

# De duurzaamheid van de Nederlandse landbouw



Meino Smit

## Stellingen

1. Het niet in beschouwing nemen van het indirecte energiegebruik, het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid leidt tot een onjuiste beoordeling van de productiviteit van de landbouw (dit proefschrift)
2. De omvang van het energie en grondstoffengebruik ten behoeve van het toepassen van digitale technologie is tot nu toe onderschat (dit proefschrift)
3. Met digitale technologie gaan zaken niet altijd sneller, soms wel langzamer, het is duur en het vergt veel energie en grondstoffen
4. Voor een duurzame bevolkingsgroei is een negatief geboorteoverschot noodzakelijk
5. Boerenkennis is niet te vervangen door elektronica
6. Landbouwgrond is de grond van ons bestaan, daar moet zuinig mee worden omgegaan
7. Als veel meer mensen op het land gaan werken kan dat bijdragen aan het reduceren van de kosten voor de gezondheidszorg

Stellingen behorend bij het proefschrift, met als titel

De duurzaamheid van de Nederlandse landbouw  
1950 – 2015 – 2040

Meino Smit  
Wageningen, 11 september 2018

# **De duurzaamheid van de Nederlandse landbouw**

**1950 – 2015 – 2040**

**Meino Smit**

## **Promotiecommissie**

### **Promotor**

Prof. dr. ir. J.D. van der Ploeg  
Hoogleraar transitieprocessen in Europa  
Wageningen University & Research

### **Overige leden**

Prof. ir. N.D. van Egmond, Universiteit Utrecht  
Dr. ir. J.C.J. de Groot, Wageningen University & Research  
Prof. dr. W.J.M. Heijman, Wageningen University & Research  
Dr. ir. K. de Roest, Centro Ricerche Produzioni Animali, Italy

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen de Wageningen Graduate School of Social Sciences  
(WASS)

# **De duurzaamheid van de Nederlandse landbouw**

**1950 – 2015 – 2040**

**Meino Smit**

## **Proefschrift**

ter verkrijging van de graad van doctor  
aan Wageningen University  
op gezag van de rector magnificus,  
Prof. Dr. A.P.J. Mol,  
ten overstaan van een door het  
College voor Promoties ingestelde commissie  
in het openbaar te verdedigen  
op dinsdag 11 september 2018  
des namiddags om 13.30 uur in de Aula

Meino Smit  
De duurzaamheid van de Nederlandse landbouw  
1950 – 2015 – 2040  
214 pagina's

PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands (2018)  
With references, with summaries in Dutch and English

ISBN: 978-94-6343-289-4  
DOI: 10.18174/449448

## **Inhoudopgave**

<b>1 Inleiding</b> .....	<b>9</b>
1.1 Algemeen .....	9
1.2 Indeling van dit proefschrift .....	15
<b>2 Theoretisch kader</b> .....	<b>17</b>
2.1 Algemeen .....	17
2.2 Productiefactoren .....	25
2.3 Arbeidsproductiviteit.....	27
2.4 Energie en grondstoffen .....	29
2.4.1 Algemeen .....	29
2.4.2 EROEI en Net-Energy.....	30
2.4.3 Waarden van de EROEI .....	32
2.4.4 De gevolgen van een afnemende EROEI.....	33
2.5 Effecten op de omgeving.....	36
2.6 Het meten van duurzaamheid .....	36
<b>3 Onderzoeksvragen en gehanteerde begrippen</b> .....	<b>41</b>
3.1 Onderzoeksvragen .....	41
3.2 Gehanteerde begrippen.....	41
<b>4 Methodiek en werkwijze</b> .....	<b>49</b>
4.1 Algemeen .....	49
4.2 Methodiek.....	49
4.3 Inventariseren gegevens .....	50
4.4 Systeemgrenzen.....	51
4.5 Onzekerheden en nauwkeurigheid .....	53
4.6 Beoogde resultaten .....	53
<b>5 Output</b> .....	<b>55</b>
5.1 Algemeen .....	55
5.2 Output akkerbouw .....	55
5.3 Output veehouderij .....	56
5.4 Output tuinbouw.....	57
5.5 De totale output van de landbouw .....	58
<b>6 Landgebruik en grondstoffen</b> .....	<b>61</b>
6.1 Landgebruik .....	63
6.2 Grondstoffen.....	65
6.3 Mijnbouw .....	67
6.4 Een onmogelijk energiescenario .....	70
6.5 Resultaat landgebruik en grondstoffen.....	72
<b>7 Directe energie</b> .....	<b>73</b>
7.1 Het directe energiegebruik .....	73
7.2 De winning van energiegrondstoffen en de energievoorziening.....	76
7.3 Resultaten directe energie .....	78
<b>8 Indirecte energie</b> .....	<b>79</b>
8.1 Gebouwen.....	79
8.1.1 Algemeen .....	79
8.1.2 Kassen .....	80
8.1.3 Overige agrarische bedrijfsgebouwen .....	83
8.1.4 Resultaat voor gebouwen .....	85
8.2 Trekkers en machines.....	86
8.2.1 Algemeen .....	86
8.2.2 Resultaten voor trekkers en machines .....	90

8.3 Veevoer .....	91
8.3.1 Algemeen .....	91
8.3.2 Resultaten veevoer .....	93
8.4 Dierlijke mest .....	93
8.4.1 Algemeen .....	93
8.4.2 Resultaten voor dierlijke mest .....	95
8.5 Kunstmest .....	96
8.5.1 Algemeen .....	96
8.5.2 Resultaten kunstmest .....	98
8.6 Micronutriënten en sporenelementen .....	98
8.7 Bestrijdingsmiddelen .....	99
8.7.1 Algemeen .....	99
8.7.2 Resultaten bestrijdingsmiddelen .....	101
8.8 Diergeneesmiddelen .....	101
8.9 Zaaizaad en poot- en plantgoed .....	101
8.10 Elektronica .....	102
8.10.1 Digitale technologie .....	102
8.10.2 Resultaten elektronica .....	106
8.11 Dienstverlening .....	106
8.12 Transport en infrastructuur .....	107
8.12.1 Algemeen .....	107
8.12.2 Resultaten transport en infrastructuur .....	108
<b>9 Arbeid .....</b>	<b>109</b>
<b>10 De totalen van gewicht, energiegebruik, landgebruik en arbeid .....</b>	<b>115</b>
<b>11 Landbouwkundige aspecten .....</b>	<b>123</b>
11.1 Algemeen .....	123
11.2 Landbouwsysteem en bodemvruchtbaarheid .....	123
11.3 Voedselkwaliteit .....	125
11.4 Benodigde hoeveelheid voeding en benodigde oppervlakte landbouwgrond .....	125
11.5 Bemesting van de grond .....	130
11.5.1 Algemeen .....	130
11.5.2 Dierlijke mest .....	131
11.5.3 Reststromen organisch materiaal van huishoudens, overheden en bedrijven .....	131
11.5.4 Reststromen van organische materiaal uit afvalwater .....	133
11.5.5 Baggerspecie: .....	134
11.5.6 Totaal overzicht reststromen van organisch materiaal .....	134
<b>12 Maatschappelijke kosten .....</b>	<b>137</b>
12.1 Algemeen .....	137
12.2 Voorbeelden van maatschappelijke kosten .....	138
12.3 De maatschappelijke kosten van de landbouw .....	139
<b>13 Economische aspecten .....</b>	<b>145</b>
13.1. Algemeen .....	145
13.2 Prijzen van arbeid en prijzen van energie en grondstoffen .....	145
13.3 Voorbeeld erwten zaaien .....	147
13.4 Uitvoer en invoer .....	148
13.5 De netto toegevoegde waarde tegen factorkosten .....	150
<b>14 Een duurzaam landbouwsysteem .....</b>	<b>155</b>
14.1 Algemeen .....	155
14.2 Randvoorwaarden .....	155
14.3 Benodigde maatregelen .....	158



14.4 Ontwikkelingen 1950 – 2015 - 2040 .....	159
<b>15 Slotbeschouwing .....</b>	<b>167</b>
<b>16 Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>179</b>
16.1 Conclusies .....	179
16.2 Aanbevelingen.....	180
<b>Literatuurreferenties .....</b>	<b>182</b>
<b>Lijst van geraadpleegde organisaties/personen .....</b>	<b>188</b>
<b>Bijlage 1 Paarden .....</b>	<b>190</b>
<b>Bijlage 2 Output/input-verhoudingen van de sectoren .....</b>	<b>191</b>
<b>Bijlage 3 Landbouwkundige aspecten .....</b>	<b>195</b>
<b>Bijlage 4 Economische aspecten .....</b>	<b>199</b>
<b>Bijlage 5 Een duurzaam landbouwsysteem .....</b>	<b>200</b>
<b>Samenvatting .....</b>	<b>201</b>
<b>Summary .....</b>	<b>207</b>
<b>Curriculum Vitae .....</b>	<b>211</b>
<b>Dankwoord.....</b>	<b>213</b>



# **1 Inleiding**

## **1.1 Algemeen**

De aanleiding voor het uitvoeren van dit onderzoek is dat ik mij al lange tijd afvraag hoe duurzaam de landbouw in Nederland eigenlijk is. Er worden steeds zwaardere machines gebruikt en steeds meer van allerlei hulpmiddelen. In de landbouwbladen staat dat de landbouw de laatste jaren duurzamer is geworden. Is dat echt zo of komt het omdat dit wordt afgemeten aan een bepaald criterium of aan een te beperkt aantal criteria? Reden voor mij om dit te gaan onderzoeken, ook omdat we te maken hebben met een klimaatprobleem en met het opraken van energie en grondstoffen.

De voorraad aan fossiele energiebronnen en grondstoffen is eindig en het gebruik er van veroorzaakt negatieve effecten op de omgeving. De eindigheid van energie en grondstoffen is lange tijd niet onderkend. Ze werden als zijnde oneindig groot beschouwd. Ook ten aanzien van de negatieve effecten op de omgeving werden geen beperkende voorwaarden opgelegd. Bodem, lucht en water werden als “vrije goederen” beschouwd. Ze hadden geen prijs, dus kon je er onbeperkt en gratis gebruik van maken.

In de periode 1950 – 2015 is de hoeveelheid arbeid in de landbouw sterk afgenomen en vervangen door allerlei hulpmiddelen. Vroeger werkten er in Nederland veel meer mensen op het land dan tegenwoordig. Men gebruikte veel minder hulpmiddelen. Veel werkzaamheden werden uitgevoerd met uitsluitend handkracht, vaak met behulp van eenvoudige gereedschappen. Voor het zware werk, bijvoorbeeld grondbewerking, werden paarden gebruikt. Paarden werden ook ingezet voor transportwerkzaamheden. De input voor het uitvoeren van werkzaamheden bestond dus voornamelijk uit menskracht, paardenkracht, eenvoudige machines en (hand)gereedschappen. De input kwam voor een deel van buiten het bedrijf. De werktuigen en gereedschappen werden door dorpsmeden gemaakt en onderhouden en/of in kleine fabriekjes geproduceerd. De dorpsmid en de veearts zorgden voor de instandhouding van de paardenkracht. De dorpstimmerman was behulpzaam bij het bouwen en onderhouden van de bedrijfsgebouwen. Daarbij werden natuurlijke materialen gebruikt: hout, riet, stenen, leem. Deze werden meestal lokaal/regionaal verkregen. De bedrijven produceerden deels voor eigen gebruik en deels voor de markt. Op een boerderij waren veel meer mensen aanwezig dan nu en deze leefden op en van het landbouwbedrijf.

In het verleden waren de meeste bedrijven gemengde bedrijven, waar men zelf voor de mest op het land zorgde. Er was sprake van kringlopen op het bedrijf zelf. Er was ruimte gereserveerd voor het houden van de paarden en het verbouwen van het paardenvoer en het veevoer. Naast bouwland en grasland voor het melkvee werden kleine aantallen varkens, kippen en schapen gehouden. Daarmee was er sprake van een cascadegebruik: voer wat niet geschikt was voor de koeien ging naar de varkens en de kippen. Een deel van de landbouwgrond werd van nature bemest met vruchtbaar slib door regelmatige overstromingen. Tot in de tweede helft van de negentiende eeuw werd geen kunstmest gebruikt. Naast de mest van het eigen vee en groenbemesting met vlinderbloemigen werden meststoffen van buiten aangevoerd. Dit bestond uit compost gewonnen uit huisvuil, straatmest en diverse soorten slib. Hiermee was er ook sprake van een kringloop, zij het op een schaal boven die van het landbouwbedrijf. De producten gingen ook naar degenen die het huisvuil produceerden. Het verzorgen van de infrastructuur, het waterbeheer en de wegen, was op kleine schaal geregeld via de indertijd kleine gemeenten en waterschappen.

Kenmerken van de input waren:

- deels op het eigen landbouwbedrijf geproduceerd;
- deels van buiten het bedrijf betrokken, maar vaak wel lokaal/regionaal;
- bijna geen gebruik van fossiele brandstoffen, een klein beetje kolen en turf, die voornamelijk in de huishouding werden gebruikt;
- geen/weinig negatieve effecten op de omgeving;
- instandhouding van de bodemstructuur en de bodemvruchtbaarheid;
- lokale/regionale kringloop;
- veel menskracht op het landbouwbedrijf;
- lokaal/regionaal menskracht betrokken bij het produceren/verzorgen van de input;
- korte transportafstanden;
- landgebruik op het landbouwbedrijf zelf voor het leveren van input door het eigen bedrijf en voor het eigen bedrijf;
- weinig landgebruik buiten het landbouwbedrijf voor het leveren van de input.

Tegen het einde van de negentiende eeuw begon de input van buiten het landbouwbedrijf toe te nemen. Bijvoorbeeld de aanvoer van guano (organische meststof) uit Chili en Peru, de aanvoer van terpaarde, het begin van het kunstmesttijdperk en een opkomende mechanisatie.

Bij de landbouw van nu is het beeld ten aanzien van de output en de input geheel anders:

- de bedrijven zijn ontmengd, waardoor er veel minder een kringloop binnen het bedrijf is;
- een deel van de landbouw produceert los van de grond: substraatteelt in de glastuinbouw en veel dieren bij elkaar, die niet meer buiten komen, bij de intensieve veehouderij;
- meer specialisatie, waardoor meer leveringen van buiten het bedrijf nodig zijn en ook meer transport;
- de opbrengsten per ha zijn gestegen. Met veel minder mensen wordt meer geproduceerd. Door de inzet van “high tech” zou de landbouw nog efficiënter kunnen worden.

Deze ontwikkeling heeft zich voltrokken omdat arbeid in Nederland steeds duurder is geworden en grondstoffen en energie relatief gezien goedkoper zijn geworden. Daardoor werd het economisch aantrekkelijk om dure arbeid te vervangen door machines en andere input. Werd vroeger de input op het eigen bedrijf geproduceerd en/of dicht bij het bedrijf, nu komt de input van over de hele wereld. Daarbij wordt ook gebruik gemaakt van arbeid, maar die is vaak goedkoper dan de arbeid in ons land, denk aan de winning van grondstoffen/mijnbouw en een deel van de maakindustrie. Het werd economisch aantrekkelijk om arbeid te vervangen door kapitaal, maar voor een deel van dat kapitaal geldt dat het tot stand is gekomen met soms goedkope arbeid van elders. Naarmate de welvaart in een land stijgt, wordt de arbeid duurder en moet weer gezocht worden naar een land waar de arbeid dan weer goedkoper is. Deze verschuiving heeft er toe geleid dat de Nederlandse landbouw gebruik kan maken van input die onze dure arbeid kan vervangen. Dat deze arbeid in een aantal landen veel goedkoper is dan bij ons komt door lagere lonen, die mede zijn bepaald door arbeidsomstandigheden die niet aan de eisen voldoen die wij er in Nederland aan stellen. Betere arbeidsomstandigheden vergen ook weer voorzieningen die geld kosten. Het is de vraag hoe lang deze verschuiving naar plaatsen met goedkopere arbeid door kan gaan. Op een

gegeven moment valt er niets meer te verschuiven. Daarbij speelt ook nog dat een meer gelijkmatige verdeling van welvaart in de wereld wenselijk is.

Niet alleen bij het inzetten van arbeid zijn we gebruik gaan maken van arbeid in andere landen. Ook voor grondstoffen en energie geldt dat ze overal vandaan komen. Hier is tevens een verschuiving geweest van eigen bedrijf/lokaal/regionaal naar de hele wereld. Een ander aspect hierbij is dat we bij energie en grondstoffen te maken hebben met eindige voorraden. Er komt een situatie dat energie en grondstoffen heel duur worden, schaars worden en opraken en/of niet meer gebruikt mogen worden vanwege het klimaatprobleem. Dit maakt het noodzakelijk tijdig om te schakelen naar een landbouwsysteem dat minder afhankelijk is van de aanvoer van energie en grondstoffen van elders. Hiermee is een schaarbeweging ontstaan tussen enerzijds het toepassen van arbeidsbesparende technieken in de landbouw en anderzijds het aanwenden van steeds meer energie en grondstoffen (en de ook daarvoor benodigde arbeid) van elders. Effecten die elkaar versterken.

In de Nederlandse landbouw is in de periode 1950 – 2015 veel veranderd. De opbrengsten per hectare zijn gestegen, de arbeidsproductiviteit is toegenomen en het gebruik van energie en grondstoffen is omhoog gegaan. Er worden meer tonnen aan gewassen van een hectare geoogst en ook de productie van zuivel en vlees is toegenomen. Een hoge opbrengst per ha wordt gezien als nuttig, omdat dan meer ruimte overblijft voor natuur, recreatie, verstedelijking en andere functies. De productie per ha is in Nederland nu hoger dan vroeger. In relatie met alleen het directe landgebruik van de Nederlandse landbouw is dat zeker het geval. De activiteiten ter ondersteuning van de landbouw vergen echter ook het nodige landgebruik, denk bijvoorbeeld aan:

- het in andere landen verbouwen van veevoer ten behoeve van de Nederlandse landbouw;
- het afgraven van grote gebieden ten behoeve van het winnen van allerlei grondstoffen, waardoor diepe kraters in het landschap en grote bergen afval ontstaan. Hierbij gaan grote oppervlaktes bos en landbouwgrond verloren en worden boeren verjaagd van hun grond;
- de infrastructuur die nodig is voor energiewinning en transport;
- de oppervlaktes fabrieksterreinen, gebouwen, kantoren, silo's, pakhuisen en opslagterreinen;
- de transportinfrastructuur: wegen, havens, overslagterreinen.

Dit indirecte landgebruik van de Nederlandse landbouw zou ook in beschouwing moeten worden genomen bij het beoordelen van de productie per ha in Nederland. Voor een deel leidt het indirecte landgebruik van de Nederlandse landbouw zelfs tot een verlies van landbouwgrond elders op de wereld.

Naast het (vanouds) gebruiken van zonne-energie door de landbouw (ten behoeve van de fotosynthese) is men steeds meer gebruik gaan maken van fossiele brandstoffen. Dit zowel direct in trekkers, machines, verwarmingsinstallaties en verlichting als indirect voor het maken van de input. Het toepassen van hernieuwbare energie (biomassa, wind, water, zon) is niet gratis. Om deze vormen van energie te kunnen gebruiken zijn er weer allerlei organisaties, fabrieken en installaties nodig om de apparatuur te maken en daarvoor zijn ook weer energie en grondstoffen nodig.

Naast deze ontwikkelingen in de landbouw is er in de hele maatschappij een tendens naar het gebruiken van steeds meer energie en grondstoffen. Het winnen van energiegrondstoffen kost

steeds meer energie. Dit komt omdat de gemakkelijk winbare aardolie al is gewonnen. Kwam vroeger de aardolie bijna vanzelf uit de grond, nu is er veel meer nodig om olie te winnen. Bijvoorbeeld het injecteren van stoom (ook weer aparte installaties voor nodig en veel energie) en het afgraven van teerzanden (bevat lage gehalten aan winbare olie). De tijd van de “easy oil” lijkt voorbij te zijn. De oliemaatschappijen moeten op steeds moeilijker bereikbare plaatsen (bijvoorbeeld de Noordpool) steeds dieper boren (tot kilometers onder de oceaانبodem) en daarbij steeds kostbaarder technieken gebruiken om de olie omhoog te krijgen (bijvoorbeeld stoominjectie en fracking). Het zal daardoor steeds meer energie kosten om energie uit aardolie te winnen. Het winnen van grondstoffen kost ook steeds meer energie. De ertsen met de hoogste gehalten aan allerlei metalen en mineralen zijn al gewonnen. De gehalten dalen en worden moeilijker winbaar. Er moet steeds dieper en steeds meer worden gegraven om nog iets te kunnen winnen. Daarna moeten dan ook grotere hoeveelheden materialen worden gesorteerd, gescheiden, behandeld en getransporteerd. In fabrieken is steeds meer gemechaniseerd. Handkracht is vervangen door machines. Deze machines werden eerst door mensen bediend, nu worden machines vaak via computers aangestuurd. De meeste energie gaat dan niet meer zitten in het hoofdproces (bijvoorbeeld de bewerking van metalen door snijden, boren, etc.) maar in de hulpprocessen er omheen, die nodig zijn om het hoofdproces te kunnen aansturen. Verdere automatisering en robotisering zullen de tendens tot een toename van het energiegebruik alleen maar versterken. In gebouwen zijn grote hoeveelheden energie opgeslagen (van mijnbouw, bouwstoffenproductie, transport, energie en het bouwproces zelf). De levensduur van gebouwen lijkt steeds korter te worden. De ligboxenstallen uit de jaren 1970 – 1980 worden nu als verouderd beschouwd. Vaak vindt vervangende nieuwbouw plaats en worden deze stallen al weer gesloopt. Ook bij de kassenbouw vindt veel vervangende nieuwbouw plaats. De kassen zijn steeds hoger geworden en het plat glas wordt bijna niet meer bedrijfsmatig toegepast. Dit gevoegd bij het verwarmen en verlichten van kassen maakt dat het energiegebruik is gestegen. In de besluitvorming van overheidswege lijken deze ontwikkelingen vaak geen rol te spelen. Niet alleen in de landbouw is deze tendens naar meer energiegebruik aanwezig. Bij bedrijfsgebouwen, kantoorpanden, sportvoorzieningen, openbare gebouwen en woningen wordt relatief gemakkelijk toestemming verkregen voor het slopen van gebouwen. Dat daarmee grote hoeveelheden energie verloren gaan lijkt men niet te beseffen.

Het verder toepassen van arbeidsbesparende technieken met behulp van automatisering en robotisering doet de aanslag op energie en grondstoffen nog verder toenemen. Bij het toepassen van elektronica lijkt tot nu toe weinig rekening te worden gehouden met deze effecten. Als je de landbouwbladen mag geloven ben je pas een moderne boer als je op een trekker rijdt die vol hangt met beeldschermen, je grond is vol gestopt met sensoren en er de hele tijd een drone boven je land vliegt. Op basis van allerlei gegevens van sensoren in het veld, drones en satellieten worden gegevens over de gewasgroei verkregen. Een koppeling van deze gegevens met die over de bodem, de hoeveelheden regen, de gedane bespuitingen en de gegeven hoeveelheden kunstmest maken dat de boer niet meer in het veld hoeft te kijken, maar op basis van al deze gegevens in staat is het laatste restje biodiversiteit uit zijn akkers te laten verdwijnen. Dit vergt wel heel wat hardware (grondstoffen), software en energie. Gewoon goed naar de bodem en het gewas kijken kan ook, maar dat is niet modern. De tendens tot steeds verdergaande toepassingen van elektronica begint groteske vormen aan te nemen. Er is nu ook al een robot (op wieltjes) om de koeien op te halen. En een virtuele weide-afrastering door middel van een halsband met zender en een elektronisch signaal. Elektronica wordt overal toegepast: in stallen, op trekkers en machines, in de administratie, telefoons, iPhones, tablets, laptops, allerlei sensoren, processoren, microchips. Het produceren van al deze spullen kost heel veel energie. Ook verouderd het heel snel, zodat het weer

vervangen moet worden, Bij een gedeelte van deze toepassingen speelt het in de mode zijn een hele grote rol, waardoor de levensduur nog korter wordt. Hier is sprake van een levensduurverkorting niet vanwege slijtage of niet meer functioneren, maar vanwege het op de markt brengen van nieuwe mogelijkheden en van het snel uit de mode raken. Hierdoor neemt het energiegebruik nog veel meer toe.

We zien een verschuiving van direct naar indirect:

- de graanoogst duurt maar kort, maar er zijn wel combines geproduceerd, silo's en fabrieken gebouwd, havens aangelegd, enz., enz.;
- het landgebruik van de trekkracht telde vroeger mee in het directe landgebruik: het paard liep in de eigen weide, het terrein van de machinefabriek is ver weg;
- de ruimte nodig voor het winnen van ijzererts, de hoogovens, de trekkerfabriek, de distributie, de wegen, de energie-infrastructuur telt niet mee bij het directe landgebruik, maar het is er wel in de vorm van indirect landgebruik ten behoeve van de landbouw;
- de energie werd vroeger op het eigen bedrijf gewonnen: verbouw van paardenvoer voor de trekkracht; veevoer werd niet van elders aangevoerd en hoorde bij het directe landgebruik van de landbouw;
- de energie die nodig is voor het verbouwen van veevoer in andere landen vergt ruimte voor de verbouw van het veevoer zelf en voor allerlei infrastructuur;
- de landbouw gebruikt naast directe energie ook grote hoeveelheden indirecte energie, die nodig zijn om de input aan de landbouw te kunnen leveren.

Het huidige westerse landbouwsysteem heeft geleid tot grote negatieve gevolgen voor de omgeving, die het gevolg zijn van het toegenomen directe en indirecte energie- en grondstoffengebruik. De maatschappelijke kosten die dit heeft veroorzaakt zijn tot nu toe niet aan de landbouw doorberekend. Na de energiecrises in de jaren zeventig van de twintigste eeuw was er veel belangstelling voor energie en energiebesparing. Het Instituut voor Mechanisatie Arbeid en Gebouwen (IMAG) besteedde er toen veel aandacht aan. In het buitenland werden door Pimentel onderzoeken gedaan naar het energiegebruik in de landbouw. In hoofdstuk 10, bijlage 2 en hoofdstuk 15 wordt daar op terug gekomen. Het IMAG is inmiddels opgeheven en de aandacht voor het onderwerp energie is in de loop van de tijd weer minder geworden. Hoewel er nu wel veel aandacht is voor de uitstoot van broeikasgassen en de noodzaak deze te verminderen, lijkt het beeld van de landbouw meer te worden overheerst door andere problemen (mestproblematiek, ziekte-uitbraken, voedselschandalen, fraude met mest en vee).

De verschuiving van lokaal naar de hele wereld heeft ook gezorgd voor grote transportstromen, want alle energie en grondstoffen moeten worden vervoerd. De toename van het energie- en grondstoffengebruik heeft geleid tot negatieve effecten op bodem, water, lucht, biodiversiteit, landschap en ecosystemen in het algemeen. Dit is een kostenverhoging voor de maatschappij, omdat deze negatieve effecten om compenserende maatregelen vragen. Deze maatregelen worden niet of maar voor een deel door de producenten betaald en worden voor een groot deel afgewenteld op de maatschappij of op de toekomst; deze maatschappelijke of externe kosten worden niet geïnternaliseerd.

Tot nu toe is het steeds gelukt om de keuze voor een economisch systeem met een veel lager energie- en grondstoffengebruik te ontlopen. Dit komt omdat er nog een verschuiving mogelijk was naar lage lonen landen en de mogelijkheid energie en grondstoffen op grote schaal van elders aan te voeren. Dit is een weg die niet begaanbaar blijft en uiteindelijk tot

grote problemen zal leiden. Heel belangrijk is of onze maatschappij met ons systeem van parlementaire democratie in staat zal zijn deze ontwikkeling tijdig en op een vreedzame wijze bij te sturen. Een politieke partij die naar de noodzakelijke maatregelen op de wat langere termijn kijkt en in haar programma heeft staan dat onze materiële welvaart drastisch moet afnemen zal waarschijnlijk niet veel stemmen krijgen. En daarmee houdt dit systeem zichzelf gevangen en kan het niet komen tot het treffen van de benodigde maatregelen. Uitvluchten als “groene groei”, “de technologie zal ons redden”, “ze vinden wel wat uit”, etc. zullen het probleem alleen maskeren, maar niet oplossen. De hele wereld volstoppen met sensoren en allerlei andere elektronica, het rondvliegen met drones en allemaal achter een beeldscherm zitten zullen het probleem alleen maar erger maken. Dit is een bedrieglijke ontwikkeling, omdat de inzet van al deze spullen mede wordt gepropageerd onder het mom dat het de duurzaamheid ten goede zou komen (precisie landbouw). Zou het niet beter zijn deze technieken te reserveren voor toepassingen die echt een meerwaarde opleveren, bijvoorbeeld voor de medische wereld en voor het wetenschappelijk onderzoek?

Het feit dat energie en grondstoffen opraken en dat we een klimaatprobleem hebben veroorzaakt heeft tot nu toe bijna geen rol gespeeld in de besluitvorming over de landbouw. In het kader van het akkoord van Parijs moet een opwarming van de aarde met meer dan twee graden worden voorkomen. Op basis van deze tweegradendoelstelling dient de emissie van broeikasgassen in 2050 met 80% te zijn verminderd ten opzichte van 1990 (voor Nederland betekent dit een reductie met 50% per 2030). Maar tussen 1990 en 2015 is het energiegebruik nog gestegen, zodat de reductie nog groter moet zijn. Om deze doelstelling te kunnen realiseren is een drastische reductie van het energie- en grondstoffengebruik nodig. Men denkt de gewenste reductie te kunnen bereiken door een energietransitie van fossiele energie naar hernieuwbare energie. Maar dat is op grote schaal niet mogelijk, omdat de daarvoor benodigde hoeveelheden materialen heel groot zijn (zie ook hoofdstuk 6.4).

De techniek kan niet alles oplossen. Tot nu toe is gebleken dat elke nieuwe techniek ook weer nieuwe nadelige effecten veroorzaakt. In de afgelopen 65 jaar zijn talloze nieuwe dingen bedacht. Organisaties en processen zijn voortdurend verbeterd. Er is veel gedaan aan energiebesparing. Sla een technisch tijdschrift er maar op na: het staat vol met artikelen over zaken die leiden tot efficiencyverbetering en energiebesparing. Men vergeet echter dat elke maatregel die is bedoeld om een bepaald negatief effect op te heffen weer nieuwe voorzieningen vraagt, waarvoor ook weer energie en grondstoffen nodig zijn. Het resultaat van dit alles is dan ook dat het energie- en grondstoffengebruik voortdurend is gestegen.

Het is nu eenmaal zo dat niets heel gemakkelijk gaat. Er bestaat ook nog zoiets als de wet van behoud van ellende. De voortdurende stijging van het gebruik van energie en grondstoffen is daarvan een treffende illustratie. Hiermee keren we uiteindelijk terug naar het calvinistische adagium dat u in het zweet uws aanschijns uw brood zult verdienen. En daarmee zijn we terug bij het landbouwsysteem zoals dat tot aan het begin van de twintigste eeuw (en ook nog wel enigszins tot 1950) heeft bestaan. Dit landbouwsysteem kon zich bijna zonder hulpbronnen van elders handhaven en veroorzaakte geen grote nadelige effecten op de omgeving. Gezweet moest er echter wel worden en dan niet in de sportschool maar wel op het land.

Verschuiven is in de toekomst niet meer mogelijk, niet naar goedkope energiebronnen en grondstoffen (ze raken op), niet naar goedkope arbeid (een rechtvaardiger verdeling van de welvaart), niet naar slechte arbeidsomstandigheden elders (niet acceptabel) en niet naar “ze vinden wel iets uit”.



Van 1950 tot 2015 zijn we gegaan van meer direct naar meer indirect met arbeid, energie, grondstoffen en landgebruik. Van 2016 tot 2040 moeten we weer meer naar direct en minder naar indirect.

Het is noodzakelijk om ons productiesysteem aan te passen aan de draagkracht van de aarde. Dit betekent het tijdig op gang brengen van processen van aanpassing van het huidige productiesysteem. Zijn we hier toe in staat of laten we het er op aan komen en zullen veranderingen worden afgedwongen door de omstandigheden? Voor de landbouw is dit des te dringender, omdat de landbouw een onmisbare bedrijfstak is. Er moet immers altijd voedsel worden geproduceerd. Het is dan temeer van belang om in ieder geval ons landbouwsysteem op tijd aan te passen aan de randvoorwaarden van de toekomst. Wachten we op de klap of gaan we tijdig anticiperen?

## **1.2 Indeling van dit proefschrift**

In hoofdstuk 2 (Theoretisch kader) komt het theoretisch model aan de orde waarmee de prestaties van de landbouw kunnen worden gemeten, samengevat in het begrip duurzaamheid. Verder wordt een aantal bronnen uit verleden en heden belicht, waarin zorgen worden geuit over de ontwikkelingen van de maatschappij in het algemeen en die van de landbouw en de kwaliteit van de voeding in het bijzonder. Vervolgens komen de productiefactoren grond, arbeid en kapitaal aan de orde en wordt ingegaan op de begrippen Energy Return On Energy Investment (EROEI) en Net Energy.

In hoofdstuk 3 (Onderzoeksvragen en gehanteerde begrippen) worden de onderzoeksvragen besproken en de gehanteerde begrippen toegelicht.

In hoofdstuk 4 (Methodiek en werkwijze) zijn methodiek, werkwijze, systeemgrenzen en beoogde resultaten aangegeven.

In hoofdstuk 5 (Output) is de output van de landbouw weergegeven in zowel gewicht (tonnen) als energetische waarde (PJ). De output is weergegeven voor de akkerbouw, de veehouderij en de tuinbouw en voor de landbouw in totaal.

Hoofdstuk 6 (Landgebruik en grondstoffen) gaat over het landgebruik in Nederland ten opzichte de wereld en de EU, de grondstoffenstromen, de mijnbouw en een energiescenario gebaseerd op hernieuwbare energie.

Hoofdstuk 7 (Directe energie) gaat over de input van directe energie in de landbouw, het daarbij behorende landgebruik en de daarvoor benodigde arbeid.

In hoofdstuk 8 (Indirecte energie) gaat het om de indirecte energie die wordt gebruikt voor mijnbouw, gebouwen, trekkers en machines, veevoer, dierlijke mest, kunstmest, bestrijdingsmiddelen, elektronica, de dienstensector en transport en infrastructuur. Van deze input zijn de energetische waarden, het landgebruik en de benodigde arbeid geïnventariseerd.

In hoofdstuk 9 (Arbeid) wordt ingegaan op de arbeid, de arbeidsproductiviteit en een andere wijze van het inzetten van arbeid.

In hoofdstuk 10 (De totalen van energiegebruik, landgebruik en arbeid) zijn de resultaten voor de output en de input samengevat in zowel gewicht (tonnen) als energie (PJ), het landgebruik

in ha en de arbeid in arbeidsjaareenheden. Op basis van de energetische waarden van de output en input zijn output/input-verhoudingen weergegeven.

In hoofdstuk 11 (Landbouwkundige aspecten) wordt ingegaan op de aspecten bodemvruchtbaarheid en voedselkwaliteit. Er is bepaald hoeveel voeding nodig is om de Nederlandse bevolking te kunnen voeden en hoeveel landbouwgrond dat vereist. Bekeken is of bemesting van de landbouwgronden met reststromen van organisch materiaal voldoende bemesting kan opleveren. Daarbij zijn in beschouwing genomen dierlijke mest, reststromen van organisch materiaal van huishoudens, industrie, overheid en dienstensector en reststromen van organische stoffen afkomstig uit de openbare ruimte, uit afvalwater en uit baggerslib.

In hoofdstuk 12 (Maatschappelijke kosten) is een aantal voorbeelden van studies naar de maatschappelijke kosten van de landbouw vermeld. Vervolgens is als basis voor het bepalen van de maatschappelijke kosten gekozen voor de emissie in CO<sub>2</sub>-equivalenten. De emissies in CO<sub>2</sub>-equivalenten door de landbouw zijn bepaald. Op basis van verschillende prijzen per CO<sub>2</sub>-equivalent in 2015, die met behulp van de prijsindexcijfers zijn terug gerekend voor de periode 1950 t/m 2015, zijn de maatschappelijke kosten voor deze periode berekend voor verschillende prijsniveaus. Daarnaast is een indicatie gegeven van de totale maatschappelijke kosten.

In hoofdstuk 13 (Economische aspecten) is ingegaan op de prijzen van arbeid en energie en grondstoffen op basis van een studie naar fiscale maatregelen, met daarbij een voorbeeld waarin het verschil is getoond tussen besluiten op basis van energie en besluiten op basis van geld. Verder zijn in beeld gebracht het exportsaldo aan landbouwproducten, zijnde alleen voedingsproducten en de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten. Beiden zijn gerelateerd aan de maatschappelijke kosten.

Hoofdstuk 14 (Een duurzaam landbouwsysteem) gaat over de randvoorwaarden waaraan een duurzaam landbouwsysteem zou moeten voldoen. Op basis daarvan en op basis van de randvoorwaarden die voortvloeien uit het akkoord van Parijs is een schets gegeven van een mogelijke ontwikkeling van de landbouw in de periode 2016 t/m 2040.

In hoofdstuk 15 (Slotbeschouwing) wordt ingegaan op de resultaten uit dit proefschrift aan de hand van de gevonden uitkomsten, de methode, de verschillen tussen de in dit proefschrift gevolgde methode en andere methodes, hoe een overgang is te maken naar een duurzame landbouw en wat dit betekent.

In hoofdstuk 16 (Conclusies en aanbevelingen) staat ten slotte een aantal conclusies en aanbevelingen.

De hoofdstukken 1 t/m 4 zijn inleidend/algemeen theoretisch. In de hoofdstukken 5 t/m 10 zijn de resultaten weergegeven van de inventarisaties van de output en de input, het landgebruik en de hoeveelheid arbeid. In de hoofdstukken 11 t/m 13 zijn de bouwstenen voor een duurzaam landbouwsysteem aangegeven. Dit is in hoofdstuk 14 verder uitgewerkt. Vervolgens komen in de hoofdstukken 15 en 16 de slotbeschouwing en de conclusies en aanbevelingen aan de orde.

Daarna volgen de literatuurreferenties, een overzicht van geraadpleegde organisaties/personen, vijf bijlagen (waarin een aantal onderwerpen nader is toegelicht), een samenvatting in het Nederlands en in het Engels, een curriculum vitae en een dankwoord.

## **2 Theoretisch kader**

### **2.1 Algemeen**

In dit hoofdstuk komen na het algemene deel aan de orde de productiefactoren grond, arbeid en kapitaal, het begrip arbeidsproductiviteit, het gebruik van energie en grondstoffen, de effecten op de omgeving en de wijze waarop duurzaamheid kan worden gemeten, gezien in het kader van dit proefschrift.

Het doel van dit proefschrift is:

- het geven van een theoretisch model, waarmee de prestaties van de landbouw (samengevat in het begrip duurzaamheid) kunnen worden beoordeeld;
- het in beeld brengen van de ontwikkeling van de duurzaamheid van de landbouw in de periode 1950 t/m 2015;
- het geven van een schets van een toekomstig landbouwsysteem, dat duurzaam is, voedselzekerheid biedt en aan de klimaatdoelstellingen kan voldoen.

Bij het aangeven van de prestaties van de landbouw moet niet alleen worden gekeken naar de hoogte van de productie per hectare of de prestaties per arbeidskracht maar ook naar de landbouw zoals die is ingebed in haar maatschappelijke context en de effecten die dat met zich mee brengt. Daarbij gaat het ook om zaken als landgebruik, energie- en grondstoffengebruik, effecten op de omgeving en maatschappelijke kosten. Een belangrijke vraag is hoe de landbouw zich op deze gebieden heeft ontwikkeld en op welke wijze de landbouw kan worden aangepast om aan toekomstige randvoorwaarden te kunnen voldoen, die vanwege de klimaatproblematiek aan de maatschappij en dus ook aan de landbouw zullen worden gesteld. Om de verhouding van de landbouw tot de maatschappij enigszins in beeld te brengen, zijn hier drie systemen onderscheiden, namelijk het natuurlijke systeem, het economische systeem en het landbouwsysteem.

De aarde is vanouds een natuurlijk systeem dat zichzelf in stand kan houden met behulp van zonne-energie en de recirculatie van materialen. Het is een gesloten systeem: productie en gebruik van materialen en energie zijn met elkaar in evenwicht. Hoe groter de biodiversiteit van het systeem is, hoe groter de stabiliteit. Naast leverancier van energie en grondstoffen levert het natuurlijke systeem ook ruimte. Nu nog behoren die delen van de aarde die als natuur worden beheerd tot het natuurlijke systeem. In bijvoorbeeld een bos is een gesloten kringloop. Al het organische materiaal wordt voortdurend hergebruikt en het bos kan in stand blijven zonder hulp van buitenaf.

Het economische systeem (de productie en consumptie door de mens) is een onderdeel van het natuurlijke systeem. De mens onttrekt energie en grondstoffen aan het natuurlijke systeem. Dat is mogelijk zolang deze onttrekking niet groter is dan wat het natuurlijke systeem weer kan aanvullen. Hetzelfde geldt voor de emissies die vrijkomen bij de productie en consumptie van goederen en diensten. Deze emissies mogen de opnamecapaciteit van het natuurlijke systeem niet te boven gaan; het natuurlijke systeem kent grenzen die door het economische systeem niet mogen worden overschreden. Door de omvang van de inzet van energie en grondstoffen zijn deze grenzen echter wel gepasseerd en worden de voorraden aan energie en grondstoffen gebruikt in een tempo dat veel hoger is dan dat van het regeneratievermogen van het natuurlijke systeem. De landbouw is een onderdeel van het natuurlijke systeem en ook van het economische systeem. Landbouwsystemen zijn

kunstmatige systemen van gedomesticeerde planten en dieren, het zijn kunstmatige ecosystemen. Om een landbouwsysteem zo stabiel mogelijk te laten zijn moet het het natuurlijke systeem zo dicht mogelijk benaderen. Volgens M. Rietveld wisten de eerste boeren instinctief dat de natuurlijke processen van vertering (het circuleren van organische stof) nu hun verantwoordelijkheid waren geworden (Rietveld, 2011).

Murray Bookchin beschrijft in het boek *Radical Agriculture* dat landbouw (Agriculture) een vorm van cultuur is. Het verbouwen van voedsel is een sociaal en cultureel verschijnsel dat uniek is voor de mens. Wanneer in korte tijd het verbouwen van voedsel is veranderd in een industriële techniek, wordt het belangrijk stil te staan bij de verschillende effecten van “moderne” landbouw, om de impact daarvan vast te stellen op niet alleen de volksgezondheid, maar ook op de relatie tussen de mens en de natuur en de relaties tussen mensen onderling. Het contrast tussen de landbouw van vroeger en de moderne landbouw is dramatisch. Het is moeilijk te herkennen dat ze zijn verbonden door enige vorm van culturele continuïteit (Merrill, 1976).

De productie van voedsel is van oorsprong niet het enige doel van de landbouw. Het in stand houden van de bodemvruchtbaarheid en daarmee het bieden van bestaanszekerheid aan de plattelandsbevolking was/is ook een doelstelling van landbouw. Het gaat ook om betrokkenheid bij het gebied en binding aan de grond. Na de industriële revolutie in de negentiende eeuw bleef de landbouw tot circa 1950 nog lange tijd traditioneel, althans als je er met de ogen van nu naar kijkt. Daarna trad een modernisering op die steeds sneller lijkt te gaan. Dit ging en gaat gepaard met een verlies van tradities en sociale binding. Dit uit zich bijvoorbeeld in het verdwijnen van de streekeigen bebouwing, die ook in de Wieringermeer en de Noordoostpolder nog aanwezig was met een eigen boerderijtype en als laatste in het oostelijke deel van Oostelijk Flevoland. Daarna gingen de nieuw gebouwde boerderijen overal in Nederland op elkaar lijken. Traditionele landbouwmethoden en traditionele gebouwen, die waren gebaseerd op lokale omstandigheden, verdwijnen en het landschap wordt steeds meer aangetast door ontmenging, specialisatie en schaalvergroting van de landbouwbedrijven.

