke opbrengstverschillen zijn er tussen conventionele snijmaïs en energiemaïs, die speciaal voor vergisting geteeld wordt.

6.2 Biomassa bronnen

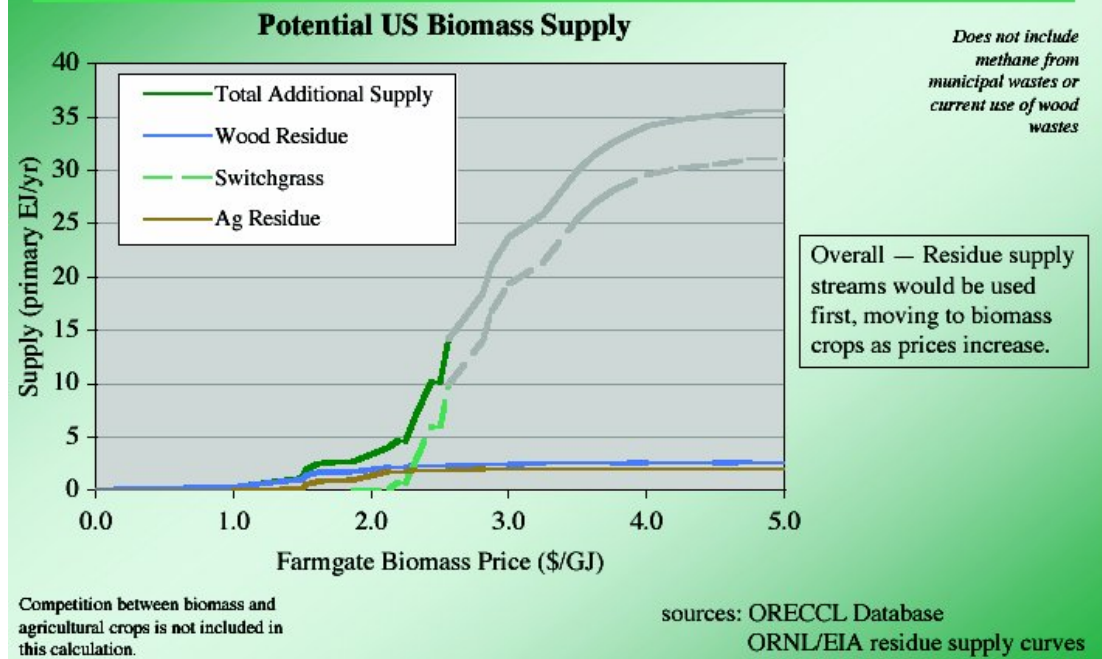
De vorm van de biomassa en de bronnen van biomassa zijn zeer divers. De soort biomassa die beschikbaar is, bepaalt mede hoe de bio-based economy ingericht zal worden. De biomassa bronnen kunnen voor Nederland in 5 categorieën worden ingedeeld:

- Primaire bijproducten, dat zijn bijproducten die bij de bron vrijkomen. Hieronder vallen gewasresten, zoals bietenstaartjes, stro, bermgras, snoeihout, kasafval, dunningshout, etc.
- Secundaire bijproducten, dat zijn bijproducten die later in de productieketen vrijkomen zoals aardappelschillen, bietenpulp, zaagsel, C-zetmeel, bierbostel, etc.
- Tertiaire bijproducten, dat zijn producten die al een functie gehad hebben en daarna weer beschikbaar komen zoals afgewerkt frituurvet, slachtafval, mest dierlijk vet, de meeste componenten in GFT, oud papier, sloophout.
- Specifieke gewassen, zoals goudsbloem, hennep, vlas, Miscanthus, switchgras, SRC (short rotation coppice), suikerbiet voor ethanol, etc.
- Import van biomassa, in de vorm van gewassen, primaire en secundaire (bij)producten of tussenproducten.



Figuur 5 *Typische biomassa aanvoercurve voor een hout gestookte installatie [Turnbull, 1994]. Secundaire en tertiaire bijproducten zijn het goedkoopst, gevolgd door de primaire bijproducten en specifiek geteelde gewassen.*

U.S. Biomass Supply Curve



Figuur 6 Biomassa aanvoer curve voor de USA van hout residuen, landbouw residuen en het energiegewas switchgrass [Smith, 2004].

Figuur 5 en 6 presenteren wat algemene biomassa aanvoercurves, die illustreren hoe eerst secundaire en tertiaire bijproducten, dan primaire bijproducten en tot slot speciaal geteelde gewassen aangevoerd worden. Iedere biomassa soort met daarbij behorende conversie systeem heeft natuurlijk een eigen aanvoercurve.

In studies naar beschikbaarheid van biomassa voor energieopwekking komen logischerwijs vooral secundaire en tertiaire bijproducten naar voren. Dit wordt geïllustreerd in tabel 19, waarin het verwachte aanbod aan biomassastromen in 2010 is opgenomen [Koppejan, 2005]. De studie is vooral gericht op biomassa voor elektriciteit en warmte. In de literatuur is slecht onderscheid te maken tussen primaire en secundaire bijproducten. Deze worden dan verder ook samen behandeld.

6.3 Biomassa ontwikkelingen

Primaire bijproducten hebben traditioneel weinig toepassingen en worden vaak achtergelaten op het veld of in het bos. Er bestaat vaak wel interesse om een verantwoorde(re) en liefst financieel aantrekkelijke afzet te vinden. Drivers zijn o.a. de wens om nutriënten af te voeren die anders uitspoelen. Dit geldt bijvoorbeeld voor bermgras en natuurgras. Naarmate een efficiënte infrastructuur ontstaat om deze producten in te zetten, zullen veel van deze stromen kunnen gaan bijdragen aan de productie van duurzame energie, transportbrandstoffen en chemie. Technologieën die hiervoor ingezet kunnen worden zijn met name vergisting, bioraffinage [Zwart, 2004] en pyrolyse [Innovatienetwerk, 2005]. Gewasresten vervullen meestal wel een rol als groenbemesting om nutriënten en bodem koolstof aan te vullen, maar dit hoeft in Nederland geen wezenlijk obstakel te zijn voor de inzet voor energie [Verhagen, 2004]. Verder kan afvoer en gebruik van gewasresten bijdragen aan een lagere uitstoot van nitraat na de oogst [Zwart, 2004].

Tabel 19 Verwacht aanbod van biomassa in 2010 [naar Koppejan, 2005].

Nr.	Biomassasoort	Aanbod in Nederland [kton/jaar]	Energie-inhoud [GJ/ton]	Energie-inhoud [PJ/jaar]	Prijs [Euro/ton geleverd]	Prijs [Euro/GJ geleverd]
1a	Vers resthout, houtblokken	500	10,2	5,1	10	1,0
1b	Vers resthout, houtsnippers	540	10,2	5,5	18	1,8
2	Energieteelt	2	10,2	~0	80	7,8
3a	Schoon resthout (zaagsel/krullen)	270	15,6	4,2	n.v.t.	0 – 0,6
3b	Houtpellets	100	17,5	1,8	90	5,2
3c	Schoon resthout, afkorthout	250	15,6	3,9	10	1,0
4	Gescheiden ingezameld hout A-hout kwaliteit	500	15,4	7,7	16	1,0
5	Gescheiden ingezameld hout B-hout kwaliteit	700	15,4	10,8	6	0,4
6	Gescheiden ingezameld hout van C-hout kwaliteit	50	15,4	0,8	-74	-4,8
7	Granen	0	-	0	-	-
8	Stro van granen	0	13,3	0	41	3,1
9	Bermgras	450	5,3	2,4	-44	-8,3
10	Hooi van gras	140	12,7	1,8	76	6,0
11	Hennep, vlas	5	11,3	~0	6	0,5
12	Energieteelt (miscanthus)	0,5	13,2	~0	80	6,1
13	Plantaardige olie	4	38	~0	705	18,6
14	Stro	15	13,6	~0	41	3,0
15 a	Schillen	100	16,5	1,7	80	4,8
15 b	Schroot / schilfers	100	15	1,5	150	10
16a	Frituurvet	60	38	2,3	200	5,3
16b	Bleekaaarde	12	10	0	-	-
16c	Vetzuren	60	38	2,3	45-125	2,0
16d	Restvetten	0	30	0	-	-
16e	Droge VGI restproducten	100	18	1,8	55-80	3,2
16f	Diermeel	50	22	1,1	0	0
16g	Dierlijke vetten	200	25	5	250	10
17	Swill	215	3,4	0,7	-34	-10
18	GFT [#]	2.280	3,4	7,8	-31	-9,1
19	Afval	10.200	8,4	40	-100	-11,9
20	Oud papier en karton	-	-	0	-	-
21	Textiel	-	-	0	-	-
22	Shredderafval	0	-	0	-	-
23	Reinigingsdienstenaafval	0	-	0	-	-
24	Kippenmest	1.000	6,6	6,6	~0	~0
25	Runder- en varkensmest	15.000	-1	0	-16	-
26	Slib RWZI	1.400	1,5	2,1	-	-20 tot -40
27	Composteeroverloop	50	10,2	0,5	-	~0
28	Afgescheiden houtafval uit brandbaar afval	500	15,4	7,7	10	0,6
29	Papierslib	1.000	1,6	1,6	-	~0
30	Papier/plastic pellets (SRF)	2.500	13-20	42	10	0,6
Totaal *		17 Mton		150	-	-
Primair bijproduct (direct van het land)				4,4		
Secundair en tertiair (bijproduct of afval)				143		
Teelt				0,03		
Import				1,9		