De productiewijze van de moderne landbouw is teveel gebaseerd op het behalen van resultaten op de korte termijn. Er wordt te weinig gelet op de problemen die dit op de lange termijn veroorzaakt, zoals het verlies aan biodiversiteit, éénvormigheid, negatieve milieueffecten en steeds meer afhankelijkheid van externe input. Landbouw lijkt een bedrijfstak te zijn geworden met als enige doel het maken van winst. Grond, arbeid en kapitaal zijn inwisselbare productiefactoren geworden. Sociale controle en verbondenheid met de grond en met de natuur zijn teveel verdwenen en hebben geleid tot een anonieme voedselproductie. Schaalvergroting, toenemende complexiteit, automatisering en bureaucratie versnellen dit proces. Hiermee is het (vanouds aanwezige) zuinig omgaan door boeren met het land en met energie en grondstoffen steeds meer uit beeld geraakt, terwijl het meer nodig is dan ooit. Omdat de landbouw niet meer als doel heeft de beheerder te zijn van het landelijk gebied of van het platteland is de behoefte ontstaan aan het beheer door Terrein Beherende Organisaties. De landbouw zou weer een deel moeten worden van de natuur en zou weer moeten gaan passen binnen de ecologische randvoorwaarden van het natuurlijke systeem. Dat ze daar nu niet meer in past komt door de economische ontwikkeling die is gebaseerd op het opmaken van de voorraden aan fossiele brandstoffen en niet- hernieuwbare grondstoffen. Dit heeft ook geleid tot een enorme bevolkingstoename. De vanouds aanwezige economie van schaarste is omgeslagen in een (kortstondige) economie van overvloed. De omvang van het energie- en grondstoffengebruik werd tot in de negentiende eeuw bepaald door de

mogelijkheden van het kunnen benutten van de energie uit zon, wind, waterkracht en biomassa en het inschakelen van menskracht en de trekkracht van dieren. Daarmee paste dit systeem veel beter in het natuurlijke systeem. Als de voorraden op raken is de kans groot dat men in plaats van drastisch te gaan bezuinigen op het gebruik van energie en grondstoffen, gaat zoeken naar alternatieven in de vorm van o.a. niet conventionele oliewinning, steenkool en biomassa. Door niet conventionele oliewinningen in diepe zee (die de kansen op een milieuramp vergroten), oliewinning uit teerzanden en het maken van synthetische brandstoffen uit steenkool zullen de emissies van broeikasgassen nog verder toenemen. De grote vraag naar biomassa, die in een bio-based economy kan ontstaan, kan leiden tot een grote concurrentie met de voedselproductie. Dit kan mensen met weinig koopkracht op de voedselmarkt verdringen, misschien wel vanwege biobrandstof voor de auto. De vraag is of een bio-based economy wel mogelijk is en of niet alle inspanning moet worden gericht op het veiligstellen van de (mondiale) voedselproductie.

De hier geschetste problemen zijn niet nieuw; al vanaf de negentiende eeuw is er over geschreven en hebben mensen voor bepaalde ontwikkelingen gewaarschuwd. Ook nu maakt men zich zorgen over de ontwikkelingen in de landbouw. Belangrijke vragen zijn of het huidige landbouwsysteem wel is vol te houden en hoe de bodemvruchtbaarheid in stand kan worden gehouden. Al in de negentiende eeuw begon men zich zorgen te maken over de bodemvruchtbaarheid en de kwaliteit van de levensmiddelen. Het is interessant om iets verder terug te kijken en te zien hoe men hier vroeger over dacht. Dit moet ook worden gezien in het kader van de huidige ontwikkeling waarbij economische groei nog steeds wordt nagestreefd, maar waarbij de nadelen daarvan ook steeds duidelijker worden. Ook in het verleden is het nut van een ongelimiteerde productiegroei betwijfeld, zij het niet altijd vanwege de belangen van het milieu. Onderwerpen als bodemvruchtbaarheid, voedselkwaliteit, hergebruik van organische reststromen, het zoeken naar andere landbouwsystemen en economische groei hebben de mensen ook in de laatste tweehonderd jaar bezig gehouden. Justus von Liebig (1803-1873) was de grondlegger van de minerale bemestings- en voedingsleer. Later kwam hij daar echter op terug en zei dat het uit een oogpunt van doelmatigheid nodig was om de mineralen uit ons afval niet verloren te laten gaan. Organische mest heeft de voorkeur boven anorganische meststoffen (Knol, 2012). Samuel Sarphati (1813 – 1866) beaamde dat. Hij was huisarts (in Amsterdam), chemicus, weldoener en broodfabrikant. In 1847 kreeg hij een vergunning om afval te verzamelen en stichtte hij de Maatschappij tot bevordering van Landbouw en Landontginning. Hij pleitte voor een hygiënisch hergebruik van menselijke uitwerpselen in de landbouw. In “Of the Stationary State” (1862) hield J.S. Mill (1806-1873) een pleidooi voor een stationaire toestand van de samenleving. Deze is onafwendbaar, daar ongelimiteerde groei onmogelijk is (Mill, 1862). A. Marshall (1842-1924) heeft het begrip “external economies” ingevoerd. Hij bedoelde er mee de voordelen die het individuele bedrijf te beurt vallen door de algemene industriële ontwikkeling. Deze voordelen worden zonder betaling buiten de markt om genoten (Marshall, 1890).

Rudolf Steiner (1861-1925) is de grondlegger van de antroposofie. Zijn werk heeft geleid tot de antroposofische beweging met tal van praktische werkgebieden, waaronder de biologisch-dynamische landbouw. Het verbindende element in al zijn boeken en voordrachten is de integratie van spirituele kennis met de dagelijkse praktijk. Steiner pleitte voor een landbouw die de natuur niet uitbuit maar met haar samenwerkt. Steiner gaf zijn voordrachten over de landbouw in 1924. Hij gaf aan dat de basis van de gangbare landbouwmethode, het eenzijdig natuurwetenschappelijke denken, onherroepelijk problemen zou geven. Fatale gevolgen verwachtte hij vooral van de invoering van kunstmest, die toen net op gang kwam (Steiner, 1924). In de eerste helft van de twintigste eeuw ontstonden in het buitenland ook andere

vormen van alternatieve landbouw, bijvoorbeeld de Howard-Balfourbeweging in het Angelsaksische gebied en de Lemaire-Boucherbeweging in Frankrijk.

A.C. Pigou (1877-1959) maakte onderscheid in het netto sociaal product en het netto privaat product. Hier is een verschil tussen omdat kosten en baten uit hoofde van marktrelaties buiten de markt om toevallen aan personen die niet direct betrokken zijn bij de productie. Hij wilde belastingen heffen om het marktmechanisme te corrigeren als het werd verstoord door sociale kosten of externaliteiten (Pigou, 1932).

Sir Albert Howard (1873-1947) gaf in zijn boek “An Agricultural Testament” uit 1943 aan dat het onderhouden van de bodemvruchtbaarheid de eerste voorwaarde is voor elk duurzaam landbouwsysteem. De grootste zorg is om alle dierlijke en plantaardige afval terug te brengen naar de bodem. Sinds de introductie van kunstmest is er een toename van ziektes, zowel bij planten als bij dieren. De helft van de ziektes van de mensheid verdwijnt als ons voedsel in een gezonde bodem groeit en vers wordt geconsumeerd. (Howard, 1943). De anti-kunstmestbeweging en Sir Albert Howard stelden dat “De langzame vergiftiging van het leven in de grond door kunstmest één van de grootste rampen is die de landbouw en de mensheid hebben getroffen”. W.F.K. Gouwe (1898-1962) was een arts die in zijn boek “Bodemgezondheid” uit 1948 schreef dat er vanuit medisch perspectief vroeger het besef was dat er een logische samenhang is tussen een gezonde bodem en de conditie van alle levensvormen die in en op die bodem leven en daarvan afhankelijk zijn, inclusief de mens. Al in 1948 schrijft hij: “Vroeger (voor de NPK-periode) was de weerstandskracht van planten, dieren en mensen tegenover infectie en vooral degeneratieve ziekten veel groter dan wij thans gewend zijn”. Ook hij pleit voor het instandhouden van de bodemvruchtbaarheid via compostering van afvalstoffen, waardoor een humusrijke bodem wordt verkregen (Gouwe, 1948).

Egbert de Vries (1901-1994) was hoogleraar aan de Landbouwhogeschool te Wageningen en schrijft in zijn boek: “De aarde betaalt” uit 1948 over de rijkdommen der aarde en hun betekenis voor de wereldhuishouding en de politiek. Aan de orde komt o.a. het spook der overbevolking (overbevolking bestaat als een daling van de bevolkingscijfers een verhoging van de levensstandaard teweeg zou brengen). Teveel heeft de mens in de laatste eeuw geteerd op het kapitaal dat Moeder Aarde beschikbaar stelt. Op verschillende plaatsen wordt de bodem van de schatkist zichtbaar en haar spilzieke kinderen zullen zich moeten beraden op een efficiënt gebruik, om de aarde voor zichzelf en hun nageslacht niet onbewoonbaar te maken. Ingegaan wordt op de situatie van de landbouw (de potentiële voedselcapaciteit van de wereld werd toen geschat op circa vier miljard zielen), bodembescherming, schaarste aan energie en grondstoffen, erosie en natuurbescherming en verschillende manieren van transport. Eigenlijk alle problemen die ook heden nog actueel zijn (de Vries, 1948).

K.E. Boulding (1910-1993) zegt in “The Economics of the Coming Spaceship Earth” uit 1966 dat begrippen als economische groei en nationaal inkomen in de toekomst geen enkele betekenis meer zullen hebben. In de te verwachten kringlooeconomie is niet meer de hoogte van productie en consumptie belangrijk, maar de instandhouding van de kapitaalvoorraad (zijnde de grondstoffenvoorraad). De input van schone energie in een kringlooeconomie zal één van de belangrijkste factoren zijn die het mogelijke activiteitsniveau zullen bepalen (Boulding, 1966). E.J. Mishan (1917-2014) hekelt in zijn boek “The Costs of Economic Growth” uit 1967 evenals (de hierna vermelde) Galbraith de nadruk die de westerse samenleving legt op de opvoering van de productie, waarvan een toenemend deel slechts kan worden gerealiseerd door het scheppen van behoeften aan nieuwe artikelen en het

tegelijkertijd stimuleren van dissatisfactie ten aanzien van in gebruik zijnde goederen. Bij optimale allocatie van de productiefactoren zijn de marginale kosten steeds gelijk aan de prijs van het product. Bij het optreden van negatieve effecten moet voor het bereiken van een optimale situatie de productie derhalve worden ingekrompen totdat de maatschappelijke waarde van het goed is gestegen tot zijn sociale marginale kosten (compensatiebetaling, eliminerende voorzieningen). In alle sectoren van de productie moeten de prijzen van goederen gelijk zijn aan hun maatschappelijke marginale kosten (Mishan, 1967).

R. Hueting beschrijft in zijn boek “Nieuwe schaarste en economische groei” uit 1974 het toekennen van bepaalde waarden aan het milieu. Dat is tot nu toe moeilijk gebleken. Sommige vitale milieufuncties worden niet door de mensen op prijs gesteld, omdat zij niet weten hoe belangrijk deze functies zijn voor het leven op aarde. Dit komt ook tot uiting in de (soms geringe) waarde die men aan deze functies toekent. In de economie kan milieuverslechtering worden gedefinieerd als een verminderde beschikbaarheid aan functies van een milieucomponent. Door een toenemende belasting van het milieu wordt een zo groot beslag gelegd op de verschillende functies van het milieu dat deze onderling concurrerend worden, waardoor functieverlies ontstaat. Een milieucomponent heeft steeds drie aspecten: kwantitatief (de hoeveelheid materiaal), kwalitatief (de mate van verontreiniging) en ruimtelijk. De verminderde beschikbaarheid van een functie kan op elk van deze drie aspecten betrekking hebben. Het concurrerende gebruik van functies kan worden onderscheiden in kwantitatieve, kwalitatieve en ruimtelijke concurrentie. Het probleem is dat het gebruik dat we van het milieu maken vaak wel goed is te kwantificeren (bijvoorbeeld oppervlakte landbouwgrond, aardoliegebruik), maar de milieueffecten daarvan niet. De kosten voor het opheffen van sommige nadelige milieueffecten zijn (voor zover dat nog mogelijk is) echter al zeer hoog. Daarom zal met dit aspect toch in het algemeen meer rekening moeten worden gehouden, aangezien een directe relatie tussen de veroorzaker en degene die de nadelige effecten ondervindt lang niet altijd is aan te geven. Bijvoorbeeld de schade aan de landbouw door luchtverontreiniging werd in 1985 geschat op ruim 400 miljoen euro per jaar. Als niet wordt uitgegaan van een veel lager energiegebruik dan het huidige en het voorkomen van het gebruik van bepaalde producten en stoffen, zal een steeds groter deel van het nationale inkomen nodig zijn om de nadelige effecten op het milieu weer enigszins op te heffen. De hiervoor benodigde inspanning kan een dermate grote omvang aannemen dat een eventuele economische groei hierdoor geheel teniet kan worden gedaan, respectievelijk kan omslaan in een negatieve economische groei, dus in feite een daling van het nationaal inkomen. Ook in de landbouw dreigt dit gevaar en ook blijkt dat de aanloop naar de erkenning van een probleem zeer lang kan zijn (Hueting, 1974).

In 1977 heeft de Commissie Onderzoek Biologische Landbouwmethoden een inventarisatie met evaluatie en aanbevelingen uitgevoerd voor verschillende alternatieve landbouwmethoden. De commissie concludeert o.a. dat de voorziening met fosfor en kalium een knelpunt kan zijn bij het overgaan op alternatieve landbouw. Het sluitend maken van de kringloop van fosfaat en kalium zal een ingrijpende wijziging vragen van de verwerking van het organisch afval van de samenleving. Een betere afstemming van de consumptie op de productie kan worden bereikt door minder consumptie van dierlijk eiwit en het houden van minder huisdieren (Commissie Onderzoek Biologische Landbouwmethoden, 1977);

In het boek “The affluent Society” uit 1958 geeft J.K. Galbraith (1908-2006) aan dat verdere opvoering van de particuliere productie thans nog slechts mogelijk is wanneer behoeften worden bedacht en opgewekt. Het nut zonder reclame is nul. Als dit wordt beschouwd als marginaal deel van de productie is het marginale nut van de totale productie nul. Bij de

meting van het bruto nationaal product wordt geen rekening gehouden met het verschil in nut van de samenstellende delen, omdat dat niet mogelijk is in het systeem van de Nationale Rekeningen (Galbraith, 1958).

Het DTO (Duurzame Technologische Ontwikkeling) programma (1993-1997) was een initiatief van vijf ministeries (Economische Zaken, Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, Verkeer en Waterstaat, Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer). Er waren vijf deelprogramma's: Voeden, Water, Verplaatsen, Chemie en Technologie. Het oriëntatiepunt was het jaar 2040, het doel was twintig keer minder milieubelasting per eenheid van welvaart (de welvaart zou tot 2040 met een factor 5 toenemen, de milieubelasting moest worden gehalveerd). Technologie is hierbij een hulpmiddel. Als bouwstenen voor een duurzame voedselvoorziening werden gezien:

- duurzaam landgebruik: meervoudig grondgebruik waarbij duurzaamheid wordt nagestreefd door kringloopsluiting en een verregaande combinatie van functies zoals landbouw, natuur, drinkwatervoorziening en recreatie;
- high-tech agroproductie: productie van verse groenten in een beschermde omgeving waarbij duurzaamheid wordt nagestreefd door kringlopen te sluiten. Zonlicht, regenwater en organische reststoffen zijn de enige grondstoffen;
- geïntegreerde conversie: combinatie van vollegrondsteelt met bewerking van landbouwgewassen tot basisstoffen voor samengestelde producten en essentiële voedingsstoffen;
- novel proteïn food: ontwikkeling eiwithoudende producten als alternatief voor vlees, waarmee kan worden voorzien in de eiwitbehoefte;
- sensortechnologie: ontwikkeling van nieuwe meet- en regelapparatuur en modellen om gegevens te kunnen interpreteren zodat teeltomstandigheden, vitaliteit van planten en welzijn van dieren nauwkeurig kunnen worden bepaald.

(Interdepartementaal Onderzoeksprogramma Duurzame Technologische Ontwikkeling, 1977).

Richard Heinberg geeft in het boek "The Party's over, Oil, War and the Fate of Industrial Societies" uit 2005 aan dat olie de goedkoopste en gemakkelijkste energiebron is, die ooit door mensen is ontdekt. Elk jaar was er meer energie beschikbaar. Hierdoor ontstond een economisch systeem dat is gebaseerd op de aanname dat groei normaal en noodzakelijk is en dat deze groei steeds maar door kan gaan. Na de oil peak zullen industrielanden minder energie ter beschikking hebben. Het zal tientallen jaren duren om de infrastructuur om te bouwen naar hernieuwbare energiebronnen en die tijd is er niet. Dat betekent een totale verandering van onze maatschappij, want met de nieuwe energiebronnen is het huidige niveau van productie en consumptie niet vol te houden. De economische gevolgen hiervan zijn enorm. Met minder energie kan minder werk worden gedaan, tenzij de efficiency van de processen om energie in arbeid om te zetten net zoveel stijgt als de beschikbaarheid van energie afneemt. Er zal een punt komen waarop de mindere beschikbaarheid van energie ook leidt tot minder economische activiteit. Gegeven het feit dat onze economie is gebaseerd op de aanname dat de economische activiteit voortdurend moet groeien, zal het resultaat een recessie zijn zonder bodem en zonder einde. De gevolgen voor de wereldvoedselproductie zullen niet minder verschrikkelijk zijn. Gedurende de twintigste eeuw steeg de voedselproductie in veel landen enorm. Deze groei is te danken aan de toename van energie-inputs. Het is twijfelachtig of de oogsten op het huidige niveau kunnen worden gehandhaafd zonder trekkers, kunstmest en bestrijdingsmiddelen. Minder beschikbare energie beïnvloedt internationale betrekkingen en kan leiden tot spanningen over de beschikbare bronnen (in veel gevallen olie). Staten zullen radicale energiebesparingsmaatregelen moeten uitvoeren en investeren in hernieuwbare energie en lokale duurzame voedselsystemen. Verder zijn van



belang het accepteren van een economie zonder groei, het voeren van een bevolkingspolitiek en het streven naar internationale afspraken over hulpbronnen. Als deze aanbevelingen serieus zouden worden opgepakt zou dat over een eeuw kunnen leiden tot een wereld met minder mensen, die per hoofd minder energie gebruiken, afkomstig van hernieuwbare bronnen. Levend in kleinere gemeenschappen zouden mensen het waarderen om meer controle over hun eigen leven te hebben. Minder reizen en meer waardering voor de natuur. Hernieuwbare energiebronnen zouden in een zeker comfort kunnen voorzien, maar bij benadering niet op de schaal van de op fossiele brandstoffen gebaseerde industriële maatschappij. Dit gaat echter niet vanzelf. Zo'n gunstig resultaat kan alleen met aanzienlijke inspanningen worden bereikt. Er zijn hoopvolle indicaties dat een verandering richting duurzaamheid is begonnen. Maar er zijn ook ontmoedigende signalen dat politieke en economische instituties zich zullen verzetten tegen een verandering in deze richting. Veel hangt af van wat de bevolking van de situatie gaat begrijpen en of ze eigen stappen onderneemt en actie van haar overheden vraagt (Heinberg, 2005).

Debbie Barker is de auteur van het rapport "The Rise and Predictable Fall of Globalized Industrial Agriculture" van The International Forum on Globalization (IFG). Dit rapport uit 2007 gaat over de vraag wie uiteindelijk de zeggenschap zal hebben over de wereldvoedselvoorziening. Dit onderwerp is samen met de beschikbaarheid van schoon water het belangrijkste voor de overleving van lokale gemeenschappen. Zal de voedselvoorziening in handen blijven van kleine, onafhankelijke boeren die ook binding hebben met hun land en bekend zijn met lokale omstandigheden zoals bodem, het lokale klimaat, waterbronnen, flora en fauna en lokale culturen, of zal de productie en distributie van voeding centraal worden gecontroleerd door multinationals. De multinationals zeggen een hongerige wereld efficiënter te kunnen voeden en hebben geen directe relaties met lokale gemeenschappen. Het gaat om de winst van hun bedrijven. Hun programma is erop gericht om miljoenen hectares land, waar een grote diversiteit aan lokale gewassen groeit, om te zetten in grote monoculturen, met gebruik van kunstmest, bestrijdingsmiddelen en olie (mechanisatie). Voedsel wordt dan getransporteerd over de hele wereld. Zij beweren dat hun werkwijze de enige is om meer voedsel voor de wereld te kunnen produceren. Ze zijn er echter niet in geslaagd de honger uit de wereld te laten verdwijnen. Door hun grootte zijn ze in staat om via nationale regeringen de regels naar hun hand te zetten. Hun productiewijze heeft grote ecologische en sociale gevolgen voor lokale gemeenschappen en ook voor het energiegebruik. Kleine lokale gemeenschappen moeten volgens hen ook naar een landbouwsysteem met import en export. Daarbij is de vraag wie eigenaar is (blijft) van lokale en traditionele kennis. Ook in de VS, de EU en Canada hebben de boeren geen profijt van de internationale handelspolitiek. The National Family Farm Coalition (NFFC) vertegenwoordigt family farms en rural groups in de VS. Wereldwijd zijn er ook allerlei tegenbewegingen: stadslandbouw, slow-food, etc. Als er minder goedkope energie beschikbaar komt zijn hervormingen onontkoombaar. Het westerse landbouwmodel doet teveel schade. De geïndustrialiseerde landbouw overschrijdt de grenzen van de natuur en verergert een aantal internationale problemen. Vanwege klimaatverandering en energieschaarste is het nog een kwestie van tijd voordat deze hervormingen noodzakelijk zijn en moeten we terug keren naar de lokale systemen, die voor een deel onderuit zijn gehaald door het systeem van de geïndustrialiseerde landbouw. Ondertussen moeten ook de bureaucratische regels, die erop zijn gericht een systeem in stand te houden dat niet lang meer kan overleven, worden veranderd (Barker, 2007);

De Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) heeft in 2014 het rapport "Naar een voedselbeleid" uitgebracht. De WRR geeft in dit rapport de volgende constatering en opgaven aan.

#### Constateringen:

- landbouw en visserij zijn geïndustrialiseerd en er is schaalvergroting geweest;
- de voedselvoorziening is sterk geïnternationaliseerd;
- het belang van niet-agrarische spelers is sterk toegenomen. Producenten van zaad, kunstmest en diervoeding, de verwerkende en levensmiddelenindustrie en de supermarkten hebben aan belang gewonnen ten opzichte van de landbouw;
- de consumptie van vlees en andere dierlijke producten en die van samengestelde producten is flink gestegen

#### Opgaven:

- ecologische houdbaarheid: de voedselproductie veroorzaakt negatieve effecten: beslag op grond, water en grondstoffen, afname biodiversiteit en uitstoot van broeikasgassen;
- volksgezondheid: antibioticaresistentie, complexiteit toezicht door internationalisering, toename overgewicht;
- risico's van verstoringen van het voedselsysteem

Gepleit wordt voor een breed voedselbeleid als opvolger van het landbouwbeleid, waarin wordt geopteerd voor een ecologisch houdbaar voedselsysteem waarbij zuinig wordt omgegaan met grondstoffen, energie, water en nutriënten (Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, 2014).

Het Klimaatakkoord van Parijs is in 2015 gesloten op de eenentwintigste jaarlijkse klimaatconferentie van de Verenigde Naties, de COP 21 (Conference of Parties). Hierbij komen alle partijen bijeen die onderdeel uitmaken van het klimaatverdrag van de Verenigde Naties, het UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). In dit akkoord hebben 195 landen afgesproken dat de opwarming van de aarde niet meer mag zijn dan twee graden Celsius, met als streefwaarde 1,5 graden. De deelnemende landen willen een klimaatneutrale samenleving. Het Klimaatakkoord van Parijs gaat in 2020 in, als het huidige Kyoto-protocol afloopt.

Het Rijksbreed programma Circulaire Economie uit 2016 richt zich op de ontwikkeling van een voor 2050 te realiseren circulaire economie: "Nederland circulair in 2050". De ambitie van het kabinet is om in 2030 een (tussen)doelstelling te realiseren van 50% minder gebruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen). Over biomassa en voedsel wordt gezegd dat biomassa zich onderscheidt van andere grondstoffen, omdat het een hernieuwbare grondstof is. Het beleid is erop gericht om voor grondstoffen minder afhankelijk te worden van import. Daarnaast richt men zich op een meer duurzame voedselconsumptie, eventueel een verandering van dieet, minder voedselverspilling en betere benutting van reststromen. Een betere bodemkwaliteit moet worden bereikt door voldoende stabiele organische stof en genoeg nutriënten in de bodem (Rijksbreed programma Circulaire Economie, 2016).

Uit het voorgaande overzicht is de volgende algemene lijn te destilleren:

- zowel in de 19<sup>e</sup>, 20<sup>e</sup> en 21<sup>e</sup> eeuw worden de onderwerpen stationaire economie, kringloopeconomie, bemesting middels kringloop van organische stof, maatschappelijke kosten en overbevolking genoemd;
- er is een verschuiving van buitenstaanders die deze problemen aan de orde stellen naar regeringen, bedrijfsleven en wetenschap;
- werd duurzaamheid eerst in kleine kring genoemd, nu is het een probleem geworden dat centraal in de politieke belangstelling staat;
- het is van een technisch probleem ook gegaan naar een breed maatschappelijk probleem, dat ook nauw verwant is met de structuur van de maatschappij (Barker);

- het is voor een deel een berekenbaar probleem (Hueting);
- het is ook een probleem van de landbouw, deze wordt in alle drie eeuwen expliciet genoemd.

In het Klimaatakkoord van Parijs is in 2015 afgesproken de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder de twee graden Celsius en te streven naar minder dan anderhalve graad. In Europees verband is de doelstelling van 80-95% broeikasgasemissiereductie in 2050 afgesproken voor de gehele economie (dit is de reductie ten opzichte van 1990). Over de implicaties van de nieuwe mondiale klimaatdoelen zijn in Europa nog geen afspraken gemaakt. Eind 2019 moeten alle lidstaten een nationaal energie- en klimaatplan voor de periode 2021 – 2030 opstellen, waarin de nationale beleidsmaatregelen worden benoemd die bijdragen aan het halen van de doelen van de Europese Unie. Om klimaatverandering nog zoveel mogelijk te voorkomen kan een groot deel van de nog winbare fossiele brandstoffen niet meer worden opgestookt. Daarmee is een groot deel van de voorraad aan fossiele brandstoffen onverbrandbaar geworden. De nog te gebruiken hoeveelheid fossiele brandstof is daarmee kleiner geworden dan de nu nog winbare hoeveelheden. Ook voor Nederland is de ambitie de emissie van broeikasgassen in 2050 met 80-95% te hebben terug gebracht ten opzichte van de emissies in 1990.

Na een aanloop van meer dan 150 jaar wordt een aantal problemen nu breed onderkend en zijn beleidsvoornemens aangekondigd. Het uitvoeren van de aangekondigde maatregelen is nu de grote opgave voor de komende jaren. Op papier is nu iedereen het er wel over eens dat we iets aan duurzaamheid moeten doen, maar bij de uitwerking in concrete maatregelen is dat nog niet altijd merkbaar. Ook overheden blijven bijvoorbeeld nog steeds investeren in achterhaalde infrastructuur zoals vliegvelden en meer wegen. Het probleem zit vooral in de concrete maatregelen die moeten worden uitgevoerd. Veel projecten die nu nog steeds worden gerealiseerd of gepland dragen niet bij aan de voorgenomen emissiereductie.

## **2.2 Productiefactoren**

In de economie wordt gestreefd naar een optimale inzet van de productiefactoren grond, arbeid en kapitaal. Van belang is op welke wijze het begrip “optimaal” wordt ingevuld en binnen welke randvoorwaarden de productiefactoren moeten worden ingezet. Een optimale allocatie van productiefactoren is niet alleen afhankelijk van geld, maar ook van technische mogelijkheden. Technologie wordt ook in een bepaalde richting ontwikkeld om economische redenen. Als een bepaalde technologie niet meer mogelijk is (opraken grondstoffen, teveel negatieve effecten, te duur) dan is een andere allocatie nodig. Gezien vanuit de afnemers/consumenten wordt gevraagd naar producten en diensten, niet naar productiefactoren. Productiefactoren zijn de middelen waarmee aan de vraag naar producten en diensten kan worden voldaan. De productie (ook in de landbouw) is een functie van de productiefactoren grond, arbeid en kapitaal, waarbij met name de productiefactoren arbeid en kapitaal uitwisselbaar zijn. Voor het maken van de input voor de landbouw is een bepaalde hoeveelheid grond, arbeid en kapitaal nodig.

### ***Grond***

Grond is de basis voor de landbouw, het is een direct productiemiddel en er is ook landgebruik nodig om de landbouw mogelijk te maken, bijvoorbeeld voor het verbouwen van veevoedergewassen in het buitenland, mijnbouw, bedrijfsterreinen voor machinefabrieken en wegen voor transport. Met de hoeveelheid landbouwgrond in Nederland valt weinig te variëren. Je kunt meer of minder grond inzetten, maar in principe is de hoeveelheid grond een

gegeven. In geringe mate kan er een beetje grond bij worden gemaakt door bijvoorbeeld inpoldering, maar ook dan was de grond er al (onder water). Een deel van de Nederlandse landbouwgrond heeft in de periode 1950 tot 2015 een andere bestemming gekregen door wegeaanleg, stedenbouw, de aanleg van allerlei infrastructuur, mijnbouw, ontgrondingen, de aanleg van natuurterreinen, etc. Het gaat om ruim 495.000 ha, dat is ruim 21% van het landbouwareaal in 1950. De hoeveelheid grond die voor een bepaalde functie kan worden gebruikt is wel variabel, maar niet de hoeveelheid grond op zich.

### ***Arbeid***

Arbeid is in combinatie met grond altijd nodig om de landbouw te kunnen beoefenen. De mate waarin arbeid kan worden ingezet is echter zeer variabel, omdat arbeid bijna altijd wordt ingezet in combinatie met kapitaal (diverse hulpgoederen, bijvoorbeeld gereedschappen, machines, etc.). De inzet van arbeid kan daarbij variëren van heel weinig (in combinatie met veel kapitaal) tot heel veel (in combinatie met weinig kapitaal). Ook kunnen zowel de inzet van arbeid als die van kapitaal beiden worden vergroot of worden verkleind. Dit was het geval in de tweede helft van de negentiende eeuw, toen de landbouwproductie werd vergroot door meer mechanisatie en een toename van de inzet van arbeid. Na 1950 is arbeid steeds meer vervangen door kapitaal. Naarmate meer arbeid wordt vervangen door kapitaal worden dus meer hulpgoederen ingezet. Hierbij zij opgemerkt dat hier onder arbeid menselijke arbeid wordt verstaan. Dierlijke arbeid is ook een vorm van kapitaal. Er is kapitaal nodig om een paard te kunnen kopen en er zijn voorzieningen nodig om met het paard te kunnen werken (stalling, tuig, hoefijzers, etc.). Een belangrijke vraag is welk voordeel of welk nadeel de maatschappij heeft van de vervanging van boerenarbeid door kapitaal.

### ***Kapitaal***

Onder kapitaal wordt hier verstaan het totaal aan kapitaalgoederen. Kapitaalgoederen (ook wel aangeduid als productiegoederen) zijn goederen die worden gebruikt om andere goederen te produceren. Er wordt een onderscheid gemaakt in vaste kapitaalgoederen (kapitaalgoederen die langer dan één productieproces meegaan, bijvoorbeeld gebouwen en machines) en vlottende kapitaalgoederen (kapitaalgoederen die tijdens het productieproces helemaal worden verbruikt, bijvoorbeeld grond- en hulpstoffen en energie). Ook energie en grondstoffen zijn kapitaal. Ze worden door het natuurlijke systeem niet in de uiteindelijke gebruiksvorm geproduceerd, maar moeten eerst worden gewonnen (mijnbouw) en bewerkt. Daarnaast zijn er voorzieningen nodig om ze te kunnen benutten (infrastructuur in brede zin). De inzet van kapitaal kan variëren van heel weinig (in combinatie met veel arbeid) tot heel veel (in combinatie met weinig arbeid), maar ze kunnen ook beiden worden verminderd of vergroot.

Tussen de productiefactoren bestaat een wisselwerking, de inzet is afhankelijk van:

- de prijs van elk van de productiefactoren;
- de technische mogelijkheden;
- de regelgeving;
- de organisatiewijze van de economie;
- de (strategische) handelwijze van de boer;
- de grenzen van het natuurlijke systeem.

Deze laatste speelt in afwegingsprocessen vaak nog niet een doorslaggevende rol, maar is wel de belangrijkste. Als de grenzen van het natuurlijke systeem worden overschreden kan de schade zo groot worden dat andere overwegingen er niet meer toe doen.

Een optimale inzet van de productiefactoren zou moeten resulteren in een productiesysteem waarbij er voor wordt gezorgd dat:

- de welvaart in de wereld rechtvaardig is verdeeld;
- het gebruik van de productiefactoren is gebaseerd op hernieuwbare energie en op hernieuwbare grondstoffen;
- zo weinig mogelijk negatieve effecten op de omgeving worden veroorzaakt.

Sinds 1950 is de afhankelijkheid van de landbouw van energie en grondstoffen toegenomen. Dat is gepaard gegaan met een vermindering van de werkgelegenheid in de landbouw. Mensen zijn verruild voor machines, arbeid is vervangen door kapitaal.

Arbeid in de landbouw vervangen door kapitaal geeft:

- minder directe arbeid;
- indirecte arbeid buiten de landbouw;
- meer energie- en grondstoffengebruik;
- (meer) indirect landgebruik.

Bij het vervangen van arbeid door kapitaal blijft het directe landgebruik (de oppervlakte landbouwgrond in Nederland) min of meer constant. De directe arbeid neemt af, want deze wordt vervangen door kapitaal en/of indirecte arbeid.

In het algemeen geldt dat met een stijging van het directe energiegebruik ook het indirecte energiegebruik stijgt. Maar dit is niet altijd zo. Als er bijvoorbeeld wordt geïnvesteerd in energiebesparende voorzieningen, dan:

- daalt het directe energiegebruik;
- stijgt het indirecte energiegebruik;
- stijgt het grondstoffengebruik gerelateerd aan het produceren van de energiebesparende voorzieningen;
- daalt het grondstoffengebruik gerelateerd aan het directe energiegebruik.

### **2.3 Arbeidsproductiviteit**

In de landbouw is sinds 1950 sterk de nadruk gelegd op het verhogen van de arbeidsproductiviteit. Als alleen wordt gekeken naar het aantal mensen dat in Nederland direct op het land werkt, dan is de arbeidsproductiviteit enorm toegenomen. Er is echter ook arbeid nodig voor het maken van alle hulpmiddelen die nodig zijn om op het land te kunnen werken: landbouwmachinefabrieken, kunstmestfabrieken, bestrijdingsmiddelenfabrieken, bandenfabrieken, fabrieken voor het maken van elektronica. Mensen die in andere landen werken aan het verbouwen van ons veevoer. Mensen die werken op rubberplantages, waar de natuurrubber vandaan komt die wordt gebruikt voor het maken van trekkerbanden, banden voor machines, transportbanden en rubberen slangen. Nog veel meer bedrijven en organisaties zijn bezig met het maken van hulpmiddelen voor de landbouw: de farmaceutische industrie (bestrijdingsmiddelen en diergeneesmiddelen), een deel van de bouwmaterialenfabrikanten, fabrieken voor het maken van allerlei soorten gereedschappen en apparaten, aannemers, handelaren, kortom: allerlei toeleveranciers. Voor al deze activiteiten zijn arbeid en kapitaal nodig, die ten behoeve van de landbouw worden ingezet. Dit zou ook moeten worden meegeteld als we kijken naar de arbeids- en kapitaalinzet die nodig zijn voor onze huidige landbouwproductie. De hoeveelheden energie en grondstoffen (de input) die door de landbouw worden gebruikt zijn gestegen. Bij het maken van de input is eenzelfde verschijnsel waarneembaar als in de landbouw zelf: ook hier wordt arbeid vervangen door kapitaal. Er is

meer input nodig, dat vergt meer arbeid, maar van die extra benodigde arbeid wordt ook weer een deel vervangen door kapitaal. Daarbij speelt een belangrijke rol de plaats waar de extra benodigde arbeid wordt ingezet. In West Europa of Noord Amerika zullen de kosten van arbeid vergelijkbaar zijn met die in Nederland. Er zijn ook landen waar de lonen veel lager zijn en geen of weinig eisen worden gesteld op het gebied van milieu en arbeidsomstandigheden. In die landen zullen de kosten van arbeid lager zijn dan die in Nederland en zal men er minder snel toe over gaan om arbeid te vervangen door kapitaal.

Het begrip arbeidsproductiviteit zoals dat tot nu toe is gedefinieerd gaat uit van het aantal arbeidsjaareenheden per ha of per hoeveelheid product in de landbouw in Nederland. De arbeidsproductiviteit is in de periode 1950 t/m 2015 gestegen, omdat de benodigde hoeveelheid arbeid per ha en per hoeveelheid product in deze periode is gedaald. Bij het meten van de prestaties van de landbouw speelt het begrip arbeidsproductiviteit een leidende rol. Daardoor blijft een aantal belangrijke zaken buiten beschouwing.

Volgens Roep is productiviteit slechts een beperkte maat voor effectiviteit: “De materiële en sociale effecten reiken veel verder. Om de afzet voor de groeiende primaire productie te vergroten is vanuit concurrentieoverwegingen ingezet op het leveren van relatief goedkope, uniforme agro-industriële voedselproducten zonder afwijkingen en vrij van gezondheidsrisico’s. Bij deze concurrentie op prijs wordt de kostprijs de cruciale factor of achilleshiel: het bepaalt het concurrentievoordeel en de marge op een product. Door de neerwaartse druk op prijzen voor landbouwproducten, als gevolg van een overvoerde EG markt en een restrictief prijsbeleid, werd het verlagen van de kostprijs zelfs van doorslaggevend belang geacht voor de concurrentiepositie, de marge en het toekomstperspectief van het agrarisch bedrijfsleven. Dit werd versterkt door stijgende kosten, vooral van arbeid. Een hogere productiviteit moest hier uitkomst bieden, maar zette tegelijkertijd een volgende ronde in gang. Hierdoor kwam men in een spiraal van productiviteitsverhoging. De wijze waarop dit is verlopen vloeit voort uit het maximaliseren van de productiviteit als leidend principe voor het herordenen van het Nederlandse landbouwsysteem als geheel” (Roep, 2000:64). Volgens Roep heeft het hanteren van het maximaliseren van de productiviteit als universele norm de verwevenheid tussen het landbouwbedrijf en haar omgeving doorbroken en sluit dit een integratie met de ecologische dimensie uit. De productie is ontkoppeld van het areaal in Nederland. Omdat de prijzen onder druk staan moet het inkomen worden verdiend uit de toename van het productievolume per arbeidsjaareenheid. Dit heeft geleid tot schaalvergroting in de landbouw en in de toeleverende bedrijven (Roep, 2000).

Bij het hanteren van het begrip arbeidsproductiviteit wordt geen rekening gehouden met:

- het landgebruik dat nodig is voor het produceren van de input voor de landbouw (zowel in Nederland als elders);
- de arbeid die nodig is voor het produceren van de input voor de landbouw (ook zowel in Nederland als elders);
- het gebruik van energie en grondstoffen en de eindigheid van deze hulpbronnen;
- het klimaatprobleem en de grenzen die daardoor moeten worden gesteld aan het gebruiken van energie en grondstoffen;
- de maatschappelijke kosten die de landbouw veroorzaakt, maar die niet door de landbouw worden betaald.

Hoewel het begrip arbeidsproductiviteit als een belangrijk criterium is gehanteerd voor het beoordelen van de prestaties van de landbouw, lijkt het niet het goede criterium als het gaat

om de duurzaamheid van de landbouw. In de periode 1950 t/m 2015 is in de Nederlandse landbouw arbeid vervangen door kapitaal in Nederland en kapitaal elders, indirect landgebruik in Nederland en elders en indirecte arbeid in Nederland en elders. Dit was economisch mogelijk omdat de prijzen van kapitaal in Nederland en de prijzen van kapitaal, indirect landgebruik en indirecte arbeid elders zodanig waren dat het rendabel was daarmee de dure arbeid in Nederland te vervangen. De maatschappelijke kosten in Nederland en elders zijn daarmee echter niet betaald, maar dat is een onderwerp dat in de afwegingen die de landbouw maakt en heeft gemaakt geen of een geringe rol speelt.

## **2.4 Energie en grondstoffen**

### **2.4.1 Algemeen**

Er is een sterke wisselwerking tussen energie en grondstoffen, ze kunnen eigenlijk niet los van elkaar worden gezien:

- energie is nodig voor het winnen van grondstoffen;
- grondstoffen zijn nodig voor het winnen van energie;
- om grondstoffen om te kunnen zetten in bruikbare materialen zijn weer energie en grondstoffen nodig (bijvoorbeeld elektriciteit, hoogovens, machinefabrieken) en ook om ze te transporteren (bijvoorbeeld schepen, vrachtauto's),
- om niet-hernieuwbare energiegrondstoffen om te zetten in bruikbare vormen van energie zijn energie en grondstoffen nodig (bijvoorbeeld tankers, olieraffinaderijen, elektriciteitscentrales);
- om hernieuwbare energiebronnen om te kunnen zetten in bruikbare vormen van energie zijn energie en grondstoffen nodig (bijvoorbeeld windturbines, zonnecellen en waterkrachtcentrales);

Als het winnen van niet-hernieuwbare energie moeilijker wordt neemt het gebruik van energie en grondstoffen toe. Als het winnen van grondstoffen moeilijker wordt neemt het gebruik van energie en grondstoffen ook toe. Deze processen versterken elkaar.

Voor het winnen van energie en grondstoffen zijn veel activiteiten nodig: mijnbouwactiviteiten zoals het winnen van ijzererts, bauxiet, koper en allerlei andere soorten metalen en ook zand, grind en cement. Voor deze activiteiten is veel energie nodig die ook weer moet worden geproduceerd: het winnen van aardolie, kolen, gas, uranium, veen, bruinkool of het maken van windmolens, zonnecellen en vergistingsinstallaties. Het winnen van deze (energie)grondstoffen kost op zich ook weer veel energie. Een deel van de energiegrondstoffen wordt omgezet in elektriciteit, waarvoor ook weer een hele infrastructuur nodig is in de vorm van elektriciteitscentrales, hoogspanningslijnen, distributiesystemen, etc. Naast het winnen en produceren is er ook nog een heel distributieapparaat nodig in de vorm van wegen, buisleidingen, dealers, groothandels etc., die ook allemaal weer gebouwen, machines, (vracht)auto's, schepen, en dergelijke nodig hebben. Een deel van de commerciële en overheidsdienstverlening werkt voor de landbouw: boekhoudkantoren, ambtenaren die allerlei regels opstellen, subsidies verlenen, belasting heffen, toezicht houden en handhaven. Verder zijn onderwijs- en onderzoeksinstellingen voor een deel werkzaam ten behoeve van de landbouw.

Het energiegebruik berust wereldwijd nog voornamelijk op niet-hernieuwbare energiebronnen; in 2015 komt 13,7% uit hernieuwbare bronnen. Dit aandeel stijgt maar langzaam, want in 1973 was het 12,4%. En het totale energiegebruik is tussen 1973 en 2015

met 124% gestegen. In tabel 1 zijn weergegeven het primaire wereldenergiegebruik in Mtoe (miljoen ton olie-equivalenten) en de verdeling daarvan over de verschillende energiebronnen (EIA, 2017).