[#] GFT bestaat uit zowel primaire als secundaire en tertiaire bijproducten en is hier bij de laatste geteld.

* In het totaal is runder- en varkensmest niet meegeteld en is van afval en papier/plastic pellets alleen het aandeel biomassa geteld.

Gewasresten vormen een aanzienlijke deel van de totale landbouwproductie in Nederland. De hoeveelheden per ha lopen sterk uiteen. Voor 11 vollegrondsgroenten is de geschatte hoeveelheid gewasresten meer dan 3 ton DS/ha, terwijl voor akkerbouwgewassen naar schatting meer dan 2,5 ton DS/ha beschikbaar is [Zwart, 2004]. Voor suikerbieten is het zelfs meer dan 4 ton DS/ha. Dit betekent, dat er in

Nederland uit de tuinbouw $3 \times 100.000 \text{ ha} = 0,3 \text{ Mton DS}$ bijproducten beschikbaar is en dat er uit de akkerbouw $2,5 \times 800.000 \text{ ha} = 2 \text{ Mton DS}$ biomassa beschikbaar is. Zo'n 2,3 Mton DS was in 2000 in principe beschikbaar uit akkerbouw en vollegrondsgroententeelt, zonder dat er optimalisatie heeft plaatsgevonden. Bijproducten uit kassen zijn hier nog niet meegeteld. Voor 2030 mag er een nog grotere totale beschikbaarheid verwacht worden. Wij gaan ervan uit, dat dan 3 Mton DS gewasresten beschikbaar zal zijn.

Verder vormen ook zogenaamde groenbemestingsgewassen, zoals bladrammenas, een aantrekkelijke biomassa-bron. Deze gewassen worden later in het seizoen na het hoofdgewas, zoals tarwe, geteeld om nutriënten, met name stikstof, vast te houden. Op dit moment worden deze groenbemestingsgewassen ondergeploegd. Het vrijkomen van nutriënten wordt uitgesteld, waardoor eutrofiëring van bijvoorbeeld oppervlaktewater wordt verminderd en het volgende gewas een deel van de nutriënten kan gebruiken. De gewassen kunnen ook worden ingezet als grondstof voor bioraffinage of vergisting, waarna nutriënten efficiënter gerecycled kunnen worden. De opbrengst is sterk afhankelijk van het moment van inzaaien, maar kan oplopen tot zo'n 5 ton DS/ha. Momenteel worden er enige tienduizenden hectares geteeld.

De analyse laat zien dat er aan primaire bijproducten uit de landbouw tegen de 3 Mton DS af te scheiden is op dit moment. Dit lijkt een redelijke schatting vergeleken met de bruto analyse in hoofdstuk 3, waar in gegevens uit 1989 zo'n 5 Mton DS gewasbijproducten te onderscheiden waren.

Buiten de landbouw vormen producten van landschapsonderhoud zoals bermgras, snoeihout en dunningshout een aantrekkelijke biomassa-bron die bijna geheel te gebruiken is voor energie. Het achterlaten van hout in het bos kan een specifiek onderdeel van het landschapsbeheer zijn (zoals vaak het geval is bij Stichting Natuurmonumenten). Waarschijnlijk kan een aanzienlijk deel van deze stromen benut worden. Praktische bezwaren als de kosten van inzameling en aanwezigheid van een infrastructuur voor verwerking zijn er op dit moment wel, maar die zouden tot 2030 te overbruggen moeten zijn. Hierbij zijn in principe zo'n 1,4 Mton DS beschikbaar te maken op basis van 2000 getallen. Voor 2030 zal dit meer zijn door een hogere productiviteit en door een groter areaal voor natuur, bos en recreatie. In tabel 18 is een potentie van deze stromen van 4 Mton gegeven. Wij nemen aan dat 3 Mton DS hiervan beschikbaar kan komen.

Bij elkaar is er met deze exercitie zo'n 3 Mton primaire bijproducten uit de landbouw en 3 Mton primaire biomassa buiten de landbouw te vinden. Dit zal in totaal zo'n 6 Mton DS kunnen zijn, wat overeenkomt met 100 PJ.

Het ontsluiten van deze stromen vergt een investering in een infrastructuur die verschillende soorten biomassa kan verwerken, van droog tot nat en vaak in pieken over het jaar vrijkomend. Het ontsluiten van deze stromen gaat vaak samen met bepaalde voordelen voor landschapsonderhoud en kan het efficiënt recyclen van nutriënten ondersteunen [Zwart, 2004].

Secundaire en tertiaire bijproducten komen respectievelijk vrij in agro-ketens bij bewerking van land- en bosbouwproducten en na gebruik (mest, sloophout, GFT, etc). In Nederland vinden er in de afzet van bijproducten uit de voedings- en genotmiddelen industrie, globaal 10 Mton [Koppejan, 2005], de laatste jaren verschuivingen plaats. Traditionele afzet richting veevoer (77%) staat onder druk om de volgende redenen:

- Door veevoerincidenten (BSE, hormonen) is het verboden om veel van de bijproducten, die als veevoer werden afgezet, nog langer zo af te zetten.
- Dierziekten (varkenspest, kippengriep, mond- en klauwzeer) hebben geleid tot ophoping van bijproducten, wat tot grote kosten heeft geleid.
- De verwachte vermindering van de veestapel tot 50% in 2030, zoals aangegeven in het vierde Nationaal Milieubeleidsplan, vindt nu reeds plaats. Daarmee is er minder afzet van bijproducten richting veevoer.

Als door wettelijke maatregelen of marktveranderingen een bijproduct niet afgezet kan of mag worden als veevoer, daalt de waarde aanzienlijk. Ondernemingen en de overheid zouden graag alternatieve verwerkingsopties willen hebben. Industrieën hebben behoefte aan alternatieve afzet van bijproducten en zijn daar actief naar op zoek. Dit geldt voor slachtbijproducten maar ook voor niet dierlijke bijproducten als aardappelstoomschillen, bierbostel, bietenpulp, etc. [Elbersen, 2002; Rabobank, 2001; Vaals, 2003]. Het voor 2010 verwachte aanbod van deze secundaire en tertiaire stromen is 143 PJ (zie tabel 19). Gedeeltelijke inzet van deze stromen zal naar verwachting leiden tot 88 PJ vermeden fossiel in 2010 [Koppejan, 2005].

Voor de ontwikkeling tussen 2010 en 2030 zullen wij een aantal aannames moeten doen. Zo is te verwachten dat het hierboven genoemde aanbod niet zal afnemen en dat er nog een aantal stromen bij kunnen komen of groter kunnen worden. Denk hierbij aan een stroom als runder- en varkensmest, die nog niet is meegeteld, hoewel die in de komende jaren naar verwachting wel ingezet zal worden voor elektriciteits- en warmteproductie. Verder zullen stromen die nu gecomposteerd worden ook voor energietoepassing worden ingezet. Wij nemen aan dat deze ontwikkeling in 2030 kan resulteren in een aanbod van zeker 200 PJ. Deze stromen worden nu al gedeeltelijk ingezet en zullen iets makkelijker te mobiliseren zijn dan primaire bijproducten maar vergen ook verdere investeringen in een geschikte infrastructuur.