Tabel 1 Grootte en verdeling van het wereld energiegebruik

	1973	2015
primaire energiegebruik	6.101 Mtoe	13.647 Mtoe (+124%)
olie	46,2%	31,7%
kolen*	24,5%	28,1%
aardgas	16,0%	21,6%
kernenergie	0,9%	4,9%
waterkracht	1,8%	2,5%
biobrandstof en afval	10,5%	9,7%
overig**	0,1%	1,5%

\* inclusief veen en schalieolie

\*\* o.a. getijden, zon, wind, geothermie

Het huidige energiesysteem in de wereld is niet duurzaam en het zal veel moeite kosten om de huidige olie-kolen-gas-infrastructuur om te vormen tot een energie-infrastructuur die is gebaseerd op hernieuwbare energiebronnen. Als deze transitie niet goed verloopt, kunnen de gevolgen ernstig zijn. Er zijn nog geen voorbeelden van moderne maatschappijen waar de energievoorziening op hernieuwbare bronnen berust. Wel zijn er twee moderne maatschappijen waar de meeste energie niet wordt geleverd uit olie, kolen en aardgas, dat zijn:

- Zweden: heeft de meeste energie van waterkracht en kerncentrales;
- IJsland: heeft geothermische energie.

De infrastructuur om deze bronnen te kunnen gebruiken berust echter wel voor een groot deel op fossiele bronnen. Het gaat dan om de energie die nodig is voor aanleg, mijnbouw, fabricage, transport, onderhoud, etc.

Om energiesystemen te kunnen vergelijken zijn belangrijk:

- de omvang van de energiebron;
- de energiedichtheid;
- de hernieuwbaarheid;
- de effecten op de omgeving;
- de hoeveelheid en aard van andere bronnen en infrastructuur die nodig zijn om de betreffende energiebron te winnen en te gebruiken.

Energie is nodig voor bijna elke economische activiteit. Ook moeten de effecten op de omgeving van elke energiebron goed worden bekeken. Belangrijke criteria voor energiesystemen en voor een lange termijn energieplanning, zijn de begrippen EROEI en Net Energy.

#### 2.4.2 EROEI en Net-Energy

EROEI (Energy Return On Energy Investment): is de ratio tussen de hoeveelheid energie die is geproduceerd en de hoeveelheid energie die is besteed om die hoeveelheid energie te produceren.

Net-Energy is de hoeveelheid bruikbare energie die is overgebleven na het investeren van de hoeveelheid energie die nodig is voor het winnen van de energie (voor boren, buisleidingen,



raffinage, het bouwen van de energie-infrastructureur, het maken van zonnepanelen en windmolens). Bij het kunnen benutten van een energiebron moet de energie die overblijft groter zijn dan de energie die er in gaat (zie ook hoofdstuk 3.2).

Het handhaven van een zo hoog mogelijke EROEI is belangrijk voor zowel de energieproducenten als voor de hele maatschappij. De EROEI van de energiebronnen olie en aardgas was vroeger meer dan 100:1 en is nu gedaald tot een fractie daarvan.

De gevonden waarden voor de EROEI lopen nogal uiteen. Dit heeft een aantal oorzaken:

- het is moeilijk om alle data te verzamelen, zeker als het om detailinformatie en gegevens van toeleveranciers gaat;
- er is nog geen vaste methodiek voor het bepalen van de EROEI;
- het is moeilijk om de systeemgrenzen aan te geven en ook welke aspecten in de hele keten van energiewinning tot energiegebruik worden meegenomen;
- de EROEI van een energiebron kan enorm variëren, bijvoorbeeld bij waterkracht en windenergie is de EROEI sterk afhankelijk van de locatie;
- de verschillen hangen meestal samen met de keuze van de directe en indirecte energiekosten voor winning en productie die in de EROEI zijn meegenomen.

Bij de EROEI wordt niet gekeken naar de niet-energetische inputs, zoals water, bodem, mineralen, metalen, broeikasgassen (indirect is er wel een verband). Dit zou wel kunnen, je krijgt dan bijvoorbeeld Energy Return on Water Invested of Energy Return on Land Invested.

De EROEI is een middel om de verschillende energiebronnen met elkaar te kunnen vergelijken. Bij veel van de huidige EROEI-analyses gaat het over een bepaald project of over een bepaalde energiebron of over de energiewinning in een bepaald land of een bepaalde regio.

De grenzen die in EROEI's kunnen worden gebruikt kunnen in de volgende categorieën worden verdeeld (Hall, 2014):

- Standaard EROEI: EROEI<sub>st</sub>, geeft de energie die wordt gebruikt op het winningspunt, dus de energie die nodig is voor de energie-output op het winningspunt;
- Point of Use EROEI: EROEI<sub>pou</sub>, is een meer omvattende EROEI, waarbij ook de energie die nodig is voor raffinage en transport wordt meegeteld. De EROEI wordt hierdoor lager;
- Extended EROEI: EROEI<sub>ext</sub>, ook de energie die nodig is om de energie bij de gebruiker af te leveren wordt meegenomen;
- Societal EROEI, EROEI<sub>soc</sub>, is de overall EROEI die kan worden verkregen door voor alle energiebronnen in een land of in een maatschappij, alle energieopbrengsten en alle energiekosten om ze te verkrijgen in beschouwing te nemen. Het is moeilijk om dit allemaal in kaart te brengen. Er is een methode in ontwikkeling voor een EROEI<sub>soc</sub> op nationaal niveau (Lambert et al., 2013).

In tabel 2 is een voorbeeld van deze verschillende waarden van de EROEI vermeld. Daarbij is duidelijk dat naarmate de EROEI vollediger is de waarde van de EROEI behoorlijk omlaag gaat.

Tabel 2 Een voorbeeld van de EROEI voor oliewinning (Hall et al, 2009)

processtadium	energie-opbrengst	energie-kosten	totale energiekosten	netto energie-opbrengst	EROEI
winning	100 MJ	10 MJ	10 MJ	90 MJ	10 :1
olieraffinage en bijproduct		27 MJ	37 MJ	63 MJ	3,7:1
transport naar gebruiker		5 MJ	42 MJ	58 MJ	2,4:1
energie infrastructuur en transport		37,5 MJ	79,5 MJ	20,5 MJ	1,3:1
totaal		79,5 MJ	79,5 MJ	20,5 MJ	1,3:1

In dit voorbeeld is de EROEI  $100/79,5 = 1,3:1$  en de Net Energy is 20,5 MJ. Een EROEI van 1,3:1 betekent dat 1,3 eenheid energie is verkregen voor één eenheid energie die is geïnvesteerd. Het gaat voor de toekomst om de invloed van energiebronnen met een lage EROEI op een maatschappij die gewend is aan de hoge waarden van de EROEI's voor fossiele brandstoffen. Hoewel de waarden van de verschillende EROEI's kunnen verschillen door het volgen van verschillende methoden en het hanteren van verschillende systeemgrenzen, is wel het algemene beeld dat de EROEI's voor fossiele brandstoffen in de tijd gezien zijn afgenomen en dat de EROEI's voor hernieuwbare energiebronnen in het algemeen veel lager zijn dan die van de fossiele brandstoffen in het verleden. De meeste gevonden waarden voor de EROEI zijn de waarden bij de bron, soms tot aan de consument geleverd en zelden inclusief aanleg en onderhoud van de infrastructuur. Uitgaande van de Societal EROEI zouden de meeste waarden van de EROEI dan (veel) lager zijn dan de waarden die nu vaak worden weergegeven. Dit betekent dat de situatie voor de toekomstige energievoorziening nog ongunstiger is dan op basis van de meeste EROEI-waarden wordt weergegeven.

### 2.4.3 Waarden van de EROEI

In de tabel 3 is een aantal inventarisaties van de waarden van de EROEI voor verschillende energiebronnen weergegeven, het gaat om het energiegebruik wereldwijd (Hall, 2008).

Tabel 3 Taxatie en vergelijking van 15 energiebronnen

	EROEI
olie	19:1
kolen	50:1
aardgas	10:1
waterkracht	267:1 tot 11,2:1
kernenergie	15:1 tot 1:1
windenergie	18,1:1
zon, fotovoltaïsch	10:1 tot 3,75:1
CSP, Concentrated Solar Power	relatief hoog, sterk locatie-afhankelijk
geothermie	13:1 tot 2:1
ethanol	1,8:1 tot 1:1
biodiesel	3,5:1 tot 1,25:1
teerzand	5,8:1 tot 1,5:1
leisteenuolie	4:1 tot 1,5:1
getijde-energie	18:1 tot 6:1
golfenergie	15:1

De hoge waarden van de EROEI voor de fossiele brandstoffen uit het verleden worden met hernieuwbare energiebronnen meestal niet gehaald.

Als minimum EROEI voor een brandstof wordt wel 5:1 genoemd (Hall et.al., 2009) en 3:1 (Murphy et. al, 2010) voor een EROEI extended (tot aan de consument geleverd). Deze minimumwaarden geven dan aan welke EROEI-waarden minimaal nodig zijn om een maatschappij nog draaiende te kunnen houden.

#### **2.4.4 De gevolgen van een afnemende EROEI**

Voor het industriële tijdperk was de meeste energie afkomstig van voeding en de meeste energie die werd ingezet voor de productie was afkomstig van spierkracht. In 1850 werd in de VS 65% van al het werk door spierkracht aangedreven en dat is nu minder dan 1% (Heinberg, 2009). Ook in dat systeem was het doel er meer energie uit te halen dan je er in stopte. Toen de meeste mensen bezig waren met energiewinning (in de vorm van voedsel), waren er minder gespecialiseerde banen en werden lagere hoeveelheden en minder soorten hulpmiddelen gebruikt. In maatschappijen van jagers/verzamelaars was de EROEI 10:1 (Mearns, 2008). In een agrarische maatschappij is er al meer complexiteit en meer inzet van arbeid en in een industriële maatschappij nog meer.

De waarden van de EROEI voor fossiele brandstoffen zijn vanaf het begin van de twintigste eeuw tot heden steeds gedaald, dus het is steeds meer energie gaan kosten om een eenheid fossiele brandstof te winnen. Dit geldt ook voor alle niet hernieuwbare grondstoffen, waarvan de winning door de afnemende (erts)gehaltenes ook steeds meer energie kost.

Fossiele brandstoffen voorzien voor meer dan 85% in de energie die nu wordt gebruikt. Niet alle aanwezige reserves aan fossiele energie kunnen worden gewonnen, omdat het teveel energie kost om ze te winnen (dalende EROEI) en vanwege het klimaatprobleem. Zolang de EROEI groter is dan 1:1, is het energetisch gezien nog rendabel om energie te winnen. Als de EROEI 1:1 is, kost het winnen van bijvoorbeeld één vat olie evenveel energie als de energie die één vat olie oplevert. Energetisch gezien is er dan geen opbrengst meer, terwijl er dan best nog grote voorraden in de grond aanwezig kunnen zijn. Als de EROEI nog lager wordt kost de winning van energie meer energie dan ze op kan leveren. De betreffende energiebron houdt dan op een energiebron te zijn. De winning kan dan echter financieel gezien nog wel rendabel zijn vanwege bijvoorbeeld lage lonen in het land van winning, belastingvoordelen, subsidies, etc. Ook kunnen uit aardolie nog allerlei producten worden gemaakt, ook bij een EROEI die lager is dan 1:1. Op basis van financiën kan dus iets rendabel zijn wat energetisch gezien onrendabel is. Als van de olie producten worden gemaakt, zoals kunststoffen, kan men nog blijven produceren. Een EROEI kleiner dan 1:1 hoeft dan geen beletsel te zijn. De embodied energy (alle energie die is gebruikt in een bepaald proces) van deze producten zal dan wel flink stijgen.

Het toenemende gebruik van fossiele energie door de landbouw heeft de landbouw (de fundamentele bron van energie voor de mensheid en het meest basale productieproces van alle productieprocessen op de wereld) gemaakt tot één van de grootste vervuilers van de atmosfeer (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) en van water en bodemsystemen (nitraat, fosfaat, toxische chemicaliën). Ontkoppeling van het voedselsysteem van de olie doet de voedselzekerheid toenemen (Murray, 2005). De landbouw gebruikt energie van de zon, van menselijke arbeid en van andere productieprocessen. Door het gebruik van zonne-energie via de planten was de landbouw een netto energieleverancier. Het gebruik van fossiele brandstoffen heeft van de landbouw een netto energiegebruiker gemaakt, die ook nog zorgt voor negatieve effecten op

de omgeving. De van fossiele brandstoffen afhankelijke landbouw is de uitkomst van een onjuist landbouwbeleid. Energetisch gezien heeft de moderne landbouw een veel lager rendement dan meer primitieve landbouwmethoden. Wereldwijd wordt per jaar circa 13 miljard ton aan biomassa geoogst, dat is ongeveer 240 EJ (Exajoules) of 5,7 miljard ton olie-equivalent. Per jaar wordt 390 EJ aan fossiele brandstoffen gebruikt (Wirsenius, 2007). Dat is qua energiewaarde 1,6 keer zoveel als de energiewaarde van de geoogste biomassa. Dit geeft aan dat het gebruik van fossiele brandstoffen de productie van de landbouw (energetisch gezien) overtreft.

Het vervangen van fossiele brandstoffen (die een hoge energiedichtheid hebben) door hernieuwbare energiebronnen (met een lage energiedichtheid) heeft ook een aantal negatieve gevolgen. De hernieuwbare energiebronnen zijn door hun lage energiedichtheid zeer materiaalintensief. Er moeten veel meer voorzieningen (windmolens, zonnecellen en andere infrastructuur) worden aangelegd per eenheid te leveren energie dan bij het gebruiken van fossiele brandstoffen. Gezien de hoge materiaaldichtheid van hernieuwbare energiebronnen zal het niet mogelijk zijn het energiegebruik op het huidige hoge niveau te handhaven. Daar zijn op de wereld gewoon niet genoeg grondstoffen voor aanwezig.

Hernieuwbare energiebronnen hebben niet de nadelen van niet-hernieuwbare energiebronnen, zoals de directe productie van CO<sub>2</sub> en andere verontreinigingen, maar missen ook enkele voordelen van fossiele brandstoffen.

Hernieuwbare energiebronnen hebben de volgende kenmerken:

- een veel lagere energiedichtheid dan niet hernieuwbare energiebronnen;
- wisselvallig/intermitterend qua beschikbaarheid;
- niet direct transporteerbaar, ze moeten eerst worden omgezet in een andere vorm;
- een relatief lage EROEI, zeker als het wordt gecorrigeerd voor het onregelmatige karakter (er zijn dan opslagsystemen nodig);
- de infrastructuur, die nodig is om aan de huidige energievraag te kunnen voldoen met hernieuwbare energiebronnen, moet nog grotendeels worden aangelegd.

Er is energie-intensieve technologie nodig om de equipment die nodig is om de hernieuwbare energiebronnen te kunnen gebruiken, te produceren en te onderhouden. Hierbij worden nu nog fossiele energiebronnen gebruikt met een hogere EROEI. Als de energievoorziening helemaal wordt gebaseerd op hernieuwbare energiebronnen daalt de EROEI en dan zijn er ook opslag- en backsystemen nodig. De EROEI daalt dan nog verder, zeker als er geen fossiele backsystemen meer zijn. Voor het maken van windmolens, zonnecellen, etc. worden nu nog fossiele brandstoffen gebruikt. Dit betekent dat wanneer de EROEI van fossiele brandstoffen verder daalt, de EROEI van de hernieuwbare energiebronnen ook daalt. Het gaat dan ook steeds meer energie kosten om windmolens, zonnecellen, etc. te maken. Er moet op tijd genoeg hernieuwbare energie beschikbaar zijn om de hiervoor benodigde installaties te kunnen produceren. En dat is nog niet het geval. Het is noodzakelijk om tot een forse energiebesparing te komen. Voor het kunnen toepassen van hernieuwbare energie zijn daarnaast steeds schaarser wordende grondstoffen nodig. De winning hiervan kost ook steeds meer energie en grondstoffen. Ook het reduceren van de emissie van CO<sub>2</sub> door het toepassen van het energie-intensieve CCS (Carbon Capture and Sequestration) zou de EROEI van fossiele brandstoffen aanmerkelijk doen dalen, omdat het opslaan van CO<sub>2</sub> in de ondergrond zelf ook veel energie kost.

Het is niet waarschijnlijk dat een combinatie van alle bekende energietechnieken aan de (huidige) vraag naar energie tot 2100 kan voldoen. Heinberg komt in "Searching for a

Miracle” tot de conclusie dat er geen combinatie van hernieuwbare energiebronnen mogelijk is, waarmee de economische groei en de industriële maatschappij in z’n huidige vorm en op de huidige schaal kunnen worden voortgezet. De oplossing moet komen van besparing op energie en grondstoffen en van een substantiële reductie van de wereldbevolking.

Volgens hem is de enige reële optie:

- minder gebruik van energie en grondstoffen;
- minder globalisering (minder transport):
- meer regionalisering/meer lokaal.

Energiebesparing en besparing op grondstoffen, gecombineerd met een afname van de bevolking, zouden de hoofdstrategie moeten zijn van het beleid om duurzaamheid te kunnen bereiken, aldus Heinberg (Heinberg, 2009).

Hoe erg is het om het energiegebruik drastisch terug te brengen? Er is een relatie tussen het welbevinden en het energiegebruik per hoofd van de bevolking. Welbevinden vergt tenminste een energiegebruik van 50 tot 70 GJ per persoon per jaar. Daarboven neemt het welbevinden toe tot een energiegebruik van 100 GJ per persoon per jaar. Bij een energiegebruik per persoon per jaar hoger dan 100 GJ neemt het welbevinden niet meer toe met de toename van de consumptie (Smil, 2005). In tabel 4 zijn voor het jaar 2014 de totale primaire energiegebruiken per hoofd van de bevolking wereldwijd en voor een aantal landen weergegeven (The World Bank, 2016).

Tabel 4 Energiegebruiken per hoofd van de bevolking

land	totale primaire energiegebruik per persoon per jaar in 2014
wereldwijd	110 GJ
Quatar	777 GJ
Verenigde Staten	292 GJ
Rusland	207 GJ
Nederland	181 GJ
Zwitserland	128 GJ
China	94 GJ
Noord Korea	20 GJ
Niger	6 GJ

Op basis van deze tabel kan worden verondersteld dat een halvering van het energiegebruik in Nederland niet ten koste van het welbevinden gaat. Om tot een rechtvaardiger verdeling te komen zouden de industrielanden minder energie moeten gaan gebruiken, mede om de armere landen de mogelijkheid te geven iets meer energie te gebruiken.

De maatschappij kan met talloze problemen te maken krijgen als de beschikbare hoeveelheden energie en grondstoffen afnemen. Problemen zijn tot nu toe vaak opgelost door er meer technologie en energie en grondstoffen voor te gaan gebruiken. Voor veel problemen werkte deze benadering. Dit kon allemaal omdat er goedkope energie beschikbaar was.

Er is nu wel een tegenbeweging die rechtstreeks uit de bevolking voortkomt, zoals energie-coöperaties, stadslandbouw, gebiedscoöperaties en veel organisaties, boeren en programma’s op het gebied van voeding. Dit zijn uitingen van het streven naar een duurzame economie en het weer terug willen krijgen van de zeggenschap over de eigen productie en consumptie. Ook zijn er internationale bewegingen, zoals Slow Food en Transition Towns, die streven naar een meer duurzame samenleving. Hoewel deze bewegingen niet kunnen zorgen voor een

voldoende voedselproductie, kan het wel meehelpen de omschakeling naar een duurzame landbouw te bevorderen. Grote bedrijven en regeringen moeten echter ook veranderen. De huidige situatie kan niet blijven bestaan.

## **2.5 Effecten op de omgeving**

De grote knelpunten qua duurzaamheid zijn het opraken van de fossiele brandstoffen en de toename van broeikasgassen in de atmosfeer ten gevolge van het gebruiken van fossiele brandstoffen. Broeikasgassen als waterdamp, kooldioxide, methaan, distikstofoxide zorgen voor een hogere temperatuur op de aarde. Dit komt doordat ze de warmte die de aarde uitstraalt voor een deel terug kaatsen. Door menselijke activiteiten neemt de concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer toe. Dit veroorzaakt een stijging van de temperatuur en een verandering van het klimaat. De menselijke activiteiten die dit veroorzaken zijn het verbranden van fossiele brandstoffen, de afbraak van voorraden organische stof (bossen, bodems, veen) en de emissies van broeikasgassen vanuit de veeteelt en het kunstmestgebruik.

## **2.6 Het meten van duurzaamheid**

Duurzaamheid kan op vele manieren worden gedefinieerd en (voor een deel) ook kwantitatief worden bepaald. Bijvoorbeeld op basis van één aspect, meerdere aspecten of zo integraal mogelijk. Als we de landbouwgrond in Nederland als een vast gegeven beschouwen, dan gaat het om de afweging tussen de inzet van arbeid, kapitaal en indirect landgebruik (zie ook hoofdstuk 2.2). De mate waarin deze kunnen worden ingezet en de uitwisselbaarheid tussen de inzet van arbeid en de inzet van kapitaal en landgebruik zijn van grote invloed op het gebruik van energie en grondstoffen. Omdat het om een economisch proces gaat gebeurt dit op basis van geld. De afweging wordt zodanig gekozen (ook door de landbouw) dat men het voordeligste uit is. In dit afwegingsproces zit echter een aantal verstoringen dat maakt dat niet goed is te zeggen of echt het optimum wordt gekozen tussen de inzet van de combinatie van arbeid en kapitaal.

Deze verstoringen zijn:

- de maatschappelijke kosten die nu ten laste komen van de algemene middelen;
- de maatschappelijke kosten die naar de toekomst worden verschoven;
- de landbouwpolitiek in de vorm van prijsgaranties, importheffingen, etc.;
- andere overheidsmaatregelen zoals subsidies en fiscale maatregelen.

De afweging op basis van economische argumenten komt nu tot stand door een combinatie van vraag en aanbod op de vrije markt, de invloed van overheidsmaatregelen en het niet doorberekenen van de maatschappelijke kosten. Daarnaast speelt een rol dat we in de (nabije) toekomst te maken krijgen met energie en grondstoffen die moeilijker verkrijgbaar zullen zijn. Dat betekent dat de afweging tussen de inzet van arbeid en kapitaal tot een ander resultaat zal moeten leiden dan nu het geval is. Als energie en grondstoffen moeilijker verkrijgbaar worden, dan zullen ze via de markt van vraag en aanbod ook duurder worden. Bij energieprijzen die via de markt tot stand zijn gekomen wordt echter geen rekening gehouden met de maatschappelijke kosten van het gebruik van energie en grondstoffen en de afnemende verkrijgbaarheid daarvan in de toekomst. Dan rijst de vraag of er naast de huidige combinatie van marktmechanisme en overheidsingrijpen ook een criterium moet worden gehanteerd dat recht doet aan de inzet van energie en grondstoffen, inclusief de maatschappelijke kosten.

Discussies over het meest wenselijke afwegingssysteem (via vraag en aanbod in geld of via energiedata) spelen al een lange tijd. Bijvoorbeeld Edwards gaf dit dilemma al aan. Volgens hem kan de overheid beter de marktprijzen via maatregelen aanpassen dan energieratio's te gebruiken of prijzen te gaan vaststellen op basis van energie. In de meeste landen vinden beslissingen over het gebruik van hulpbronnen in de landbouw plaats door individuele boeren, binnen het gegeven van het marktmechanisme en binnen de randvoorwaarden die middels overheidsmaatregelen zijn vastgesteld. Het vaststellen van de prijs van voeding op basis van energie van de output (de voedingsenergie) zou betekenen dat voeding die veel calorieën bevat duurder wordt. Dit kan leiden tot een ongewenste veranderingen in het voedselaanbod. Het gaat ook voorbij aan de niet-energetische kwaliteiten van voedingsmiddelen (vitamines, mineralen, reuk, smaak). Aan de andere kant komt de energie-inhoud van de input wellicht beter overeen met de maatschappelijke kosten die er mee verbonden zijn. Ook is het wel belangrijk te weten hoeveel de landbouw produceert in energetische waarde in vergelijking met de energie die de input vertegenwoordigt. Uiteindelijk bepleit Edwards voor het handhaven van het huidige marktmechanisme, met aanvullende maatregelen om het verschil te overbruggen tussen de werkelijke prijzen en de prijzen die maatschappelijk gewenst zijn (Edwards, 1976).

Prijzen in geld geven de waarde aan van vandaag en niet de kosten voor de lange termijn. Omdat ook hernieuwbare energiebronnen en hernieuwbare grondstoffen niet onbeperkt kunnen worden gebruikt, moet worden gestreefd naar een energie- en grondstoffenextensieve maatschappij. Hoewel hernieuwbare energie op zich wel onbeperkt aanwezig is, geldt dat niet voor het benutten daarvan. Voor het kunnen gebruiken van hernieuwbare energie is een infrastructuur nodig van allerlei voorzieningen, waarvan het tot stand brengen ook weer energie en grondstoffen kost.

Als er in de toekomst minder energie en grondstoffen beschikbaar zijn moet ook de landbouw zich daar aan aanpassen. Bij het inzetten van zo weinig mogelijk energie en grondstoffen in de landbouw zou dan veel meer arbeid moeten worden ingezet (kapitaal vervangen door arbeid). Dit zou echter in het huidige systeem de kostprijs van de landbouw sterk verhogen. Maar als hierdoor de maatschappelijke kosten aanzienlijk zouden dalen is het nog maar de vraag of het dan duurder wordt. Als de landbouw de kwaliteit van de omgeving, het landschap en de biodiversiteit, weer zou kunnen herstellen, hoeveel kosten zou je dan besparen? Dat zijn kosten die nu voor een deel worden gemaakt door overheden en natuurorganisaties, die met algemene middelen worden gefinancierd. Dit is ook een vorm van (nogal verborgen) maatschappelijke kosten. Het oude landbouwsysteem heeft immers aanvankelijk verrijkend gewerkt op de biodiversiteit en op de cultuurhistorische waarden.

We zijn gewend om alles in geld uit te drukken en niet in energie. De waarde van goederen en diensten kan ook worden uitgedrukt in de geaccumuleerde benodigde hoeveelheid energie voor de productie van dat goed of die dienst. De wijze waarop dat gebeurt, kan een maat zijn voor de energie-efficiency. Energie-efficiency is een algemeen begrip en er zijn verschillende definities voor. Men kan zeggen dat de energie-efficiency stijgt als de hoeveelheid energie die nodig is om een bepaald product te maken of een bepaalde dienst te leveren daalt. Een brede definitie van energie-efficiency is de volgende (Patterson, 1996):

Energie-efficiency = de nuttige output van een productieproces/de energie-input in dat proces.

De nuttige output van een productieproces hoeft niet noodzakelijkerwijze een energie-output te zijn. Het kan ook een ton product zijn of een marktprijs. Ook kunnen de teller en de noemer

bij sommige indicatoren worden omgedraaid. Bijvoorbeeld de energie-input/BNP kan ook als een indicator worden gezien voor de energie-efficiency. Een belangrijk onderwerp is hoe de nuttige output van een productieproces en de energie-input in dat proces worden gedefinieerd. Voor het in beeld brengen van de energie-efficiency kunnen verschillende indicatoren worden gebruikt. Hiervoor worden wel vier hoofdgroepen van indicatoren onderscheiden (Patterson, 1996):

- output en input worden uitgedrukt in energetische waarden;
- de output wordt gemeten in fysieke eenheden en de input in energetische waarden. De fysieke eenheden geven de resultaten van het productieproces in bijvoorbeeld tonnen product of transportkilometers. Voorbeelden zijn de output en input in GJ per ton product of in GJ per hectare;
- de output wordt weergegeven in marktprijzen en de input in energetische waarden. Bijvoorbeeld de netto toegevoegde waarde per GJ input;
- output en input worden beiden weergegeven in geld (marktprijzen). Bijvoorbeeld netto toegevoegde waarde/de kosten van de aangewende energie.

Volgens Georgescu-Roegen gaat een groei in economische productiviteit altijd gepaard met een groei van het energiegebruik (Georgescu-Roegen, 1975). In zijn visie kan de industriële revolutie worden begrepen als een dramatische toename van het menselijk vermogen om energiestromen te beheersen. Dit resultaat is volgens hem verkregen door de volgende twee technische doorbraken:

- de wijdverbreide toepassing van exosomatische omzetters van energie (Georgescu-Roegen gebruikt deze uitdrukking om apparaten of machines aan te duiden die energie-inputs kunnen omzetten in bruikbare energie). Hiermee werden knelpunten in de energievoorziening opgeheven die kenmerkend waren voor de maatschappij van voor de industriële revolutie;
- het vergroten van de afhankelijkheid van het verkrijgen van energie-inputs door het exploiteren van energievoorraden (in tegenstelling tot het exploiteren van hernieuwbare energiebronnen). Dit elimineerde het knelpunt van landgebruik dat nodig was voor de inzet van hernieuwbare energiebronnen.

Deze ontwikkeling was de oorzaak van een omschakeling op grote schaal van menselijke en dierlijke arbeid naar machine-arbeid, aangedreven door fossiele energie. Dit is de belangrijkste oorzaak van de toename in economische productiviteit in de wereldeconomie, die begon aan het eind van de achttiende eeuw. Deze ontwikkeling is bevestigd in veel studies over de relatie tussen het gebruik van fossiele energie en de prestaties van moderne economieën (Cleveland et al., 1984; Hall et al., 1986; Geveer et al., 1991). Sinds de industriële revolutie zijn fossiele energiebronnen steeds belangrijker geworden als energie-input voor de maatschappij. In de afgelopen decennia is het gebruik van olie als energiebron (direct of indirect) het belangrijkste geworden in alle economische sectoren (Hall, et al., 1986; Geveer et al., 1991). Dit is te wijten aan de zeer gunstige technische eigenschappen van olie, zoals makkelijk te vervoeren, zeer homogeen en efficiënt in energie-omzetting (Smil, 1987).

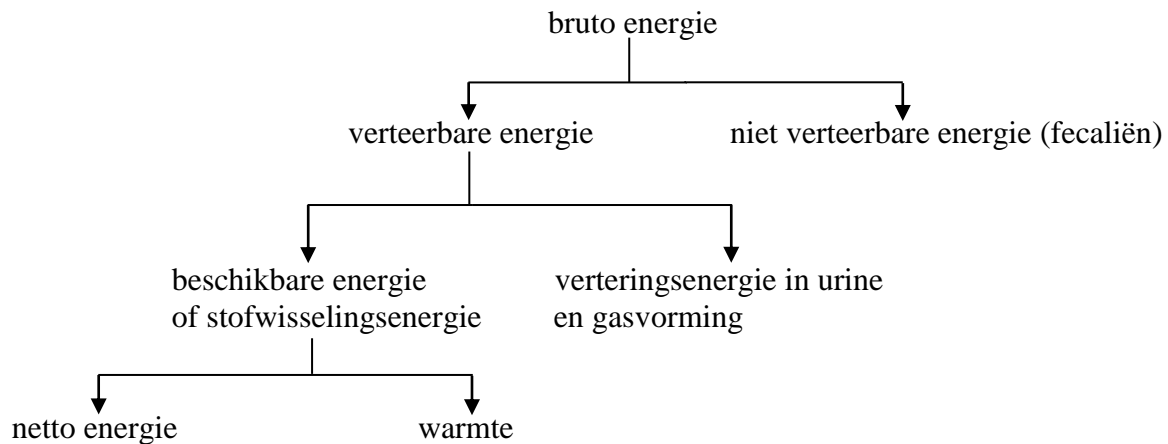
Voor de landbouw is door deze ontwikkelingen een groeiende afhankelijkheid van de voedselzekerheid van fossiele energievoorraden ontstaan. Sinds het eind van de jaren zestig van de twintigste eeuw hebben verschillende wetenschappers deze afhankelijkheid aan de orde gesteld (Odum, 1967; Pimentel et al., 1973; Leach, 1975). Daardoor is er veel geschreven over het verband tussen de toename van de productiviteit van de landbouw en de intensivering van het gebruik van fossiele brandstoffen (Pimentel, 1980; Leach et al., 1986; Stanhill, 1984; Pimentel et al., 1990; Fluck, 1992; Stout, 1992).



Dit heeft er toe geleid dat men zich is gaan afvragen wat de gevolgen zijn voor het milieu van het huidige landbouwsysteem en of dit systeem nog wel levensvatbaar is. Het belangrijkste probleem met de toenemende afhankelijkheid van de voedselproductie van fossiele brandstoffen hangt samen met het feit dat de snelheid van de toename van het gebruik van fossiele brandstoffen groter is dan de snelheid van de productietoename van fossiele brandstoffen (Martinez-Alier, 1987). Dit betekent dat de huidige landbouwtechnieken op de lange termijn niet duurzaam zijn, omdat het huidige gebruik van fossiele energie tot gevolg heeft dat de beschikbaarheid daarvan voor toekomstige generaties afneemt. Bovendien moeten we er rekening mee houden dat alternatieve energiebronnen, die in de toekomst zouden kunnen worden uitgevonden, misschien wel niet dezelfde gunstige eigenschappen als olie hebben. Het is onzeker of er een vervanging voor de fossiele energiebronnen kan worden gevonden. Naar verwachting zal er een probleem ontstaan tussen voedselzekerheid en energievoorziening (Conforti en Giampietro, 1997).

Opbrengsten van landbouwproducten en het gebruik van energie en grondstoffen kunnen worden uitgedrukt in gewichtseenheden en deze kunnen vervolgens worden weergegeven in termen van energie. De output van de landbouw kan worden uitgedrukt in energetische waarden die beschikbaar zijn in de vorm van voeding. De input van de landbouw kan ook in energetische waarden worden uitgedrukt middels de hoeveelheid energie die is besteed aan het produceren er van. Op deze wijze kan de output aan voeding worden gerelateerd aan de hoeveelheid (fossiele) energie die wordt gebruikt om die voeding te kunnen produceren. Met deze output/input-verhoudingen worden twee verschillende vormen van energie met elkaar vergeleken: voedingsenergie en fossiele/technische energie; in de termen van Georgescu-Roegen endosomatische en exosomatische energie, die elkaar niet kunnen vervangen (Georgescu-Roegen, 1975). Bij het onderscheid in de technische energie (exosomatisch) en de voedingsenergie (endosomatisch) kan ten aanzien van de endosomatische energie een onderscheid worden gemaakt tussen de energie uit voeding en de energie uit biomassa. Naast het gegeven dat de energetische waarde van de voeding niet geheel vergelijkbaar is met de energetische waarde van goederen en diensten (in de vorm van de geaccumuleerde energie die nodig is voor de productie er van), gaat het ook om de context waarbinnen de energie wordt gebruikt en de begrenzing waarbinnen de hoeveelheden energie worden bepaald (Giampietro, 2006).

In dit proefschrift is uitgegaan van de verhouding tussen de energie uit de voeding en de technische energie die nodig is voor het produceren van de input. Voor het aangeven van de energetische inhoud van de landbouwproducten gaat het om de energie die wordt aangeleverd in de vorm van de producten en hoe die energie vervolgens in het menselijk lichaam wordt gebruikt. (zie ook hoofdstuk 5). Het volgende schema geeft daarvan een illustratie (Fluck, 1992).



De bruto energie is gelijk aan de verbrandingswaarde van het landbouwproduct, dus de energetische waarde die vrij kan komen bij verbranding. De stofwisselingsenergie is de hoeveelheid energie uit voedingsmiddelen die in het lichaam beschikbaar komt voor de stofwisseling, de warmteproductie en arbeid (de netto energie). In dit proefschrift is er vanuit gegaan dat de plantaardige en dierlijke landbouwproducten voor menselijke voeding worden gebruikt. Voor het bepalen van de output/input-verhoudingen is voor de output gerekend met de stofwisselingsenergie. Er is bovendien maar een beperkt aantal landbouwproducten dat energetisch gezien in aanmerking zou kunnen komen om er direct energie mee op te wekken. Dat zijn voornamelijk de granen en oliehoudende gewassen. Voor bijvoorbeeld tarwe is de stofwisselingsenergie 13,86 GJ/ton. Als de tarwe zou worden opgestookt in een graankachel kan worden uitgegaan van een verbrandingswaarde van 15 GJ/ton (Wageningen UR, 2007). De verhouding tussen output en input en de ontwikkeling daarvan in de tijd geven een beeld van de efficiency van het productieproces van de landbouw.

Om in kwantitatieve zin iets over de duurzaamheid van de landbouw te kunnen zeggen is in dit proefschrift gekozen voor het nader bekijken van de volgende onderwerpen:

- de opbrengsten van de landbouwproducten in gewicht en in energiewaarde;
- de input in gewicht en in energiewaarde;
- het landgebruik, zowel direct als indirect;
- de benodigde hoeveelheid arbeid, zowel direct als indirect;

Deze zijn geïnventariseerd voor de periode 1950 t/m 2015. Deze periode is gekozen omdat gedurende deze jaren een ontwikkeling heeft plaats gevonden van een nog vrij traditionele manier van landbouw beoefenen tot wat wij nu moderne landbouw noemen. Voor de periode 2016 t/m 2040 zijn de klimaatdoelstellingen vertaald naar de landbouw. Op basis daarvan en op basis van gestelde randvoorwaarden is in beeld gebracht hoe een meer toekomstbestendige landbouw er uit zou kunnen zien. Door dit concreet te maken wordt zichtbaar wat het omschakelen naar een duurzame landbouw betekent en kan ook beter worden nagedacht over de te nemen stappen om deze omschakeling te realiseren.

## **3 Onderzoeksvragen en gehanteerde begrippen**

### **3.1 Onderzoeksvragen**

Om de in de hoofdstukken 1 en 2 beschreven ontwikkeling verder te kunnen analyseren is een antwoord nodig op de volgende vragen.

Onderzoeksvragen op hoofdlijnen:

- 1 wat is duurzaamheid;
- 2 op welke wijze kan duurzaamheid worden bepaald;
- 3 hoe heeft de duurzaamheid van de landbouw zich ontwikkeld in de periode 1950 t/m 2015, op basis van:
  - de opbrengsten van de landbouw;
  - het gebruik van energie en grondstoffen;
  - het landgebruik;
  - de ingezette arbeid.
- 4 hoe groot zijn (indicatief) de maatschappelijke kosten van de landbouw, ook in relatie tot de economische opbrengsten;
- 5 hoeveel voeding is nodig voor de bevolking van Nederland en hoeveel landbouwgrond is daarvoor nodig, bij zo weinig mogelijk export en import;
- 6 kan de Nederlandse landbouwgrond voldoende worden bemest met de reststromen van organisch materiaal die in Nederland vrij komen;
- 7 aan welke randvoorwaarden zal de landbouw in de periode 2016 t/m 2040 moeten gaan voldoen (akkoord van Parijs);
- 8 hoe zou de landbouw er dan (in 2040) uit kunnen zien.

Elke activiteit vraagt energie, landgebruik en arbeid. Dit is als basis gekozen voor het kwantificeren van het begrip duurzaamheid. Het in beeld brengen van energiegebruik, landgebruik en arbeid voor de periode 1950 t/m 2015 geeft inzicht in de ontwikkeling hiervan. Dit is nodig om iets over de toekomst te kunnen zeggen. Bij het in beeld brengen van een toekomstige ontwikkeling moet ook een vertaling naar de landbouw worden gemaakt van de klimaatdoelstellingen. Deze vertaling gekoppeld aan het inzicht verkregen over de periode 1950 t/m 2015 geeft de mogelijkheid een situatie te schetsen voor de periode 2016 t/m 2040.

### **3.2 Gehanteerde begrippen**

Voor de in dit onderzoek gehanteerde begrippen zijn de volgende definities gehanteerd:

#### ***Duurzaamheid***

Duurzaamheid is het voorzien in de behoeften van de huidige generatie zonder dat dit ten koste gaat van het vermogen van toekomstige generaties om in hun behoeften te voorzien. (VN-commissie Brundtland). Het rapport "Our Common Future" (1987) werd uitgebracht door de (United Nations) World Commission on Environment and Development (WCED) onder het voorzitterschap van de Noorse Bro Harlem Brundtland. Het rapport riep op tot duurzame ontwikkeling en kreeg veel aandacht. Sindsdien zijn er honderden definities bij gekomen.

In dit proefschrift wordt onder duurzaamheid verstaan: het produceren van goederen en diensten met zo weinig mogelijk energie, grondstoffen en landgebruik en het veroorzaken van zo weinig mogelijk negatieve effecten op de omgeving.

### ***Landbouw***

Landbouw is in technische zin het beïnvloeden van de plantaardige en dierlijke productie door middel van bepaalde cultuurmaatregelen.

Landbouw is in economische zin het inzetten van arbeid en kapitaal in de natuur met als doel de natuur er toe te brengen om meer voor de mens nuttige planten en dieren voort te brengen dan de natuur zou doen als ze aan zichzelf zou worden overgelaten.

In dit proefschrift wordt onder landbouw verstaan de Nederlandse landbouw, exclusief de niet-voedingsglastuinbouw.

### ***Energiegebruik:***

- **directe energiegebruik:** dit zijn de hoeveelheden dieselolie, aardgas, elektriciteit, etc. die in de landbouw worden gebruikt;
- **indirect energiegebruik:** is de energie die nodig is voor het produceren, transporteren en distribueren van alles wat heeft te maken met mijnbouw, gebouwen, machines, kunstmest en andere hulpgoederen die de Nederlandse landbouw gebruikt. Hierbij is een onderscheid gemaakt in input die meerdere jaren wordt gebruikt (gebouwen, trekkers en machines) en input die per jaar wordt gebruikt (kunstmest, bestrijdingsmiddelen, etc.).

### ***Energiebronnen:***

- **niet hernieuwbare energiebronnen:** dit zijn energiebronnen met een voorraadaspect, dat betekent dat ze bij gebruik opraken. Dit zijn de fossiele brandstoffen olie, kolen, aardgas, bruinkool, turf en daarnaast uranium;
- **hernieuwbare energiebronnen:** dit zijn energiebronnen die niet opraken, er is geen voorraadaspect, ze worden ook wel met het begrip stromingsenergie aangeduid. Dit zijn zon, wind en allerlei vormen van waterkracht en biomassa.

### ***Landgebruik:***

- **directe landgebruik:** bij het directe landgebruik gaat het om het areaal landbouwgrond in Nederland;
- **indirect landgebruik.**  
Het indirecte landgebruik is onderscheiden in:
  - **het reguliere indirecte landgebruik:** bijvoorbeeld het verbouwen van veevoer voor Nederland in het buitenland, maar ook fabrieksterreinen, havencomplexen, infrastructuur. Een bepaald stuk land kan elk jaar opnieuw worden gebruikt voor de verbouw van het veevoer of voor de locatie van een fabriek. Wil men er mee stoppen, dan bestaat het land nog en kan er iets anders mee worden gedaan, bijvoorbeeld het verbouwen van een ander gewas of het gebruiken voor een andere activiteit;
  - **het cumulatieve indirecte landgebruik:** hierbij is sprake van een vorm van landgebruik waarbij de oorspronkelijke situatie van het land verandert/verdwijnt. Bijvoorbeeld door het af te graven voor het winnen van grondstoffen. De oorspronkelijke functie van het land verdwijnt. In de tijd gezien neemt deze vorm van landgebruik voortdurend toe: er is steeds

weer een nieuw stuk land nodig om een bepaalde activiteit (bijvoorbeeld delfstoffenwinning) te kunnen voortzetten.

### **Arbeid:**

Voor arbeid is een onderscheid gemaakt in:

- directe arbeid: het aantal mensen dat direct op land- en tuinbouwbedrijven (exclusief de niet-voedingsglastuinbouw) in Nederland werkzaam is;
- indirecte arbeid: het aantal mensen werkzaam bij de input voor de landbouw, bijvoorbeeld de mensen die in een fabriek van landbouwwerktuigen werken, of bij de kunstmestindustrie of bij de verbouw van veevoer in het buitenland.

### **Grondstoffen:**

Deze zijn onder te verdelen in:

- hernieuwbare grondstoffen: dit zijn grondstoffen die van nature hernieuwbaar zijn. Via natuurlijke processen kunnen nieuwe grondstoffen worden gevormd. Door niet meer hernieuwbare grondstoffen te gebruiken dan de natuur per jaar kan aanmaken, kan een productiesysteem in evenwicht zijn met de omgeving. Een voorbeeld is houtgebruik: stel 1 ha bos heeft een bijgroei van 6 m<sup>3</sup> per jaar. Als je dan niet meer dan 6 m<sup>3</sup> hout per jaar gebruikt kan de natuur de gebruikte hoeveelheid elk jaar weer aanvullen. Dit afgezien van de niet hernieuwbare grondstoffen die je nodig hebt om het hout te kunnen winnen (ijzer voor bijl en/of zaag) en er van uitgaande dat het gebruik van het hout vlakbij het bos plaats vindt, zodat geen transport nodig is.
- niet hernieuwbare grondstoffen: deze grondstoffen kunnen worden gewonnen en omgevormd tot gewenste producten. Ze kennen een voorraadaspect. Door het gebruik van niet hernieuwbare grondstoffen zullen de resterende voorraden kleiner worden.