Specifieke teelt van gewassen voor biomassa komt in Nederland langzaam op gang. Zie koolzaad [Janssens, 2005] en gewassen voor co-vergisting, maar ook bestaande industriële non-food gewassen zoals hennep, vlas en zetmeel aardappelen. Ontwikkelingen tot 2030 zijn hier moeilijk te voorspellen. Ze zijn ook sterk afhankelijk van de veranderingen in het Gemeenschappelijk Landbouw Beleid van de EU, omdat die bepalen welk gewas aantrekkelijk is om te produceren voor boeren. Er zal ontkoppeling plaatsvinden tussen subsidie en productie en er wordt meer afgerekend op milieuprestaties. Dit kan kansen bieden voor productie van biomassagrondstoffen.

Studies naar de mogelijkheden voor energieteelt [Londo, 2002; Janssens, 2005] zijn met grote onzekerheden omgeven, zeker voor de termijn tot 2030. De analyse van Londo laat zien, dat tot 10% van het Nederlandse landbouw areaal voor energiegewassen bestemd zou kunnen zijn. Dit zou een potentie geven van 200.000 ha x 16 ton DS/ha = 3,2 Mton DS biomassa (equivalent aan 54,4 PJ primaire energie).

Er zijn op dit moment verschillende commerciële energieteelt initiatieven die zich richten op koolzaadolie voor biodiesel (Groningen, Achterhoek en Limburg), tarwe voor ethanolproductie (o.a. Zeeland) en energiemaïs voor vergisting. Verder zouden veranderingen in de regelingen voor suikerbieten aanleiding kunnen geven tot de productie van zowel suiker als ethanol uit suikerbieten. Dit laat zien, dat biomassa-teelt voor brandstof (en ook voor de chemie) waarschijnlijk ook in 2030 een optie zal zijn. Als gezegd, zal de werkelijke potentie zal sterk afhangen van het Gemeenschappelijke landbouwbeleid van de EU en de concurrentie met andere gewassen, claims op land, etc. Multifunctionele energieteelt, waarbij teelt van energiegewassen wordt gecombineerd met andere landgebruiksfuncties, is ook een optie die tegen

2030 een impact kan hebben [Eker, 1999; Londo, 2002], die niet direct te kwantificeren is.

Behalve bij akkerbouwgewassen liggen er in Nederland ook kansen om graslanden in te zetten voor biomassaproductie. Trends hier zijn een vermindering van de veestapel, zoals aangegeven in het vierde Nationaal Milieubeleidsplan, en rationalisering van de bedrijfsvoering. Verder vinden bijvoorbeeld in het veenweide gebied maatregelen plaats in de waterhuishouding en het beheer, waardoor er veel meer lage kwaliteit “beheersgras” vrij komt. Al deze trends maken het waarschijnlijk, dat er behoefte komt aan alternatieve afzet van gras. Gedeeltelijke inzet als grondstof voor energie en chemie via bioraffinage concepten ligt voor de hand [de Jong, 2005; Rabbinge, 2005]. Globaal is de Nederlandse grasproductie nu 12 Mton DS. Indien in 2030 hiervan 30% afgescheiden kan worden via bioraffinage en voor non-food gebruik ingezet wordt is dat 3 Mton DS (51 PJ).

Wij kunnen dus aannemen, dat verschillende vormen van energieteelt in 2030 tussen de 0 en 150 PJ kunnen bijdragen.

Import van biomassa zal het grootste deel van de Nederlandse behoefte in 2030 moeten dekken. Inventarisaties laten zien dat de bruto potentie hiervoor voldoende is [Lysen, 2000]. De netto beschikbare biomassa wereldwijd wordt geschat op 200 tot 700 EJ per jaar. Nederland is nu al actief op deze zich ontwikkelende biomassa wereldmarkt (zie de import van pellets, cacao doppen, etc).

Uitdagingen lijken op het moment vooral te liggen in de verantwoorde aanvoer van deze biomassa, zoals de recente discussie over palmolie import voor elektriciteitsproductie illustreert. Oplossingen worden gezocht in certificering en het stellen van verdere duurzaamheidseisen aan subsidies op duurzame elektriciteitsproductie. Dit zal ook van toepassing moeten gaan worden op transportbrandstoffen en chemicaliën. Diverse initiatieven bestaan om de komende jaren dit te realiseren. Zie bijvoorbeeld het Fair Biotrade initiatief¹⁸ dat potenties verkent, performance van aanvoer kwantificeert en een opzet voor certificering ontwikkelt.

De import van biomassa wordt dus niet zozeer bepaald door de potentiële beschikbaarheid, als wel door de mogelijkheden voor duurzame aanvoer en de daarbij behorende prijs.

¹⁸ <http://www.fairbiotrade.org/otherreportpublications/fairbiotradeproject20012004/>

7 Conclusies

Het Platform Groene Grondstoffen heeft de ambitie uitgesproken om in 2030 in Nederland 30% van de fossiele energiedragers te vervangen door biomassa. Daarbij is uitgegaan van een totaal verbruik aan primaire energiedragers van 3000 PJ. De bijdragen van biomassa bij verschillende toepassingen is gesteld op 60% bij transport, 25% bij elektriciteitsproductie, 25% bij grondstoffen voor chemie, materialen en producten en 17% bij warmte.

Deze studie geeft een overzicht van de Nederlandse energiebalans, met de rol van verschillende energiedragers, op basis van gegevens voor het jaar 2000 en een schatting voor het jaar 2030. De studie geeft ook een overzicht van de Nederlandse import, export en productie van biomassa in 2000 en een schatting van de ontwikkelingen daarin tot 2030. Verder bevat de studie een analyse van de mogelijke rol van biomassa in 2030.

De analyse van het energieverbruik en de mogelijke rol van biomassa levert de volgende conclusies:

- Een totaal verbruik aan primaire energie van 3000 PJ in 2030 is lager dan op basis van huidige ontwikkelingen mag worden verwacht. Er is een extra inspanning nodig om dat niveau te bereiken.
- Een belangrijke beperking in de mogelijkheden om biomassa in te zetten wordt gevormd door de inertie van de infrastructuur die tussen nu en 2030 niet geheel afgeschreven kan worden en die momenteel geheel op fossiele grondstoffen is afgestemd.
- Een 60% aandeel van biomassa bij transport is een erg ambitieus, gezien het beleid om energieverbruik door transport te beperken. Een 40% aandeel brengt de benodigde inspanning meer in overeenstemming met die voor andere toepassingen.
- Een 25% aandeel van biomassa bij de productie van elektriciteit is alleen mogelijk bij volledige vervanging van een aantal basislast centrales op kolen of aardgas door centrales op biomassa. Via bijstoken blijft het aandeel beperkt tot ongeveer 10%. Dit aandeel kan hoger zijn als de rol van windenergie veel kleiner wordt dan nu is voorzien.
- Een 25% of zelfs iets hoger aandeel van biomassa bij grondstoffen voor chemie, materialen en producten is mogelijk, maar vereist nog veel ontwikkeling, meer dan bij andere toepassingen.
- Een 17% aandeel van biomassa bij warmte vergt de ontwikkeling van technologie en de bouw van installaties voor grootschalige productie van synthetisch aardgas (SNG). Een groter aandeel dan 17% is dan ook mogelijk.
- Voor een aantal sectoren is de techniek nu al beschikbaar, of zover gevorderd, dat bij voortgaande ontwikkeling dat ruim voor 2030 het geval zal zijn. Met name op het gebied van grondstoffen voor chemie, materialen en producten is nog veel onderzoek en ontwikkeling nodig.
- In de chemische industrie zijn er verschillende opties om grondstoffen uit fossiele energiedragers te vervangen. Biosyngas kan syngas ($\text{CO} + \text{H}_2$) uit aardgas vervangen of als grondstof voor het Fischer-Tropsch proces dienen. Bio-ethanol kan als grondstof voor ethyleen dienen. Via bioraffinage zijn uit biomassa componenten af te scheiden waaruit o.a. gefunctionaliseerde chemicaliën te produceren zijn. Deze laatste twee opties kunnen naast een besparing op grondstoffen een extra besparing leveren dankzij een lagere behoefte aan procesenergie. ECN schat deze extra besparing in op maximaal 20 PJ, WUR op 40 PJ tot 80 PJ.