Hoewel voor de niet hernieuwbare grondstoffen in het algemeen wordt aangenomen dat ze niet hernieuwbaar zijn, is dat niet helemaal waar. Ook voor metalen zijn er natuurlijke herstelroutes, maar die duren miljoenen jaren. In die zin zijn ze vergelijkbaar met fossiele brandstoffen. In feite zijn alle metalen hernieuwbaar, maar ze krijgen door verspreiding een lage dichtheid. De routes en de tijdsduur voor regeneratie kunnen verschillend zijn. Op dit moment lijkt filtering uit zeewater (relatief gezien) het meest effectief. Bijvoorbeeld mangaanionen worden verspreid in zeewater en kunnen onder inwerking van algen worden samengebracht in mangaanknollen. In 2007 kwam bijvoorbeeld  $3,80 \times 10^7$  ton aluminium in het zeewater voor. Om dat er uit te halen zou  $3,8 \times 10^{16}$  ton zeewater moeten worden gefilterd (Bardi, 2010).

Nog een voorbeeld: ijzererts wordt gewonnen met een ertspercentage van 30 tot 50%. Het ijzer is ter plaatse van de ijzerertswinningen van nature in een enigszins geconcentreerde vorm in de aardkorst aanwezig. Via transport, hoogovens, staalfabrieken, etc. worden er allerlei producten van gemaakt. Deze worden diffuus over de hele aarde verspreid en zouden uiteindelijk moeten worden teruggewonnen door ze op het land weer terug te zoeken en/of uit het water terug te filteren. Daarvoor zijn grote hoeveelheden energie en grondstoffen nodig en ook indirect landgebruik en indirecte arbeid. De hiervoor benodigde hoeveelheden energie en grondstoffen zijn dermate groot dat ze het huidige gebruik overtreffen en het probleem alleen maar zouden verergeren. Dat betekent dat een circulaire economie niet volledig mogelijk is en dat we dus op de voorraden grondstoffen en energie zullen blijven interen. Dat pleit ook voor een drastische reductie van het gebruik van energie en grondstoffen en het zoveel mogelijk recyclen van alle grondstoffen. Maar ook dan zullen we (zij het in een lager tempo) op de voorraden blijven interen.

We zijn niet alleen fossiele energie en niet hernieuwbare bronnen aan het uitputten, maar ook hernieuwbare bronnen, bijvoorbeeld bossen. Als het bos is gekapt kan er geen hergroei meer plaats vinden. Dat is ook een vorm van uitputting.

### ***Cradle to cradle***

Cradle to cradle (Braungart, 2002) betekent dat een product na gebruik kan worden hergebruikt in een nieuw product of als grondstof kan dienen. De cradle to cradle benadering kent een organische en een technologische kringloop. Organische grondstoffen (bijvoorbeeld hout) kunnen na gebruik worden gecomposteerd en leveren dan voeding voor weer nieuwe organische grondstoffen. In de technologische kringloop gaat het om anorganische stoffen (bijvoorbeeld metalen). De producten worden na hun gebruiksfase uit elkaar worden gehaald en de verschillende componenten omgesmolten en daarna weer gebruikt in andere producten. Bij de cradle to cradle benadering blijft energiegebruik nodig, kunnen negatieve effecten op de omgeving worden veroorzaakt en zal ook enig verlies in de anorganische stofstromen optreden.

### ***Recycling of hergebruik***

Recycling of hergebruik is niet meer dan het verhogen van de levensduur van materialen door extra energie toe te voegen. Het kan worden berekend in termen van Embodied Energy en Embodied Land (zie hierna). Recycling kan beide reduceren door de periode waarin de materialen kunnen worden gebruikt te verlengen. Voorwaarde is dan wel dat de energie nodig voor het recyclingproces lager is dan die voor het maken van het nieuwe product. Recycling of hergebruik is niet hetzelfde als hernieuwing (waarbij de kringloop weer echt wordt gesloten). Cradle to cradle is eigenlijk een vorm van recycling waarbij het uitgangspunt is dat er geen reststoffen zijn (maar er wel energie verloren gaat).

### ***Embodied Energy***

De Embodied Energy is de energie die is gebruikt voor alle activiteiten die voor een bepaald proces nodig zijn, inclusief de voorafgaande processen. Het is vaak moeilijk de Embodied Energy te bepalen, vanwege de complexiteit van alle voorafgaande processen. Het gaat hierbij dus om alle energie die in een product is opgeslagen, dus inclusief alle energie die nodig is geweest om het product te maken. Bijvoorbeeld: een liter dieselolie heeft een bepaalde verbrandingswaarde. Dit is de energie die vrijkomt bij de verbranding van de dieselolie. Daarnaast is er een bepaalde hoeveelheid energie nodig geweest om deze liter dieselolie te produceren (oliewinning, transport, raffinage, opslag, transport en distributie). Door deze hoeveelheid op te tellen bij de energie-inhoud van het product zelf (de verbrandingswaarde) krijg je de Embodied Energy van in dit geval een liter dieselolie. Als een brandstof wordt verbrand is alleen de chemische energie in staat arbeid te verrichten.

Methoden om de Embodied Energy te bepalen zijn:

- input-output analyses;
- procesanalyses of Levens Cyclus Analyses (LCA's);
- hybride analyses: een combinatie van proces- en input-output analyses

De input-output analyse is in 1941 geïntroduceerd door Leontief (Leontief, 1966). De Embodied Energy loopt door het hele proces heen en wordt steeds groter. In deze analyses is de energie die nodig is voor het bouwen van de fabrieken en de machines in het algemeen niet meegenomen.

### ***LCA (Levens Cyclus Analyse)***

Bij LCA's wordt het hele proces in beeld gebracht en daarmee ook de energie die nodig is geweest om het eindproduct te maken. Hierbij is het vanwege de complexiteit in zowel samenhangen met andere sectoren als in de processen zelf, moeilijk om tot een volledige beschrijving te komen. Anderzijds zijn er al veel LCA's gemaakt en is er daardoor enige beschikbaarheid van data.

### ***Gros Energy Requirement (GER)***

Is de hoeveelheid energie die nodig is voor de productie van een bepaald product, materiaal of stof (inclusief de energie om de grondstoffen te produceren), beginnend met de primaire energiedragers. Er zijn databanken van GER-waarden, die ook in dit onderzoek zijn gebruikt.

### ***Energy Returned On Energy Invested (EROEI)***

Middels de EROEI kan worden aangegeven hoeveel energie je krijgt bij het investeren van een bepaalde hoeveelheid energie. De EROEI is de ratio tussen de productie van energie per eenheid van input aan energie. Het cijfer 1 dient als de noemer van de ratio, dus 10/1 of 10:1. Soms wordt ook wel één getal genoemd, bijvoorbeeld de EROEI = 10, betekent dat 10 eenheden energie worden verkregen voor 1 eenheid energie die is geïnvesteerd.

Als de EROEI kleiner is dan 1, bijvoorbeeld 0,5 wat ook kan worden geschreven als 0,5/1 of 0,5:1, wordt aangegeven dat de opbrengst aan energie die is verkregen maar de helft is van de energie die is geïnvesteerd.

EROEI kan op twee manieren worden toegepast:

- Energy Return On Monetary Investment (EROMI);
- Energy Return On Energy Investment (EROEI)

Ook wordt wel de term EROI gehanteerd, de Energy Return On Investment. Om geen verwarring te krijgen over het feit dat het om de geïnvesteerde energie gaat (en niet om bijvoorbeeld geld) wordt de voorkeur gegeven aan het begrip EROEI. Soms wordt de EROEI aangeduid als de energie-terugbetaaltijd. Dat is de hoeveelheid tijd die nodig is voordat een energieproducerend systeem operationeel is om net zoveel energie te produceren als was besteed om het systeem te bouwen.

De opzet van de EROEI is eenvoudig in theorie, maar moeilijk in de praktijk, omdat in de maatschappij meestal alles in geld wordt uitgedrukt en niet in energie. Het is wel belangrijk enig beeld te hebben van de hoeveelheid energie die het kost om een bepaalde hoeveelheid energie te winnen. Als het meer kost dan het opbrengt (in energetische termen gezien) dan zou het geen zin meer hebben om door te gaan met het winnen van energie.

### ***Net-Energy (NE)***

Via de Net Energy Analyses (NEA) wordt de hoeveelheid energie die door een technologie aan de maatschappij wordt geleverd, vergeleken met de totale energie die nodig is om die energie in een bruikbare en nuttige vorm te kunnen leveren. Met Net Energy Analysis vergelijkt men de hoeveelheid energie die aan de maatschappij wordt geleverd via een bepaalde technologie met de totale hoeveelheid energie die nodig is voor opsporing, onttrekking, levering en anderszins omzetting in een bruikbare vorm. NEA geeft de fysieke schaarste aan, het is ongevoelig voor markteffecten en financiële data. Met Net Energy kan het potentieel worden aangegeven van wat je kunt produceren. Met een economische analyse kan niet worden aangegeven of en op welke wijze een energiebron bruikbare energie geeft. Het is essentieel de energiekosten van energie te kennen, om de energiekosten van andere

goederen en diensten te kunnen bepalen. De Net Energy die met behulp van de NEA wordt bepaald geeft eigenlijk hetzelfde aan als de EROEI. Beide begrippen worden dan ook vaak naast elkaar gebruikt.

### ***Ecologische Footprint***

In de Ecologische footprint wordt aangegeven hoeveel land nodig is voor het produceren van een bepaald product, een bepaalde dienst of een groep producten of diensten. In de Ecologische Footprint worden de oppervlaktes die nodig zijn voor de productie vergeleken met de oppervlaktes die beschikbaar zijn, waarbij blijkt of er teveel of te weinig land beschikbaar is. Via de Ecologische Footprint kan ook de oppervlakte per persoon, regio of land (inclusief voor voedsel) worden weergegeven. In de Ecologische Footprint zoals die meestal wordt gebruikt is niet aangegeven hoeveel land het kost om de gebruikte grondstoffen weer terug te winnen.

### ***Embodied Land***

Embodied Land is de oppervlakte die nodig is voor een bepaald productieproces. Embodied Land kan worden bepaald voor verschillende stadia in de hele keten van een grondstof of product, bijvoorbeeld voor de winning van grondstof tot het maken van het eindproduct, tijdens het gebruik en tijdens het weer terugwinnen van de grondstoffen.

### ***Natuurlijk kapitaal***

Natuurlijk kapitaal is de voorraad aan natuurlijke ecosystemen die een stroom van waardevolle producten en diensten voortbrengt, nu en in de toekomst. Het is de uitbreiding van het economisch begrip kapitaal (vervaardigde productiemiddelen) met de producten en diensten die de natuurlijke omgeving voortbrengt. Bijvoorbeeld een bos of een vispopulatie brengt een stroom van nieuwe bomen of vissen voort, een stroom die oneindig kan doorgaan. Natuurlijk kapitaal kan ook diensten leveren zoals waterberging, erosiebestrijding en het afbreken van verontreinigingen. De stroom van diensten uit ecosystemen vereist dat zo'n systeem goed en volledig functioneert.

### ***Natuurlijke hulpbron***

Een natuurlijke hulpbron is een bron die voor de mens in economische zin een nuttige functie heeft en in de natuur wordt aangetroffen. Het gaat zowel om biotische als abiotische hulpbronnen. Biotische hulpbronnen zijn delen van flora en fauna. Abiotische hulpbronnen zijn fossiele brandstoffen, uraan, mineralen en metalen, (schone) lucht, (schoon) water en (een multifunctioneel bruikbare) bodem. Natuurlijke hulpbronnen die zich op een menselijke tijdschaal niet vernieuwen of aanvullen, zijn in een bepaalde absolute hoeveelheid aanwezig en worden voorraadhulpbronnen genoemd. Dit ter onderscheiding van stromingshulpbronnen. Deze worden door natuurlijke processen vernieuwd en kunnen in principe niet uitgeput raken. Verspillen is het niet zuinig omgaan met voorraden. Een voorraad is in dit verband een natuurlijke hulpbron die een functie in de maatschappij vervult of in de toekomst zal kunnen vervullen (Planbureau voor de Leefomgeving, 1995). Ruimte, energie en biodiversiteit worden als sleutelvoorraden onderscheiden. De sleutelvoorraden zijn het aangrijpingspunt voor een duurzaam beheer dat verspilling van voorraadhulpbronnen en stromingshulpbronnen moet voorkomen. Tussen landgebruik en de twee andere sleutelvoorraden bestaat een relatie. Zorgvuldig beheer van de drie sleutelvoorraden kan uiteindelijk de veiligstelling van alle andere hulpbronnen garanderen. Ruimte is een voorwaarde voor de instandhouding van biodiversiteit en het beschikbaar stellen van energiebronnen (zie ook hernieuwbare grondstoffen en niet hernieuwbare grondstoffen).



In diverse beleidsvoornemens en plannen worden vaak de volgende begrippen gehanteerd:

- *energieneutraal*: daarmee wordt bedoeld dat het directe energiegebruik tot nul is gereduceerd. Daarvoor kunnen echter wel voorzieningen nodig zijn waar energie en grondstoffen voor nodig zijn. Als bijvoorbeeld het directe energiegebruik nul is, kan er nog wel Embodied Energy zitten in de voorzieningen die dit mogelijk maken;
- *klimaatneutraal*: het energiegebruik is dan over de hele productieketen nul: de directe energie plus de Embodied Energy. Er blijft echter nog wel gebruik van grondstoffen, waardoor de voorraden afnemen;
- *Systeemneutraal*: hierbij is ook de aanslag op de grondstoffenvoorraden nul. De grondstoffenvoorraad moet op peil blijven.
- *Circulaire economie*: is een economisch en industrieel systeem dat is gebaseerd op het hergebruik van producten en grondstoffen en het Herstellend Vermogen van natuurlijke hulpbronnen. Waardebehoud staat centraal.

### ***De echte kringloop***

De enige echte kringloop is de kringloop die zichzelf voortdurend vernieuwt, waarbij de verschillen alleen zitten in de tijd en de route waarin de vernieuwing plaats vindt. Deze benadering maakt ook duidelijk dat er grenzen zijn aan de beschikbaarheid van materialen, ook met recycling. Zonder hernieuwing of hergroei is er uitputting en wordt de voorraad kleiner.

Als er keuzes moeten worden gemaakt dan gaat voedsel voor materialen. De hele grondstoffenvoorziening kan om die reden niet volledig zijn gebaseerd op hernieuwbare grondstoffen (biomassa). Hergebruik is niet mogelijk voor fossiele brandstoffen en voor voedsel. Hergebruik is wel mogelijk en voor een aantal minerale grondstoffen die nodig zijn voor de landbouw (bijvoorbeeld fosfaat en sommige micronutriënten). Duurzaamheid betekent het voorkomen van de uitputting van hulpbronnen. Om in de pas te blijven met het tempo waarmee de natuur de voorraden kan herstellen moet voor de niet hernieuwbare grondstoffen rekening worden gehouden met zeer lange periodes en kleine hoeveelheden. Het proces van biomassa tot olie duurt bijvoorbeeld ongeveer 65 miljoen jaar. Dan kan circa 14.000 liter olie per dag wereldwijd worden gebruikt (orde van grootte). Dit is maar een fractie van het huidige gebruik.

Als je systeemneutraal en circulaire economie echt zou gaan toepassen betekent het alles terugwinnen, maar dat kost enorme hoeveelheden energie. Dan blijft over een forse reductie van het gebruik en alles hergebruiken en dan maar proberen het zo lang mogelijk uit te zingen met de nog resterende voorraden. Systeemneutraal is onmogelijk en bestaat dus eigenlijk niet.



## **4 Methodiek en werkwijze**

### **4.1 Algemeen**

De duurzaamheid van de Nederlandse landbouw is gedefinieerd op basis van de energetische waarden van de output en de input en het landgebruik. Daarbij zijn zowel het directe als het indirecte energiegebruik en landgebruik in beschouwing genomen. Energiegebruik en landgebruik zijn een belangrijke maat, omdat overal energie in zit en bijna alles ruimte inneemt. Omdat de productiefactoren arbeid en kapitaal uitwisselbaar zijn, zijn daarnaast ook de hoeveelheden directe en indirecte arbeid geïnventariseerd.

### **4.2 Methodiek**

De output zijn de geleverde landbouwproducten, waarvan de voedingswaarde een bepaalde hoeveelheid energie vertegenwoordigt.

Voor het bepalen van de energetische waarde van de input moet eigenlijk steeds de bruto benodigde energie worden bepaald. Dit is de som van alle energie-inputs in het hele productieproces. Dit is inclusief:

- de energie die nodig is voor het winnen, transporteren en bewerken van de energiedragers zelf;
- de energie die nodig is voor het winnen, transporteren en bewerken van de benodigde grondstoffen;
- het brandstof- en elektriciteitsgebruik van het productieproces zelf;
- de energie die nodig is voor het maken en onderhouden van de productiemiddelen

De som van alle energie-inputs per product wordt wel uitgedrukt in de GER-waarde (Gross Energy Requirement). Er is gebruik gemaakt van verschillende databases, o.a. Ecoinvent, de ICE Database, IPCC, verschillende andere bronnen en eigen analyses. Met behulp van de GER-waarden kan de embodied energy van de input worden bepaald. Daarbij moet worden opgemerkt dat dit maar ten dele mogelijk is, vanwege een combinatie van complexiteit en het ontbreken van data. De energetische waarde van de input is in werkelijkheid groter dan wat in dit proefschrift is berekend. Bijvoorbeeld van de embodied energy van gebouwen kan in het algemeen niet meer dan 75% worden bepaald, vanwege de complexiteit van het hele proces (Treolar, 1977).

Voor wat betreft de input van de landbouw is nagegaan van welke hoeveelheden materialen, stoffen en handelingen gebruik is gemaakt. Deze hoeveelheden zijn met behulp van de GER-waarden per product, materiaal of dienst vertaald in hoeveelheden energie. Bij de input gaat het om het directe energiegebruik (olie, kolen, gas) en het indirecte energiegebruik: de kapitaalgoederen (gebouwen, machines/installaties en infrastructuur) en de overige hulpmiddelen, die per jaar worden gebruikt (via mijnbouw, veevoer, dierlijke mest, kunstmest, bestrijdingsmiddelen, diensten en transport). Het indirecte energiegebruik bestaat voor een deel uit het (directe en indirecte) energiegebruik van landbouwbedrijven buiten Nederland en van bedrijven en instellingen in Nederland en in het buitenland. Bij de input hebben we te maken met het gegeven dat de diverse onderdelen van de input met elkaar zijn verweven via intermediaire leveranties en ontvangsten van goederen en diensten. Voor het bepalen van de input geeft dit soms een ingewikkelde toerekeningsproblematiek. Het

energiegebruik in de toeleverende sectoren moet worden doorberekend in het finale energiegebruik.

De verkregen energetische waarden voor de output en input kunnen op elkaar worden gedeeld en geven dan een energetisch rendement aan: dat is de verhouding tussen de energie-output (in de vorm van voedingsmiddelen) en de energie-input vanuit niet-hernieuwbare en hernieuwbare energiebronnen. Hiermee is een beeld verkregen van de doelmatigheid van het proces, althans energetisch gezien. Met behulp van de output/input-verhoudingen is het mogelijk om verschillende gewassen en/of landbouwsystemen met elkaar te vergelijken.

Het directe landgebruik en de directe arbeid zijn geregistreerd door CBS en LEI. Indirect landgebruik en indirecte arbeid zijn bepaald op basis van een groot aantal gegevens over fabrieksterreinen, infrastructuur, aantallen werknemers e.d. Op basis daarvan zijn kengetallen ontwikkeld die zijn gebruikt om deze gegevens aan de landbouw toe te kunnen rekenen.

### **4.3 Inventariseren gegevens**

De benodigde gegevens zijn geïnterviewd voor de periode 1950 t/m 2015. Op welke wijze dit is gebeurd is mede afhankelijk van de beschikbaarheid van data en/of van gegevens die nodig zijn voor het bepalen van deze data en van de wijze van registratie. Bepaalde data zijn bijvoorbeeld niet over deze hele periode geregistreerd. Ook verschillen bepaalde registraties in de tijd gezien qua grondslag, deze zijn dan op eenzelfde noemer gebracht.

De benodigde gegevens/data zijn:

- deels geregistreerd (CBS, LEI, andere databanken);
- niet aanwezig, maar te construeren;
- niet aanwezig en ook niet te construeren

Aan het eind van elk hoofdstuk over de input is aangegeven van welke onderwerpen data zijn verkregen en welke onderwerpen buiten beschouwing zijn gebleven.

Voor de input die per jaar wordt verbruikt is een inventarisatie van de gebruikte hoeveelheden gemaakt in de periode 1950 t/m 2010, om de vijf jaar (dus 1950, 1955, 1960, etc.) en voor 2010 t/m 2015. Dit betekent een inventarisatie en weergave voor 18 jaren.

Voor de input die in een bepaald jaar is aangeschaft en meerdere jaren wordt gebruikt, is een inventarisatie gemaakt van alle investeringen per jaar in de periode 1950 t/m 2015. Het gaat dan om de gebouwen en de trekkers en machines. Per jaar zijn de investeringen geïnterviewd in fysieke eenheden. Voor gebouwen zijn dit vierkante meters (m<sup>2</sup>) en voor trekkers en machines tonnen staal. Deze fysieke eenheden zijn vervolgens in een bepaalde periode afgeschreven.

Daarbij zijn de volgende afschrijvingsperiodes gehanteerd:

- voor tuinbouwkassen: 25 jaar (1940 t/m 1979), 20 jaar (1980 t/m 2009) en 15 jaar (2010 t/m 2015);
- voor de overige agrarische bedrijfsgebouwen: 50 jaar (1940 t/m 1969), 45 jaar (1970 t/m 1989) en 40 jaar (1990 t/m 2015);
- voor trekkers en landbouwwerktuigen: 10 jaar (1940 t/m 2015).

Er is afgeschreven volgens de lineaire methode (gelijke bedragen per jaar). Voor 1950 is een beginsituatie bepaald op basis van de periode 1940 t/m 1949 (is de situatie eind 1949) en deze is ook vertaald in een af te schrijven energie-inhoud. De afschrijving begint altijd in het jaar na de investering. Het gaat hierbij dan om een inventarisatie en weergave voor 66 jaren (1950 t/m 2015).

Het berekenen van alle afschrijvingen per jaar is gedaan met behulp van een hiervoor gemaakt Excel-model. De fysieke eenheden (m<sup>2</sup> of tonnen staal) zijn omgezet in waarden voor de energie-inhoud. Door de afschrijvingen van de investeringen per jaar bij elkaar op te tellen zijn de totale afschrijvingen per jaar berekend.

Bij de inventarisatie van het indirecte cumulatieve landgebruik is de aanname gedaan dat de helft van de oppervlakte na gebruik weer kan worden hersteld. Het landgebruik en de menselijke arbeid komen verder aan de orde in de betreffende hoofdstukken.

Voor het terug kunnen rekenen van prijzen en/of het kunnen aangeven van de reële prijsontwikkelingen sinds 1950 is gebruik gemaakt van de prijsindex consumentenprijzen van het CBS van 1900 t/m 2015, waarbij 1900 = 100. De indexcijfers zijn omgerekend met 1950 = 100, zodat voor de periode 1950 t/m 2015 de hierop gebaseerde indexcijfers zijn berekend. Naast de inflatiecijfers in opwaartse richting (van 1950 naar 2015) zijn de inflatiecijfers ook achterwaarts uitgerekend (van 2015 naar 1950), zodat in beide richtingen kan worden gerekend met inflatiepercentages.

In dit proefschrift zijn energetische waarden aangegeven in GJ (GigaJoule) op bedrijfsniveau of per ha of per ton en in PJ (PetaJoule) op systeemniveau.

De resultaten van output, input, landgebruik en arbeid zijn per hoofdstuk alleen weergegeven voor de jaren 1950, 1980, 2010 en 2015. Voor zover van toepassing zijn de afgebeelde figuren gebaseerd op de gegevens om de vijf jaar in de periode 1950 t/m 2015 of 1950 t/m 2040.

#### **4.4 Systeemgrenzen**

##### ***Geografisch***

Dit onderzoek gaat over de Nederlandse landbouw exclusief de niet-voedingsglastuinbouw (de teelt van bloemen en planten onder glas), tenzij anders is vermeld. Het gaat om de primaire agrarische productie in Nederland en de daarbij behorende toeleveranties tot de afvoer van het product vanaf de boerderij. Voor de input is geen geografische systeemgrens aangenomen; de toeleveranties kunnen uit de hele wereld afkomstig zijn.

##### ***In de tijd***

Geïntariseerd zijn gegevens uit de periode 1950 t/m 2015. Af en toe is iets verder terug gekeken in de tijd door enkele voorbeelden uit vroegere tijden te analyseren en door gegevens over eerdere perioden te bekijken. Vanuit de gestelde randvoorwaarden voor de toekomst (klimaatprobleem) is een mogelijke ontwikkeling aangegeven voor de periode 2016 t/m 2040.

### ***De sectoren***

Voor de glastuinbouw is een onderscheid gemaakt tussen de voedingsglastuinbouw (groenten en fruit) en de niet-voedingsglastuinbouw (bloemen en planten). De oppervlakte voedingsglastuinbouw was in 1950 circa 90% van de totale oppervlakte glastuinbouw. Dit aandeel is in de loop van de tijd afgenomen tot circa 50%. Van het totale directe energiegebruik in de landbouw is het aandeel van de glastuinbouw ongeveer 80%. Vanwege dit grote aandeel is dit onderscheid gemaakt. De oppervlakte niet-voedingsglastuinbouw is buiten beschouwing gelaten voor wat betreft de gebouwen/kassen en het directe energiegebruik. Aan de outputkant wordt immers ook alleen de energie-inhoud van de producten van de voedingsglastuinbouw meegenomen. Bosbouw en visserij zijn niet in beschouwing genomen.

### ***De keten***

De verdere verwerking en distributie van de landbouwproducten (levensmiddelenindustrie, groothandel, retail) zijn buiten beschouwing gebleven en maken derhalve geen deel uit van dit proefschrift.

### ***Output***

Bij het bepalen van de output is alleen gekeken naar datgene wat vanaf de boerderij wordt geleverd. Bijvoorbeeld: wel melkaanvoer in fabrieken en boerenkaas, geen fabriekskaas. Er zijn drie grote niet-voedingsproducten:

- zetmeelaardappelen: zijn bij de output meegerekend met de energie-inhoud van aardappelen;
- bloembollen: zijn bij de output meegerekend met de energie-inhoud van uien;
- bloemen en planten onder glas: dit hoort bij de niet-voedingsglastuinbouw en is niet meegerekend voor wat betreft output, de input van directe en indirecte energie, direct en indirect landgebruik en directe en indirecte arbeid.

De oppervlakte hennep, bloem- en boomkwekerijen en andere niet-voedingsgewassen zijn niet apart in beschouwing genomen. De totale oppervlakte is minder dan 1% van het totale landbouwareaal. Aangenomen is dat dit niet van invloed is op het beschreven totaalbeeld.

### ***Input***

Niet meegerekend zijn de gebruikte zonne-energie ten behoeve van de fotosynthese en de energetische waarde van de menselijke arbeid.

Verder zijn er nog wat “grensproblemen”:

- er zijn boeren met eigen aardappelbewaarplassen en boeren die dit collectief doen via handelshuizen, coöperaties, etc.;
- idem voor bewaren en drogen van graan;
- idem koelhuizen voor fruit en koelhuizen voor groentes;
- inpaklijnen en winkelklaar maken gebeurt soms op het landbouwbedrijf, maar meestal bij de handel/groothandel/verwerking.

De interne leveringen zijn niet per sector bekeken, omdat daar maar in enkele jaren een beperkte registratie van is. Bijvoorbeeld veevoer gaat deels van akkerbouw naar veehouderij. Het is dan output van de akkerbouw en input voor de veehouderij. Het geïmporteerde veevoer is wel meegerekend.

#### **4.5 Onzekerheden en nauwkeurigheid**

Uiteindelijk gaat het om het geven van een betrouwbaar beeld van de ontwikkelingen in de Nederlandse landbouw ten aanzien van een aantal in dit proefschrift aangeduide aspecten. Het gaat om de tendens die zichtbaar is. Soms liggen hier gedetailleerde inventarisaties aan ten grondslag, soms zijn inschattingen gemaakt wegens gebrek aan voldoende gegevens. De gegevens over indirect landgebruik en indirecte arbeid zijn niet of nauwelijks geregistreerd. Eigen analyses zijn voorzichtig gedaan, zodat eerder een onderschatting van de input is gegeven dan een overschatting. Soms zijn bandbreedtes aangegeven. Een deel van de input is niet geïnventariseerd, omdat er geen gegevens over zijn en ze ook moeilijk zelf zijn te bepalen.

#### **4.6 Beoogde resultaten**

Het beoogde resultaat is een methode/denkmodel ter beoordeling van de duurzaamheid van de landbouw. Dit op basis van output/input-verhoudingen, landgebruik en arbeid en het met behulp daarvan weergeven van de ontwikkeling van de Nederlandse landbouw voor de periode 1950 t/m 2015 op basis van:

- de totale energieopbrengst en het totale energiegebruik en de daarop gebaseerde output/input-verhoudingen;
- de energieopbrengst en het energiegebruik per ha en de daarop gebaseerde output/input-verhoudingen;
- het directe en indirecte landgebruik;
- de directe en indirecte arbeid;
- de maatschappelijke kosten in relatie tot de economische opbrengsten.

en voor de periode 2016 t/m 2040:

- de randvoorwaarden waaraan een duurzame landbouw zal moeten voldoen;
- de voor de Nederlandse bevolking benodigde hoeveelheid voeding en de daarvoor benodigde oppervlakte landbouwgrond, bij zo weinig mogelijk export en import;
- een mogelijke ontwikkeling van de landbouw;
- een vergelijking van de prestaties van de landbouw in 2040 met de prestaties van de landbouw in de periode 1950 t/m 2015.

Het gaat er om dat een representatief beeld is verkregen ten aanzien van de ontwikkelingen in de Nederlandse landbouw en een mogelijke toekomstige ontwikkeling. Er is gestreefd naar een evenwicht tussen het kunnen aangeven van deze ontwikkelingen, de beschikbare gegevens en de overzichtelijkheid van het geheel.





## **5 Output**

### **5.1 Algemeen**

Bij de output van de Nederlandse landbouw gaat het om de opbrengsten aan plantaardige en dierlijke producten. Hoewel de oppervlaktes per gewas en de opbrengsten per ha per jaar kunnen verschillen, zit er wel een bepaalde ontwikkeling in de output over de periode 1950 t/m 2015. Daarbij gaat het voornamelijk om een toename van de totale opbrengsten en een verschuiving tussen de sectoren. Het aandeel van de akkerbouw is in de loop van de tijd afgenomen en de aandelen van de veehouderijproducten en tuinbouwproducten zijn toegenomen.

De geproduceerde plantaardige en dierlijke producten vertegenwoordigen een bepaalde energie-inhoud. Deze kan op basis van de geproduceerde hoeveelheden worden weergegeven (CBS en LEI, 1950 t/m 2015). Voor zover de landbouw direct energie produceert (warmtekrachtkoppeling via aardgas en biogas, wind- en zonne-energie) is vooral de warmtekrachtkoppeling in de glastuinbouw van belang. Via het verbruiken van aardgas levert de glastuinbouw per saldo meer elektriciteit aan het openbare net dan ze afneemt. Dit is ook in de cijfers van het directe energiegebruik verwerkt. Zon, wind en biogas zijn niet apart weergegeven, waarbij bij biogas nog de vraag kan worden gesteld of dit per saldo wel energie oplevert. De hoeveelheid energie uit zon en wind vanuit de landbouw is relatief gering en is verder niet apart in beschouwing genomen.

In dit proefschrift is er vanuit gegaan dat de plantaardige en dierlijke landbouwproducten voor menselijke voeding worden gebruikt. Voor het bepalen van de output/input-verhoudingen is voor de output gerekend met de stofwisselingsenergie (zie ook hoofdstuk 2.6).

Voor het bepalen van de stofwisselingsenergie is gebruik gemaakt van de cijfers uit het Nederlands Voedingsstoffenbestand (NEVO) van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2016). In dit bestand zijn de energie en macronutriënten weergegeven per 100 gram voedingsmiddel. De energie-inhoud is weergegeven in zowel kJ/100gram als kcal/100gram. Hier is uitgegaan van de kJ/100gram, die per product zijn omgerekend naar GJ/ton. Het gaat om de energetische waarde van de producten die wordt berekend uit de hoeveelheid macrovoedingsstoffen. Het energiegehalte van de voedingsmiddelen wordt berekend op basis van de energieleverende voedingsstoffen met de volgende factoren: 1 gram eiwit levert 17 kJ, 1 gram vet levert 37 kJ, 1 gram koolhydraten levert 17 kJ, 1 gram voedingsvezel levert 8 kJ, 1 gram alcohol levert 29 kJ, 1 gram polyolen levert 10 kJ, 1 gram organische zuren levert 13 kJ. Daar waar nodig zijn vergelijkingen gemaakt met cijfers uit andere bronnen (o.a. den Hartog, 1972).

### **5.2 Output akkerbouw**

Bij het bepalen van de energetische waarde van de landbouwproducten is uitgegaan van de producten die voor menselijke voeding zijn bestemd. Veevoer is voor zover het in Nederland wordt verbouwd, beschouwd als een interne levering. Het geïmporteerde veevoer komt als input aan de orde bij veevoer. Ook de stro-opbrengsten zijn als een interne levering beschouwd, omdat het of wordt ondergeploegd ten behoeve van de organische stofvoorziening van de bodem, of aan de veehouderij wordt geleverd als strooisel in veestallen. Dit geldt ook voor snijmais en veldbonen, die in het algemeen voor veevoer worden gebruikt. De granen zijn energetisch meegeteld bij de output, hoewel een deel van de

in Nederland verbouwde granen ook als veevoer wordt gebruikt en eigenlijk een interne levering is. Hierin zit dan enige overschatting van de output van de landbouw als totaal. Zetmeelaardappelen zijn energetisch meegerekend bij de output (energetische waarde consumptieaardappelen) en bloembollen ook (energetische waarde uien). Voor vezelvlas en hennep zijn geen energetische waarden opgenomen. Het gaat om een kleine oppervlakte waarop deze teelten plaatsvinden. Hennep staat ook pas in de Land- en tuinbouwcijfers sinds 2010. De opbrengsten van voederbieten, korrelmais, snijmais en corncobmix zijn ook tot de interne leveringen gerekend. De opbrengsten van de marktbaar gewassen tellen dus mee voor de output van de totale landbouw. De interne leveringen, zijnde de voedergewassen en de stro-opbrengsten, tellen niet mee in de totale output van de landbouw. Ze zouden wel mee kunnen tellen bij de output van de akkerbouw in het kader van een vergelijking tussen sectoren. Dit moet dan echter ook worden opgeteld bij de input van de veehouderij. Hier is ook een probleem dat de stro-opbrengsten van allerlei gewassen alleen zijn geregistreerd van 1950 t/m 1995 en een aantal voedergewassen alleen van 1975 t/m 2011. Verder is er geen registratie van de opbrengsten van door de akkerbouw zelf geteelde zaaizaden en pootgoed. Dit hoort voor een deel bij de interne leveringen maar voor een deel ook bij de output voor zover het naar elders wordt verkocht. Er worden echter ook weer zaden van elders aangekocht. In tabel 5 staan de opbrengsten van de akkerbouw.

Tabel 5 Output akkerbouwgewassen

	1950	1980	2010	2015
productie	8.954.090 ton	14.219.712 ton	15.706.049 ton	15.204.516 ton
energie-inhoud in GJ	45.374.366 GJ	60.352.961 GJ	72.240.091 GJ	64.734.621 GJ
energie-inhoud in PJ	45,374366 PJ	60,352961 PJ	72,240091 PJ	64,734621 PJ
energie-inhoud per ton	5,06 GJ/ton	4,24 GJ/ton	4,60 GJ/ton	4,26 GJ/ton

Na aanvankelijke groei van de productie is het areaal akkerbouw later gedaald en nam het areaal grasland toe. Verschillen tussen de jaren kan voor een deel worden verklaard omdat niet voor elk jaar van alle gewassen de opbrengsten zijn geregistreerd. Ook zijn er nu meer akkerbouwmatig geteelde groentes. Daardoor is de energie-inhoud iets gedaald. Verder verschillen de opbrengsten per jaar vanwege het weer.

### 5.3 Output veehouderij

De energetische inhoud van de zuivelproducten is bepaald op basis van de hoeveelheden melk die in fabrieken zijn aangevoerd en de hoeveelheden boerenkaas die op boerderijen zijn geproduceerd. De vleesproductie is bepaald op basis van de hoeveelheden rund- en kalfsvlees, varkensvlees en spek/varkensvlees, paardenvlees, schapenvlees en geitenvlees. Het gaat hierbij om tonnen vlees met been, dus een overschatting van de output. Deze hoeveelheden zijn vertaald in een energetische waarde. De eieren zijn geïnventariseerd op basis van het totale geproduceerde gewicht of op basis van aantallen (de registratie is niet voor alle jaren hetzelfde). De hoeveelheden pluimveevlees zijn bepaald op basis van de hoeveelheden slachtkippen/vleeskippen, slachtkuikens/vleeskuikens, kalkoenen, jonge kalkoenen/ander gevogelte, jonge pekingeenden, ander gevogelte. Het gaat hierbij om tonnen levend gewicht. Hierin zit ook een overschatting van de output. De registraties en indelingen zijn niet voor alle jaren hetzelfde. Broedeieren zijn apart geregistreerd vanaf 1975, voor zowel de legsector als de vleessector. Deze zijn beschouwd als interne leveringen. De vleesgewichten uit de statistiek zijn de geslachte gewichten (is nog inclusief karkas) en voor pluimveevlees de levende gewichten. Dit moet nog worden omgerekend naar kg vlees. Slachtrendement of

uitslachtingspercentage of inslachtingspercentage of aanhoudingspercentage is de conversie van levend gewicht naar geslacht gewicht.

Wolopbrengsten zijn geregistreerd van 1950 t/m 2000. Aan de opbrengsten van wol, huiden, veren, botten zijn geen energetische waarden toegekend. Er is wel een overschatting van de output omdat is uitgegaan van vlees met been en bij pluimveevlees van levend gewicht. Van vlees met been en van levend gewicht naar vleesopbrengst moet rekening worden gehouden met een reductie van 40 tot 50%. Daarentegen is ook geen opbrengst gerekend voor huiden, botten, haren, wol, etc. In tabel 6 zijn de opbrengsten van de veehouderijproducten weergegeven.

Tabel 6 Output veehouderij

	1950	1980	2010	2015
productie	5.642.166 ton	15.722.408 ton	17.025.868 ton	18.320.687 ton
energie-inhoud in GJ	17.634.326 GJ	50.442.135 GJ	55.449.203 GJ	64.340.348 GJ
energie-inhoud in PJ	17,634326 PJ	50,442135 PJ	55,449203 PJ	64,340348 PJ
energie-inhoud per ton	3,13 GJ/ton	3,21 GJ/ton	3,26 GJ/ton	3,51 GJ/ton

Er is een behoorlijke toename van de opbrengsten, die in 2015 in tonnen ruim drie keer zo hoog is als in 1950 en in energetische waarde circa 3,6 keer zo hoog.

De melkaanvoer in fabrieken is in 2015 ongeveer 2,8 keer zo groot als in 1950.

De productie van varkensvlees is in 2015 ruim 6 keer zo groot als in 1950.

De productie van pluimveevlees is in 2015 ruim 49 keer zo groot als in 1950.

De productie van eieren is in 2015 bijna 6 keer zo groot als in 1950

## 5.4 Output tuinbouw

De opbrengsten uit de tuinbouw zijn geïnventariseerd op basis van de geproduceerde hoeveelheden groenten en fruit. Van beiden zijn de gemiddelde energie-inhouden berekend, omdat de energie-inhoud van fruit veel hoger is dan die van groenten zijn deze ook apart weergegeven, zie tabel 7.

Tabel 7 Output tuinbouw

	1950	1980	2010	2015
productie groenten	1.021.000 ton	2.361.578 ton	4.626.800 ton	5.092.100 ton
productie fruit	460.000 ton	582.550 ton	608.020 ton	685.000 ton
totaal groenten en fruit	1.481.000 ton	2.944.128 ton	5.234.820 ton	5.777.100 ton
energie-inhoud groenten	847.430 GJ	1.960.110 GJ	3.840.244 GJ	4.226.443 GJ
energie-inhoud fruit	1.076.400 GJ	1.363.167 GJ	1.422.767 GJ	1.602.900 GJ
totaal energie-inhoud in GJ	1.923.830 GJ	3.323.277 GJ	5.263.011 GJ	5.829.343 GJ
totaal energie-inhoud in PJ	1,923830 PJ	3,323277 PJ	5,263011 PJ	5,829343 PJ
gemiddeld GJ/ton groenten	0,83 GJ/ton	0,83 GJ/ton	0,83 GJ/ton	0,83 GJ/ton
gemiddeld GJ/ton fruit	2,34 GJ/ton	2,34 GJ/ton	2,34 GJ/ton	2,34 GJ/ton
gemiddeld GJ/ton groente en fruit	1,30 GJ/ton	1,13 GJ/ton	1,01 GJ/ton	1,01 GJ/ton

De productie van groenten is in 2015 circa 5 keer zo groot als in 1950.

De productie van fruit is in 2015 circa 1,5 keer zo groot als in 1950.

Het product met de kleinste energie-inhoud (groenten) heeft het meeste effect op de gemiddelde energie-inhoud van groente en fruit samen (de hoeveelheid groenten is veel groter dan de hoeveelheid fruit).

## 5.5 De totale output van de landbouw

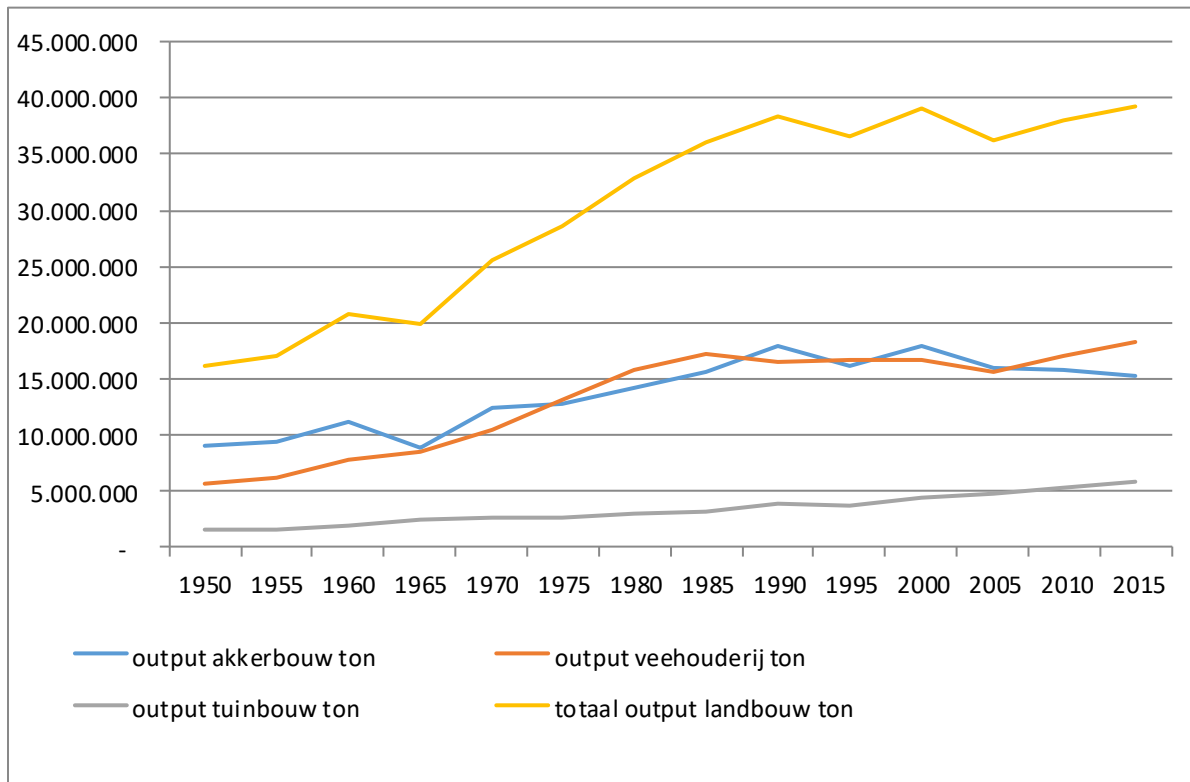
De totale output van de landbouw is in tabel 8 weergegeven.

Tabel 8 Totale output van de landbouw

<i>Productie in tonnen</i>	1950	1980	2010	2015
productie akkerbouw	8.954.090 ton	14.219.712 ton	15.706.049 ton	15.204.516 ton
productie veehouderij	5.642.166 ton	15.722.408 ton	17.025.868 ton	18.320.687 ton
productie groenten en fruit	1.481.000 ton	2.944.128 ton	5.234.820 ton	5.777.100 ton
totale productie in tonnen	16.077.256 ton	32.886.248 ton	37.966.737 ton	39.302.303 ton
oppervlakte cultuurgrond	2.337.048 ha	2.020.237 ha	1.872.319 ha	1.845.746 ha
output per ha (direct) in ton	6,88 ton/ha	16,28 ton/ha	20,28 ton/ha	21,29 ton/ha
<i>Productie in energie</i>				
akkerbouw	45.374.366 GJ	60.410.921 GJ	72.240.091 GJ	64.734.621 GJ
veehouderij	17.634.326 GJ	50.442.135 GJ	55.449.203 GJ	64.340.348 GJ
groente en fruit	1.923.830 GJ	3.323.277 GJ	5.263.011 GJ	5.829.343 GJ
totale productie in GJ	64.932.522 GJ	114.176.333 GJ	132.952.305 GJ	134.904.312 GJ
output per ha (direct) in GJ	27,784 GJ/ha	56,488 GJ/ha	71,009 GJ/ha	73,089 GJ/ha
gemiddelde energie-inhoud akkerbouwproducten	5,06 GJ/ton	4,24 GJ/ton	4,60 GJ/ton	4,26 GJ/ton
gemiddelde energie-inhoud veehouderijproducten	3,13 GJ/ton	3,21 GJ/ton	3,26 GJ/ton	3,25 GJ/ton
gemiddelde energie-inhoud groente en fruit	1,30 GJ/ton	1,13 GJ/ton	1,01 GJ/ton	1,01 GJ/ton
gemiddelde energie-inhoud alle landbouwproducten	4,04 GJ/ton	3,47 GJ/ton	3,50 GJ/ton	3,43 GJ/ton
<i>Productie t.o.v. 1950 in ton:</i>				
akkerbouw	0	x1,59	x1,75	x1,70
veehouderij	0	x2,86	x3,02	x3,05
tuinbouw	0	x1,99	x3,53	x3,90
landbouw totaal	0	x2,04	x2,36	x2,44
<i>Productie t.o.v. 1950 in GJ:</i>				
akkerbouw	0	x1,33	x1,59	x1,43
veehouderij	0	x2,66	x3,14	x3,65
tuinbouw	0	x1,73	x2,73	x3,03
landbouw totaal	0	x1,76	x2,05	x2,08

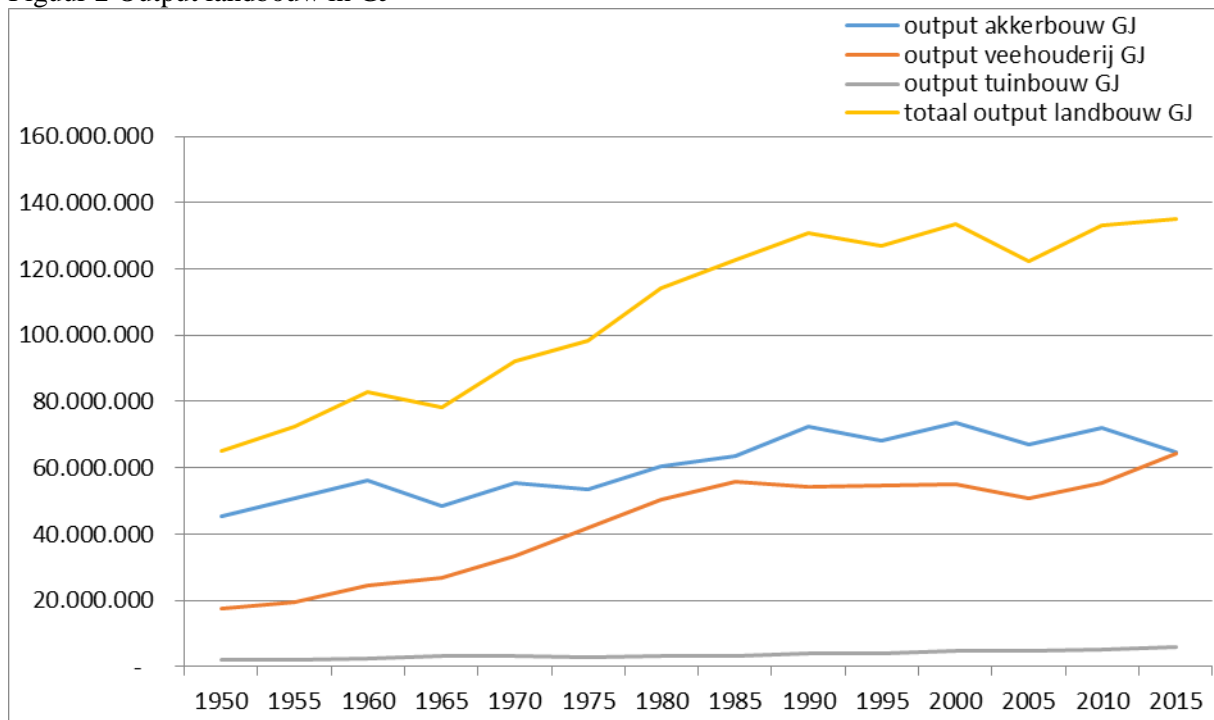
In figuur 1 zijn weergegeven het verloop van de totale output van de landbouw, de akkerbouw, de veehouderij en de tuinbouw in tonnen, voor de periode 1950 t/m 2015.

Figuur 1 Output landbouw in tonnen



In figuur 2 zijn weergegeven het verloop van de totale output van de landbouw, de akkerbouw, de veehouderij en de tuinbouw in GJ, voor de periode 1950 t/m 2015.

Figuur 2 Output landbouw in GJ



De productie van de akkerbouw in tonnen geeft een stijgende lijn vanaf 1950 tot 1990. Vanaf 1990 t/m 2015 fluctueert de productie tussen de 15 en 17 miljoen ton per jaar. Voor de

productie in GJ is het beeld hetzelfde. De productie van de veehouderij in tonnen laat in de periode 1950 t/m 2015 (met enige fluctuaties) een voortdurende stijging zien. Voor de productie in GJ is het beeld hetzelfde. De productie van de tuinbouw in tonnen laat ook een stijgende lijn zien, zij het met enige fluctuaties. Dat geldt ook voor de energie-inhoud van de productie van de tuinbouw, waarbij de productie in tonnen sneller is gestegen dan de productie in GJ. Voor de landbouw in totaal is de productie over de hele periode 1950 t/m 2015 gestegen, gerekend in tonnen. Voor de energieopbrengst is dit niet zo. Dit komt behalve een afname van de productie in de akkerbouw ook door het relatief grotere aandeel van veeteeltproducten en groenten en fruit. Deze producten hebben een lagere energie-inhoud dan akkerbouwproducten.

In tabel 9 staan de relatieve aandelen van de productie van akkerbouw, veehouderij en tuinbouw, in zowel tonnen als GJ.

Tabel 9 Relatieve aandelen productie akkerbouw, veeteelt en tuinbouw in de totale landbouwproductie in tonnen en in GJ

<i>Aandeel in de totale productie in tonnen:</i>	1950	1980	2010	2015
akkerbouwgewassen	56%	43%	41%	39%
veehouderijproducten	35%	48%	45%	47%
Productie groenten en fruit	9%	9%	14%	15%
Totale productie	100%	100%	100%	100%
<i>Aandeel in totale productie in GJ:</i>				
akkerbouwgewassen	70%	53%	54%	48%
veehouderijproducten	27%	44%	42%	48%
productie groente en fruit	3%	3%	4%	4%
Totale productie	100%	100%	100%	100%

Vergelijken we de output van de landbouw met de voedselconsumptie, uitgaande van een voedselconsumptie van energetisch gezien 2500 kcal per dag per persoon, dan kunnen we zien in hoeverre de productie van de Nederlandse landbouw voldoende is voor de Nederlandse consumptie. Een voedselconsumptie van 2500 kcal per persoon per dag komt overeen met 0,0105 GJ per dag, dat is per jaar 3,8325 GJ. In de tabel 10 is dit met elkaar vergeleken.

Tabel 10 Nederlandse voedselproductie en voedselconsumptie

	1950	1980	2010	2015
bevolking Nederland	10.026.773	14.091.014	16.574.989	16.900.726
voedselconsumptie	38.427.608 GJ	54.003.811 GJ	63.523.645 GJ	64.772.032 GJ
totale productie	16.077.256 ton	32.886.248 ton	37.966.737 ton	39.302.303 ton
productie per persoon	1,60 ton	2,33 ton	2,29 ton	2,33 ton
energie-inhoud landbouwproductie	64.932.522 GJ	114.118.373 GJ	132.952.305 GJ	134.904.312 GJ
landbouwproductie in GJ / voedselconsumptie in GJ	1,69	2,11	2,09	2,08

De huidige voedselproductie van de Nederlandse landbouw is ruim voldoende om de Nederlandse bevolking te voeden (energetisch gezien). Hier past wel de kanttekening bij dat Nederland ook veel landbouwproducten importeert en exporteert. En verder dat de landbouw

de beschikking heeft over fossiele brandstoffen en veel andere hulpmiddelen. Zou dit allemaal niet het geval zijn, dan zou het grote moeite kosten om de Nederlandse bevolking met onze eigen landbouw te voeden. In die zin biedt het huidige landbouwsysteem geen voedselzekerheid (zie ook hoofdstuk 11).





## **6 Landgebruik en grondstoffen**

### **6.1 Landgebruik**

Ruimte en fossiele energie zijn schaarse hulpbronnen. Zowel de totale oppervlakte grond als de hoeveelheid landbouwgrond per inwoner zijn wereldwijd en in Nederland afgenomen en dreigen schaars te worden. Bovendien is voor ruimte geen alternatief. In dit hoofdstuk komen enkele algemene ontwikkelingen ten aanzien van het landgebruik aan de orde. Vervolgens wordt ingegaan op de grondstoffenvoorziening, de daarbij behorende mijnbouwactiviteiten en het overschakelen op hernieuwbare energiesystemen en de daarvoor benodigde grondstoffen.

De groei van de agrarische productie is gepaard gegaan met een hoger gebruik van fossiele energie en een groter indirect landgebruik. Het directe landgebruik is een gegeven en kan in Nederland niet worden verhoogd. Het indirecte landgebruik kan wel worden vergroot. De totale hoeveelheid ruimte per inwoner in Nederland (inclusief water) is van 6.377m<sup>2</sup> in 1900 gedaald naar 2.458m<sup>2</sup> in 2015. In diezelfde periode ging de hoeveelheid landbouwgrond van 4.085m<sup>2</sup> per inwoner naar 1.090m<sup>2</sup> per inwoner (zie tabel 11).

Tabel 11 Aantal inwoners, totale oppervlakte en oppervlakte landbouwgrond in m<sup>2</sup> per inwoner

jaar	aantal inwoners van Nederland	totale oppervlakte in m <sup>2</sup> per inwoner	oppervlakte landbouwgrond in m <sup>2</sup> per inwoner*)
1900	5.104.000	6.377	4.085
1905	5.460.000	5.965	3.839
1910	5.858.000	5.567	3.624
1915	6.340.000	5.145	3.421
1920	6.754.000	4.834	3.234
1925	7.308.000	4.470	3.032
1930	7.825.000	4.185	2.884
1935	8.392.000	3.923	2.737
1940	8.834.000	3.775	2.631
1945	9.220.000	3.657	2.351
1950	10.026.773	3.541	2.331
1955	10.680.023	3.324	2.160
1960	11.417.254	3.167	2.029
1965	12.212.269	2.952	1.847
1970	12.957.621	2.826	1.652
1975	13.599.092	2.717	1.529
1980	14.091.014	2.646	1.431
1985	14.453.833	2.583	1.394
1990	14.892.574	2.749	1.343
1995	15.424.122	2.661	1.270
2000	15.863.950	2.618	1.241
2005	16.305.526	2.548	1.185
2010	16.574.989	2.506	1.126
2015	16.900.726	2.458	1.090

(bron: samengestelde tabel uit diverse gegevens van het CBS)

\*) Voor de periode 1950 t/m 2015 exclusief niet-voedingsglastuinbouw

De totale oppervlakte per inwoner in 2015 is maar 60% van de hoeveelheid landbouwgrond per inwoner in 1900. Het landgebruik dat nodig is voor voeding ligt tussen ongeveer 1.400 m<sup>2</sup> en 2.100 m<sup>2</sup> per persoon. Bij 16,9 miljoen inwoners in 2015 is dat tussen de 2,4 en 3,5

miljoen ha. De oppervlakte landbouwgrond in Nederland is circa 1,8 miljoen ha in 2015. Deze verhouding tussen de omvang van de Nederlandse bevolking en de hoeveelheid landbouwgrond is ongunstig gezien in het licht van een schaarste aan energie en grondstoffen. Voor het kunnen voeden van de eigen bevolking is de oppervlakte landbouwgrond per inwoner erg krap (zie ook hoofdstuk 11).

De totale oppervlakte van de wereld is 51.006.600.000 ha en daarvan is 14.864.700.000 ha land. Dat is er per inwoner circa 2 ha land en daarvan is weer circa 2.000 m<sup>2</sup> landbouwgrond. De totale landoppervlakte, de oppervlakte landbouwgrond en het percentage landbouwgrond van het totale landoppervlak zijn in tabel 12 vermeld, zowel wereldwijd als voor de EU en voor Nederland.

Tabel 12 Landoppervlaktes in 2015

	totale landoppervlakte	oppervlakte landbouwgrond	landbouwgrond t.o.v. landoppervlakte per gebied
wereld	14.864.700.000 ha	1.500.000.000 ha	10%
Europese Unie	4.448.210.000 ha	178.799.000 ha	4 %
Nederland	3.388.000 ha	1.841.362 ha	54 %

(bron: samengestelde tabel, FAO 2015 en CBS)

Het landoppervlak van Nederland is 3.388.000 ha, dat is 0,023% van de wereldlandoppervlakte. Het landbouwareaal in de wereld is circa 1.500 miljoen ha. Het Nederlandse landbouwareaal van 1,8 miljoen ha is 0,12% van het wereldareaal aan landbouwgrond. De ontwikkeling van de wereldbevolking en de hoeveelheid landbouwgrond in totaal en per persoon zijn in tabel 13 weergegeven voor de periode 1950-2015 en als voorspelling voor de jaren 2025 en 2050.

Tabel 13 Ontwikkeling wereldbevolking en beschikbare oppervlakte landbouwgrond

jaar	wereldbevolking	landbouwgrond	landbouwgrond per persoon
1950	2,5 miljard	1,3 miljard ha	5200 m <sup>2</sup>
1975	4,1 miljard	1,4 miljard ha	3400 m <sup>2</sup>
2000	6,1 miljard	1,5 miljard ha	2500 m <sup>2</sup>
2015	7,2 miljard	1,5 miljard ha	2000 m <sup>2</sup>
2025	8,0 miljard	1,5 miljard ha	1900 m <sup>2</sup> (voorspelling)
2050	9,2 miljard	1,5 miljard ha	1600 m <sup>2</sup> (voorspelling)

(bron: FAO, 2015)

Als voor voeding 1.400 tot 2.100 m<sup>2</sup> per persoon nodig is, dan is ook op wereldschaal de hoeveelheid landbouwgrond per persoon erg krap.

Van de wereldbevolking werkt 30,7% in de landbouw, dat is circa 1,5 mensen per ha. Er zijn wereldwijd circa 570 miljoen landbouwbedrijven, dat is gemiddeld 2,6 ha per bedrijf. Van de 570 miljoen landbouwbedrijven zijn 500 miljoen familiebedrijven, waarvan 475 mln. bedrijven met minder dan 2 ha grond (FAO, 2015). De gemiddelde bedrijfsgrootte in de EU is ongeveer 15 ha; 70% van de bedrijven is kleiner dan 5 ha. De oppervlakte landbouwgrond, de aantallen boeren en de gemiddelde bedrijfsgrootte zijn in tabel 14 weergegeven, zowel wereldwijd als voor de EU en voor Nederland.

Tabel 14 Oppervlakte landbouwgrond, aantal landbouwbedrijven en gemiddelde bedrijfsgrootte

	oppervlakte landbouwgrond	aantal landbouwbedrijven	gemiddelde bedrijfsgrootte
wereld	1.500.000.000 ha	570.000.000	2,6 ha
EU	175.000.000 ha	12.000.000	14,6 ha
Nederland	1.841.362 ha	64.000	28,8 ha

(bron: samengestelde tabel CBS, Eurostat en FAO)

De gemiddelde bedrijfsgrootte in Nederland is ongeveer het dubbele van de gemiddelde bedrijfsgrootte in de EU en is ruim tien keer het wereldgemiddelde.

De hoeveelheid landbouwgrond in de wereld kan niet zomaar worden uitgebreid. Van de oppervlakte land is circa 20% eventueel geschikt voor landbouw, waarvan ongeveer de helft nu al in gebruik is en de andere helft voornamelijk bestaat uit bos. De overige 80% ligt in een te koud klimaat of het is te droog of te nat of het ligt op te steile hellingen. Daarnaast gaan elk jaar ook nog grote hoeveelheden landbouwgrond verloren door mijnbouw, erosie, verwoestijning en aanleg van steden en overige infrastructuur. Per jaar gaat er 24 miljard ton vruchtbare bodem verloren door verkeerd gebruik (Soil Atlas, 2015).

Gemiddeld verdwijnt er elk jaar 13 miljoen ha bos, waarvan 6,5 tot 11 miljoen ha ten behoeve van de landbouw (o.a. rubberplantages, palmolie, soja), ruim 1 miljoen ha door verstedelijking en 0,4 tot 1 miljoen ha door mijnbouw (World Resources Institute, 2017).

Er is nu wereldwijd gemiddeld 2 ha per persoon aan landoppervlakte beschikbaar. De mondiale voetafdruk per inwoner voor Nederland is 4,7 ha (dat is 19 keer de totale beschikbare ruimte per inwoner in Nederland). De ecologische voetafdruk verschilt nogal per land, een Afrikaan gebruikt bijvoorbeeld 0,5 tot 1 ha, een Europeaan 5,1 ha en een Noord Amerikaan 10 ha. Er is bijna 10 miljoen ha nodig voor de Nederlandse consumptie, waarvan 8,5 miljoen ha buiten Nederland (Planbureau voor de Leefomgeving, 2012). Van deze 10 miljoen ha is 4,6 miljoen ha nodig voor landbouw (oliegewassen, vlees, soja en cacao) en 4,3 miljoen ha voor bosbouw.

Voor Nederland is ongeveer 2 miljoen ha landbouwgrond nodig voor de productie van vlees, eieren en zuivel. Bijna de helft van het Nederlandse landbouwareaal wordt gebruikt voor agrarische exportproducten. Cacao, soja en palmolie zijn de drie belangrijkste agrarische grondstoffen op basis van importwaarde. Een groot deel van de geïmporteerde soja wordt weer geëxporteerd.

Het landgebruik voor de Nederlandse voedselconsumptie is ruim 4 miljoen ha en circa 1 miljoen ha is voor andere producten zoals katoen voor kleding, oliën en vetten voor cosmetica en verzorging;

Van het totale gebruik van landbouwgrond voor de Nederlandse consumptie in 2010 lag:

- ruim 1 mln. ha in Nederland;
- 1,8 mln. ha in Europa (vooral voor granen);
- 1,3mln ha in Zuid- en Centraal Amerika (vooral voor soja);
- 0,5mln ha in Azië (voor o.a. palmolie)

## 6.2 Grondstoffen

De import van grondstoffen in Nederland vindt plaats in de vorm van grondstoffen, halffabricaten en eindproducten. De indirecte import van grondstoffen in de vorm van halffabricaten en eindproducten is drie keer zo hoog als die van grondstoffen Als een product

uit meerdere materialen bestaat wordt een zwaartepunt typering gegeven (letterlijk het materiaal met het meeste gewicht).

In 2014 werd 189 miljoen ton aan ruwe grondstoffen geïmporteerd (voornamelijk kolen, aardolie, ijzererts, metalen en biomassa). De winning in Nederland was 132 miljoen ton (grotendeels aardgas en zand en grind). De export was 105 miljoen ton.

Nederland importeert de volgende grondstoffen uit het buitenland voor binnenlands gebruik:

- biomassa: gewassen, bijvoorbeeld tarwe en sojabonen voor veevoer, landbouwproducten i.h.a. en hout;
- metalen: ijzererts en non ferro metalen (bijvoorbeeld koper, zink);
- niet metallische mineralen: overige anorganische delfstoffen, bijvoorbeeld krijt, kalksteen, zout, zand, grind;
- fossiele brandstoffen: steenkool, ruwe aardolie, gas, turf.

Naast biomassa zijn er grondstoffen die de natuur nodig heeft voor het in stand kunnen houden van levende organismen: ijzer, silicium, koolstof, magnesium, natrium, kalium, calcium, stikstof, zuurstof, fosfor, zwavel, waterstof. Voor de voedselketen zijn ook fosfaat, kalium, zink, molybdeen, borium en selenium belangrijk.

De Nederlandse handelsbalans is negatief in termen van fysieke stromen. Nederland importeert meer materiaal dan het exporteert. In Nederland vindt relatief veel omzetting plaats van ruwe materialen naar halffabricaten of producten met een hogere waarde, die vervolgens worden geëxporteerd. Hiermee verdient Nederland geld aan stromen die leiden tot emissies en landgebruik en de daaraan gekoppelde effecten in andere regio's. Nederland exporteert iets meer broeikasgassen dan het importeert en heeft dus een positieve emissie-handelsbalans. Dit betekent dat de emissies die in Nederland ontstaan iets hoger liggen dan de emissies gekoppeld aan de Nederlandse consumptie.

Het geïmporteerde landoppervlak is 4,8 keer het Nederlandse landoppervlak, waarvan ongeveer de helft ten behoeve van de eigen consumptie. Het geëxporteerde landoppervlak is kleiner dan het geïmporteerde landoppervlak.

De belangrijkste materialen voor onze economie zijn ijzer, koper en aluminium. Van groot belang zijn ook silicium, goud, zilver en belangrijke legeringselementen als nikkel, tin, magnesium en zink. De groep zeldzame aardmetalen lanthaan, cerium, neodymium, praseodymium en scandium zijn ook belangrijk voor de Nederlandse economie.

Het aandeel van de Nederlandse grondstoffenimport t.o.v. de wereldproductie varieert afhankelijk van de grondstof van 0,5% tot 12%. Voor ijzer is het bijvoorbeeld circa 4%. Nederland haalde in 2015 68% van zijn grondstoffen uit het buitenland. Van de 54 kritieke materialen (schaarse grondstoffen die essentieel zijn voor bepaalde industrietakken en waarvan de leveringszekerheid laag is) moet 90% worden geïmporteerd.

Door vermindering van de leveringszekerheid zijn momenteel 20 materialen als kritiek aangemerkt. In het beleid van de Rijksoverheid wordt hier aandacht aan besteed in o.a.:

- de Grondstoffennotitie, 15 juli 2011 (kamerstuk 32852, nr. 1)
- het Programma Van Afval naar Grondstof, 28 januari 2014 (kamerstuk 33043, nr. 18)
- de Voortgangsrapportage van Afval naar Grondstof, 15 april 2014 (kamerstuk 33043, nr. 28)

Een grondstof is kritiek als het ermee verbonden economisch belang groot is en als er redenen zijn te vermoeden dat de leveringszekerheid laag is. De elektronische industrie, de elektrische apparatenindustrie, de transportmiddelenindustrie en de categorie overige industrie (o.a. sieraden, spellen, sportartikelen, meubels) en fabrikanten van metaalproducten en de machinebouw hebben daar het meeste last van. Daarnaast zijn er conflictmaterialen die door gewelddadige groepen in conflictgebieden op de internationale markt worden gebracht. Europese smelterijen en raffinaderijen zijn in de EU verplicht inzage te geven in de herkomst van hun grondstoffen.

Van belang voor de leveringszekerheid zijn:

- de geologische beschikbaarheid;
- de mijnbouwcapaciteit;
- de transportkosten in relatie tot de waarde

Als economische reserve wordt aangemerkt de verhouding tussen de reserve (R) en de productie (P): de R/P verhouding. Veel grondstoffen worden echter gewonnen als bijproduct van andere ertsen, dit relativeert de betekenis van een R/P-verhouding.

Bij de import en export zijn circa 400 materiaalgroepen te onderscheiden en binnenlandse winning (biomassa, gas, zand). Naast een hogere milieudruk is ook sprake van een toenemende aantasting en uitputting van het natuurlijk kapitaal, verlies aan biodiversiteit, dreigende grondstofuitputting en klimaatverandering. Milieu- en gezondheidsschade zijn onvoldoende doorberekend in de kosten van grondstoffen en producten.

### 6.3 Mijnbouw

Op de wereld bestaan miljoenen mijnbouwlocaties. Mijnbouw is niet duurzaam, want er worden eindige niet hernieuwbare voorraden opgemaakt. Van alle materialen wordt 96% van het gewicht gewonnen in dagbouw. De wereldmijnbouw wordt gedomineerd door de productie van ijzererts; de productie van ruim 1 miljard ton ijzererts beslaat 67% van alle mineralen uit mijnbouw. Verder komt 95% van de productie van alle mijnbouw voor rekening van 6 mineralen (ijzererts 67%, kalkzandsteen 11%, gips 5%, silica 5%, bauxiet 4%, fosfaaterts 3%, overige 5%) (TNO, 2015). Veel minerale grondstoffen worden gewonnen als bijproducten (companions) van andere grondstoffen (hosts). Exploitanten van bijproducten kunnen dus niet zelfstandig reageren op marktomstandigheden. Companionality van grondstoffen is de mate waarin de winning van een metaal verantwoordelijk is voor het afdekken van de kosten van een mijnbouwoperatie.

De hoeveelheden afval zijn bij dagmijnbouw vaak een veelvoud van de hoeveelheden gewonnen erts. Voor schachtmijnbouw is dit gunstiger. Voor elke ton erts moet bij dagmijnbouw bijna 3 ton aan bodem en gesteenten worden verwijderd. De raffinage van erts levert giftig afval op. Hoge grondstoffenprijzen maken het winstgevend om mijnen met een lage ertsinhoud te openen of te heropenen. Ertsen worden met chemicaliën behandeld om de grondstoffen er uit te halen. Het chemisch afval komt vaak in grote opslagbekkens. De milieueffecten van de grondstoffenwinning kunnen wel worden verminderd, maar niet worden opgeheven. Door de afnemende ertsgehalten nemen de hoeveelheden afval toe. Bij het winnen van bouwgrondstoffen zoals zand, steen en gravel wordt de meeste aardmassa verplaatst. Maar door de complexe samenstelling van metaalertsen en het gebruik van chemicaliën bij de raffinage om de metalen te ontsluiten kunnen de negatieve milieueffecten van het winnen van metalen veel groter zijn dan die van het winnen van bouwgrondstoffen. Bij het winnen van

koper komt bijvoorbeeld meer dan 99,5% van het gegraven materiaal gedurende het proces als afval vrij. In een gemiddelde Canadese metaalmijn blijft gemiddeld 2% van het vergraven materiaal als metaal over.

Door het onttrekken van mineralen aan de bodem wordt de wereldgrondstoffenvoorraad niet alleen kleiner, maar verslechtert deze ook in kwaliteit. Dit komt omdat men altijd begint met de rijkste ertsen. Als die op zijn zoekt men een iets minder rijk erts. In het bronstijdperk waren er koperertsen met tientallen procenten koper. Een eeuw geleden was deze concentratie gezakt tot enkele procenten en thans is de gemiddelde concentratie 0,7%. Als de ertskwaliteiten achteruit gaan, is er meer energie nodig om metalen te winnen uit de ertsen terwijl we tegelijkertijd meer metalen nodig hebben voor de energietransitie die nodig is om het klimaatprobleem het hoofd te bieden. Watergebruik, ruimtelijke ordening en milieueffecten leggen additionele beperkingen op aan de productie van metalen. Er zijn dus elkaar versterkende grenzen aan de groei. De hoeveelheid energie per eenheid metaal zal toenemen, maar ook de hoeveelheid metaal nodig om het metaal te winnen. Economische groei is op deze wijze niet vol te houden. Er kan metaalschaarste ontstaan door de energietransitie van fossiele (niet-hernieuwbare) naar hernieuwbare energiebronnen.

Materialen met een relatief lage milieu-impact kunnen absoluut gezien toch een grote bijdrage leveren vanwege het grote volume: o.a. (giet)ijzer, aluminium, titaanoxide, koper. Van sommige metalen zijn maar kleine hoeveelheden nodig, maar deze zijn wel essentieel voor het functioneren van het product. Veel van deze metalen worden niet op zichzelf gewonnen maar zijn bijproducten van de winning van metalen als zink en nikkel. Tellurium is een essentiële component in zonneceltechnologie. Het is een raffinagebijproduct bij sommige koperwinningen. Indium komt vrij bij de raffinage van zink. Het apart winnen van deze metalen loont nog niet. Het is nu nog een functie van de vraag naar koper en zink.

Zeldzame aardmetalen zijn bijna overal in de aardkorst aanwezig. Ze komen echter nogal verspreid voor en zelden in economisch winbare concentraties. Zeldzame aardmetalen zijn nodig voor allerlei toepassingen in elektronica. De winning vindt plaats door fracking met water en het afgraven van bergen en levert vele tonnen zwaar giftig afval op. Elke 1000 ton hoogwaardige aardmetalen levert 2000 ton radioactief en vloeibaar chemisch afval op. Essentiële componenten voor elektrische auto's, windturbines, zonnecellen, smartphones en computers bevatten zeldzame aardmetalen. Windmolens hebben sterke permanente magneten op basis van zeldzame aardmetalen of ze hebben elektromagneten. Een windmolen van 3,5 MW bevat ongeveer 600 kg aan zeldzame aardmetalen, vooral in de vorm van neodmium en dysprosium. Neodmium zit o.a. ook in harde schijven en batterijen van elektrische auto's. Nieuwe technieken geven andere effecten. Bijvoorbeeld de elektrische auto geeft minder olie-afhankelijkheid, maar meer lithiumafhankelijkheid. Bij het toepassen van meer hernieuwbare energiebronnen is ook meer mijnbouw nodig. De metalen die nodig zijn voor "schone" energie hebben zelf een grote milieu-impact.

De schattingen van het energiegebruik door mijnbouw lopen uiteen van 7% tot 10% van het wereldenergiegebruik (United Nations Environment Programme, International Resource Panel, 2013). Omdat de ertsgehalten in 1950 hoger waren dan in 2015, kostte het winnen van grondstoffen in 1950 minder energie. Het wereldenergiegebruik ten behoeve van de mijnbouw is berekend op basis van een aandeel van 4% in 1950 oplopend tot 9% in 2015. Het energiegebruik van Nederland is over de hele periode 1950 t/m 2015 ongeveer 1% van het wereldenergiegebruik. Het energiegebruik van Nederland voor mijnbouw is ook berekend op basis van 1% van het wereldenergiegebruik voor mijnbouw. Vervolgens is het energiegebruik

voor mijnbouw ten behoeve van de landbouw bepaald op basis van het aandeel directe energiegebruik van de landbouw in het totale directe energiegebruik van Nederland.

Mijnbouw heeft een relatief klein landgebruik ten opzichte van bijvoorbeeld landbouw. De effecten op het milieu kunnen zich wel over grote gebieden uitstrekken. Milieueffecten en sociale effecten van in het bijzonder dagmijnbouw zijn regionaal/lokaal. Op de internationale markt wordt de vraag naar grondstoffen bepaald. Hier kan men op regionaal niveau niet in sturen. Er is daardoor geen directe relatie tussen oorzaak en gevolg. Sociale effecten en milieueffecten treden op in het land van herkomst en niet bij de eindgebruikers. De baten van mijnbouw komen ten goede aan de hele wereld, de negatieve effecten blijven lokaal en/of regionaal. Verder zijn van belang de arbeidsomstandigheden en de gezondheid van de mijnwerkers en de bevolking en het ethische aspect van het op grote schaal weghalen van grondstoffen uit minder ontwikkelde landen.

Geschat wordt dat mijnbouwactiviteiten tussen de 0,2% (Worrell, 1997) en minder dan 1% (Soil Atlas, 2015) van het wereldlandoppervlak beslaan, dat is tussen de circa 30 miljoen ha en circa 150 miljoen ha. Bij alle mijnbouwactiviteiten moet grond worden verplaatst. Douglas en Lawson vermelden bijvoorbeeld 57 miljard ton per jaar (Douglas et al., 2000). Wereldwijd wordt er tussen de 50 en 60 miljard ton aarde per jaar verplaatst. Deze ontwikkeling is als volgt geweest (bron: Mining Journal):

1900: circa 5 miljard ton

1950: circa 12 miljard ton

2005: circa 50 miljard ton

2015: circa 60 miljard ton

Uitgaande van een grondverplaatsing van 0,5 miljard ton in 1800 en een lineair oplopende hoeveelheid tot 5 miljard ton in 1900, 12 miljard ton in 1950, 50 miljard ton in 2005 en 60 miljard ton in 2015 is dan over deze 215 jaar circa 2.955 miljard ton aarde vergraven voor mijnbouw. Uitgaande van een oppervlakte van 0,2% van het wereldlandoppervlak, zijnde circa 30 miljoen ha en een soortelijke massa van 2 ton/m<sup>3</sup>, komt dat overeen met een gemiddelde diepte van 5 meter. Er is dan 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, zijnde 10 ton/m<sup>2</sup> gemiddeld weggegraven. Een verplaatsing van 60 miljard ton per jaar geeft dan een landgebruik van 6 miljard m<sup>2</sup>, dat is 600.000 ha. Als uitgangspunt is genomen dat de helft van de oppervlakte kan worden hersteld. Het indirecte cumulatieve landgebruik van mijnbouw is dan wereldwijd 300.000 ha per jaar (in 2015).

Door watererosie wordt naar schatting elk jaar 53 miljard ton aarde verplaatst; dat is in eenzelfde orde van grootte als de grondverplaatsing door mijnbouwactiviteiten (McNeill, 2000).

Door de stijgende vraag naar grondstoffen en door de steeds lagere ertsgehaltenes neemt het landgebruik door mijnbouw nog steeds toe. De effecten op het ecosysteem vinden plaats over een veel grotere oppervlakte dan dat van de mijnbouwlocatie zelf. Het gaat om het landgebruik van de mijnbouwinfrastructuur, het mijnbouwafval, de opslagbekkens voor vervuild water, de transportinfrastructuur en de milieueffecten van het geheel. Het landgebruik hiervan wordt ook gesteld op 300.000 ha. In 2015 is het reguliere indirecte landgebruik van mijnbouw dan 300.000 ha. De hoeveelheden vergraven aarde en het daarmee gepaard gaande landgebruik ten behoeve van de landbouw zijn ook weer bepaald op basis van een aandeel van 1% van Nederland in de wereldmijnbouw en vervolgens het aandeel van het directe energiegebruik van de landbouw in het totale directe energiegebruik van Nederland.

Arbeidsomstandigheden van mijnwerkers zijn al lang een probleem van politieke strijd, bijvoorbeeld in de negentiende eeuw in Engeland (Royal Commission Report into coalmining practices in England, 1842). Door de verschuiving naar landen met lagere lonen en slechtere arbeidsomstandigheden is dit nu ook buiten ons zicht geraakt; naar schatting zijn in 2015 circa 15.000 mensen omgekomen bij mijnbouwwerkzaamheden (bron: realtime tijd klok). In 2010 werkten naar schatting 3,7 miljoen mensen in de formele/grootschalige mijnbouwsector (LSM, Large Scale Mining), waarvan ongeveer 1,5 miljoen in de ontwikkelde landen en ongeveer 2,2 miljoen mensen in ontwikkelingslanden (bron: Miningfacts.org). Het aantal mensen werkzaam in de mijnbouw in de ontwikkelde landen neemt af en het aantal mensen werkzaam in de mijnbouwsector in ontwikkelingslanden neemt toe. Dit laatste komt ook omdat in deze landen nog steeds nieuwe mijnbouwprojecten worden opgestart. Volgens de Industrial Global Union (vertegenwoordigt 50 miljoen werknemers in 140 landen) is de kleinschalige informele mijnbouw de belangrijkste inkomstenbron voor circa 100 miljoen mensen. Wereldwijd werken er ongeveer 10 miljoen mensen in steenkolenmijnen.

In de kleinschalige informele mijnbouw (ASM, Artisanal & Small-scale Mining) werkten in 1999 naar schatting 13 miljoen mensen en 80 tot 100 miljoen mensen in de toelevering (Hentschel, 2002). In 2011 waren dit naar schatting 25 miljoen mensen die werkten in de kleinschalige informele mijnbouw en 150 tot 170 miljoen mensen in de toelevering (Hruschka, 2011). In de kleinschalige informele mijnbouw is vaak sprake van seizoenarbeid.

Het aantal werkers in de toelevering aan de mijnbouwsector is veel groter dan het aantal werkers in de mijnbouwsector zelf. In de analyses van concrete mijnbouwprojecten varieert het aantal indirecte banen tussen de 3 en 14 keer het aantal directe banen. Ook voor de formele grootschalige mijnbouw is het aantal mensen werkzaam in de toelevering veel groter dan het aantal mensen dat in de mijnbouw zelf werkt.

Voor de arbeid in de mijnbouw is voor de situatie in 2015 uitgegaan van:

- 3,7 miljoen mensen werkzaam in de formele mijnbouwsector;
- 12,5 miljoen mensen in de informele/kleinschalige mijnbouwsector;
- 100 miljoen mensen werkzaam in de toelevering.

Dit is in totaal 116 miljoen mensen. Hiermee is (op basis van de hoeveelheden verplaatste aarde) teruggerekend naar 1950. Toen was er minder technologie, maar de ertsgehaltenes waren hoger en het energiegebruik nodig voor mijnbouw was lager (zowel absoluut als relatief).

#### **6.4 Een onmogelijk energiestenariio**

Fossiele brandstoffen en brandbare hernieuwbare grondstoffen voorzien voor ongeveer 85% in onze energie (EIA, 2017). Het produceren van het overige deel met waterkracht, wind en zon vergt veel beton, staal en vele andere elementen. De bulk van ons voedsel wordt op dit moment geproduceerd met behulp van voornamelijk fossiele brandstoffen, fosfaaterts, stikstof uit de lucht, staal en beton. Niet alle toepassingen van hernieuwbare energie zijn materiaal-intensiever dan die van de niet-hernieuwbare energie. Voor waterkracht en afval van biomassa zijn relatief weinig metalen nodig. Voor het verbouwen van biomassa zijn metalen nodig voor de productie van landbouwmachines en voor de fabrieken van kunstmest.

Hoewel bij het toepassen van hernieuwbare energie gebruik wordt gemaakt van onuitputtelijke bronnen zal er wel schaarste aan materiaal en afhankelijkheid van internationale leveranciers en energietechnologie ontstaan.



Producten zijn ook steeds ingewikkelder geworden omdat er steeds meer verschillende grondstoffen in zijn verwerkt; bijvoorbeeld aan staal worden allerlei metalen toegevoegd. Een toename van de vraag naar bepaalde metalen vergt ook een grotere mijnbouwinfrastructuur. Het duurt echter wel vijf tot tien jaar om een nieuwe locatie voor mijnbouw en raffinage op te starten. Dit vertraagt op zich al een transitie naar een ander energiesysteem

Een omschakeling van het huidige energiesysteem naar hernieuwbare energiebronnen leidt tot een grotere vraag naar ijzer, beton, nikkel, zilver, molybdeen, en in mindere mate koper en aluminium. Bij het toepassen van wind en zon zijn de metalen voornamelijk nodig voor de productie van de windturbines en zonnecellen zelf. Het overschakelen van niet-hernieuwbare energiebronnen naar hernieuwbare energiebronnen betekent het overschakelen van geconcentreerde energiebronnen naar diffuse energiebronnen. Dit gaat gepaard met een grote toename van de vraag naar grondstoffen die niet in voldoende hoeveelheden aanwezig zijn en waarvan de winning veel negatieve milieueffecten veroorzaakt.

Om een idee te krijgen van de materiaalintensiteit van het toepassen van hernieuwbare energiebronnen is uitgerekend wat dit betekent voor de materiaalbehoefte. Dit is een energiescenario voor het jaar 2030 voor de hele wereld, waarbij geen fossiele energie meer wordt gebruikt. De benodigde energie zou dan kunnen worden opgewekt met het volgende opgestelde vermogen (Diederer, 2009):

- 490.000 getijdenturbines van 1 MW;
- 5.350 geothermische installaties van 100 MW
- 900 waterkrachtcentrales van 1300 MW;
- 3.800.000 windturbines van 5 MW;
- 720.000 golfenergiecentrales van 0,75 MW;
- 1.700.000.000 fotonvoltaïsche systemen op daken van 0,003 MW;
- 49.000 installaties voor geconcentreerde zonne-energie van 300MW;
- 40.000 fotonvoltaïsche krachtcentrales van 300MW

Dit geeft in totaal een geïnstalleerd vermogen van 42.735.000 MW. Dit is ongeveer 1400 keer het huidige opgestelde elektrisch vermogen in Nederland (orde van grootte). In tabel 15 is voor een aantal materialen aangegeven hoeveel er dan nodig is, wat de huidige jaarproductie is en hoe deze jaarproductie zich verhoudt ten opzichte van deze vraag.

Tabel 15 Materiaalbehoefte van een op hernieuwbare energie gebaseerd energiesysteem

grondstof	nodig	huidige productie	huidige productie t.o.v. de vraag in dit energiescenario
Neodymium	3.000.000 ton	18.000 ton/jaar	0,6%
Gallium	90.000 ton	100 ton/jaar	0,1%
Indium	500.000 ton	600 ton/jaar	0,12%
Tellurium	800.000 ton	450 ton/jaar	0,056%
Ruthenium	17.000 ton	40 ton/jaar	0,235%

(bron: Diederer, 2009)

De hoeveelheden aan benodigde grondstoffen overtreffen vele malen de huidige jaarproducties. En deze vraag is dan nog los van de vraag naar deze zelfde grondstoffen voor alle automatisering, telefoontjes, iPhones, elektrische auto's en alle andere elektronica. Deze vraag is dan zo groot dat het niet mogelijk is er aan te voldoen. De benodigde grondstoffen raken op, het is gewoon niet mogelijk. Het meer gaan toepassen van hernieuwbare energie en elektronica leidt tot een versnelde uitputting van grondstoffen. Materiaalschaarste en

energieschaarste versterken elkaar. De meest realistische oplossing is om het gebruik van energie en grondstoffen drastisch te verminderen.

## 6.5 Resultaat landgebruik en grondstoffen

In tabel 16 zijn vermeld de oppervlakte landbouwgrond in Nederland per inwoner en de hoeveelheden vergraven aarde, het energiegebruik, het indirect landgebruik en de indirecte arbeid van de mijnbouw ten behoeve van de landbouw in Nederland.