- Op basis van de door het Platform Groene Grondstoffen aangegeven verdeling zou het aandeel van biomassa in de Nederlandse energiebalans uitkomen op 28,4%. Als ook de besparing op procesenergie in raffinaderijen en industrie wordt meegeteld, komt het totaal op 30%.
- Volgens de huidige analyse zou het aandeel van biomassa in de Nederlandse energiebalans beperkt blijven tot 21,4%. Inclusief besparing op procesenergie wordt dat 23%. Dit lagere resultaat is te wijten aan verlaging van het aandeel bij transportbrandstoffen van 60% tot 40% en aan een aandeel van slechts 10% in plaats van 25% bij elektriciteit.
- Extra inzet van biomassa voor warmte, in de vorm van procesenergie of SNG, is een relatief eenvoudige manier om het aandeel van biomassa in de Nederlandse energiebalans dichterbij 30% te brengen.
- Een biomassa aandeel van 23% vergt ruim 900 PJ aan biomassa, dat is ongeveer 60 miljoen ton droge stof. Voor een aandeel van 30% is ongeveer 1200 PJ aan biomassa nodig, dat is ongeveer 80 miljoen ton droge stof.

De analyse van het biomassa aanbod levert de volgende conclusies:

- Het bruto verbruik van biomassa (alle kort-cyclische organische stromen) in Nederland, berekend als import - export + nationale primaire productie, was in 2000 gelijk aan $32,8 - 21,5 + 31,0 = 42,3$ Mton. Uitgedrukt in energie was dat $620 - 405 + 527 = 742$ PJ. Dat komt overeen met 24% van het Nederlandse verbruik aan primaire energie in 2000. Slechts een deel van deze organische stromen kan ook daadwerkelijk beschikbaar komen voor energie en grondstoffen voor chemie, materialen en producten.
- Aan primaire bijproducten komt naar schatting in 2030 in Nederland maximaal 6 miljoen ton droge stof beschikbaar, dat is ongeveer 100 PJ.
- Aan secundaire en tertiaire bijproducten komt in 2030 in Nederland ongeveer 12 miljoen ton droge stof beschikbaar, dat is ongeveer 200 PJ.
- Om deze bijdragen te realiseren, is specifieke aandacht nodig voor het opzetten van een efficiënte infrastructuur. Voor primaire bijproducten geldt dat nog in sterkere mate dan voor secundaire en tertiaire bijproducten. Hierbij is het van groot belang om aan te sluiten bij efficiënte recycling van nutriënten en landschapsonderhoud.
- Via specifieke teelt voor energie en grondstoffen kan naar schatting tot 9 miljoen ton droge stof beschikbaar komen, dat is ongeveer 150 PJ. Deze bijdrage is onzeker en sterk afhankelijk van overheidsbeleid. Naast directe energieteelt biedt de productie van multifunctionele gewassen, waarbij door middel van bioraffinage voedsel componenten en verschillende non-food grondstoffen worden geproduceerd, een optie om deze potentie te ontsluiten.
- De maximale binnenlandse beschikbaarheid van biomassa is 450 PJ. Extra import van minstens 450 PJ biomassa is nodig om een biomassa aandeel van 23% te realiseren. Dat komt neer op ongeveer 30 miljoen ton.

Tot slot willen de auteurs nog de aanbeveling doen, dat CBS de statistische gegevens van organische (biomassa) stromen in Nederland zou moeten bijhouden, net als die voor fossiele energiedragers en nutriënten N, P en K. Zo kunnen de efficiëntie van biomassa gebruik en kansen om biomassa in te zetten worden gevolgd.

Referenties

- Ahlvik, 2001 P. Ahlvik, Å. Brandberg: *Well-to-wheel efficiency. For alternative fuels from natural gas or biomass*. Swedish National Road Administration, publication 2001:85, ISSN 1401-9612.
- Boons, 1996 E.R. Boons - Prins, H.G. van der Meer, J. Sanders: *Drastische verbetering van de nutriëntenbenutting in de dierlijke productie*. NRLO - rapport (nr. 94/3).
- Brinkhorst, 2005 L.J. Brinkhorst: *Nu voor later. Energierapport 2005*. Ministerie van Economische Zaken, 2005.
- Van Dril, 2005 A.W.N. van Dril, H.E. Elzinga: *Referentieramingen energie en emissies 2005-2020*. Rapport ECN en Milieu en Natuur Planbureau RIVM, 2005.
- Eker, 1999 M. Eker, W. Elbersen, B. de Klerk, R. de Koning, N van de Windt, en A. Wintjes (1999): *Switch On!*, First prize winning entry for the 'Living energy' design competition to introduce energy crop cultivation in the landscape. Wageningen, Amsterdam, Oosterbeek, Alterra, ATO.
- Elbersen, 2002 H.W. Elbersen, F. Kappen en J. Hiddink: *Hoogwaardige Toepassingen voor Rest- en Nevenstromen uit de Voedings- en Genotmiddelen-industrie*. ATO, Arcadis IMD. Rapport voor LNV, 2002.
- Van Galen, 2002 M.A. van Galen, F. Bunte: *Nederlandse import en export van biomassa*. Rapport DLO/LEI, 2002.
- Van den Heuvel, 1998 E.J.M.T. van den Heuvel en J.K. Gigler: *Is er grond voor biomassa-productie in Nederland?* Utrecht: NOVEM, 1998.
- Innovatienetwerk, 2005 http://www.agro.nl/innovatienetwerk/gr/projecten/natuurgras_Grasoil.html
- Janssens, 2005 B. Janssens, H. Prins, M. van der Voort, B. Smit, B. Annevelink en M. Meeusen: *Beschikbaarheid koolzaad voor biodiesel*. Rapport LEI 6.05.07; ISBN 90-5242-989-8; 77 p., 2005.
- Jeeninga, 2002 H. Jeeninga, P. Kroon, M. Weeda, T. van Wunnik, T. Kipperman: *Transitie naar een duurzame energievoorziening in 2050*. Rapport ECN-C--02-078.
- De Jong, 2005 E. de Jong, R. van Ree, R. van Tuil en W. Elbersen: *Biorefineries for the chemical industry*. In: *Industrial Crops and Rural Development*. Eds. M.J. Pascual-Villalobos, F.S. Nakayama, C.A. Bailey, E. Correal en W.W. Schloman Jr. Proceedings 2005 Annual Meeting of the AAIC, 17-21 september 2005, Murcia, Spain. p111-128.
- Koppejan, 2005 J. Koppejan en P.D.M. de Boer – Meulman: *Beschikbaarheid van biomassa*. Conceptrapport voor SenterNovem, 2005.
- Londo, 2002 H.M. Londo: *Energy farming in multiple land use. An opportunity for energy crop Introduction in the Netherlands (Energieteelt binnen meervoudig landgebruik. Een mogelijkheid voor de introductie van energiegewassen in Nederland*. 2002.
- Lysen, 2000 E.H. Lysen: *GRAIN: Global Restrictions on Biomass Availability for Import to the Netherlands*. Rapport 2EWAB00.27, 2000.
- Minnesma, 2003 M. Minnesma, M. Hisschemöller: *Biomassa - een wenkend perspectief*. Instituut voor Milieuvraagstukken VU Amsterdam, rapport 03/02, 2003
- Rabbinge 2005 R. Rabbinge: *Waarschuwing tegen overspannen verwachtingen. De (on)mogelijkheden van bio-energiewinning*. Spil, 217-218 p25-28.
- Rabobank, 2001 *De Nederlandse akkerbouw. Het geheel is meer dan de som der delen*. Rabobank Food & Agribusiness Research, november 2001.
- Seebregts, 2002 A.J. Seebregts en M. Weeda: *Energie-infrastructuur van de toekomst: een inventarisatie op basis van recente verkenning en studies voor Nederland*. Rapport ECN-C--02-027.
- Smith, 2004 S. Smith: *The Future Role of Biomass*. JGCRI – College Park, MD

- Collaborators: A. Brenkert. April 2004. GCEP Energy Workshop, Stanford.
http://www.stanford.edu/group/gcep/pdfs/energy_workshops_04_04/biomass_s_smith.pdf#search='biomass%20supply%20curve'
- Tampier, 2004 M. Tampier, D. Smith, E. Bibeau, P.A. Beauchemin: *Identifying environmentally preferable uses for biomass resources*. Report Envirochem Services Inc, updated version January 2005.
- Turnbull, 1994 J. H. Turnbull: *Developing Sustainable Integrated Biomass Systems*. In: Mechanization in Short Rotation, Intensive Culture Forestry Conference, Mobile, AL, March 1-3, 1994.
<http://www.woodycrops.org/mechconf/turnbull.html>
- Van Vaals, 2003 M. van Vaals, P. Braks: *Ethanol from biomass: a Dutch case study*. Rabobank Industry Note, Food & Agribusiness Research 078-2003.
- Verhagen, 2004 J. Verhagen, W. Elbersen: *How much biomass can be removed from a system without negative effects on soil fertility*. BUS ticket 30, www.biomassa-upstream.nl/pdf/reportBUS30.pdf.
- Vreuls, 2004 H.H.J. Vreuls: *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren*, SenterNovem, 2004.
- Zwart, 2004 K.B. Zwart, A.A. Pronk, L.J.M. Kater: *Verwijderen van gewasresten in de open teelten. Een deskstudie naar de effecten op de bodemvruchtbaarheid en de mogelijke verwerking van gewasresten in het kader van het project Nutriënten Waterproof, LNV-programma's systeeminnovatie open teelten (400-I en 400-III)*.
 Systeeminnovatierapport, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Sector Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten, PPO nr 530133, 2004.

Bijlage A: Calorische waarde energiedragers

Tabel A1 geeft gemiddelde stookwaarden¹⁹ voor een aantal energiedragers. Met name voor steenkool, bruinkool en biomassa is een grote spreiding van waarden mogelijk, door variatie in samenstelling en in het gehalte aan as en vocht. In dit rapport is voor biomassa de stookwaarde gebaseerd op de hoeveelheid droog materiaal. Bij nat materiaal is dat niet helemaal juist, omdat de warmte die vrijkomt bij verbranding van het droge materiaal deels nodig is om aanhangend water te verdampen.

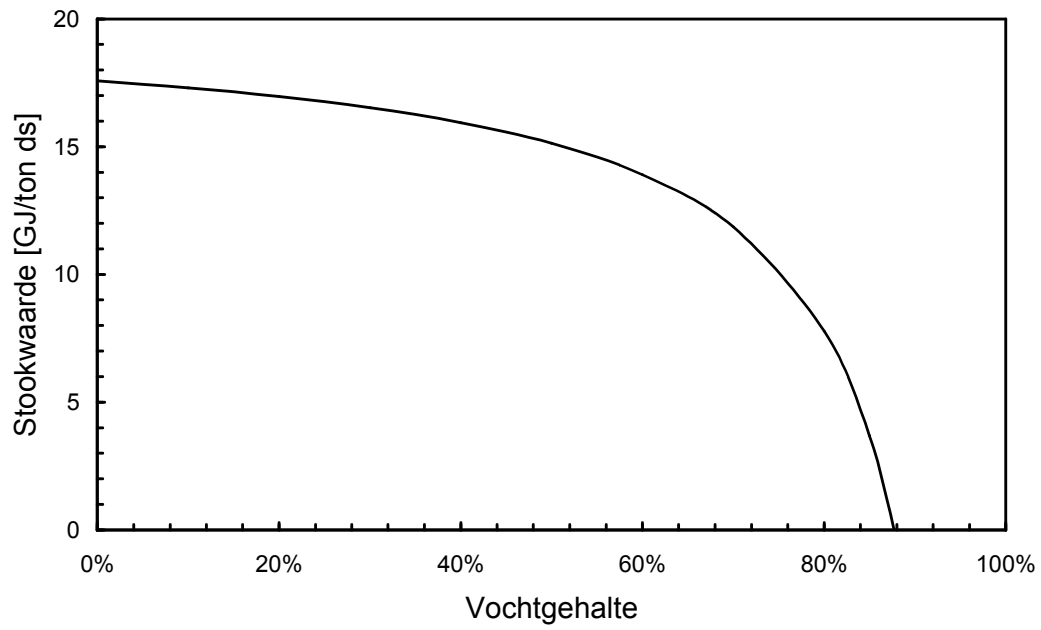
Figuur A1 laat zien, dat bij biomassa met minder dan 50% vocht de hoeveelheid droge stof een goede maat is voor de stookwaarde. Bij een hoger vochtgehalte is enige voorzichtigheid geboden. De stookwaarde per kg droge stof neemt snel af, omdat een steeds groter deel van de verbrandingswaarde nodig is om water te verdampen. Als het vochtgehalte via mechanische ontwatering (persen of zeven), te verlagen is tot minder dan 50%, geeft de hoeveelheid droge stof toch een redelijk beeld van de stookwaarde. Mechanisch ontwateren kost weliswaar energie, maar beduidend minder dan verdampen van water. Ook bij drogen aan lucht of drogen met ongebruikte restwarmte geeft de stookwaarde op basis van droge stof een goed beeld.

Sommige natte biomassa is geschikt voor vergisting. Daarbij wordt ongeveer de helft van het organische materiaal omgezet in een mengsel van methaan en kooldioxide. Voor dat deel is de opbrengst vrijwel gelijk aan de stookwaarde van vochtvrij materiaal. Zo kan materiaal met minder dan 12% droge stof, dat volgens figuur A1 geen stookwaarde heeft, een opbrengst van 9 MJ/kg droge stof leveren. Als het restant mechanisch kan worden ontwaterd, kan ook dat deel een bijdrage leveren. De stookwaarde van de totale hoeveelheid droge stof geeft dus een redelijk beeld.

Tabel A1 Omrekeningsfactoren voor energiedragers.

	Stookwaarde	1 PJ =	1000 kton =
Aardolie	42,7 MJ/kg	23,4 kton	42,7 PJ
Benzine	44,0 MJ/kg	22,7 kton	44,0 PJ
Diesel	42,7 MJ/kg	23,4 kton	42,7 PJ
LPG	45,2 MJ/kg	22,1 kton	45,2 PJ
Aardgas	31,7 MJ/m ³	31,5 miljoen m ³	1 miljard m ³ = 31,7 PJ
Steenkool	26,6 MJ/kg	37,6 kton	26,6 PJ
Bruinkool	20,0 MJ/kg	50,0 kton	20,0 PJ
Cokes	28,7 MJ/kg	34,8 kton	28,7 PJ
Biomassa vast	15,1 MJ/kg	66,2 kton	15,1 PJ

¹⁹ Stookwaarde of onderste verbrandingswaarde (= Lower Heating Value, LHV) is de warmte die vrijkomt bij verbranding, wanneer aanhangend en bij de verbranding gevormd water in dampvorm blijven. De bovenste verbrandingswaarde (= Higher Heating Value, HHV) is de som van de stookwaarde en de warmte die vrijkomt bij condensatie van het water.