Tabel 16 Resultaten landgebruik en grondstoffen

	1950	1980	2010	2015
<i>landgebruik:</i>				
landbouwgrond Ned.	2.331 m <sup>2</sup> /inw.	1.431 m <sup>2</sup> /inw.	1.126 m <sup>2</sup> /inw.	1.090 m <sup>2</sup> /inw.
<i>mijnbouw:</i>				
vergraven aarde	5.640.000 ton	12.870.000 ton	18.887.000 ton	24.000.000 ton
energiegebruik	1,937152 PJ	7,414758 PJ	16,906500 PJ	21,850632 PJ
indirect landgebruik	56 ha	2.049 ha	4.579 ha	5.141 ha
indirecte arbeid	10.885 a.j.e.	24.839 a.j.e.	36.452 a.j.e.	46.320 a.j.e.

De activiteiten van mijnbouw bevinden zich voor een groot deel in het buitenland.

## **7 Directe energie**

### **7.1 Het directe energiegebruik**

Voor de bepaling van het directe energiegebruik is uitgegaan van de energiebalans van Nederland (CBS, 2016). Deze is als volgt opgebouwd:

Het aanbod van energie:

- winning in Nederland;
- plus invoer;
- minus uitvoer;
- plus of minus bunkering/voorraadmutatie;

geeft:

Verbruikssaldo: is het aanbod van primaire energie:

- minus totaal saldo energie-omzetting;
- minus eigen gebruik energiesector;
- minus verliezen bij distributie

geeft het finaal energiegebruik: dit is dan nog weer uitgesplitst in een energetisch gebruik en een niet-energetisch gebruik.

Voor de energie-omzetting geeft de energiebalans cijfers over:

- de inzet van energiedragers voor omzetting (de hoeveelheid energie die is gebruikt om andere energiedragers van te maken);
- de productie van energie na de omzetting (de hoeveelheid energie die is gemaakt uit andere energiedragers);
- het saldo van inzet en productie. Dit saldo van energie-omzetting is te beschouwen als het verlies van energie bij de omzetting.

Vervolgens bestaat het finaal gebruik van energie uit:

- het eigen gebruik van de energiesector;
- de distributieverliezen;
- het finaal gebruik van de energie-afnemers.

Dit laatste bestaat uit een energetisch en een niet energetisch gebruik. Dit laatste is het gebruiken van een energiedrager voor het maken van een product dat geen energiedrager is (bijvoorbeeld kunststoffen uit aardolie). De gegevens zijn beschikbaar vanaf 1995 en daarvoor fragmentarisch, maar wel af te leiden uit de cijfers voor de verschillende energiegrondstoffen. Hieruit zijn de totale energiegebruiken afgeleid, nl. het primaire energiegebruik (het verbruikssaldo) en het finale energiegebruik (het energiegebruik door de eindgebruiker).

Vanaf 1995 zijn het eigen gebruik van de energiesector en de verliezen bij de distributie ook meegerekend. Het niet-energetische finaal gebruik varieert van 17% in 1975 tot 23% in 2015. Voor de periode 1950 tot 1970 is het niet geregistreerd.

Voor de Nederlandse landbouw is de aanname gedaan dat alle finale gebruik energetisch is. Wel zijn er indirect niet-energetische finale gebruiken, bijvoorbeeld het gebruik van aardgas in de kunstmestindustrie. Tussen het primaire energie-aanbod en het finale energiegebruik gaat energie verloren. Voor de periode 1995 t/m 2015 zijn alle cijfers van de energiebalans

bekend en schommelt de verhouding tussen het primaire energie-aanbod en het finale energieverbruik steeds tussen 1,27 en 1,32 met een gemiddelde van 1,29. De cijfers voor het finale energiegebruik zijn derhalve met een factor 1,29 opgehoogd om het primaire energiegebruik te bepalen. Dit is een gemiddelde voor alle energiedragers.

Per energiedrager verschillen deze factoren. Op basis van de energiebalans is de factor primaire energie-aanbod/finaal gebruik als volgt:

Voor kolen: 1,06

Voor aardolie: 1,23

Voor aardgas: 1,48

E.e.a. hangt ook af van de toepassingen per energiedrager: het wel of niet gebruiken voor elektriciteitsopwekking, het wel of niet energetische gebruik.

Daarnaast moet het primaire energiegebruik (het aanbod van energie) ook nog worden opgehoogd voor de energiehoeveelheid die nodig is geweest om dit aanbod te kunnen realiseren.

Dit kan op twee manieren:

- een aparte calculatie voor de energiekosten tot aan het aanbod van primaire energie;
- de energie-inhoud (of de verbrandingswaarde) van een energiedrager ophogen met een bepaalde factor voor winning, transport, raffinage, etc.

Voor de periode 1990 t/m 2015 is het directe energiegebruik van de glastuinbouw bekend. Dit is gemiddeld 78% van het totale directe energiegebruik in de landbouw. Voor de periode 1950 t/m 1985 is de aanname gedaan dat het directe energiegebruik van de glastuinbouw ook 78% is van het totale directe energiegebruik in de landbouw. Hiermee is dan het directe energiegebruik van de glastuinbouw voor de periode 1950 t/m 1985 berekend. Op basis van het aandeel voedingsglastuinbouw in de totale glastuinbouw is het directe energiegebruik van de voedingsglastuinbouw berekend. Het totale directe energiegebruik van de landbouw (exclusief de niet-voedingsglastuinbouw) is dan gelijk aan het directe energiegebruik van de voedingsglastuinbouw en het directe energiegebruik van de landbouw exclusief glastuinbouw.

Op basis van het totale directe energiegebruik van de landbouw (exclusief niet-voedingsglastuinbouw) kan het aandeel van de landbouw in het totale directe energiegebruik van Nederland worden bepaald. Dit is gedaan op basis van de finale gebruiken. Omdat de ophogingsfactoren van finaal gebruik naar het verbruikssaldo hetzelfde zijn voor de gehele energiebalans maakt dit voor het procentuele aandeel van de landbouw geen verschil. Van de belangrijkste energiedragers worden vooral kolen en aardolie voor een belangrijk deel geïmporteerd. De energetische winningskosten van deze energiedragers zitten niet in de energiebalans van Nederland. Voor de overige energiedragers is de aanname gedaan dat ze geheel of grotendeels in Nederland worden gewonnen en dat de energetische winningskosten dus in de nationale energiebalans zijn verwerkt.

### ***Steenkool***

In de periode 1950 – 1970 werd veel steenkool in Nederland gewonnen. Daarna worden de kolen ingevoerd. Er worden ook weer kolen uitgevoerd. Daarom is uitgegaan van de invoersaldi. Deze worden geacht te zijn gebruikt in Nederland en de aanname is gedaan dat deze kolen in het buitenland zijn gewonnen. Verder is de aanname gedaan dat de kolen voor de landbouw ten opzichte van het totale steenkoolgebruik overeen komen met het aandeel van

het directe energiegebruik van de landbouw (exclusief de niet-voedingsglastuinbouw ) in het totale directe energiegebruik van Nederland.

### **Aardolie**

Gedurende de gehele periode 1950 t/m 2015 vond winning van aardolie in Nederland plaats en daarnaast ook invoer en uitvoer. De invoer en uitvoer waren veel groter dan de winningen in eigen land. Ook hier is op dezelfde wijze uitgegaan van het invoersaldo.

Op basis van de hoeveelheden kolen en aardolie volgens de invoersaldi (in PJ) is berekend wat de energetische winningskosten in het buitenland zijn van steenkool en aardgas. Dit is gedaan door van een oplopende EROEI uit te gaan voor de periode 1950 t/m 2015: voor 1950 100:1 evenredig oplopend tot 100:14 in 2011 t/m 2015. De hiermee berekende winningskosten zijn aan de landbouw toegerekend op basis van het aandeel van het energiegebruik in de landbouw in het totale gebruik in Nederland. De aldus verkregen energiegebruiken zijn opgeteld bij het primaire energiegebruik van de landbouw. Daarmee is het totale energiegebruik van de landbouw (exclusief niet-voedingsglastuinbouw) vastgesteld (zie tabel 17).

Tabel 17 Energiegebruik Nederland en landbouw in PJ en aandeel landbouw

jaar	verbruikssaldo* = aanbod alle energiedragers, totaal Nederland	finale gebruik totaal Nederland	totaal energiegebruik landbouw exclusief niet-voedings- glastuinbouw**	aandeel energiegebruik landbouw in het totale energiegebruik
1950	582	506	27,4	4,7%
1955	724	630	41,9	5,7%
1960	920	800	64,1	6,8%
1965	1.293	1.124	95,1	7,1%
1970	2.016	1.738	126,0	6,0%
1975	2.482	2.136	112,9	4,4%
1980	2.723	2.331	112,2	3,9%
1985	2.558	2.175	115,4	4,3%
1990	2.870	2.238	122,8	4,1%
1995	3.106	2.435	133,2	4,0%
2000	3.157	2.481	122,5	3,6%
2005	3.408	2.670	118,9	3,2%
2010	3.485	2.737	127,5	3,4%
2011	3.235	2.511	119,7	3,4%
2012	3.228	2.530	127,3	3,6%
2013	3.206	2.524	129,5	3,7%
2014	3.045	2.328	122,4	3,6%
2015	3.075	2.334	135,6	4,0%

\* het verbruikssaldo is exclusief de energetische winningskosten van steenkool en aardolie in het buitenland

\*\* is inclusief de energetische winningskosten van steenkool en aardolie in het buitenland

Buiten beschouwing zijn gelaten de import van elektriciteit, terug gerekend naar primair gebruik en de (energetische) winningskosten daarvan. Het directe energiegebruik van de landbouw loopt op van 27,4 PJ in 1950 tot 135,6 PJ in 2015. In 1995 was het energiegebruik van de glastuinbouw het hoogste, met een gebruik van 140,3 PJ (dit is de hele glastuinbouw, dus inclusief niet-voedingsglastuinbouw). Daarna daalt het totale energiegebruik van de landbouw enigszins. Dit komt door de netto levering van elektriciteit door de glastuinbouw (orde van grootte schommelt tussen de 8 en 14 PJ per jaar). Het aandeel van het directe

energiegebruik van de landbouw in het totale directe energiegebruik van Nederland ligt tussen de 3% en 7%. Het aandeel van de glastuinbouw is circa 80% van het totale directe energiegebruik in de landbouw. Omdat tegenwoordig van de glastuinbouw een groot deel is bestemd voor bloemen en andere niet-voedings artikelen, is voor het directe energiegebruik van de glastuinbouw alleen het voedingsgedeelte meegerekend.

## **7.2 De winning van energiegrondstoffen en de energievoorziening**

Steenkool, aardolie en aardgas zijn energiebronnen die in de loop van zeer lange tijden zijn gevormd uit planten, bomen en ander organisch materiaal. Dat gebeurde tijdens het Carboon, waarin op de aarde meer organisch materiaal werd gevormd dan er werd afgebroken. Dat organisch materiaal is in de aarde opgeslagen. Steenkool vindt men in het algemeen in uitgestrekte lagen op meer of minder grote diepte. Aardolie komt meestal voor in begrensde reservoirs in poreuze zand- of gesteenteformaties. Dit is hetzelfde bij aardgas.

De kenmerken van steenkolen, aardolie en aardgas zijn:

- de winning vindt grotendeels ondergronds plaats;
- het grootste landgebruik wordt veroorzaakt door aanvoer, opslag, overslag: kadeterreinen, overslagterminals en opslagterreinen;
- bij aardolie is veel ruimte nodig voor grote petrochemische industriecomplexen, bijvoorbeeld de Maasvlakte, Europoort, Botlek, Moerdijk en Zuid Limburg;
- voor de productie van elektriciteit uit deze energiedragers is een aparte infrastructuur nodig van elektriciteitscentrales, hoogspanningsmasten en hoogspanningslijnen.

### ***Steenkool***

Steenkool is tot 1975 ondergronds in Limburg gewonnen. De winning van steenkool vindt zowel bovengronds als ondergronds plaats. Dagbouw kost veel ruimte. De ondergrondse kolenwinning in Zuid-Limburg heeft tot in de jaren zestig van de twintigste eeuw plaats gevonden. Circa 60% van de steenkool op de wereld wordt in ondergrondse mijnen gewonnen. Het transport van kolen vraagt veel laadruimte; laden en lossen zijn ook bewerkelijker dan bij aardolie. De basismetallindustrie heeft kolen nodig voor de benodigde cokes bij de bereiding van ijzer en staal in hoogovens. Door de grote hoeveelheden zijn voor kolen uitgebreide vervoers- en opslagsystemen nodig. Een kolencentrale met bijbehorende kolenhaven en opslagplaats heeft ongeveer twee keer zoveel ruimte nodig als een gasgestookte centrale. Steenkool wordt geïmporteerd uit Zuid Afrika, Colombia en Indonesië. Hiervan wordt 57% gewonnen in dagbouw. In Rusland en de VS wordt ook steenkool gewonnen in dagbouw. Dit heeft veel invloed op de omgeving. De directe inzet van kolen in de landbouw komt nu bijna niet meer voor (nog wel in grasdrogerijen), wel indirect voor de elektriciteitsproductie. In de periode 1950 tot 1970 zijn er wel direct kolen ingezet, bijvoorbeeld voor kasverwarming.

### ***Aardolie***

In Nederland zijn twee aardolievelden op het vaste land (Schoonebeek en West Nederland) en een aardolieveld op het Continentaal Plat. In Nederland wordt 150 miljoen liter aardolie per dag ingevoerd. Er zijn nu wereldwijd ongeveer 70.000 olievelden in productie. In de loop van de tijd moest men steeds dieper boren om aardolie te winnen. Nadat een put is geslagen wordt de olie via buisleidingen en/of met schepen verder getransporteerd naar olieraffinaderijen. Hier worden van de ruwe aardolie via destilleren, omzetten, kraken en zuiveren verschillende producten gemaakt, zoals benzine en dieselolie. Deze producten worden per vrachtauto, binnenvaarttanker, trein of buisleiding naar de verschillende eindbestemmingen

getransporteerd. Aardolie komt behalve in "zuivere" vorm ook voor in gesteenten (schalieolie), of in een dikke stroperige vorm vermengd met zand (teerzanden). De olie is er uit te halen door de lagen eerst af te graven en daarna te verhitten. De winning is duur, want er is veel olie nodig om de grote hoeveelheden zand en steen die worden gedolven te verhitten. Men gebruikt dus een groot deel van de olie voor het winningsproces zelf.

### **Aardgas**

Aardgas bevindt zich in poreus gesteente onder steenlagen die geen gas doorlaten. Het gas wordt via een buis in de grond afgetapt. Vanaf 1967 is in Nederland het Slochterenveld in productie. Voor het transport worden buisleidingen gebruikt. Dit vergt grote investeringen. De totale lengte van het transportnet is ruim 10.000 km en het lokale distributienet heeft een lengte van 80.000 km. Aardgas kan in vloeibare vorm (LNG) ook per schip over grote afstanden worden getransporteerd. Aardgas is ook een grondstof voor de fabricage van bijvoorbeeld stikstofkunstmest en methanol. Gaswinning kan bodemdaling veroorzaken en via de aardgasinfrastructuur vindt enige lekkage van methaan plaats. Het transport van aardgas vindt grotendeels plaats via ondergrondse leidingen. Dit geeft randvoorwaarden voor het landgebruik; verder is er enig landgebruik door compressor- en verdeelstations.

Het rendement van de omzetting van energiebronnen in elektriciteit is in de periode 1950 t/m 2015 gestegen van ongeveer 25% naar ongeveer 45%. De omzettingsverliezen blijven echter groot. Van de oorspronkelijk aanwezige energie komt 55% tot 75% als warmte vrij: dat wordt in de meeste gevallen geloosd via de schoorsteen (10%) en via het koelwater (50%). Het elektriciteitsgebruik is in 2015 (circa 119 miljard kWh) ongeveer 16 keer hoger dan in 1950 (circa 7 miljard kWh) en daarmee is, ondanks enige stijging van het rendement van de elektriciteitsopwekking, het energieverlies aan warmte aanzienlijk toegenomen.

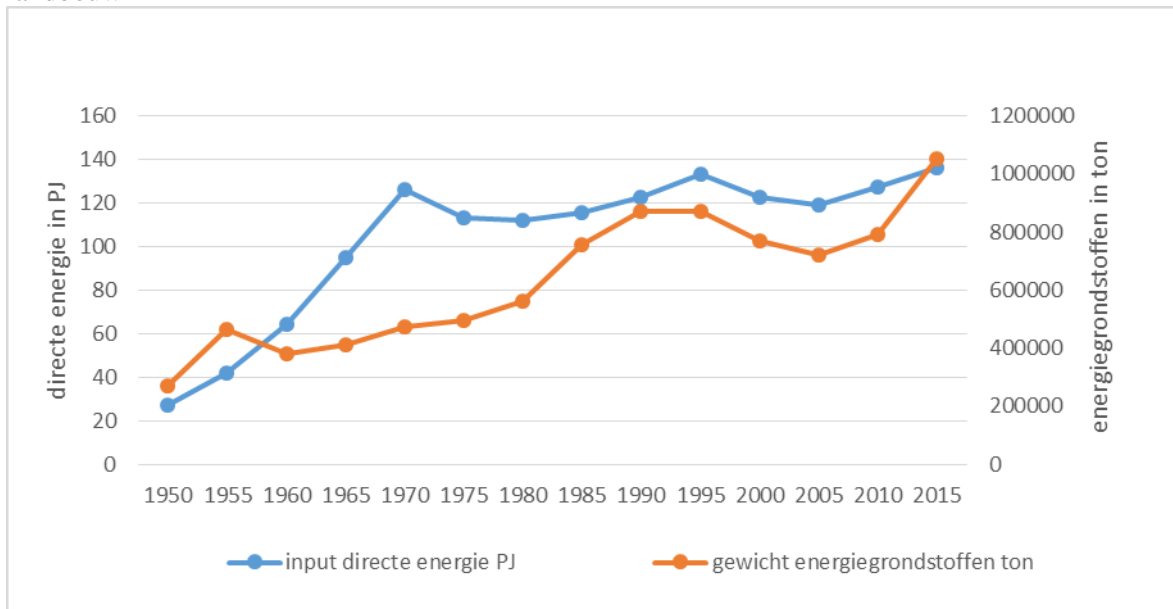
Voor het bepalen van het indirecte landgebruik van de winning, transport en opslag van energiegrondstoffen is alleen gekeken naar steenkool, aardolie en aardgas. De overige energiedragers zijn buiten beschouwing gelaten. Voor 1950 klopt dat, voor 2015 maken de overige energiedragers enkele procenten uit van het totaal. Zonne-energie vergt weinig landgebruik omdat het grotendeels op gebouwen kan worden toegepast, behalve bij aparte zonneweides. Net als zon en wind maken kernenergie en afvalverbranding maar een klein deel uit van de totale energievoorziening. In gebieden met windmolens is het indirecte landgebruik gering. De terreinen kunnen grotendeels ook voor andere functies worden gebruikt. Het indirecte landgebruik voor steenkool, aardolie en aardgas is bepaald op basis van het cumulatieve en structurele indirecte landgebruik van winningsinstallaties, transportfaciliteiten, opslag en overslag.

Uit de energiebalans van Nederland is het totale primaire energiegebruik voor de energiedragers steenkool, aardolie en aardgas vergeleken met het aandeel van de landbouw (exclusief niet-voedingsglastuinbouw) daarin. Dit aandeel is vervolgens per energiedrager uitgerekend, resulterend in het energiegebruik van de landbouw verdeeld over de drie energiedragers. Als dit wordt opgeteld komen de energiegebruiken iets lager uit dan het totaal van de landbouw. Dit komt omdat er ook nog andere energiebronnen worden gebruikt. Het totale indirecte landgebruik is in 1950 430 ha en loopt op tot 18.750 ha in 2015. Het indirecte cumulatieve landgebruik in de periode tot 1950 is hier buiten beschouwing gelaten. Het structurele indirecte landgebruik (i.h.a. de voorzieningen in Nederland) is klein ten opzichte van het cumulatieve indirecte landgebruik. Er is geen onderscheid gemaakt in de plaats waar dit landgebruik plaats vindt, dit kan zowel in Nederland als in andere landen zijn.

Het aantal medewerkers dat is betrokken bij de energievoorziening is in 1950 129.200 arbeidsjaareenheden en in 2015 156.200 arbeidsjaareenheden. Van 1950 tot 1990 is er een stijging van het aantal medewerkers (het energiegebruik stijgt ook), daarna is er tot ongeveer het jaar 2000 een daling (arbeidsbesparende technieken). Vanaf het jaar 2000 is er weer een stijging van het aantal medewerkers, hoewel het aantal medewerkers betrokken bij de fossiele energievoorziening blijft dalen. Dit komt vooral door de opkomst van de hernieuwbare energiebronnen. Dit vraagt meer inzet van arbeid. Het aantal medewerkers ten behoeve van de energievoorziening voor de landbouw is bepaald op basis van het aandeel van de landbouw in het totale directe energiegebruik van Nederland. In 2015 is het aantal aan de landbouw toegerekende medewerkers ruim 6.000 en dat is ongeveer hetzelfde als in 1950.

In figuur 3 zijn weergegeven het directe energiegebruik en het gewicht van de energiegrondstoffen steenkolen en aardolie ten behoeve van de landbouw.

Figuur 3 Directe energiegebruik van en gewicht energiegrondstoffen steenkool en aardolie voor de landbouw



Tot 1955 stijgt het energiegebruik en het gewicht van de steenkolen, daarna daalt het aandeel van de steenkolen en in de jaren vanaf 1975 stijgt het aandeel van de steenkolen weer, hoewel fluctuerend, tot een niveau van circa 70% van dat in 1955 (het steenkolengebruik is dan in absoluut gezien wel hoger dan in 1955).

### 7.3 Resultaten directe energie

In tabel 18 staan de gewichten van de energiegrondstoffen kolen en olie, het directe energiegebruik (beide exclusief niet-voedingsglastuinbouw), het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid ten behoeve van de energievoorziening voor de landbouw.

Tabel 18 Directe energiegebruik landbouw, indirecte landgebruik en indirecte arbeid

	1950	1980	2010	2015
gewicht kolen en olie	268.484 ton	563.450 ton	790.969 ton	1.050.522 ton
direct energiegebruik	27,4 PJ	112,2 PJ	127,5 PJ	135,6 PJ
indirect landgebruik	430ha	10.771ha	17.546 ha	18.750 ha
indirecte arbeid	6.054 a.j.e.	6.100 a.j.e.	4.287 a.j.e.	6.192 a.j.e.



## **8 Indirecte energie**

### **8.1 Gebouwen**

#### **8.1.1 Algemeen**

De bouwsector is een grote gebruiker van energie, grondstoffen en andere hulpbronnen. Er is een intensieve bevoorradingsketen en het is ook één van de grootste bedrijfstakken.

Er zijn veel toeleveranciers bij de bouw betrokken:

- mijnbouwbedrijven voor allerlei grondstoffen en ontgrondingbedrijven voor oppervlaktedelfstoffen;
- fabrikanten van steen, gravel, zand, cement, beton, staal, asfalt, glas, aluminium, kunststoffen, chemische toevoegingen;
- installatiebedrijven voor verwarming, ventilatie, koeling, elektronica, hardware;
- diensten zoals engineering, projectmanagement, architectenbureaus, softwareontwikkelaars;
- leveranciers van equipment: trucks, mixers, installaties, gereedschap;
- aannemers die de bouwwerkzaamheden uitvoeren.

In de loop van de tijd is het aantal toegepaste materialen toegenomen en wordt er minder met natuurlijke materialen gebouwd. Dat is in de landbouw ook het geval. De levensduur van agrarische bedrijfsgebouwen is afgenomen en daarmee is het gebruik van energie en grondstoffen toegenomen. Vooral stallen en kassen verouderen steeds sneller. Vroeger kon men heel lang met een bedrijfsgebouw toe, omdat de eisen die er aan werden gesteld weinig veranderden. Een boerderij ging honderden jaren mee. Nu worden gebouwen soms al na veertig jaar weer afgebroken. Het lijkt al gewoon te worden om gebouwen af te breken en geheel te vervangen door nieuwbouw. Dit zou beter zijn voor wat betreft het energiegebruik en/of omdat aan de nieuwste eisen voldaan moet worden. Bij het slopen van een gebouw (waarmee embodied energy verloren gaat) en het vervangen door een nieuw energiezuinig gebouw kan het tientallen jaren duren voordat er per saldo echt energie wordt bespaard. Alleen als het nieuwe gebouw heel lang mee gaat kan er op de lange termijn sprake zijn van echte energiebesparing. Met slimme aanpassingen van bestaande gebouwen kan i.h.a. meer energie worden bespaard dan met vervangende nieuwbouw.

Bij de agrarische bedrijfsgebouwen is een onderscheid gemaakt tussen kassen ten behoeve van de glastuinbouw en overige agrarische bedrijfsgebouwen. Binnen de glastuinbouw is een onderscheid gemaakt in de oppervlakte glastuinbouw bestemd voor voedingsgewassen (voedingsglastuinbouw: groente en fruit onder glas) en niet-voedingsgewassen (niet-voedingsglastuinbouw: bloemen en planten onder glas). Dit is gedaan om een goede vergelijking te kunnen maken met de output, die immers is gebaseerd op voedingsgewassen.

Voor agrarische gebouwen zijn nauwelijks gegevens beschikbaar omtrent aard en grootte. Deze zijn voor de periode 1950 t/m 2015 niet of slechts fragmentarisch geregistreerd. Op basis van wel aanwezige bronnen en eigen berekeningen is de omvang van de agrarische bebouwing bepaald. Op basis van materiaalcalculaties zijn daar vervolgens energie-inhouden voor berekend. Deze zijn afgeschreven op basis van een aantal verschillende afschrijvingstermijnen.

### 8.1.2 Kassen

Het totale glasareaal was in 1950 3.285 ha en steeg tot 10.540 ha in 2003, om daarna weer iets te dalen tot 9.205 ha in 2015. De oppervlakte glastuinbouw voor voeding (groente en fruit) had in 1950 een aandeel van 91% in de totale glastuinbouw. Dit daalde tot 40% in 2000 en is weer gestegen tot 52% in 2015. In 1950 is de oppervlakte groente en fruit onder glas 3.003 ha. Daarvan was ongeveer 20% verwarmd. Er was in 1950 nog 963 ha plat glas, waarvan nog enkele tientallen hectares verwarmd waren. De gemiddelde hoogte van het staande glas was circa 2 meter. De gemiddelde hoogte van de kassen is nu ongeveer 6 meter. In Nederland is in 2015 een oppervlakte van 9.205 ha glastuinbouw. Deze blijft min of meer constant; er is geen uitbreiding, wel vervangende nieuwbouw.

In 1950 was er nog geen substraatteelt, daar is men in de jaren tachtig van de twintigste eeuw mee begonnen. De daarbij gebruikte plastic en steenwol worden voor een groot deel gerecycled. Tomaten, paprika en aubergine worden altijd op substraat geteeld, behalve bij de biologische teelt. Van de glasgroentes wordt 90% op substraat geteeld.

Het gewicht aan glas is gestegen van gemiddeld 82 ton glas per ha in 1950 naar ongeveer 125 ton per ha in 2015.

Ook het materiaalgebruik is veranderd.

Begin jaren 1950 zijn er:

- druivenserres van hout en ijzer;
- warenhuizen van hout, ijzer en beton;
- platglas voor groenteteelt, meestal bestaande uit een dubbele rij houten ramen met een houten of betonnen onderbouw;

Steeds heeft men er naar gestreefd om lichtverlies in kassen te beperken, door grotere glasmaten, steilere dakhellingen (minder reflectie) en minder licht onderscheppende constructieonderdelen. Glasroedes zijn in 1950 van beton of hout, daarna van staal en vervolgens komen de huidige aluminiumprofielen. Het aanvankelijk grote verschil tussen speciale kassen (voor rozen, anjers, komkommers, druiven, etc.) en warenhuizen (geschikt voor vele teelten) is bijna verdwenen. Vroeger had de tuinder met de hoogste kas het meeste aanzien.

Kasverwarming begon aan het eind van de 19<sup>e</sup> eeuw. In 1950 was ongeveer 20% van de kassen verwarmd, nu is dat meer dan 90% en dat is sinds 1990 weinig veranderd. Het verwarmen van kassen gebeurde eerst met Amerikaanse vetkolen, die dag en nacht door stokers in het vuur werden gegooid. Het rendementen was laag. Kolen werden daarna vervangen door (meestal zware ) stookolie. Verwarmingsinstallaties bestonden uit kelders, ketelhuizen, rookkanalen en stenen schoorstenen. Nu wordt in de energiebehoefte voor 75% voorzien door aardgas. Dat geeft hogere rendementen, schonere rookgassen en ook geen glasvervuiling. Vroeger was er een natuurlijke circulatie met dikke pijpen. Nu dunne pijpsystemen en geautomatiseerde klimaatregeling. In de huidige kassen wordt kunstmatige belichting toegepast en er zijn warmtekrachtinstallaties, regenautomaten en gewasbevochtiging. Dit heeft geleid tot een geïndustrialiseerde plantenteelt, gebaseerd op een geprogrammeerd teeltplan in geconditioneerde ruimtes.

De nieuwste ontwikkeling in de kassenbouw zijn kweekcellen of groeicellen. Hierbij wordt geen gebruik gemaakt van daglicht en vindt de teelt onder volledig geconditioneerde omstandigheden plaats in etagebouw en met kunstmatige belichting. Het gewas wordt niet

beïnvloed door factoren van buitenaf; er zijn geen schommelingen in temperatuur, luchtvochtigheid en andere oncontroleerbare factoren. Per gewas wordt een nauwkeurig lichtrecept geïnstalleerd. De mogelijkheid om overtollige warmte opnieuw te gebruiken zou het telen in groeicellen tot een duurzaam product maken. De oppervlakte is minder dan 1% van de oppervlakte glastuinbouw en is niet relevant voor het totaalbeeld. Het is niet geschikt voor grote groentegewassen, zoals tomaten en paprika's. Wel voor sla en andere kleine gewassen, die in etages kunnen worden geteeld. Het kost vijf tot tien keer zoveel energie dan de "gewone" teelt in kassen.

Bij de glastuinbouw komt de oppervlakte overeen met die van het gebouw. Hieruit zijn de oppervlaktes van de kassen af te leiden. Hiermee is echter alleen de totale oppervlakte aan glastuinbouw in beeld. Vervangende nieuwbouw die in de glastuinbouw ook veel voorkomt wordt hiermee niet geregistreerd. Het glasareaal op zich is dus niet helemaal een goede maat voor de bouwactiviteiten. Ook andere gebouwen, zoals opslagloodsen, ketelhuizen, e.d. blijven hierdoor buiten beschouwing. Een andere onderschatting komt door het alleen registreren van gebouwen boven een bepaalde bouwsom in de vergunningoverzichten van het CBS/LEI. Voor de periode 1983 t/m 2015 zitten de kassen in deze overzichten en zijn daaruit de oppervlaktes berekend.

Voor de hele periode 1950 – 2015 zijn geïnventariseerd:

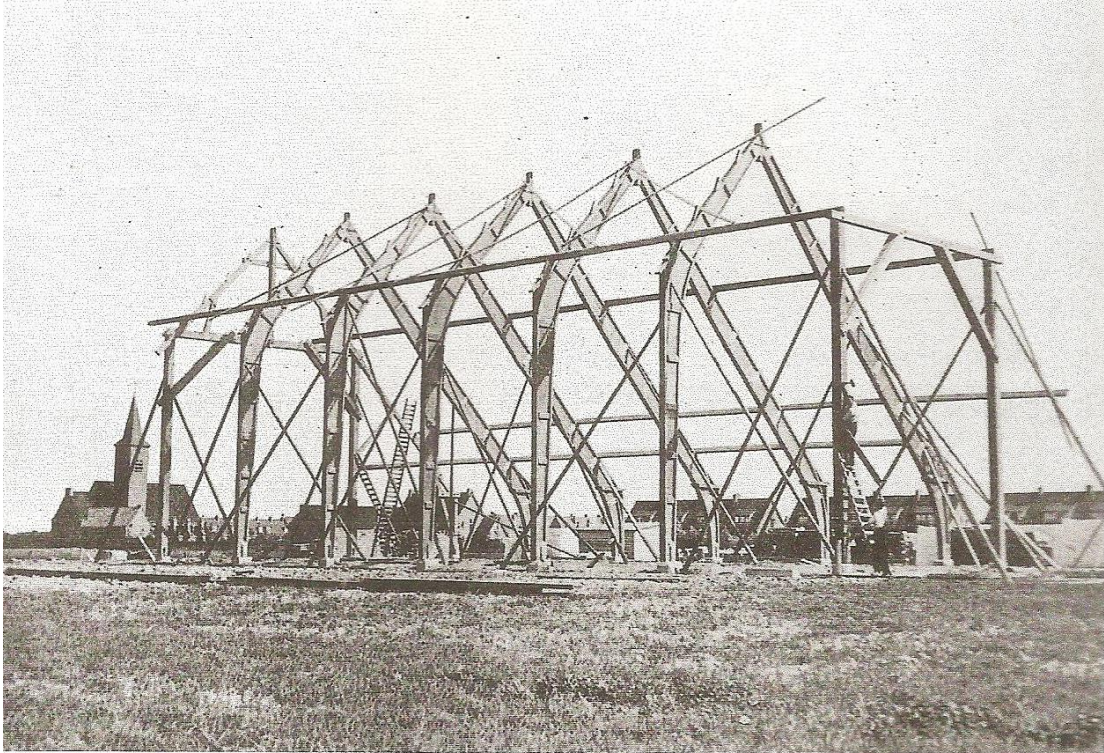
- de totale oppervlakte glas;
- de oppervlakte groente onder glas;
- de oppervlakte fruit onder glas.

Deze laatste twee zijn bij elkaar opgeteld en gedeeld door het totale oppervlakte aan glas. Hiermee is het percentage voedingsglastuinbouw bepaald.

Bij de oppervlakte voedingsglastuinbouw is voor de periode 1950 t/m 1985 per jaar gekeken hoe groot de toename van de oppervlakte was ten opzichte van het jaar daarvoor. Dit te beginnen in het jaar 1951.

De bouwkosten van kassen zijn voor de periode 1983 t/m 2015 bepaald op basis van cijfers over verleende bouwvergunningen van Landbouwcijfers/CBS. Op basis van een aandeel in de bouwkosten zoals vermeld in de Nationale Rekeningen zijn de bouwkosten van kassen voor de periode 1950 t/m 2015 bepaald. Via het aandeel voedingsglastuinbouw zijn de oppervlaktes en bouwkosten voor kassen voor voedingsglastuinbouw berekend. De totale bouwkosten van de kassen zijn in mindering gebracht op de totale kosten van agrarische gebouwen. Dan resteren de bouwkosten die overblijven voor de overige gebouwen.

Voor de glastuinbouw is de energie-inhoud gebaseerd op een aantal materiaalanalyses van groentekassen. Dit is uitgedrukt in de embodied energy per m<sup>2</sup> gebouw. Uitgegaan is van een energie-inhoud van 0,6 GJ/m<sup>2</sup> in 1950 oplopend tot 1,64 GJ/m<sup>2</sup> in 2015. Deze toename is veroorzaakt door steeds hogere kassen, meer verwarmde kassen en een toename van substraatteelt. Op basis van een aantal kengetallen zijn het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid in beeld gebracht.



*Bouw van een landbouwschuur in de Wieringermeer in de jaren 30 van de twintigste eeuw. De kapconstructie (spanten, gordingen, staanders) is geheel van hout (hernieuwbare grondstof). Het bouwproces is in handkracht uitgevoerd (Directie van de Wieringermeer).*



*Bouw van een ligboxenstal in Zeewolde in 2015. Er wordt veel staal gebruikt (niet hernieuwbare grondstof). Het bouwproces is deels gemechaniseerd (Bouwbureau Wedekind, Zeewolde).*

### 8.1.3 Overige agrarische bedrijfsgebouwen

Naast een economisch gezien steeds snellere veroudering van agrarische gebouwen is een specialisatie waarneembaar. Vanouds bestaat een boerderij uit een hoofdgebouw, waarin stallen, werktuigenberging en bewaring van producten in één gebouw zijn ondergebracht. Er is echter een specialisatie in bedrijfsactiviteiten en (als gevolg daarvan) ook in de gebouwen. Bij nieuwbouw wordt vaak een los huis gebouwd met daarnaast verschillende bedrijfsgebouwen, zoals stallen, kassen, werktuigberging, aardappelbewaarkaats, koelhuis, etc. of deze bedrijfsgebouwen worden naast het oorspronkelijke hoofdgebouw geplaatst.

In de jaren vijftig van de twintigste eeuw werd gebouwd met minder samengestelde materialen en met meer natuurlijke materialen dan in 2015, bijvoorbeeld gemetselde muren van gebakken stenen, houten spanten van gelamineerd hout of houten staanders, houten gordingen en houten kozijnen, ramen en deuren, luiken en geveldelen. Als dakbedekking werd riet gebruikt of dakpannen met rietmatten er onder. Een groot deel van de bouwmaterialen bestond uit hernieuwbare grondstoffen.

In de periode 1950 – 2015 is dit veranderd. Er wordt nu veel meer beton gebruikt, vanwege de onderkelderingen en meestal staalconstructies voor de overkappingen. Voor wanden en daken worden golfplaten van kunststof en stalen damwandprofielen, al dan niet geïsoleerd (sandwichpanelen), gebruikt. In daken worden lichtdoorlatende kunststof platen gebruikt in plaats van dakramen met glas. Kozijnen, deuren en ramen zijn van kunststof, metaal of hout. In de gebouwen zijn veel meer installaties en voorzieningen aanwezig, die ook allerlei stoffen bevatten (verzinkt staal, kunststoffen en elektronica). Een ander belangrijk kenmerk van de huidige agrarische bebouwing is dat de gebouwen steeds groter zijn geworden. Behalve dat dit meer energie en grondstoffen vergt zijn de effecten op de omgeving ook groter. De schaal van de gebouwen verhoudt zich niet altijd meer met die van de omgeving.

Van de agrarische bedrijfsgebouwen is heel weinig geregistreerd. Het CBS en het LEI hebben de landbouwbedrijfsgebouwen niet als zodanig geregistreerd. Fragmentarisch is er in sommige jaren een registratie van een aantal soorten gebouwen. De Wieringermeerdirectie, later de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, had wel een goede registratie van de boerderijenbouw in de Wieringermeer, de Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland (Directie van de Wieringermeer, 1955; Stuvet, 1967; Terpstra, 1982; Geurts, 2003). Verder is er enige registratie van wederopbouwboerderijen en de boerderijenbouw in ruilverkavelingen. Van de kenmerken van de gebouwen zelf is (behalve voor de IJsselmeerpolders) geen registratie. De registraties van bouwwerken zijn voor zover aanwezig geïnventariseerd. Vanaf 1978 heeft het LEI/CBS reguliere totaaloverzichten van aantallen bouwwerken voor wat betreft het verlenen van bouwvergunningen. Hiermee is er alleen een registratie van gebouwen boven een bepaalde bouwsom en omdat het alleen om vergunningplichtige bouwwerken gaat geeft dit een onderschatting van het aantal m<sup>2</sup>. Door aannemersbedrijven worden ook werken uitgevoerd met een lagere bouwsom. Bovendien voeren boeren en tuinders ook vaak zelf, al dan niet met behulp van derden, bouwwerkzaamheden uit. Ook van allerlei activiteiten ten aanzien van reparatie, onderhoud, aanpassingen en kleine verbouwingen mag worden aangenomen dat ze niet allemaal zijn geregistreerd. Ook zijn lang niet alle bouwwerkzaamheden vergunningplichtig. Na 2012 zijn er geen Land- en tuinbouwcijfers meer. Alles is gedigitaliseerd en op de website van het LEI zijn de gegevens over bouwvergunningen niet meer te vinden. Het boekje Land- en tuinbouwcijfers wordt niet meer uitgegeven. Dit betekent dat belangrijke cijfers in de toekomst niet meer te achterhalen zijn.



Op de site van het CBS zijn cijfers te vinden over bouwvergunningen in de landbouw over de periode 2000 t/m 2015.

Het toekennen van gebouwen aan een bepaalde sector is niet op een éénduidige wijze mogelijk, bijvoorbeeld omdat er ook gemengde bedrijven zijn (en zeker waren), akkerbouw met vollegronds tuinbouw, etc. Ook worden bepaalde soorten gebouwen bij meerdere sectoren gebruikt, bijvoorbeeld wagen- en werktuigschuren.

Op basis van de overzichten van verleende bouwvergunningen zijn bouwkosten per m<sup>2</sup> berekend. Deze zijn met behulp van de prijsindex terug gerekend naar 1950. Voor de periode 1950 tot 1978 zijn op basis van de registraties van de boerderijenbouw in de IJsselmeerpolders ook bouwkosten per m<sup>2</sup> bekend. Deze corresponderen met die uit de teruggerekende waarden van de vergunningoverzichten. Daarnaast zijn ook de gegevens uit de Nationale Rekeningen terug gerekend naar 1950. Via deze twee wegen zijn de jaarlijks gebouwde oppervlaktes bepaald.

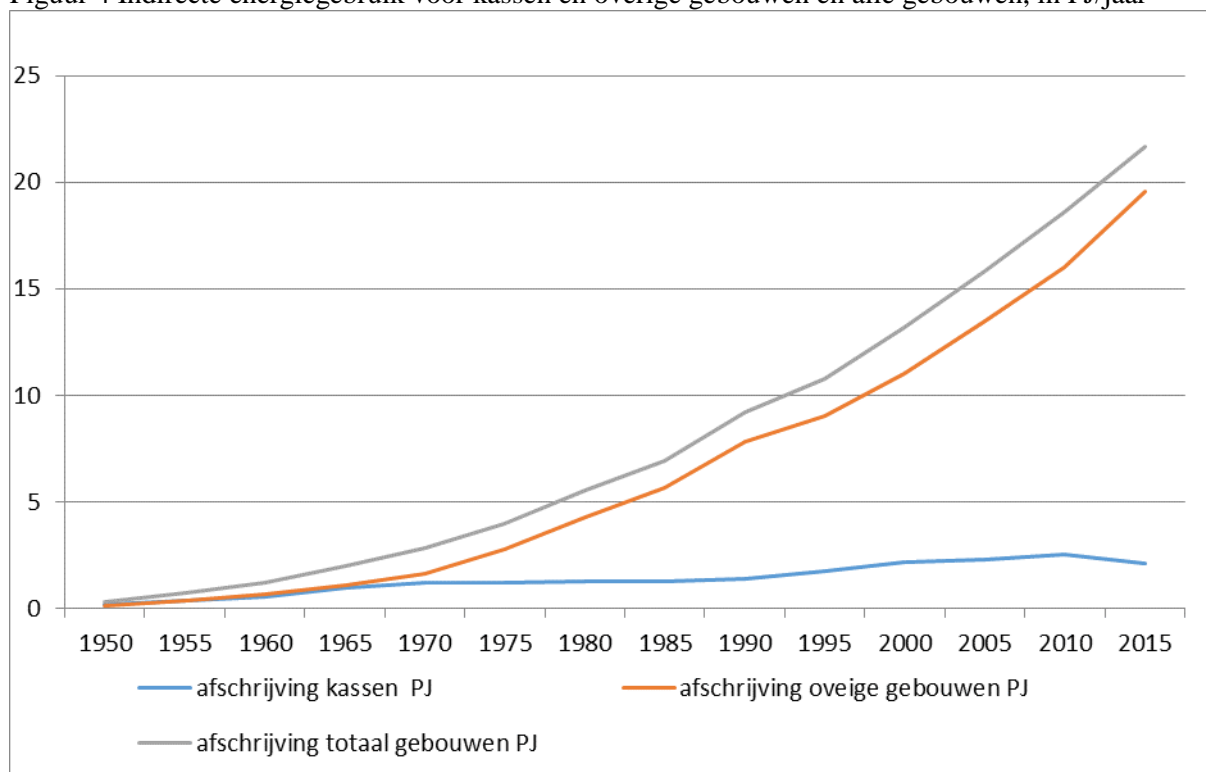
Op basis van materiaalcalculaties van een aantal gebouwen is de embodied energy voor agrarische bedrijfsgebouwen berekend. Dit is uiteindelijk uitgedrukt in de embodied energy per m<sup>2</sup> gebouw. Voor de totale bouwactiviteit per jaar in m<sup>2</sup> is de embodied energy in gebouwen voor de landbouw als geheel berekend. Afhankelijk van de gekozen afschrijvingstermijnen is deze embodied energy vervolgens afgeschreven en ontstaat er per jaar een post voor de afschrijving van de embodied energy.