Figuur A1 *Stookwaarde in GJ per ton droge stof als functie van het vochtgehalte voor biomassa met 5% as.*

Bijlage B: Potentiële biomassa substitutie in de chemische industrie

Introductie

In 2000, werd in Nederland (volgens opgave van het CBS) voor 3065 PJ aan primaire energie gebruikt (zie paragraaf 2.6). Van deze hoeveelheid kwam 1075 PJ voor de rekening van de industriële sector. Concreet werd er 685 PJ aan energie verbruikt in de chemische industrie, als volgt verdeeld over afzonderlijke sectoren:

- kunstmestindustrie 112 PJ
- organische basischemie 447 PJ
- anorganische en andere basischemie 52 PJ
- chemische eindproducten 22 PJ
- plastics-, rubber- en andere industrie 52 PJ

Tabel 9 laat zien, dat de chemische industrie ongeveer 260 PJ aan grondstoffen uit aardolieproducten gebruikt. In de raffinaderijen is energie verbruikt om die grondstoffen te produceren. Het totale energieverbruik van de raffinaderijen was 180 PJ. Op basis van het schema in figuur B1 is te zien dat daarvan 15% (27 PJ) toe te rekenen is aan producten die in de chemische industrie als grondstof worden gebruikt. Van de totale productie van 12 Mton (ca. 500 PJ) aan grondstoffen wordt overigens maar 72% gebruikt in de Nederlandse chemische industrie.

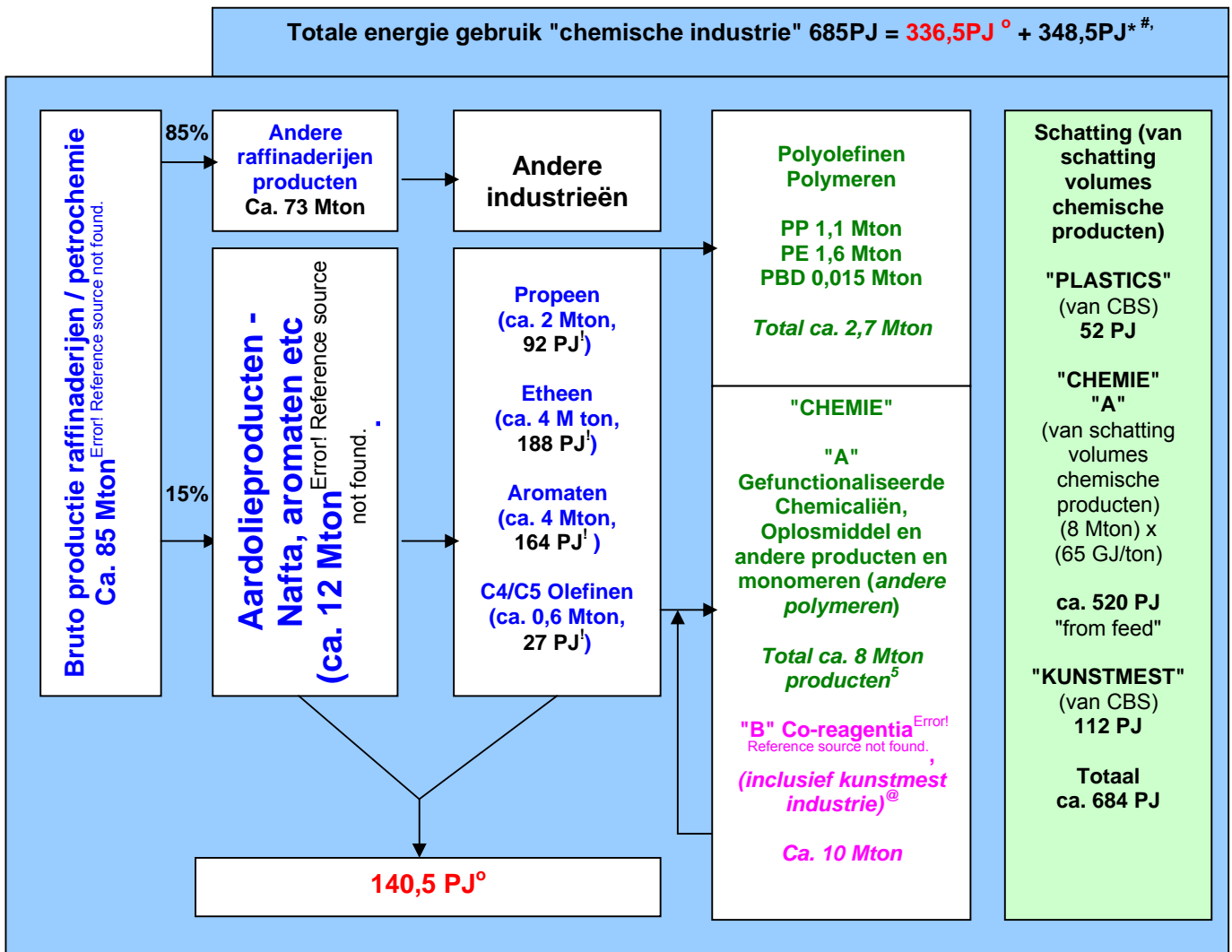
Het totale energieverbruik in de chemische industrie is opgebouwd uit drie delen:

1. Fossiele energiedragers die als grondstof gebruikt zijn
2. Energie, in de vorm van warmte, stoom en elektriciteit, die nodig is om chemische processen uit te voeren.
3. Energie voor vormgeving van producten en voor verwarming, koeling en verlichting van gebouwen en terreinen.

Laten we de kunstmestindustrie buiten beschouwing, dan is de eerste term in de chemische industrie verantwoordelijk voor ruim 50% van het energieverbruik (zie tabel 8 en 9). Bij 20% groei van de productie en weinig groei van het totale energieverbruik groeit dat aandeel in 2030 naar 55% tot 60%. De tweede en derde term worden niet afzonderlijk in de statistieken vermeld en zijn dus lastig te scheiden. Hier nemen we aan, dat procesenergie maximaal 60% is van het niet-energetisch verbruik, dus ongeveer 30% van het totaal²⁰. In 2030 zal het aandeel procesenergie dalen tot ongeveer 50%. De derde term is in deze benadering verantwoordelijk voor 20% van het totaal in 2000 en 15% in 2030.

Uit het bovenstaande volgt, dat bij vervanging van grondstoffen uit fossiele energiedragers door grondstoffen uit biomassa, voor elke PJ aan grondstof in 2030 gemiddeld 0,5 PJ aan procesenergie te besparen is. In werkelijkheid zal die extra besparing kleiner zijn, omdat ook processen op basis van biomassa energie vergen. Voor de eerste twee routes, die in paragraaf 5.3 beschreven zijn, is de besparing op procesenergie waarschijnlijk te verwaarlozen. Met name de laatste twee routes bieden mogelijkheden om procesenergie te besparen. Twee concepten worden hieronder beschreven aan de hand van twee voorbeelden.

²⁰ In deze benadering zou de organische basischemie in 2000, bij 267 PJ niet-energetisch verbruik, 160 PJ aan procesenergie verbruikt hebben. Het totale energetische verbruik in die sector was 180 PJ, zodat 20 PJ ofwel 4,5% van het energieverbruik niet proces gerelateerd was.



Processen welke plaats vinden in de Rotterdamse Haven

Processen waar een groot aan tal van worden uitgevoerd in de Rotterdamse Haven en waarbij andere worden uitgevoerd elders in Nederland.

Processen welke worden uitgevoerd in de Rotterdamse Haven en tevens op andere plaatsen in Nederland. Exacte bijdragen van individuele processen/producenten onduidelijk of onbekend.

PJ!: Calorische waarde.

PJ^o: Bijdrage van het gebruik van aardoliegrondstof en producten.

PJ*: Bijdrage van energie bronnen aan het totale energie verbruik.

#: *Kunstmestindustrie (112PJ*), organische basischemie (318PJ^o+129PJ*=447PJ), anorganische en andere basischemie (15PJ^o+ 37PJ*=52PJ), chemische eindproducten (3PJ^o+19PJ*=22PJ), plastics-, rubber- en andere industrie (0,5PJ^o, 51,5PJ*=52PJ)*

@: *Het is onduidelijk uit de gegevens welk gedeelte van de productie wordt gebruikt voor bijvoorbeeld andere processen en welk gedeelte wordt geëxporteerd.*

Figuur B1 Petrochemische industriële productieketen.

Concept A: niet-gefunctionaliseerde grondstof

In paragraaf 5.3 is al aangegeven, dat uit biomassa synthesesgas (CO en H₂) kan worden gemaakt, waaruit vervolgens koolwaterstoffen te maken zijn. Deze koolwaterstoffen kunnen gebruikt worden als grondstoffen voor sommige chemische producten met gebruik van bestaande technologieën en infrastructuur. Hier gaat het om een ander concept, dat vraagt om aanpak aan de basis van de chemische industrie, aan het begin van de hele productketen.