De traditioneel gebouwde 12 ha bedrijven in de Noordoostpolder lijken waarschijnlijk nog het meeste op de gemiddelde situatie in Nederland in 1950. Deze boerderij is als gemengd bedrijf gekozen voor een materiaalanalyse en daarmee als representatief voor de energie-inhoud per m<sup>2</sup> voor die periode (Geurts, 2003). Voor een aantal recente gebouwen zijn ook voor verschillende soorten gebouwen materiaalanalyses gemaakt. Hiermee is een beeld verkregen van het verloop van de embodied energy van gebouwen voor de periode 1950 t/m 2015.

Indirect landgebruik en indirecte arbeid zijn afgeleid uit een combinatie van branchecijfers en de materiaalcalculaties van de gebouwen.

In figuur 4 zijn weergegeven de indirecte energiegebruiken als afschrijvingen per jaar van kassen, overige agrarische bedrijfsgebouwen en het totaal aan agrarische gebouwen.

Figuur 4 Indirecte energiegebruik voor kassen en overige gebouwen en alle gebouwen, in PJ/jaar



Het areaal aan voedingsglastuinbouw laat over de periode 1950 t/m 2015 een lichte stijging zien, de oppervlakte voedingsglastuinbouw is sinds 1970 min of meer constant. De bouwactiviteiten voor de overige agrarische bedrijfsgebouwen zijn sterk gestegen.

#### 8.1.4 Resultaat voor gebouwen

In tabel 19 staan de resultaten voor de agrarische bedrijfsgebouwen. Per jaar zijn vermeld de gewichten van de aangevoerde bouwmaterialen, de oppervlaktes die in dat jaar zijn bijgebouwd, de daarop gebaseerde afschrijving van de energie-inhouden, het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid.

Tabel 19 Gewichten bouwmaterialen, oppervlakte per jaar gebouwd, indirecte energiegebruik gebouwen, indirect landgebruik en indirecte arbeid per jaar

	1950	1980	2010	2015
bouwmat. kassen	174.902 ton	106.801 ton	19.169 ton	16.372 ton
bouwmat. overige geb	1.196.580 ton	4.101.376 ton	7.466.978 ton	7.344.327 ton
oppervlakte kassen	2.821.000 m <sup>2</sup>	1.722.600 m <sup>2</sup>	309.181 m <sup>2</sup>	264.060 m <sup>2</sup>
opp overige gebouwen	905.814 m <sup>2</sup>	3.104.751 m <sup>2</sup>	5.652.519 m <sup>2</sup>	5.559.672 m <sup>2</sup>
indirecte energiegebr. kassen	0,180980 PJ	1,263211 PJ	2,559760 PJ	2,140354 PJ
indirecte energiegebr. overige gebouwen	0,153565 PJ	4,283653 PJ	16,024239 PJ	19,532367 PJ
totaal indirecte energiegebr gebouwen	0,334550 PJ	5,546864 PJ	18,583999 PJ	21,672721 PJ
indirect landgebruik	9.320 ha	32.085 ha	58.584 ha	57.705 ha
indirecte arbeid	3.882 a.j.e.	8.182 a.j.e.	9.911 a.j.e.	9.732 a.j.e.

Het indirecte landgebruik bestaat uit:

- indirect structureel landgebruik voor houtproductie;
- indirect structureel landgebruik van hoogovens en staalindustrie;
- indirect cumulatief landgebruik voor oppervlakedelfstoffen.

De indirecte arbeid bestaat uit:

- het aantal arbeidsjaareenheden voor het bouwproces;
- het aantal arbeidsjaareenheden voor houtproductie, toelevering en timmerindustrie;
- het aantal arbeidsjaareenheden in de glasindustrie;
- het aantal arbeidsjaareenheden voor hoogovens en staalindustrie;
- het aantal arbeidsjaareenheden voor het winnen van oppervlakedelfstoffen.

Niet in beeld zijn gebracht de overige gebouwen bij de glastuinbouw, de toeleveranciers aan de glastuinbouw, de bouwwerkzaamheden waarvoor geen vergunning is vereist, de bouwwerkzaamheden beneden een bepaalde bouwsom en bouwwerkzaamheden door de boeren zelf. Voor de materiaalcalculaties konden niet alle gegevens worden achterhaald. De energie voor de aanvoer van bouwmaterialen is meegenomen, niet de aan- en afvoer van hulpmaterialen (bijvoorbeeld bekistingen), gereedschappen en werktuigen (bijvoorbeeld hijskranen).

## 8.2 Trekkers en machines

### 8.2.1 Algemeen

In de periode 1950 t/m 2015 is de mechanisatie in de landbouw sterk veranderd, van kleine lichte machines, vaak met paardentractie, tot grote machines met veel vermogen en het zo goed als ontbreken van paardentractie. Hoe verschillend de situatie in 1950 was ten opzichte van 2015 laten de volgende gegevens zien. In 1950 was 76% van de landbouwbedrijven aangesloten op het elektriciteitsnet, 37% op de waterleiding en 12% op het telefoonnet. Bijna 60% van het geregistreerde laadvermogen zat nog in karren op ijzeren wielen en in vaartuigen. In 1951 waren er ongeveer 118.000 wagens met luchtbanden en 277.000 wagens op wielen met ijzeren velgen. Ter illustratie zijn in tabel 20 de aantallen transportmiddelen en het laadvermogen aangegeven.

Tabel 20 Vervoermiddelen en laadvermogens landbouw in 1950

	aantal	laadvermogen	
		totaal	per voertuig/vaartuig
karren en wagens op lucht- of massieve banden	117.511	285.032 ton	2,4 ton
karren en wagens op ijzeren banden	276.599	337.815 ton	1,2 ton
vrachtauto's	3.807	10.272 ton	2,7 ton
vaartuigen met mechanische aandrijving	2.401	9.288 ton	3,9 ton
vaartuigen zonder mechanische aandrijving	12.410	48.191 ton	3,9 ton
totaal	412.728	690.598 ton	1,7 ton

(bron: landbouwtelling december 1950)

Vanaf 1950 tot 2015 is er eerst een toename van het aantal trekkers en machines. Voor wat betreft de trekkers is dit eerst ook ter vervanging van paarden. De naoorlogse trekker kreeg



ook meer versnellingen en meer pk's, bij minder gewicht. Bij de machines is tot in de jaren zestig van de twintigste eeuw ook nog sprake van veel paardenmachines. Een andere belangrijke ontwikkeling is de vervanging van de zelfbinder door de combine en het steeds meer machinaal rooien van aardappelen en bieten. Vanaf de jaren negentig van de twintigste eeuw komen er steeds meer zelfrijdende oogstmachines: combines, aardappelrooiers en bietenrooiers. Namen de aantallen trekkers en machines eerst toe, vanaf ongeveer 1980 nemen de aantallen af; het aantal boeren neemt immers ook af. Wel hebben de trekkers en machines steeds meer vermogen en zijn ze steeds zwaarder en wordt steeds meer kunststof en elektronica toegepast. Uit de resultaten van dit proefschrift blijkt dat de afname van het aantal trekkers niet wordt gecompenseerd door het toenemen van het gewicht per trekker. Bij de landbouwwerktuigen/-machines is dat anders. Hoewel er van bepaalde machines minder aantallen zijn, zijn de totale gewichten wel toegenomen. Dit komt ook omdat er meer (zware) zelfrijdende machines zijn. De trekker is minder de enige bron van voortstuwing dan vroeger.

Een andere ontwikkeling is de verandering van de toegepaste materialen. In veel machines zaten in 1950 houten onderdelen (denk aan een landbouwwagen, een dorskast, trekbalken, schotten). In de machines in 2015 wordt bijna geen hout meer toegepast, alles is van staal en kunststof. Een tweede belangrijke verandering is de toename van andere metalen, zoals aluminium, het toepassen van verschillende kunststoffen en het toepassen van steeds meer elektronica. Een nieuwe ontwikkeling is de elektrische aandrijving van machines en op termijn wellicht totale elektrische aandrijvingen.

Voor het bepalen van de energetische waarden van trekkers en machines is uitgegaan van de hoeveelheden staal, dus de gewichten van de trekkers en machines. De andere materialen zoals het rubber voor de banden en in de laatste ongeveer 20 jaar ook de elektronica zijn hier buitenbeschouwing gelaten, maar komen elders in dit proefschrift nog wel aan de orde. Eerst is het totale gewicht aan trekkers en machines wat per jaar is aangekocht bepaald.

Hiervoor zijn de volgende bronnen gebruikt:

- alle nummers van het blad LandbouwMechanisatie (maandblad) vanaf 1950 t/m 2015;
- de Landbouwcijfers, Tuinbouwcijfers en Land- en Tuinbouwcijfers van het LEI;
- diverse rapporten van de (voormalige) Wageningse instituten zoals ILR (Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie) (Vollaers, 1970 en 1971), IMAG (Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen), ITT (Instituut voor Tuinbouw Techniek);
- gegevens van de brancheorganisatie Fedecom;
- gegevens van diverse auteurs;
- de Nationale Rekeningen.

Omdat na 1983 geen gewichten meer zijn geregistreerd zijn per jaar tabellen gemaakt, waarin op basis van artikelen en testrapporten/beschrijvingen van trekkers en landbouwwerktuigen, gegevens zijn geïnventariseerd over gewicht, vermogen en prijs. Ook is informatie gebruikt uit rapporten, informatie van leveranciers en artikelen uit Boerderij, het blad LandbouwMechanisatie en brochures en websites van leveranciers. Sinds 2011 is door mij een inventarisatie gemaakt van trekkers en machines op basis van zoveel mogelijk verzamelde gegevens over prijzen, gewichten en vermogens. Op basis hiervan is ook een gemiddelde kiloprijs voor trekkers en machines bepaald. Hierin kan enige overschatting zitten, omdat i.h.a. de nieuwe en grote machines en trekkers worden besproken. Een groot aantal machines wordt niet apart besproken, denk aan "gewone" cyclomaaiers, kiepwagens, etc.



*Aardappels poten in 1951 (Boerderij)*



*Aardappels poten in 2018 (uit LandbouwMechanisatie mei 2018)*

In 1977 heeft het ILR nog een totaaloverzicht gemaakt van de invoer van trekkers en landbouwwerktuigen met de vermogens, gewichten en prijzen. Daarnaast zijn kg-prijzen bepaald door de kg-prijs van 1977 als uitgangspunt te nemen. Hiermee zijn de prijzen met behulp van de CBS prijsindex 1900-2015 terug gerekend naar 1950 en vooruit berekend naar 2015. Deze prijzen per kg zitten in eenzelfde orde van grootte als die in de statistieken door het ILR zijn geregistreerd (Vollaers, 1970 en Vollaers, 1971). Wat prijzen betreft is uitgegaan van prijzen exclusief BTW. Alle guldenprijzen zijn omgerekend in euro's. Ook prijzen vermeld in Duitse marken zijn omgerekend naar euro's. Als prijzen inclusief BTW zijn vermeld, dan zijn deze gecorrigeerd met het BTW-percentages wat in dat bepaalde jaar van toepassing was.

Op basis van de invoerwaarden en de kg-prijzen zijn de totale ingevoerde gewichten bepaald. Daarnaast zijn niet alle soorten machines geregistreerd, zodat een onderschatting ontstaat. Er is ook nog een grijze import, die niet in de cijfers is verwerkt. Verder zijn er nog allerlei hulpmiddelen, installaties en onderdelen niet geregistreerd (bijv. kisten, jute zakken, handgereedschap, pompen, koeling, onderdelen, etc.).

Er zijn nu verschillende reeksen cijfers:

- prijzen per kg, op basis van statistiek/ILR/IMAG;
- prijzen per kg op basis van prijsindexcijfers, deze omgerekend naar boerenprijs;
- prijzen per kg op basis van de eigen inventarisatie 1950-2015 (= boerenprijs)
- geregistreerde gewichten vanuit de statistiek/ILR/IMAG;
- berekende gewichten op basis van invoerwaarden (invoerwaarde gedeeld door boerenprijs per kg).

Hieruit is een soort van gemiddelde gekozen, door uitschieters in de eigen inventarisatie te vergelijken met de andere kiloprijzen. Veder zijn de in de statistiek geregistreerde invoergewichten in principe overgenomen. Het blijkt dat ook de op basis van invoerwaarden berekende invoergewichten qua orde van grootte overeenkomen met de invoergewichten uit de statistiek. Voor de periode na 1983 is dit echter niet meer mogelijk. Er is dan geen registratie meer van technische gegevens. In Landbouwcijfers worden dan alleen nog maar de invoerwaarden van trekkers en machines in euro's vermeld (t/m 2012). De invoergewichten kunnen dan alleen worden berekend op basis van invoerwaarden en kiloprijzen. Het boekje Land- en tuinbouwcijfers is in 2013 voor het laatst uitgekomen. Rest nu alleen nog het raadplegen van de website van het LEI, waar nog invoergegevens worden vermeld. Mocht de stroom uitvallen dan zijn er wellicht vanaf 2014 helemaal geen gegevens meer.

In de Nationale Rekeningen zijn vanaf 1955 ook bedragen vermeld voor de investeringen in machines en installaties voor de landbouw. De hier vermelde bedragen zijn veel hoger dan die uit de hiervoor vermelde bronnen. Dit komt omdat in deze bedragen alle investeringen zijn meegenomen. De bedragen uit de Nationale Rekeningen zijn uiteindelijk als basis genomen voor het berekenen van de hoeveelheden staal.

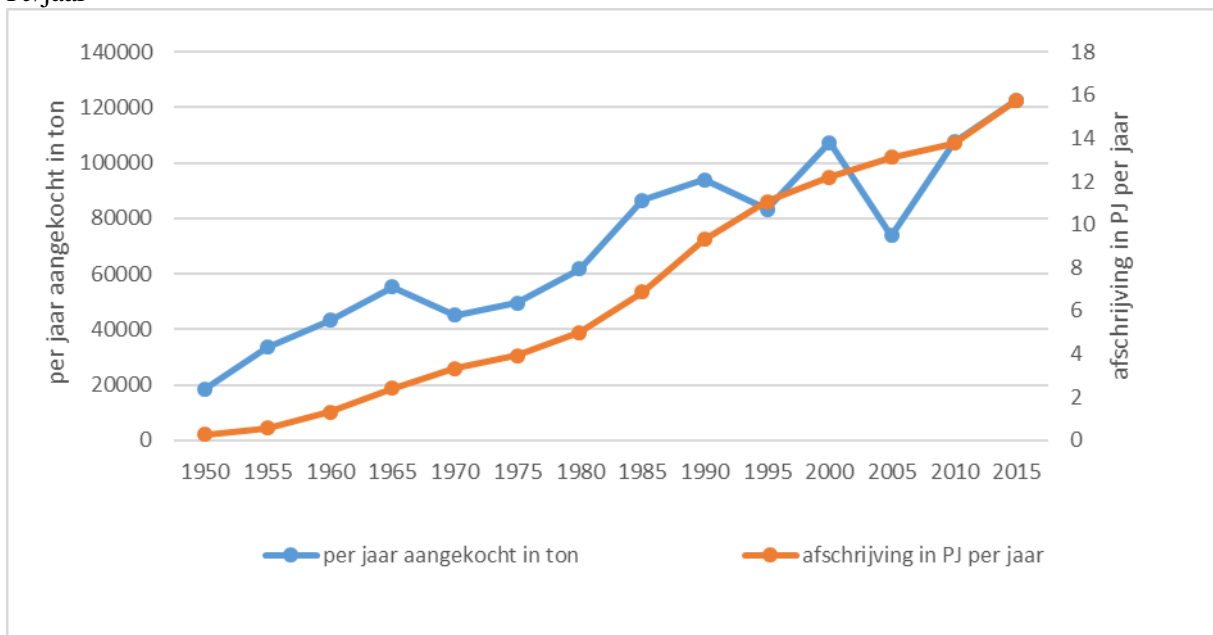
De energetische inhoud van de trekkers en machines dient te worden afgeschreven over de levensduur van de trekker/machine. Daarmee is een jaarlijks indirect energiegebruik bepaald. Voor de afschrijvingsperiode zijn de volgende uitgangspunten van belang:

- de economische levensduur van de trekker/machine. Deze wordt i.h.a. gesteld op circa 5 jaar;
- de technische levensduur van de trekker/machine. Gezien het gemiddelde aantal draaiuren van trekkers en machines kan deze i.h.a. worden gesteld op 15 jaar;

- de fiscale randvoorwaarden: volgens de Landelijke Landbouwnormen van de Belastingdienst liggen de afschrijvingsperioden van trekkers en machines tussen de 6 en 8 jaar. Daarbij kan worden afgeschreven via de boekwaardemethode of via de lineaire methode (elk jaar eenzelfde bedrag).

Op basis van deze uitgangspunten is gekozen voor het afschrijven van de energetische inhoud van de trekkers/machines in 10 jaar, met in elk jaar eenzelfde bedrag ) dus de lineaire methode. De afschrijving begint steeds in het jaar na de aanschaf. In figuur 5 zijn weergegeven het verloop van de per jaar aangekochte tonnen aan trekkers en machines en de afschrijving in PJ per jaar, zijnde het indirecte energiegebruik per jaar.

Figuur 5 Aangekochte gewichten in ton/jaar en indirecte energiegebruik van trekkers en machines in PJ/jaar



### 8.2.2 Resultaten voor trekkers en machines

In tabel 21 staan de per jaar aangekochte gewichten aan trekkers en machines in tonnen, het indirecte energiegebruik, het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid.

Tabel 21 Resultaten trekkers en machines

	1950	1980	2010	2015
aangekocht gewicht	18.436 ton	61.880 ton	107.572 ton	122.654 ton
indirecte energiegebruik	275.600 GJ	4.994.942 GJ	13.766.843 GJ	15.748.267 GJ
indirect landgebruik	144 ha	489 ha	861 ha	981 ha
indirecte arbeid	1.624 a.j.e.	3.463 a.j.e.	4.737 a.j.e.	5.402 a.j.e.

Het indirect landgebruik bestaat uit:

- indirect structureel landgebruik hoogovens en staalindustrie;
- indirect structureel landgebruik rubberplantages;
- indirect structureel landgebruik terreinen trekker- en machinefabrieken;

De indirecte arbeid bestaat uit:

- aantal arbeidsjaareenheden voor hoogovens en staalindustrie;

- aantal arbeidsjaareenheden voor rubberplantages;
- aantal arbeidsjaareenheden voor bandenfabrieken;
- aantal arbeidsjaareenheden voor trekker- en machinefabrieken;

## 8.3 Veevoer

### 8.3.1 Algemeen

In Nederland zijn ca 115 bedrijven in de veevoersector werkzaam. Dit zijn veevoerbedrijven en voerleveranciers. De vijf grootste veevoerbedrijven hebben een marktaandeel van 80%. De overige 20% is verdeeld over 90 andere voerproducenten. Bij deze bedrijven werken ongeveer 6.000 mensen.

Er wordt circa 13 miljoen ton aan veevoer geproduceerd uit voornamelijk graan, soja en tapioca en producten van de voedings- en genotmiddelenindustrie, bijvoorbeeld bierborstel, sojameel, citruspulp, aardappelvezels, tarwegries en dierlijke vetten. Verder zijn er circa 100 fouragebedrijven, die actief zijn met de levering van enkelvoudige voeders, zoals fourage en bijproducten uit de levensmiddelenindustrie. Daarnaast houdt een substantieel deel van deze bedrijven zich bezig met transport, loonwerk, handel in organische mest of kunstmest, etc. Bij de fouragebedrijven werken ongeveer 500 mensen.

De hoofdgroepen van veevoer zijn:

- droog krachtvoer: zowel mengvoer als enkelvoudig krachtvoer;
- vochtig krachtvoer: reststromen van de voedingsmiddelenindustrie, bijv. aardappelverwerking, groente- en fruitverwerking, suikerproductie, bierproductie (vaak enkelvoudig toegepast);
- ruwvoer.

De Nederlandse diervoederindustrie gebruikt meer dan 300 verschillende soorten grondstoffen voor de productie van voer. Mengvoer is een mengsel van twee of meer krachtvoedergrondstoffen, aangevuld met de benodigde mineralen, vitaminen en andere toevoegingen, zoals aminozuren, vetzuren en zuren. Soms wordt voederfosfaat toegevoegd (fosfaat in anorganische vorm). De belangrijkste grondstoffen die men inkooppt zijn mais, tarwe, gerst, soja, raap- en zonnebloemschroot en vezelrijke grondstoffen als bijproducten uit de zetmeelindustrie en de oliezadenverwerking en afkomstig van de droge vermaling van granen.

De belangrijkste gewassen voor de grondstoffen van mengvoer voor koeien en varkens zijn:

- peulvruchten, o.a. erwten, veldbonen;
- granen: o.a. tarwe, gerst, mais;
- schroot van oliehoudende zaden en vruchten: o.a. soja, kokos, koolzaad, zonnebloem;
- knollen/wortels en resten daarvan: o.a. cassave, suikerbieten, aardappelen;
- overige: o.a. citruspulp

Verder worden vismeel, bloedmeel, dierlijk vet en melkpoeder gebruikt. Van de dierlijke eiwitten mogen alleen melk- en visproducten in diervoeder worden toegepast.

De grootste stromen aan veevoedergrondstoffen bestaan uit tarwe, mais en sojaschroot. Voergranen komen voornamelijk uit Frankrijk en Duitsland, mais komt vnl. uit Europa en de VS. Soja wordt geïmporteerd uit Brazilië, ook komen er sojabonen uit de VS.

Op jaarbasis verbruikt de Nederlandse veehouderij 1,8 miljoen ton soja. In Nederland staan twee fabrieken die soja verwerken (crushing plants). Deze zijn eigendom van ADM in Rotterdam en Cargill in Amsterdam. In 2011 werd in deze twee fabrieken 2,2 mln. ton sojabonen geperst en in 2013 2,4 mln. ton. De sojaschroot, die overblijft na het uitpersen van de olie, wordt vervolgens verder verwerkt door de mengvoerfabrikanten. De olie wordt gebruikt voor menselijke voeding en voor biobrandstof. De veevoersector is de belangrijkste sojaverwerkende sector in Nederland.

Van de 8,3 miljoen ton soja die in de vorm van bonen, meel of olie in 2013 Nederland binnen kwam werd 5,9 miljoen ton (71%) door Nederland geëxporteerd (onbewerkt of na crushing), vooral binnen de EU. Van de 2,4 miljoen ton die in Nederland bleef werd 2,1 miljoen ton in veevoer verwerkt. In 2013 is naar schatting 17 miljoen ton veevoer geconsumeerd met een sojagehalte tussen de 7 en 26%. Sojaolie is de meest geconsumeerde plantaardige olie wereldwijd. Tot 1995 was de VS de belangrijkste sojaproductent. Nederland en China zijn de grootste importeurs van soja. Voor de teelt van soja wordt wereldwijd ongeveer 95 miljoen ha land gebruikt. Soja wordt vaak in grote monoculturen geteeld, maar daarnaast ook op traditionele bedrijven van circa 10 ha. In de grootschalige sojateelt zijn 1 tot 2 werknemers per 400 ha nodig. Een deel van het areaal waarop sojabonen worden verbouwd moet worden toegewezen aan sojameel en een deel aan sojaolie. Het crushen van sojabonen levert gemiddeld 79% sojameel en 19% sojaolie. De rest is hullen en afval. De wereldwijde sojamarkt wordt voor gemiddeld 57% door sojameel bepaald en voor 35% door sojaolie.

Het sojaverbruik en de daarvoor benodigde oppervlakte zijn voor de jaren 2011-2013 in tabel 22 weergegeven (LEI, 2014).

Tabel 22 Oppervlakte sojateelt 2011-2013 voor het verbruik per bedrijfstak, gemiddelden per jaar

bedrijfstak	sojaboonequivalenten	areaal
rundvee	551.000 ton	200.000 ha
varkens	594.000 ton	216.000 ha
pluimvee	958.000 ton	348.000 ha
diversen	38.000 ton	14.000 ha
totaal veehouderij	2.141.000 ton	779.000 ha

In Nederland is circa 80% van de dierlijke productie gebaseerd op geïmporteerde veevoergrondstoffen. In de EU is dit 15%. Dit veehouderijsysteem leidt in Zuid Amerika tot tekorten aan nutriënten en uitgeputte bodems en in Europa tot mestoverschotten.

In 2015 werden 16 keer zoveel krachtvoedergrondstoffen (12,4 miljoen ton) voor gebruik in de Nederlandse landbouw ingevoerd als in 1950 (0,7 miljoen ton). De grootste import vond plaats in 1985 met 14,7 miljoen ton. Een deel van de import is vervangen door het meer verbouwen van voedergewassen in Nederland. Dit is gepaard gegaan met een daling van de oppervlakte akkerbouwgewassen.

De hoeveelheden geïmporteerde veevoedergrondstoffen zijn geïnventariseerd op basis van cijfers van CBS, Landbouwcijfers en Land- en tuinbouwcijfers over de periode 1950 t/m 2015. De gemiddelde energie-inhoud van de veevoedergrondstoffen is bepaald op basis van diverse bronnen (Brand, 1993; Bos, 2006 en CE Delft, 2007). Voor de gemiddelde opbrengsten van de verbouw van veevoedergrondstoffen in het buitenland is uitgegaan van 2 ton/ha in 1950 oplopend tot 4 ton/ha in 2015. Verder is gesproken met een grote veevoederfabrikant en een sojacrusher. Voor de arbeid die nodig is voor de verbouw van de

veevoedergrondstoffen is uitgegaan van 1 arbeidsjaar op 10 ha in 1950 tot 1 arbeidsjaar op 40 ha in 2015.

### 8.3.2 Resultaten veevoer

In tabel 23 staan het gewicht van de geïmporteerde hoeveelheden krachtvoedergrondstoffen in tonnen, de energie-inhoud daarvan (is het indirecte energiegebruik ten behoeve van veevoer), het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid. Ruwvoer is buiten beschouwing gelaten. Het meeste daarvan wordt in Nederland verbouwd en kan worden beschouwd als een interne levering. De hoeveelheid geïmporteerd ruwvoer is enkele procenten van het totale ruwvoergebruik.

Tabel 23 Resultaten veevoer

	1950	1980	2010	2015
gewicht geïmporteerde krachtvoergroenstoffen	735.000 ton	11.790.000 ton	11.332.000 ton	12.400.000 ton
energie-inhoud	1,470000 PJ	35,370000 PJ	49,860800 PJ	54,560000 PJ
indirect landgebruik	367.513 ha	3.930.212 ha	2.833.204 ha	3.100.223 ha
indirecte arbeid	37.690 a.j.e.	135.484 a.j.e.	74.713 a.j.e.	81.708 a.j.e.

Indirect structureel landgebruik:

- de oppervlakte voor de verbouw van veevoedergewassen in het buitenland;
- de oppervlakte van de bedrijfsterreinen van de veevoerindustrie;
- de oppervlakte van de bedrijfsterreinen van sojacrushers

Indirecte arbeid veevoer:

- aantal arbeidsjaareenheden voor verbouw veevoedergewassen in het buitenland;
- aantal arbeidsjaareenheden sojacrushers;
- aantal arbeidsjaareenheden veevoerindustrie;
- aantal arbeidsjaareenheden fouragebedrijven

## 8.4 Dierlijke mest

### 8.4.1 Algemeen

De productie van dierlijke mest is gestegen van 49.019.000 ton (21 ton/ha) in 1950 tot 76.326.000 ton (41 ton/ha) in 2015 (CBS). Omstreeks 1985 was de mestproductie met 94.648.000 ton (47 ton/ha) het hoogst. Tot 2009 was er (beleidsmatig gezien) geen sprake van een landelijk overschot aan dierlijke mest en kon de mest nog binnen Nederland worden herverdeeld. Mest is voor een deel veranderd van een waardevolle grondstof in een afvalstof. Om het overschot aan mest kwijt te raken moet veel mest worden getransporteerd naar akker- en tuinbouwbedrijven, al dan niet via opslagplaatsen en/of verwerkingsinstallaties. Een deel van de mest wordt na bewerking geëxporteerd. De voor dit onderwerp gebruikte cijfers zijn o.a. afkomstig van CBS, LEI, RVO (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland) en diverse mededelingen van deskundigen.

Op basis van de hoeveelheid fosfaat in de mest is (via regelgeving) bepaald in welke mate er een overschot is aan dierlijke mest. Deze mest moet worden verwerkt als het niet op het land kan worden gebruikt.

Er zijn de volgende meststromen:

- van veehouderij naar akkerbouw, al dan niet via opslag (kan bij zowel veehouderij als akkerbouw);



- van veehouderij naar verwerking, dit gaat altijd rechtstreeks;
- van verwerking naar akkerbouw/tuinbouw: dit is een hele kleine stroom (mededeling Cumela);
- van verwerking naar consumenten (tuincentra, etc.): dit is circa 10%;
- van verwerking naar het buitenland, meestal in de vorm van korrels, etc.;
- van veehouderij naar een verbrandingsinstallatie.

### ***Mestverwerking***

Het is wettelijk verplicht om een deel van de mest te laten verwerken. De kosten van het mestbeleid waren in de periode 2000-2010 ongeveer 300 tot 400 miljoen euro per jaar. Het CBS heeft een andere definitie van mestverwerking dan RVO (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland). Het CBS verstaat onder verwerken de mest verbranden of er korrels van maken. Volgens RVO is exporteren ook verwerken. Wanneer de hoeveelheden verwerkte mest en geëxporteerde mest bij elkaar worden opgeteld zouden de cijfers van het CBS en van RVO met elkaar in overeenstemming moeten zijn. Er zijn in 2015 circa 85 verwerkingsinrichtingen operationeel. Gemiddeld zijn er 10 personen werkzaam per inrichting. Vaak zijn het continu-bedrijven, dat betekent twee of drie keer zoveel personen. Er wordt ook nog mest geïmporteerd. Deze import van mest betreft voor een deel paardenmest voor de champignonteelt, daarvan is in Nederland niet genoeg. Het gebeurt ook omdat het commercieel aantrekkelijk is, bijvoorbeeld mestvervoer vanuit Vlaanderen naar Zeeland kan goedkoper zijn dan mest vanuit Nederland aanvoeren. Het energiegebruik voor mestverwerking is 0,024 GJ/ton fosfaat, het landgebruik 0,04 m<sup>2</sup>/kg fosfaat en de benodigde arbeid is 53 a.j.e per miljoen kg fosfaat.

### ***Mestopslag***

De mestopslag van intermediairs is geregistreerd bij RVO. Het aantal boeren met een mestopslag is groter dan het aantal mestopslagen van intermediairs. Ruim de helft van de door landbouwbedrijven in dierlijke mest afgevoerde stikstof en fosfaat blijft binnen de Nederlandse landbouw. Het overige deel wordt geëxporteerd of verwerkt door mestverwerkingsbedrijven. Het energiegebruik van mestopslag is 0,015 GJ/ton.

### ***Mesttransport***

Er zijn 800 erkende intermediairs in Nederland, waarvan 200 intensieve veebedrijven zijn die hun opslagcapaciteit hebben geregistreerd onder de titel intermediair. De overige 600 zijn actieve intermediairs die zich bezig houden met mesttransport, opslag, verwerking en export of combinaties daarvan. Jaarlijks zijn er 83.000 tankwagens die 3 miljoen ton dunne mest vervoeren (dat is 36 ton per vracht), over een gemiddelde afstand van 150 km. Voor de berekening van het energiegebruik is uitgegaan van een transportafstand van 10 km in 1950, oplopend tot 200 km in 2015 en 20 ton per vracht in de periode 1950 t/m 1985 en 30 ton per vracht in de periode 1990 t/m 2015.

### ***Mestexport***

Bij mestexport moet de mest zijn gehygiëniseerd en moeten de vrachtwagens na transport worden gereinigd (voorwaarden EU). Ook zijn er eisen voor het maximale gewicht van vrachtwagencombinaties. In 2014 exporteerden de verwerkers 16,8 miljoen ton fosfaat; de totale verwerkingscapaciteit was toen 19 miljoen kg fosfaat. Hiervan was 9 miljoen kg fosfaat van pluimveemest die is verbrand en 3,3 miljoen kg fosfaat van droge pluimveemest die is verwerkt tot mestkorrels. In de nitraatrichtlijn wordt onderscheid gemaakt tussen meststoffen van dierlijke herkomst en kunstmest. Via kunstmest mag i.h.a. met meer stikstof worden bemest dan via dierlijke mest.



Stikstofhoudende producten uit mestverwerkingsinstallaties zouden dezelfde status moeten krijgen als kunstmest. In Nederland heeft de wettelijke status alleen gevolgen voor de hoogte van de stikstofgift. In de nitraatrichtlijn wordt uitgegaan van maximaal 170 kg stikstof per ha uit dierlijke mest (of 230 tot 250 kg bij derogatie). Volgens de gebruiksnorm voor werkzame stikstof mag afhankelijk van het gewas meer stikstof worden toegediend in de vorm van kunstmest. Bij fosfaat is dit onderscheid niet aanwezig. De werking van stikstof in dierlijke mest zou minder zijn dan die van stikstof in kunstmest. De werking van fosfaat en kali verschilt niet. De voordelen van dierlijke mest zijn dat het organische stof en sporenelementen bevat. Veehouderijsystemen met geen of een geringe grondgebondenheid hebben op wereldschaal geleid tot gebieden met overbemesting (gebieden met hoge vee dichtheden in Europa en Azië) en gebieden met uitputte bodems (akkerbouwgebieden in Latijns Amerika en Afrika).

#### 8.4.2 Resultaten voor dierlijke mest

In tabel 24 is een overzicht gegeven van de hoeveelheden dierlijke mest en het energiegebruik, het landgebruik en de arbeid daarvan.

Tabel 24 Resultaten dierlijke mest

	1950	1980	2010	2015
totale mestproductie	49.019.000 ton	85.634.000 ton	72.172.000 ton	76.326.000 ton
mestverwerking	0 ton	0 ton	34,1mlnkgP2O5	40 mln. kgP2O5
energiegebruik mestverwerking	0 GJ	0 GJ	818.400 GJ	960.000 GJ
hoeveelheid getransporteerde mest	4.902.000 ton	8.563.000 ton	22.253.327 ton	28.947.898 ton
getransporteerde mest t.o.v. mestproductie	10%	10%	31%	38%
transportkilometers dierlijke mest	2.451.000 km	21.407.500 km	123.513.280 km	192.986.000 km
energiegebruik mesttransport	137.256 GJ	1.198.820 GJ	9.346.397 GJ	16.210.823 GJ
mestopslag*)	4.902.000 ton	8.563.000 ton	15.357.000 ton	15.800.000 ton
mestopslag t.o.v. totale mestproductie	10%	10%	21%	21%
energiegebruik mestopslag	73.530 GJ	128.445 GJ	230.355 GJ	237.000 GJ
totaal energiegebruik dierlijke mest	210.786 GJ	1.327.265 GJ	10.395.152 GJ	17.407.823 GJ
totaal energiegebruik	0,210786 PJ	1,327265 PJ	10,395152 PJ	17,407823 PJ
indirect landgebruik	0 ha	0 ha	682 ha	800 ha
indirecte arbeid	130 a.j.e.	376 a.j.e.	3.268 a.j.e.	4.439 a.j.e.

\*) De hoeveelheid opgeslagen mest is gelijk gesteld aan de hoeveelheid op landbouwbedrijven aangevoerde mest.

Het indirect landgebruik is de oppervlakte van de terreinen van de mestverwerkingsinstallaties. De indirecte arbeid is de arbeid van de intermediairs, de chauffeurs van het mesttransport en de medewerkers van de mestverwerkingsinrichtingen. De hoeveelheden compost en zuiverings-slib die in de landbouw worden gebruikt zijn hier buiten beschouwing gelaten (zie ook hoofdstuk 11.4).

## 8.5 Kunstmest

### 8.5.1. Algemeen

Nederland is één van de grootste producenten van kunstmeststoffen in Europa; alleen in Duitsland wordt meer geproduceerd. De totale productie is ongeveer 7,5 miljoen ton meststoffen, waarvan 6 miljoen ton stikstofhoudende meststoffen. Daarvan is 11% bestemd voor de Nederlandse landbouw, de rest wordt geëxporteerd.

Er zijn 5 kunstmestproducenten in Nederland:

- ICL Fertilizers in Amsterdam;
- OCI Nitrogen in Geleen;
- Yara in Sluiskil;
- Rosier in Sas van Gent;
- Plantacote in Westdorpe.

Deze bieden werk aan 1.700 werknemers. De afgeleide werkgelegenheid is circa 5.000 werknemers. Omdat aardgas wordt gebruikt als grondstof voor stikstofkunstmest is Nederland (nog) een gunstig land voor kunstmestproductie. In Nederland worden kunstmeststoffen geproduceerd waarvoor o.a. de grondstoffen fosfaat en kali worden gebruikt, die voor een deel worden gewonnen in Marokko en de Negev woestijn (fosfaaterts) en uit de dode Zee (kalizout) en de Duitse en Franse kalimijnen. De Europese kunstmestindustrie produceert circa 239 miljoen ton kunstmest per jaar op 120 productielocaties en met 95.000 medewerkers.

Vanaf het midden van de negentiende eeuw is men gestart met de fabrieksmatige productie van superfosfaat en vanaf 1880 met thomasslakkenmeel. De productie van kalimestoffen uit de zoutmijnen is in 1860 begonnen. In herkomst en productiewijze van de fosfaat- en kalimestoffen zijn sindsdien geen principiële wijzigingen opgetreden.

De eerste op de markt verschijnende stikstofkunstmest was chilisalpeter. In 1830 werd met de import hiervan in Europa begonnen. De productie van zwavelzure ammoniak uit het bij de cokesbereiding vrijkomende ammoniak dateert van circa 1890. In de twintigste eeuw is de fabrieksmatige productie van kunstmeststikstof goed op gang gekomen, door toepassing van het in de Eerste Wereldoorlog in Duitsland ontwikkelde Haber-Bosch-procedé. Hierdoor kan ammoniak, de grondstof van bijna alle stikstofmeststoffen, langs synthetische weg worden bereid, wat leidde tot een sterke daling van de productiekosten. Het productieproces voor het maken van stikstofkunstmest is in de tijd gezien efficiënter geworden. De daarmee verkregen energiebesparing is groter dan de extra energie die nodig is geweest om de meer gecompliceerde fabrieksinstallaties te maken.

Fosfaat is een onmisbaar bestanddeel van DNA en RNA. De belangrijkste mijnbouwgebieden liggen in China en Marokko. Per jaar wordt daar ongeveer 170 miljoen ton fosfaaterts uit de grond gehaald. Fosfor uit fosfaaterts komt voor 80% in de landbouw terecht. Een groot deel van het fosfaat uit Marokko wordt onverwerkt uitgevoerd. Het transport gaat per schip over een afstand van 2.400 km. De grondstof voor fosfor is fosfaathoudend gesteente dat in open mijnbouw (dagbouw) wordt gewonnen. Het ruwe fosfaatgesteente heeft een laag fosfaatgehalte; de eerste bewerking in het land van winning is het concentreren van het fosfaat tot circa 33%. Het wereldfosfaatgebruik is van 1965 tot 1990 verdubbeld door de groei van de wereldbevolking en door een sterke afname van het gebruik van menselijke fecaliën als meststof in China.

De keten van winning tot afval kent in Nederland veel verspilling, o.a. door de organisatorische scheiding tussen landbouwproductie en riolering. Bij winning uit afzettingsgesteenten (het grootste deel van de fosfaatertsen) treedt aanzienlijke verontreiniging op met organisch materiaal, klei, zand, ijzer en diverse metalen zoals het giftige cadmium en radioactieve uranium. Fosfaaterts bevat ook radium en cadmium. Zolang fosfaten worden geproduceerd bij hoge temperaturen komt dioxine als afvalstof vrij. Fosfaaterts is radioactief en dat kan via de voeding in het lichaam komen. Het uranium in ons lichaam komt van de kunstmest. De kwaliteit van fosfaaterts wordt bepaald door het gehalte aan  $P_2O_5$ . Dit varieert van 5% tot 45%. Als het minder is dan 30% (dat is de bulk van de productie), ondergaat het een eerste behandeling (droge methode) en een verrijking via droge of natte processen. De voorraad fossiel fosfaat ligt grotendeels in Marokko en de westelijke Sahara.



*Fosfaatmijn in Togo, West Afrika, in 2017 (Alexandra Pugachevsky)*

Kali komt nu uit mijnen in Canada, Wit Rusland, Rusland en Duitsland. Nederland importeert steeds minder kalium, omdat er voldoende in dierlijke mest zit. De meeste import komt uit Duitsland. De winning in Duitsland vindt plaats op 500 tot 1500 m onder de grond. Er zijn ondergrondse mijnencomplexen in het district Werra zo groot als München. Men boort gaten in het zout waar springstof in komt. Elke ontploffing geeft 1200 ton steenzout, wat daarna naar de bovengrond wordt afgevoerd en wordt gemalen en gescheiden. Ongeveer 30% van het ruwe zout is bruikbaar als grondstof. De rest wordt gestort achter de fabriek, want het is te duur om het weer ondergronds te brengen. De Werra mijnen in de Duitse regio's Hessen en Thüringen hebben een gangenstelsel met een lengte van 4.600 km.

Kalkmeststof is een minerale kunstmeststof die calcium bevat. Deze dient naast voeding voor de plant ook voor verbetering van de bodem. Mengmeststoffen hebben een verzurend effect op de bodem, daardoor is meer kalk nodig. De belangrijkste kalkmeststoffen zijn afkomstig

uit mergelgroeven (kalk of dolomietmergel). Kalk, mergel of krijt komt in Zuid Limburg aan de oppervlakte voor. Winning vindt zowel bovengronds als ondergronds plaats.

De daling van het gebruik van fosfaat en kalium uit kunstmest komt doordat deze voedingsstoffen nu worden aangevoerd middels het geïmporteerde krachtvoer. De aanvoer hiervan uit dierlijke mest is nu groter dan die uit kunstmest.

De gebruikte hoeveelheden kunstmest zijn gebaseerd op de gegevens van CBS en Land- en tuinbouwcijfers. Daarnaast zijn op basis van inventarisaties van waarden voor de energie-inhoud van de diverse soorten kunstmest (een groot aantal bronnen) en gegevens van de kunstmestindustrie de energie-inhouden bepaald. Landgebruik en arbeid zijn gebaseerd op de productie- en arbeidsgegevens van de kunstmestindustrie.

### 8.5.2 Resultaten kunstmest

In tabel 25 zijn weergegeven de hoeveelheden gebruikte kunstmest, de energie-inhoud daarvan (is het indirecte energiegebruik), het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid.

Tabel 25 Resultaten kunstmest

	1950	1980	2010	2015
<i>hoeveelheden:</i>				
stikstofmeststoffen	156.000 ton	482.800 ton	219.511 ton	261.053 ton
fosfaatmeststoffen	119.800 ton	82.800 ton	30.728 ton	9.134 ton
kalimeststoffen	155.000 ton	113.500 ton	55.823 ton	26.827 ton
kalkmeststoffen	70.000 ton	220.200 ton	101.543 ton	134.266 ton
totaal kunstmest	500.800 ton	899.300 ton	407.605 ton	431.280 ton
<i>energiegebruik:</i>				
stikstofmeststoffen	10,920000 PJ	26,554000 PJ	8,780440 PJ	10,442120 PJ
fosfaatmeststoffen	2,635600 PJ	1,573200 PJ	0,553104 PJ	0,164412 PJ
kalimeststoffen	2,170000 PJ	1,135000 PJ	0,558230 PJ	0,268270 PJ
kalkmeststoffen	0,122500 PJ	0,385350 PJ	0,177700 PJ	0,234966 PJ
totaal energiegebruik	15,848100 PJ	29,647550 PJ	10,069474 PJ	11,109768 PJ
indirect landgebruik	30 ha	54 ha	24 ha	26 ha
indirecte arbeid	501 a.j.e.	899 a.j.e.	408 a.j.e.	431 a.j.e.