Voorbeeld: productie etheen uit bio-ethanol

Een iets andere aanpak voor de synthese van niet gefunctionaliseerde grondstoffen kan bijvoorbeeld door gebruik te maken van bio-ethanol, die verkregen is door de fermentatie van koolhydraten (biomassa), als een mogelijke alternatieve grondstof voor (gedeeltelijke) etheen productie en alle producten welke worden geproduceerd of afgeleid van etheen.

Om 1 Mton etheen te produceren is op stoichiometrische basis ongeveer 1,7 Mton bio-ethanol nodig. De productie van etheen vergt via de klassieke methode naast 47 PJ aan grondstof ook 12 PJ procesenergie per Mton. Via de "nieuwe" route is 49 PJ aan bio-ethanol nodig (47 PJ als grondstof en 2 PJ die vrijkomt bij de reactie als warmte). Bij een gemiddeld rendement van 60% van biomassa naar ethanol is 81 PJ aan biomassa nodig [Tampier, 2004]. In dit rendement van 60% is de procesenergie voor de productie van bio-ethanol begrepen en een correctie verwerkt voor extra elektriciteit die uit reststoffen kan worden geproduceerd.

De huidige productie in Nederland van bio-ethanol ligt sterk beneden de genoemd hoeveelheden, alhoewel er grote volumes bio-ethanol (theoretisch) beschikbaar zijn (bijvoorbeeld in Brazilië). Dit concept staat het gebruik van een groot deel van de bestaande infrastructuur toe, maar vraagt ook energie om meer (gefunctionaliseerde) producten te maken.

In 2000 werd in Nederland 4 Mton etheen geproduceerd. Zoals eerder vermeld, werd een deel daarvan niet in Nederland gebruikt. Gaan we toch uit van 25% vervanging van de totale productie aan etheen, dan komt dat neer op 1 Mton. Daarvoor is een inzet van 81 PJ aan biomassa nodig. Dat levert een besparing van 47 PJ aan fossiele grondstof plus 12 PJ aan procesenergie. In dit geval is de besparing aan procesenergie dus gelijk aan 25% van de besparing op niet-energetisch verbruik.

Concept B: productie van gefunctionaliseerde chemicaliën

Het gaat hier vooral om bekende chemicaliën, waarvan op z'n minst een deel op termijn efficiënter uit biomassa geproduceerd zou kunnen worden dan uit olie. Dit concept houdt in, dat alternatieve ("biobased") grondstoffen voor gefunctionaliseerde chemische grondstoffen worden aangeboden. Met dit concept worden de behoefte aan productiemiddelen en het gebruik van reagentia gereduceerd.

Bij de conversie van ruwe olieproducten gebruikt men de primaire producten (propeen, etheen etc.) als grondstof. Conversie van deze producten naar materialen of andere grondstoffen gebeurt met behulp van reagentia, zoals ammonia of chloor, om groepen zoals -NH₂ en -COOH te introduceren in de simpele structuren van de primaire producten.

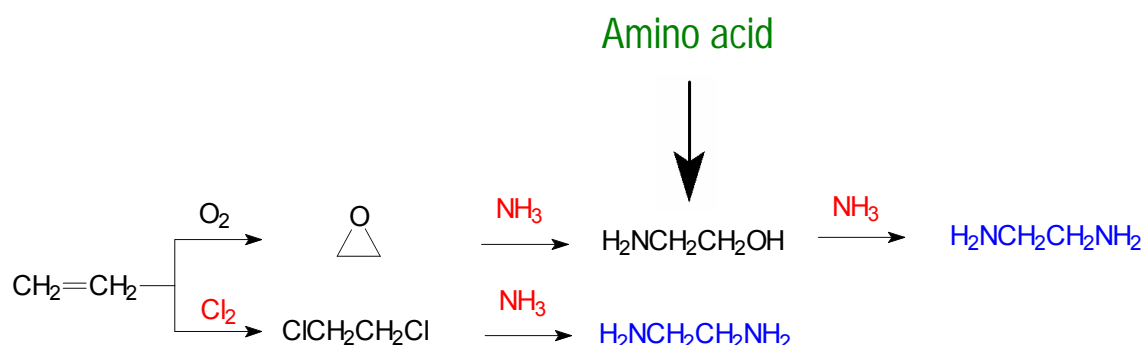
Daar tegenover bevat biomassa (componenten) vaak al dit type groepen. Het is daarom potentieel aantrekkelijk om deze te benutten. Zo zijn het gebruik en voorbehandeling van deze reagentia, processtappen, en procesenergie te omzeilen of te verminderen. Geschikte biomassa componenten zijn bijvoorbeeld (non-food)

eiwit²¹ en aminozuren maar ook organische zuren, die verkregen zijn door de fermentatie van koolhydraten.

Zo is bijvoorbeeld, het energieverbruik om stikstof in te bouwen in chemicaliën (in een bepaalde processtep) in de orde van 3-10 GJ / ton product en vergt synthese ("from the feed") 50-70 GJ/ton product. Neem als gemiddelde ca. 65 GJ/ton, waarvan 40 GJ/ton fossiele grondstof. Het blijft ingewikkeld om het totaal volume te voorspellen van alle jaarlijks geproduceerde stikstof bevattende chemicaliën, maar op basis van gegevens kan een schatting worden gemaakt dat dit alleen in Nederland al 0,5-1 Mton per jaar omvat. Dit komt neer op 1,5-10 PJ om alleen de stikstof in te bouwen en 32,5-65 PJ voor synthese "from feed" per jaar. Dus als het inbouwen van de stikstof groepen plaats zou kunnen vinden in een op gewas gebaseerd systeem, in de vorm van geschikte (non-food) eiwit / aminozuren precursor(s) zou dit overeenkomen met een grote energie besparing. Een vergelijkbare analyse kan worden gemaakt voor andere gefunctionaliseerde chemicaliën.

Voorbeeld: productie van ethaandiamine uit serine

Door zorgvuldige keuze van biomassa precursors zou het ook mogelijk kunnen zijn om het gebruik van primaire petrochemische grondstoffen, zoals etheen en reagentia zoals chloor te vermijden (of te reduceren) in het proces. Een voorbeeld is de synthese van ethaandiamine, zie figuur B2. Hier, is het aminozuur serine gebruikt om ethanolamine te maken. Figuur B3 geeft een beeld van de energie die nodig is voor verschillende stappen in beide processen.



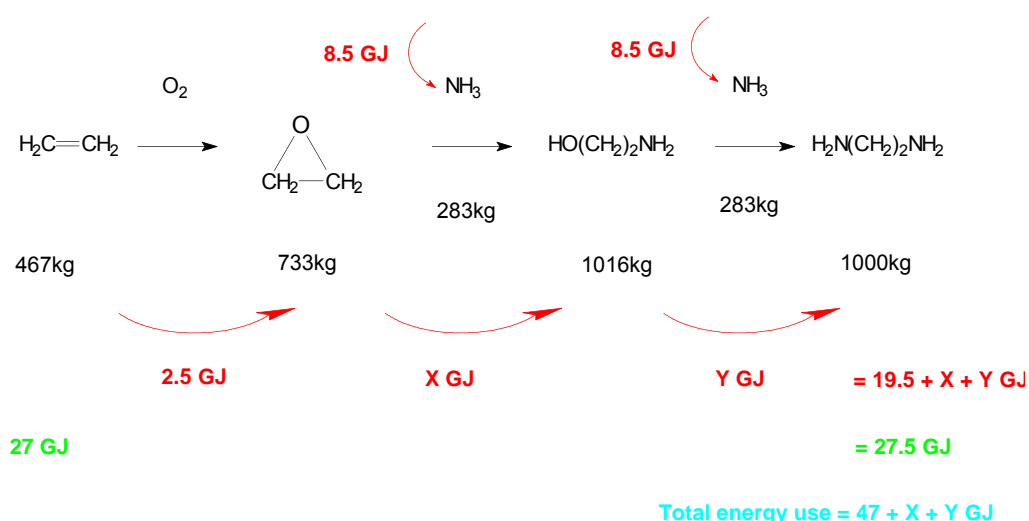
Figuur B2 De synthese van ethaandiamine van ethyleenoxide of ethyleen-dichloride

Het huidige proces gebruikt (47 + X + Y) GJ per ton. De waarden van X en Y zijn niet bekend, maar liggen waarschijnlijk tussen 2 en 10 GJ/ton. Voor de verdere analyse gaan we uit van 5 GJ/ton voor zowel X als Y. Voor een schatting van de mogelijke besparing op procesenergie is het nodig de verschillende posten te verdelen over niet-energetisch verbruik en procesenergie. ECN en WUR verschillen daarover van mening. Tabel B1 zet beide opvattingen naast elkaar.

²¹ Om deze eiwitten en aminozuren te verkrijgen moet men ook andere, niet-conventionele bronnen denken, zoals gras en andere non-food gewassen. Ook moet er nog onderzoek worden gedaan naar de productie van non-food eiwitten en aminozuren. Dit kan bijvoorbeeld door GMO van sommige non-food gewassen of via andere microbiologische technieken, zoals de productie van non-ribosomale eiwitten.

Tabel B1 *Verdeling energieverbruik voor productie van ethaandiamine over niet-energetisch verbruik en procesenergie, volgens ECN en WUR. Alle termen zijn uitgedrukt in GJ/ton ethaandiamine.*

	Niet-energetisch (ECN)	Procesenergie (ECN)	Niet-energetisch (WUR)	Procesenergie (WUR)
Etheen	22,0	5,5	22,0	5,5
Stap 1		2,5		2,5
NH ₃ productie	5,5	3,0		8,5
NH ₃ additie		5,0		5,0
NH ₃ productie	5,5	3,0		8,5
NH ₃ additie		5,0		5,0
Totaal	33,0	24,0	22,0	35,0



*Process energy
 *Energy from feed = 59 GJ/ton

Figuur B3 *Energie bijdragen in de huidige synthese van ethaandiamine²².*

Door gebruik te maken van serine om ethanolamine te produceren kunnen er verschillende posten vermeden worden. Op stoichiometrische basis is 1749 kg serine nodig voor de productie van 1016 kg ethanolamine. De calorische waarde van die hoeveelheid serine is ca. 26 GJ (op basis van ca. 15 GJ/ton). Verder is nog maar half zoveel ammoniak nodig, de conversie van serine naar ethanolamine en de laatste stap naar ethaandiamine. Tabel B2 geeft de energiebehoefte in verschillende stappen van het nieuwe proces. De benodigde energie voor het produceren en

²² Het is redelijk te veronderstellen dat de waarde van X en Y tussen de 2 en 10GJ zal zijn. De 59 GJ/ton "energy from feed" voor etheen bevat 12 GJ/ton procesenergie, zodat de voor 467 kg aangegeven calorische waarde van 27,5 GJ is opgebouwd uit 22 GJ grondstof en 5,5 GJ procesenergie.

isoleren van serine en voor de conversie naar ethanolamine is nog niet bekend. Aangenomen is, dat die energie gewonnen kan worden uit het deel van de biomassa dat overblijft na afscheiden van serine.

Tabel B2 *Verdeling energieverbruik bij nieuwe productieproces van ethaandiamine over niet-energetisch verbruik en procesenergie, volgens ECN en WUR. Alle termen zijn uitgedrukt in GJ/ton ethaandiamine.*

	Niet-energetisch (ECN)	Procesenergie (ECN)	Niet-energetisch (WUR)	Procesenergie (WUR)
Serine	26,0	?	26,0	?
Conversie serine		?		?
NH ₃ productie	5,5	3,0		8,5
NH ₃ additie		5,0		5,0
Totaal	31,5	>8,0	26,0	>13,5

Uit de gegevens in tabel B1 en B2 zijn de besparingen te berekenen volgens opvatting van ECN en WUR. Beide nemen aan, dat de productie van NH₃ en de laatste processtap ook in de nieuwe route energie uit fossiele bronnen vergen. In totaal kost het nieuwe proces aan grondstof en procesenergie 39,5 GJ/ton plus de energie voor het produceren, isoleren en converteren van serine. Als die onbekende stappen weinig energie vergen, kan de totale energiebehoefte per ton ethaandiamine lager uitkomen dan de 57 GJ/ton van het klassieke proces. De totale besparing is volgens ECN en WUR gelijk, maar de verdeling over niet-energetisch verbruik en procesenergie laat een groot verschil zien.

Volgens ECN bespaart de inzet van 26 GJ serine per ton ethaandiamine 27,5 GJ aan niet-energetisch verbruik van fossiele energiedragers en maximaal 16 GJ aan procesenergie. De besparing op procesenergie is dus 58% van de besparing op niet-energetisch verbruik.

Volgens WUR bespaart de inzet van 26 GJ serine per ton ethaandiamine 22 GJ aan niet-energetisch verbruik van fossiele energiedragers en maximaal 21,5 GJ aan procesenergie. De besparing op procesenergie is dus bijna gelijk aan de besparing op niet-energetisch verbruik.

Andere voorbeelden van het gebruik van aminozuren voor de formatie van andere industrieel interessante diamines, zoals 1,4-butaandiamine, zowel als andere N-bevattende chemicaliën zoals caprolactam en ureum zijn ook mogelijk. Een vergelijkbare aanpak om chemicaliën te behandelen met O-houdende groepen, zoals bijvoorbeeld 1,4-butaandiol, wordt ook voorzien.

Conclusie

De hier beschreven voorbeelden laten zien, dat de productie van grondstoffen en gefunctionaliseerde verbindingen via nieuwe procesroutes de mogelijkheid biedt om niet alleen fossiele grondstoffen (het niet-energetisch verbruik) te besparen, maar ook procesenergie. Gemiddeld is het verbruik aan procesenergie ongeveer 50% van het niet-energetisch verbruik. Het voorbeeld van concept A toont een besparing op procesenergie ter grootte van 25% van het niet-energetisch verbruik. Concept B maakt een grotere besparing mogelijk, in het gegeven voorbeeld 58% volgens ECN

en 98% volgens WUR. Daarbij is aangenomen, dat alle procesenergie voor de nieuwe processen uit biomassa restanten gewonnen kan worden.

Vervanging van 25% van het niet-energetisch verbruik van aardolieproducten in 2030 komt neer op 79 PJ. Als nieuwe procesroutes de helft hiervan voor hun rekening nemen, komt dat neer op 40 PJ. De extra besparing op procesenergie komt dan volgens ECN neer op maximaal 20 PJ. Als deze routes de volledige besparing op niet-energetisch verbruik van olieproducten leveren, of vooral toegepast worden in processen met een hoger dan gemiddelde behoefte aan procesenergie, of als concept B ook te gebruiken is voor een deel van de ammoniakproductie, kan de extra besparing volgens WUR 40 PJ tot 80 PJ worden.

Een nieuwe route op basis van biomassa kan in totaal minder energie vergen dan een klassiek productieproces. Voor alleen de grondstof kan de benodigde hoeveelheid biomassa op energiebasis variëren van ongeveer 100% tot 175% van de benodigde fossiele grondstof. Op massabasis komt dat neer op 2 tot 5 ton biomassa per ton product. Daarbij is alleen die fractie gerekend, die in het proces gebruikt wordt. Als alleen een specifieke component in het proces bruikbaar is, kan de totaal benodigde hoeveelheid biomassa flink toenemen. Het restant is dan in principe te gebruiken voor energie.

Er is behoefte aan verdere identificatie van de meest geschikte producten en technologieën voor vervanging door middel van bio-grondstoffen, als ook aan de identificatie van de meest geschikte biomassagrondstoffen. Additioneel, onderzoek en ontwikkeling zijn nodig om (efficiënte) productie in de gebieden van bijvoorbeeld bioraffinage, (bio)technologie, (nieuwe) scheidingstechnologieën van biomassa onderdelen te ontdekken. Verandering of modificatie van de infrastructuur is nodig voor deze aanpak.