De hoeveelheden gebruikte kunstmest nemen vanaf 1950 tot 1985 eerst toe en daarna tot 2015 weer af tot een niveau beneden dat van 1950. Dit is o.a. veroorzaakt door de introductie van bemestingsnormen en omdat er veel dierlijke mest beschikbaar is. De fosfaat uit kunstmest is voor een groot deel vervangen door fosfaat uit dierlijke mest.

Het energiegebruik door kunstmeststoffen is afgenomen omdat de gebruikte hoeveelheden zijn afgenomen en de productieprocessen efficiënter zijn geworden. Daardoor is er een dubbel neerwaarts effect. Het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid zijn groter dan hier is weergegeven; vanwege ontbrekende informatie over de fosfaat- en kalimijnen is hier alleen uitgegaan van de bedrijfsterreinen en de arbeid betrokken bij de fabricage van kunstmest.

### 8.6 Micronutriënten en sporenelementen

Micronutriënten en sporenelementen worden via mijnbouw gewonnen. De nu bekende voorraden zijn eindig. Ze worden zowel in de industrie als in de landbouw toegepast. Het gebruik in de industrie is circa 90% van het totale gebruik. Alleen voor borium en seleen

draagt de landbouw significant bij aan het huidige mondiale gebruik. Voor seleen in de veehouderij is dit 11% en voor borium in akker- en tuinbouw 12%. van het mondiale verbruik (Chardon, 2013). De voor de landbouw essentiële micronutriënten zijn borium, ijzer, koper, mangaan, molybdeen, kobalt en zink. Hoewel deze mineralen voornamelijk door de industrie worden gebruikt zijn ze daar vervangbaar, terwijl ze voor de landbouw en de volksgezondheid van essentieel belang zijn. In de industrie is bijna geen recycling van micronutriënten. Voor alle industrieel gebruikte micronutriënten zijn er alternatieven behalve voor kobalt. Bij het huidige productieniveau en de bekende voorraden zou er nog voor 21 jaar zink aanwezig zijn. Er bestaat weinig aandacht voor de doorwerking van tekorten aan micronutriënten in bodem en gewas naar humane en veterinaire gebreksziekten. In de landbouw vindt recycling van micronutriënten eigenlijk van nature plaats, omdat micronutriënten via landbouwgewassen in ons voedsel komen en vervolgens grotendeels in mest en afvalwater. Deze van nature aanwezige recycling is echter doorbroken. Door de wijze waarop het afvalwater wordt behandeld gaan micronutriënten verloren (zie ook hoofdstuk 11). Ze komen niet terug op het land, waardoor de landbouw wordt gedemineraliseerd. Omdat we geen kringlooplandbouw hebben moeten micronutriënten en sporenelementen van buiten worden aangevoerd en/of worden gewonnen via mijnbouw. Dit kan resulteren in een probleem van schaarste, waarbij er concurrentie met de industrie kan ontstaan. Tevens veroorzaakt dit een kwaliteitsverslechtering van de voeding (voor de effecten van het gebruik van micronutriënten die via mijnbouw worden gewonnen zie hoofdstuk 6.3).

## **8.7 Bestrijdingsmiddelen**

### **8.7.1 Algemeen**

Er zijn duizenden bestrijdingsmiddelen in de handel die zijn gebaseerd op ruim 400 actieve stoffen. Een bestrijdingsmiddel kan fysisch, chemisch of biologisch van aard zijn. Behalve de actieve stof zelf is er nog een groot aantal toevoegingen, zoals diverse hulp- en vulstoffen.

Op basis van hun toepassingsgebied worden de volgende bestrijdingsmiddelen onderscheiden:

- insecticiden, ter bestrijding van insecten;
- fungiciden, ter bestrijding van schimmels;
- herbiciden, ter bestrijding van onkruiden;
- nematiciden, tegen bodemaaltjes die de wortels aantasten;
- acariciden, tegen mijten;
- algiciden, tegen algen;
- rodenticiden, tegen knaagdieren die het gewas bedreigen.

Daarnaast zijn er nog afweermiddelen tegen vogels en wild, mollusciciden tegen slakken, en groeiregulatoren.

Op grond van de werking van de middelen worden onderscheiden:

- contact- of systemische middelen: voor hun werking is een direct contact nodig (dit zijn de meeste middelen);
- selectieve en aselektieve (breed werkende) middelen.

In de jaren 1940 en 1950 zijn vaak breed werkende middelen toegepast. Het grootschalige gebruik van bestrijdingsmiddelen ontstond pas na 1945. Dit leidde tot een nauwer bouwplan, omdat men de ziektedruk niet meer alleen met natuurlijke maatregelen hoefde te weerstaan.

Vroeger gold voor aardappels bijvoorbeeld een rotatie van 1 op 7. In de biologische landbouw is dat nu 1 op 6.

Pas eind jaren 1940 kwam er enige regelgeving op het gebied van bestrijdingsmiddelen:

- Meststoffenwet 1947: “Het is wenschelijk maatregelen te nemen tegen bedrog in den handel van middelen tegen plantenziekten, schadelijke dieren en onkruiden”;
- Bestrijdingsmiddelenwet 1962: regels voor veilig omgaan met giftige stoffen en instelling van het College voor Toelating van Bestrijdingsmiddelen;
- in 1983 de Nota gewasbescherming, dit was een eerste aanzet om het bestrijdingsmiddelengebruik terug te dringen;
- In 1987: de notitie “Naar een taakstellend Meerjarenplan voor de Gewasbescherming”

Een bestrijdingsmiddel bevat altijd minstens één werkzame stof. Daarnaast vaak nog een vulstof en 1 of meer hulpstoffen. De werkzame stof is het biologisch werkzame deel van een bestrijdingsmiddel. Het mengsel van werkzame stoffen, vulstoffen en hulpstoffen wordt formulering genoemd. De vulstof heeft als doel het bestrijdingsmiddel een groter volume te geven. Hiervoor wordt vaak talk of een kleisoort als kaoline gebruikt. De hulpstoffen hebben als doel de werking van het middel te verbeteren. Hulpstoffen kunnen zijn een oplosmiddel, hechter, uitvloeier, kleurstof of synergist. Vulstoffen en hulpstoffen kunnen ook een schadelijke werking hebben.

Gewassen moeten bestand zijn tegen:

- 30.000 soorten onkruid;
- 3.000 soorten aaltjes;
- 800 soorten schimmels;
- 10.000 voor de plant schadelijke insectensoorten.

De registratie van het bestrijdingsmiddelenverbruik in de landbouw gaat niet verder terug dan 1986.

Fabrikanten van bestrijdingsmiddelen zijn:

- Agrichem BV
- ArcaZen MCS
- DOW AgroSciences
- BASF
- Bayer CropScience
- Bayer ongediertebestrijding
- Luxan
- Monsanto
- DuPont

Zij zijn in Nederland verenigd in de brancheorganisatie Nefyto (Nederlandse Stichting voor Fytofarmacie of Dutch Crop Protection Agency). Nefyto is op Europees niveau aangesloten bij de ECPA (European Crop Protection Association). Op wereldniveau vertegenwoordigt de CLI (Crop Life International) de belangen van de bestrijdingsmiddelenbedrijven. Bij Nefyto zijn 14 deelnemers aangesloten, die 95% van de Nederlandse omzet in bestrijdingsmiddelen vertegenwoordigen. Naast chemische bestrijdingsmiddelen worden ook biologische bestrijdingsmiddelen toegepast. Voornamelijk in de glastuinbouw is de toepassing van chemische bestrijdingsmiddelen vervangen door biologische bestrijdingsmethoden.

Omdat gegevens moeilijk zijn te verkrijgen zijn alleen de hoeveelheden chemische bestrijdingsmiddelen geïnventariseerd en zijn van landgebruik en arbeid inschattingen gemaakt. De hoeveelheden zijn geïnventariseerd op basis van het jaarlijkse overzicht van Nefyto, CBS en Landbouwcijfers, diverse bronnen en voor de periode 1950 t/m 1970 van een studie van het IMAG (Lange, 1974). Nefyto levert op basis van een wettelijke verplichting aan de overheid elk jaar de afzetcijfers aan, uitgedrukt in actieve stof. Het zijn de afzetcijfers op de Nederlandse markt, van de in Nefyto deelnemende bedrijven. Deze registratie is er sinds 1986.

### 8.7.2 Resultaten bestrijdingsmiddelen

In tabel 26 staan de resultaten voor bestrijdingsmiddelen.

Tabel 26 Resultaten bestrijdingsmiddelen

	1950	1980	2010	2015
hoeveelheid bestrijdingsmiddelen in ton product	21.791 ton	43.248 ton	19.584 ton	19.360 ton
hoeveelheid bestrijdingsmiddelen in ton actieve stof	10.682 ton	21.200 ton	9.600 ton	9.490 ton
energiegebruik bestrijdingsmiddelen	1,207066 PJ	4,614487 PJ	2,584820 PJ	2,674690 PJ
indirect landgebruik *	1 ha	1 ha	1 ha	1 ha
indirecte arbeid *	87 a.j.e.	173 a.j.e.	78 a.j.e.	77 a.j.e.

\*op basis van voorlopige (voorzichtige) aanname: indirect landgebruik is de oppervlakte van de bedrijfsterreinen, indirecte arbeid zijn de medewerkers van de industrie

Het is niet (makkelijk) te achterhalen hoe de toeleveringsketen voor de bestrijdingsmiddelenindustrie er uit ziet. Het gaat voor wat betreft de gebruikte grondstoffen vaak om stoffen op aardoliebasis. Voldoende gegevens ontbreken.

### 8.8 Diergeneesmiddelen

In Nederland is geen centraal registratiesysteem van bedrijfsgebonden dierziektes. Dat is er wel van het gebruik van antibiotica. Bij antibiotica gaat het om ruim 200.000 kg actieve stof per jaar. Er zijn in Nederland circa 5.000 dierenartsen werkzaam. Hoewel het bij diergeneesmiddelen wel om grote hoeveelheden gaat zijn er te weinig gegevens om dit onderwerp hier verder uit te werken en zijn ze als input niet meegenomen.

### 8.9 Zaaizaad en poot- en plantgoed

Bij het produceren van zaaizaad en poot- en plantgoed zijn landbouwbedrijven betrokken die aan zich zelf of aan andere boeren leveren (het zijn dan interne leveringen) of aan derden (bijvoorbeeld de export van pootaardappelen). Daarnaast zijn er gespecialiseerde veredelings- en zaadbedrijven die ook aan de landbouw leveren, het is dan input voor de landbouw. Zaaizaad, poot- en plantgoed zijn niet apart meegeteld bij de input.

## 8.10 Elektronica

### 8.10.1 Digitale technologie

Nog tot ver in de twintigste eeuw waren de meeste productietechnieken zodanig dat de energie die gebruikt werd tijdens de levensduur van een product veel groter was dan de benodigde energie voor de productie er van. Bij elektronische apparatuur is dit echter andersom: de hoeveelheid energie die nodig is om de producten te maken is veel hoger dan het energiegebruik van de elektronische producten tijdens hun levensduur. Daarbij gaat het niet alleen om nieuwe producten, want ook al lang bestaande producten zitten tegenwoordig vol met elektronica (bijvoorbeeld landbouwtractors, stalinstallaties, voercomputers, melkrobots, GPS, drones, alle apparaten waarmee data worden verzameld). Ook de infrastructuur die al deze technologie ondersteunt (het mobiele telefoonnetwerk, internet met datahotels, servers, routers, switches, optische apparatuur, zendmasten, satellieten) moet worden geproduceerd en aangelegd en gebruikt energie. Het energiegebruik van elektronische apparatuur vindt plaats in de vorm van elektriciteit en moet dus nog met een factor twee tot drie moet worden vermenigvuldigd om het primaire energiegebruik te bepalen. Verder neemt het aantal elektronische apparaten heel snel toe en verouderen ze ook heel snel. Dit heeft een relatief korte gebruiksduur tot gevolg en dus een groot direct en indirect energiegebruik.

Het energiegebruik van digitale technologie bestaat uit:

- het energiegebruik voor de productie, waarbij meer afval vrij komt dan na de gebruiksfase (het uiteindelijke elektronisch afval na de gebruiksfase is maar 10% van de totale hoeveelheid afval);
- het elektriciteitsgebruik van de toestellen en apparaten zelf;
- het energiegebruik van de infrastructuur zoals het mobiele telefoonnetwerk en internet.

Door het toepassen van digitale technologie is het energiegebruik gestegen door o.a.:

- het (hoge) energiegebruik van mobiele telefoons, wat voor een groot deel is te wijten aan de korte levensduur van de telefoons. Meer dan de helft van het energiegebruik van de mobiele telefooninfrastructuur komt voor rekening van de productie van de telefoons (de embodied energy). Er zijn veel vervangingsaankopen door steeds nieuwe functies. Het energiegebruik van een mobiele telefoon is 180 MJ voor de productie en 80 MJ voor het gebruik. Gemiddeld worden er nu 35 telefoons in een mensenleven gebruikt en ongeveer drie miljard mensen hebben een mobiele telefoon;
- het vervangen van vaste telefoons, die minder elektriciteit gebruiken en langer mee gaan, door mobiele telefoons;
- het verzenden van informatie via een mobiel netwerk, hetgeen meer energie kost dan via een vast netwerk (Faist Emmenegger et.al, 2006).

In de ICT-sector wordt de toename van de energie-efficiency steeds weer teniet gedaan door extra toepassingen. Digitale technologie vergt energie-intensieve productiemethoden. Recycling geeft geen oplossing voor het energiegebruik, want dat zit voor het grootste deel in het productieproces.

De ecologische voetafdruk van digitale technologie wordt veroorzaakt door:

- het energiegebruik van de energie-intensieve productie en de ultra korte levensduur van de producten;
- de toxiciteit van de productieprocessen;



- het watergebruik, er is ultra puur water nodig, waarvoor veel chemicaliën nodig zijn om het te maken;
- afval van allerlei elektronica.

Digitale technologie is het beste te verduurzamen door de levensduur te verlengen en overbodige toepassingen te vermijden. De technologische veroudering is grotendeels het gevolg van uitgekiende marketing. Datacenters zijn nu de vijfde elektriciteitsgebruiker. Door online-shopping en online-marketing blijft het energiegebruik stijgen.

Naast het landgebruik tijdens de gebruiksfase is er ook landgebruik tijdens de productiefase: het delven en bewerken van grondstoffen, de productie in fabrieken, het transport van materialen en producten en de wegwerpfase. Het beleidsmatig sturen op de energie-efficiency van producten kan als effect hebben dat producten sneller worden vervangen, omdat het nieuwe product energiezuiniger is (de embodied energy van het vervangen product gaat verloren). Verder moet alles ook “innovatief” zijn: geen gewone fiets of de was drogen aan de waslijn of een mechanische deurbel. Er is vaak geen technologie nodig om energiegebruik te reduceren: bijvoorbeeld lagere snelheden in het verkeer, het licht op tijd uit doen. Een product repareren is vaak onmogelijk geworden.

De ICT-sector is inmiddels een grote sector in de economie geworden. Ruim 10% van de bedrijvigheid is ICT. Het aantal beeldschermwerkers als percentage van de totale beroepsbevolking ligt boven de 60%. Bij de branchevereniging van de ICT-sector zijn ruim 550 bedrijven aangesloten. Deze hebben dertig miljard euro aan omzet. De digitale infrastructuur van Nederland omvat circa 140 datacenters, waarvan 50 als groot worden aangeduid. In 2015 zijn er 333.000 arbeidsjareenheden in de ICT-sector in Nederland.

Het energiegebruik van de digitale technologie stijgt snel en volgens het IEA zal het stroomverbruik hierdoor ten opzichte van 2009 in 2020 zijn verdubbeld en in 2030 verdrievoudigd. Wereldwijd is 15% van het huishoudelijke elektriciteitsgebruik voor informatie- en communicatietechnologie. Daarbij komt ook nog de energie om alle apparatuur te produceren en het energiegebruik van de communicatie-infrastructuur zelf (het internet en het mobiele telefoonnetwerk).

In de jaren zeventig van de twintigste eeuw is een begin gemaakt met het voorzichtig toepassen van automatisering in de landbouw. In de Nationale Rekeningen is in 1976 voor het eerst een bedrag (0,9 miljoen euro) opgenomen voor de aanschaf van computers in de landbouw. Toen nog veel geld voor weinig (dure) elektronica. Het aantal apparaten en de toepassingsmogelijkheden zijn sindsdien voortdurend toegenomen. Dit is echter niet terug te vinden in de geïnvesteerde bedragen, omdat elektronica steeds goedkoper is geworden. Ook is elektronica steeds meer “verborgen” geraakt. Kocht je eerst een apart apparaat, bijvoorbeeld een computer, nu zit “overal” elektronica in. Het is niet meer altijd als zodanig zichtbaar.

In de jaren tachtig van de twintigste eeuw is het begonnen met bijvoorbeeld:

- bedrijfscomputers voor boekhouding en management;
- procescomputers voor klimaatregeling in bewaarplaatsen, stallen en kassen
- procescomputers voor substraatteelt;
- procescomputers voor krachtvoerdosering

Ging het eerst om enkele duizenden computers, nu hebben bijna alle bedrijven één of andere vorm van automatisering in huis. De apparatuur is steeds meer autonoom geworden en

bestuurt zich zelf (melkrobot). Ook een belangrijke toepassing is vanaf ongeveer het jaar 2000 de toepassing van allerlei elektronica in trekkers en werktuigen. Verder komen er nu allerlei toepassingen die liggen in de sfeer van dataverzameling: sensoren, drones, etc. Deze zogenaamde big data worden als een vooruitgang gezien. Ook is wel de verwachting dat de hightech landbouw (in de zin van veel elektronica) een grote vooruitgang is en een heleboel problemen kan oplossen. Omdat de nadelen van elektronica op dit moment alleen nog maar ver van huis zichtbaar zijn, speelt het kritisch kijken naar allerlei toepassingen nog nauwelijks een rol. De kosten van landverlies, milieuvervuiling, slechte arbeidsomstandigheden en gezondheidsrisico's zijn nog niet goed zichtbaar voor de Nederlandse landbouw en de Nederlandse maatschappij

Een onderbelicht aspect van al deze elektronica is dat het ook een nieuwe afhankelijkheid schept van de boer ten opzichte van de leverancier, fabrikant of monteur van de elektronica. Bij storingen kan men zelf vaak niets meer repareren, maar ook het mechanisatiebedrijf moet hulp van elders inroepen. Storingen in moderne machines en apparatuur zijn vaak te wijten aan storingen in de elektronica. Men moet de hulp van gespecialiseerde mensen inroepen, die soms van ver moeten komen en vaak niet direct beschikbaar zijn. Omdat veel elektronica niet te repareren is worden bij storingen vaak units in z'n geheel vervangen. Men weet dan dat de storing "ergens" in een bepaald onderdeel zit verborgen en dit onderdeel wordt dan helemaal vervangen, omdat het goedkoper is dan repareren. Hiermee stijgen de energiekosten en neemt de afhankelijkheid van de boer nog meer toe.

Het besparen op het toepassen van elektronica zit nog niet in onze cultuur. Vaak wordt het gezien als een oplossing voor "alles". Een reportage in Boerderij van 16 juni 2015 over diefstal op agrarische bedrijven is wat dat betreft illustratief: "Preventiemaatregelen tegen diefstal op en rond het erf en opstallen kunnen veel ellende voorkomen. Dankzij moderne technieken komen er steeds meer nieuwe mogelijkheden om dieven tegen te houden, om alarm te slaan of om spullen te traceren die meegenomen zijn. Vijf mogelijke maatregelen: beter hang- en sluitwerk, beveiliging van dieseltanks, camerabewaking, voertuigvolgsystemen en opritverklidders. Voor investeringen geldt een subsidieregeling. Wie erf, de schuren of woning ook 's nachts wil monitoren, moet er op letten dat het camerasysteem infrarood heeft. Anders is het raadzaam terrein of gebouwen te voorzien van infraroodverlichting. Een camerabewakingssysteem met vier digitale camera's, een HD-recorder om de beelden vast te leggen en een monitor kost zo'n € 2000. Wie de bekabeling zelf aanlegt, bespaart op installatiekosten". Aldus (selectief) geciteerd uit dit artikel. Blijkbaar speelt het in de besluitvorming (nog) geen enkele rol dat elektronica een hoog energiegebruik en veel milieuvervuiling veroorzaakt.

Het is moeilijk de globale gegevens over de winning van grondstoffen en elektronica te vertalen naar de Nederlandse landbouw. Er komt steeds meer elektronica en dat veroorzaakt een steeds groter beslag op de voorraden energie en grondstoffen. De hightech landbouw met veel elektronica draagt hier ook aan bij. Eigenlijk is een echte hightech landbouw een landbouw die kan produceren zonder al deze input. Daarbij komt dat al binnen een periode van 50 jaar heel veel essentiële grondstoffen zijn uitgeput en vaak al veel eerder dan 50 jaar. Ook ijzer raakt binnen 50 jaar op.

Het is niet makkelijk te achterhalen hoeveel elektronica per jaar Nederland binnen komt (er worden zowel grondstoffen, halffabricaten als eindproducten ingevoerd), hoeveel in Nederland wordt geproduceerd en hoeveel er wordt geëxporteerd. Om een inschatting te kunnen maken is uitgegaan van de hoeveelheden elektronisch en elektrisch afval die per jaar

per inwoner vrij komen. Vervolgens is het aandeel van de landbouw bepaald op basis van het aandeel van de landbouw in het totale directe energiegebruik van Nederland.

In 2010 is in Nederland 440.000 ton aan elektronische en elektrische apparaten (EEA) op de markt gezet. Dit komt overeen met 26,5 kg per inwoner. In 2010 kwam per inwoner 23,7 kg vrij als afval, zijnde 392.330 ton (89% van de verkoop). De hoeveelheid op de markt gebrachte elektrische en elektronische apparatuur (EEA) neemt nog steeds toe. Ongeveer 1 tot 2% van het huishoudelijk restafval bestaat uit EEA (voornamelijk kleine apparaten). Op basis van het aantal kg EEA per inwoner, per jaar en het aantal inwoners zijn de totale hoeveelheden EEA berekend. Op basis van de energie-inhoud en het aandeel van de landbouw in het directe energiegebruik van Nederland is het energiegebruik van de elektronica ten behoeve van de landbouw bepaald. In de EU komt 26,5 kg/inwoner aan elektronisch en elektrisch afval per jaar vrij, waarvan 4 kg afkomstig is van ICT. Het aandeel ICT is dan 15%. De energiebehoefte voor de productie van microchips en nano- materialen ligt tussen de 1000 en 100.000 MJ per kg materiaal.

De embodied broeikasgasemissies van 14 ICT-producten (Teehan, 2013) is als basis genomen voor het bepalen van de energie inhoud. Hierbij is alleen gekeken naar de mijnbouw fase en de productiefase. Op basis hiervan zijn door mij de energie-inhoud bepaald. Dit kwam uit op een gemiddelde van 566 GJ/ton. Een dataset van Apple kwam uit op 689 GJ/ton. Voor de berekening is hier uitgegaan van 600 GJ/ton. In tabel 27 staan de hoeveelheden afgedankte elektronische en elektrische apparatuur in kg per inwoner (Compendium voor de Leefomgeving, 2012 en Huisman et.al., 2012). Op basis daarvan zijn de totale hoeveelheden EEA bepaald en daarmee het energiegebruik.

Tabel 27: vrijgekomen afval aan elektrische en elektronische apparatuur in Nederland:

jaar	kg per inwoner*	aantal inwoners	ton EEA	energiegebruik (600GJ/ton)	aandeel landbouw**	energiegebruik landbouw
1980	5	14.091.014	70.455	42,2730 PJ	3,9%	1,648647 PJ
1985	8	14.453.833	115.630	69,3780 PJ	4,3%	2,983254 PJ
1990	11	14.892.574	163.818	98,2908 PJ	4,1%	4,029923 PJ
1995	14,81	15.424.122	228.431	137,0586 PJ	4,0%	5,482344 PJ
2000	17,75	15.863.950	281.585	168,9510 PJ	3,6%	6,082236 PJ
2005	20,95	16.305.526	341.600	204,9600 PJ	3,2%	6,558720 PJ
2010	23,67	16.574.989	392.330	235,3980 PJ	3,4%	8,003532 PJ
2011	24	16.655.799	399.739	239,8434 PJ	3,4%	8,154676 PJ
2012	24	16.730.348	401.528	240,9168 PJ	3,6%	8,673005 PJ
2013	25	16.779.575	419.989	251,9934 PJ	3,7%	9,323756 PJ
2014	25	16.829.289	420.732	252,4392 PJ	3,6%	9,087811 PJ
2015	25	16.985.571	424.639	254,7834 PJ	4,0%	10,191336 PJ

\* kg per inwoner voor 1980 t/m 1990 en 2011 t/m 2015 aannames gedaan op basis grafiek PBL (is ongeveer rechte lijn).

\*\* evenredig met het aandeel van landbouw in het totale directe energiegebruik

Omdat is uitgegaan van de hoeveelheden afval geeft dit een beeld wat 3 tot 6 jaar achter loopt; in werkelijkheid zijn de energiegebruiken voor de hier aangegeven periode hoger, omdat de hoeveelheden elektronica en elektrische apparaten nog steeds toenemen. In de toekomst zal naast het elektrische en elektronische afval zoals dat hier is aangeduid, steeds meer “verborgen” elektronica als afval vrijkomen, als de huidige trekkers, machines en andere apparatuur, waar veel elektronica in zit, worden afgedankt.

Het arbeidsvolume in de ICT is moeilijk te achterhalen, omdat een groot deel er van in het buitenland zit.

### 8.10.2 Resultaten elektronica

In tabel 28 staan de resultaten voor het onderwerp elektronica.

Tabel 28 Resultaten elektronica

	1950	1980	2010	2015
gewicht	-	2.748 ton	13.339 ton	16.986 ton
energiegebruik	-	1,648647 PJ	8,003532 PJ	10,191336 PJ
indirect landgebruik	-	12 ha	50 ha	100 ha
indirecte arbeid	-	1.950 a.j.e.	10.200 a.j.e.	12.000 a.j.e.

Het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid van elektronica vinden voor een groot deel in het buitenland plaats en dit is niet geïnventariseerd. Het gaat om de fase na de mijnbouw, zoals de fabricage van componenten en apparaten en de distributie en het transport. Wel is een inschatting gemaakt van het indirect landgebruik en de indirecte arbeid in Nederland. Op basis van het landbouwaandeel in het EEA en het ruimtebeslag van fabricage, handel en datacenters is het indirecte landgebruik bepaald. Voor de indirecte arbeid is dat gedaan op basis van CBS-cijfers over de werkgelegenheid in de ICT-industrie en de ICT-diensten.

### 8.11 Dienstverlening

Van het bruto binnenlands product wordt driekwart gerealiseerd in de dienstensector. Deze sector bevat een grote diversiteit aan activiteiten, zoals kantoren, winkels, scholen, zorginstellingen en ook bedrijfsruimten. Tussen 1980 en 2010 is de gebouwenvoorraad in de dienstensector bijna verdubbeld.

Voor de dienstensector is een inventarisatie gemaakt van het aantal werkzame personen, het energiegebruik en het landgebruik. Het energiegebruik bestaat uit twee onderdelen, namelijk het energiegebruik van de kantoorruimtes (de embodied energy van de kantoorgebouwen en de energie voor warmte en elektriciteit) en het energiegebruik voor het woon- werkverkeer. Voor het energiegebruik van de kantoren is uitgegaan van de bruto vloeroppervlakte per persoon. Dit is de totale kantoorruimte exclusief vides, parkeerruimtes en buitenruimtes. Het energiegebruik per m<sup>2</sup> voor de kantoorruimtes is voor de periode 1950 t/m 2015 als constant aangenomen. De ruimteverwarming is efficiënter geworden, maar het elektriciteitsgebruik is door de automatisering gestegen. Het energiegebruik van het woon-werkverkeer is per arbeidsjaareenheid in 2015 veel hoger dan in 1950, vanwege de toename van het woon- werkverkeer per auto.

Het landgebruik is gebaseerd op de terreincoëfficiënt (het aantal m<sup>2</sup> per persoon). Deze is voor de dienstensector in 2015 gemiddeld 282 m<sup>2</sup> per persoon. Dit omvat de totale ruimte per persoon, inclusief parkeerruimte en andere buitenruimtes. Deze terreincoëfficiënt is in de periode 1950 t/m 2015 toegenomen, want in 1950 was er minder parkeerruimte nodig. Het aantal arbeidsjaareenheden in de dienstensector is berekend op basis van de toelieferingen aan de landbouw zoals ze in de Nationale Rekeningen staan. In tabel 29 zijn de resultaten voor de dienstverlening weergegeven.

Tabel 29 Resultaten dienstverlening

<i>diensten:</i>	1950	1980	2010	2015
kantooroppervlak	300.000 m <sup>2</sup>	381.760 m <sup>2</sup>	646.020 m <sup>2</sup>	507.540 m <sup>2</sup>
energiegebruik	0,237500 PJ	0,421845 PJ	0,891723 PJ	0,700574 PJ
indirect landgebruik	280 ha	477 ha	603 ha	474 ha
indirecte arbeid	20.000 a.j.e.	19.088 a.j.e.	21.534 a.j.e.	16.918 a.j.e.

## 8.12 Transport en infrastructuur

### 8.12.1 Algemeen

Om de landbouw te kunnen uitoefenen is een bepaalde infrastructuur nodig om op het land te kunnen werken en om producten te kunnen aan- en afvoeren. In dit hoofdstuk komen enkele onderdelen daarvan aan de orde.

Voor de oppervlakte grond die nodig is voor de landbouw zijn de volgende aspecten van belang:

- het verbouwen van gewassen vergt meer land dan het land waar het gewas op groeit;
- interne wegen, interne kleine waterwegen, sloten en andere gebieden zijn essentieel voor het verbouwen van gewassen, hoewel er geen gewas op wordt verbouwd;
- het verschil tussen de oppervlakte die direct voor landbouw wordt gebruikt en de totale oppervlakte die nodig is om de landbouw te kunnen uitoefenen verschilt per gebied;
- voor Nederland zou kunnen worden uitgegaan van een landgebruik van 5% van de oppervlakte aan infrastructuur ten behoeve van de landbouw (vergelijk: de Noordoostpolder heeft 7% aan wegen en kanalen). Dit is dan exclusief de infrastructuur die nodig is voor het produceren van de input.

Ten aanzien van de landbouw zijn drie niveaus van infrastructuur te onderscheiden:

- infrastructuur op bedrijfsniveau: erfverhardingen, kavelpaden, toegangswegen, aansluitingen op nutsvoorzieningen;
- infrastructuur ten behoeve van de landbouw waar het gaat om wegen voor ontsluiting van landbouwbedrijven en kanalen en sloten ten behoeve van het waterbeheer. Hiertoe behoren ook de landinrichtingswerken;
- infrastructuur die zowel ten behoeve van de landbouw als ten behoeve van andere bedrijfstakken is aangelegd. Denk aan havenfaciliteiten, allerlei stedelijke voorzieningen, het wegennet, spoorlijnen, kanalen, waterzuiveringen, gemalen, hoogspanningslijnen, elctriciteitscentrales, etc.

Van deze laatste is een inventarisatie gemaakt van het landbouwaandeel in het goederenvervoer over de weg, de oppervlakte wegenverkeersterrein, de hoeveelheid wegverharding en het aantal vrachtwagenchauffeurs.

In de agro- en foodsector zijn elke dag alleen al in Nederland ca 25.000 ton goederen onderweg (dit zijn bij 30 ton per vracht 833 vrachtwagens). Eénderde van alle vrachtwagens op de Nederlandse wegen rijdt met producten van en voor deze sector. Het Agrocomplex heeft 685.000 arbeidsplaatsen en een omzet van 50 miljard euro per jaar. Ongeveer 25% daarvan (van beide) betreft logistieke activiteiten Het vele transport wordt veroorzaakt door de huidige productiewijze van de landbouw en de export en import en kost veel energie.

### 8.12.2 Resultaten transport en infrastructuur

In tabel 30 staan de resultaten voor transport en infrastructuur.

Tabel 30 Resultaten transport en infrastructuur

	1950	1980	2010	2015
transportgewicht t.b.v. de landbouw	23.876.813 ton	58.956.171 ton	80.269.708 ton	89.529.048 ton
embodied energy wegverharding	0,937500 PJ	1,250000 PJ	1,562500 PJ	1,562500 PJ
energiegebruik wegtransport	3,943146 PJ	10,345438 PJ	11,318773 PJ	11,921381 PJ
totaal energiegebruik	4,880646 PJ	11,595438 PJ	12,881273 PJ	13,483881 PJ
indirect landgebruik	3.989 ha	4.354 ha	3.641 ha	4.035 ha
indirecte arbeid	808 a.j.e.	1.861 a.j.e.	1.343 a.j.e.	1.402 a.j.e.

Het transportgewicht is het totale gewicht van de output en de input. Hierop is het aandeel in de oppervlakte aan wegverkeersterrein gebaseerd. Dit transportgewicht is in 1950 17% van het totale goederenvervoer over de weg en dit aandeel daalt tot 13% in 2015. De embodied energy van de wegverharding is de jaarlijkse afschrijving. Het energiegebruik voor het wegtransport is exclusief de transportenergie voor bouwmaterialen, dierlijke mest en interne leveringen (bijvoorbeeld stro en in Nederland verbouwd veevoer). De transportenergie van bouwmaterialen en dierlijke mest is in de betreffende hoofdstukken vermeld. Transport per schip, trein en vliegtuig is niet meegenomen. Het indirecte landgebruik bestaat uit het aandeel van de landbouw in de oppervlakte aan wegverkeersterrein en is exclusief de infrastructuur voor scheepvaart, vervoer per spoor en per vliegtuig. De indirecte arbeid bestaat uit het aantal chauffeurs in het wegtransport, exclusief die voor het transport van dierlijke mest en exclusief medewerkers voor aanleg en onderhoud van de infrastructuur.

## 9 Arbeid

Eeuwenlang is menselijke spierkracht de voornaamste bron geweest van mechanische energie. De mechanische arbeid geleverd door menselijke spierkracht is nu grotendeels vervangen door energie die wordt verkregen uit fossiele brandstoffen. De hoeveelheden fossiele brandstoffen nemen af, terwijl de hoeveelheid beschikbare menselijke spierkracht toeneemt, omdat de wereldbevolking toeneemt. In de Westerse wereld wordt de menselijke spierkracht maar voor een gering deel benut en wordt voor een groot deel besteed in allerlei vormen van vrije tijd, waaronder de sportbeoefening. Menselijke energie is altijd beschikbaar, dat geldt niet voor alle energiebronnen.

Het arbeidsvermogen van een mens kent naast een fysieke component ook een kenniscomponent. In de landbouw (en bijna overal) gaat het bij de inzet van menselijke arbeid om een combinatie van de inzet van zowel fysieke arbeid als kennis. Deze twee kunnen niet los van elkaar worden gezien. Het is dan ook de vraag waarom we met heel veel moeite een plantherkenning in een elektronische wiedzmachine willen programmeren, terwijl dit aan een mens in enkele minuten is te leren. Het maken van de elektronische wiedzmachine gaat ten koste van heel wat energie en grondstoffen, veroorzaakt elders schade aan het milieu, kost ruimte en de winning van de benodigde grondstoffen vindt vaak plaats onder slechte arbeidsomstandigheden. Het met de hand laten wieden door een mens vergt alleen maar een simpel hulpmiddel (een schoffel), het is gezond, je beweegt, je bent buiten en je doet zinvol werk. Het maken van de elektronische wiedzmachine is ook alleen maar mogelijk omdat niemand de rekening voor de nadelen betaalt. Bovendien is onbekend hoe lang er nog arbeid mee kan worden bespaard.

Er is een intrinsieke afhankelijkheid van menselijke arbeid. Geen product kan bestaan zonder directe of indirecte menselijke arbeid. Het niet fysieke aspect zoals kennis, opvoeding, cultuur, geweten, onderscheidt de mens van de machine. Dit kan zowel een nadeel als een voordeel zijn. Het kenmerk van een levend wezen is dat er voortdurend energie nodig is om het wezen in stand te houden. Dit is bij een machine niet zo. Als deze stil staat wordt er geen directe energie gebruikt, alleen indirecte energie. De doelmatigheid van de arbeid geleverd door menselijke spierkracht kan sterk worden vergroot met behulp van gereedschap en door spierkracht aangedreven en/of voortbewogen machines. Het onderzoek naar het toepassen van menselijke spierkracht zou weer opgepakt moeten worden om in de toekomst de menselijke spierkracht veel beter te kunnen benutten.

De mens kan echter niet voortdurend energie opwekken en ook niet alle mensen kunnen mee doen aan het opwekken van energie (baby's, ouderen). Een jaar heeft 365 dagen, waarvan 104 zaterdag en zondag, resteert 261 dagen. Daarnaast nog 21 dagen voor bijzondere feestdagen en vakantiedagen. Dan zijn er 240 dagen over van 8 werkuren per dag. Het jaar heeft dan 240 werkdagen en 1920 werkuren.

Hoeveel van de totale tijd werkt de mens gemiddeld?

Hij of zij werkt 1920 uur per jaar, maar alleen in een bepaalde periode.

0 – 20 jaar: werkt niet;

20 – 65 jaar werkt wel, 1920 uur per jaar;

65 – 70 jaar: werkt 960 uur per jaar.

70 – 80 jaar: werkt niet

Een mens werkt dus 45 jaar (dit is  $45 \times 1920$  uur = 86.400 uur) + 5 jaar halftime (=  $5 \times 960$  uur = 4800 uur), in totaal 91.200 uur.

Bij een leeftijd van 80 jaar leeft een mens  $80 \times 8760$  uur = 700.800 uur.

De werktijd is dan 13% van de totale tijd.

Dus in 1 uur van menselijke arbeid moet de energie worden verdiend voor 7,7 uur.

De door de mens geleverde (mechanische) energie is niet fossiel. Dit geldt ook voor het maken van de mens. Aan het eind is er geen energetisch waardeerbare opbrengst.

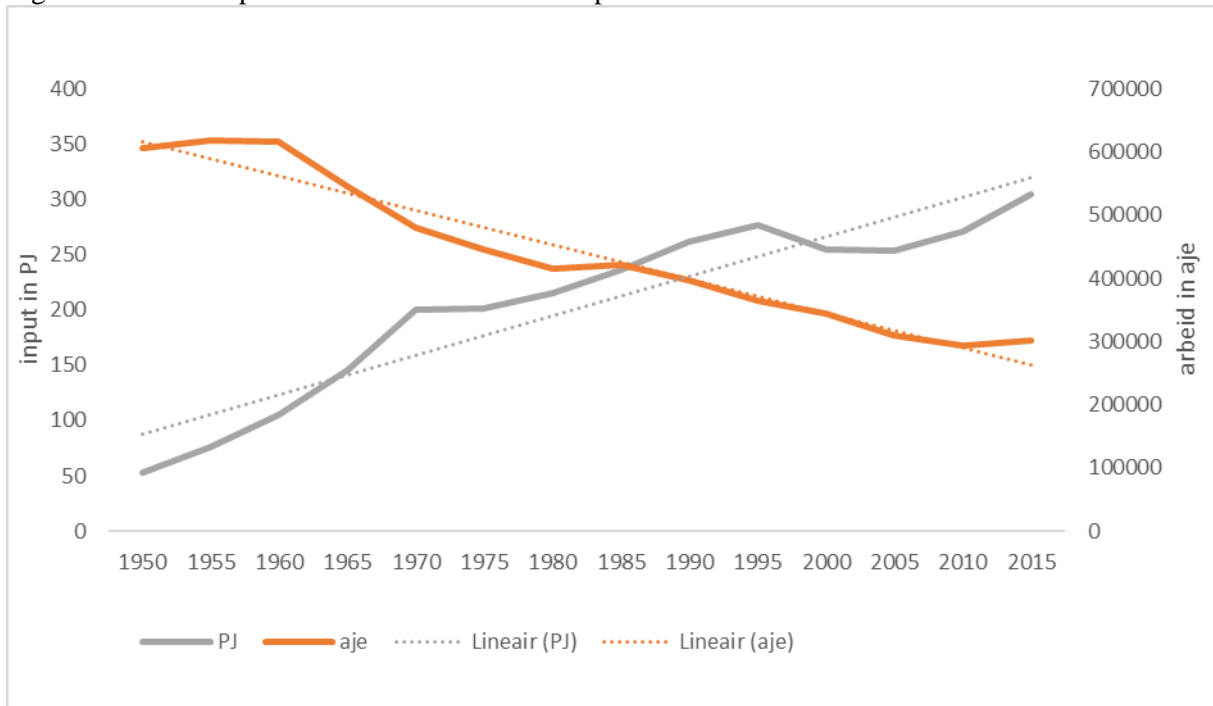
Voor het maken van (hand)gereedschappen en machines blijft wel hitte nodig om ijzer te kunnen maken en bewerken. Het kolenvuur van de smid kan worden vervangen door houtvuur. Soms zijn met eenvoudige hulpmiddelen grote arbeidsbesparingen mogelijk. Enkele voorbeelden daarvan zijn wielen met kogellagers, wagens met luchtbanden en handzaaimachines.

Bij het onderzoeken van nieuwe technologieën is de nadruk tot nu toe sterk gelegd op het zoveel mogelijk besparen op arbeid. Dit heeft de inzet van steeds meer technologie tot gevolg gehad, met de daarbij behorende gevolgen als uitstoot van arbeid, stijging van het energie- en grondstoffengebruik en de daarbij behorende negatieve milieueffecten. Heeft dit macro-economisch gezien wel tot de meest gewenste situatie geleid? Wellicht moet de technologieontwikkeling niet meer alleen worden gericht op het besparen van arbeid, maar op het op een zo aangenaam mogelijke wijze kunnen inzetten van menselijke arbeid. Nu is nog maar een klein deel van de beroepsbevolking direct bij het produceren van concrete producten betrokken. Ook hier is een verschuiving van direct naar indirect: het besparen op arbeid heeft geleid tot veel werkzaamheden in de indirecte sfeer, een verschuiving van de directe productie naar de overhead. En al die indirecte banen hebben gezorgd voor grotere organisaties met ingewikkelde procedures en niet altijd tot meer arbeidsvreugde. Veel mensen houden zich nu bezig met het verzachten of tegengaan van de nadelige gevolgen van de huidige productiewijze. Van steeds meer indirect en steeds ingewikkelder naar meer direct en meer zeggenschap over de eigen werksituatie zou zowel uit een oogpunt van arbeidsvreugde als vanuit de noodzaak zuiniger om te moeten gaan met energie en grondstoffen een verbetering kunnen zijn.

In de periode 1950 t/m 2015 is de nadruk sterk gelegd op het vervangen van arbeid door kapitaal (input). De totale hoeveelheid arbeid (direct + indirect) is afgenomen en de totale input is toegenomen. Deze ontwikkeling is weergegeven in figuur 6.



Figuur 6 Het verloop van totale arbeid en totale input



Uit deze grafiek blijkt duidelijk dat een afname van de hoeveelheid arbeid gepaard is gegaan met een toename van de input.

In dit proefschrift is volstaan met de inventarisatie van de hoeveelheid arbeid (zowel direct als indirect). De energie in de vorm van voeding voor de menselijke arbeid in de landbouw komt wel uit de landbouw, maar wordt economisch gezien niet tot de interne leveringen gerekend (het in Nederland geproduceerde veevoer wel). In 1950 gebruikte de landbouwende bevolking voor de eigen voeding nog een substantieel deel van de eigen productie. Dat is nu niet meer zo. De energetische waarde van de voeding voor de directe menselijke arbeid is gering ten opzichte van de energie die nodig is voor de overige input. Er is nog een ander aspect aan de energetische waarde van de voeding: voeding is op zich geen fossiele energie, maar indirect is het dat in het huidige landbouwsysteem eigenlijk wel.

Het aandeel van de beroepsbevolking dat in de landbouw werkt is de laatste eeuwen bijna voortdurend afgenomen. In tabel 31 zijn voor een aantal jaren in de periode 1807 tot 2015 de omvang van de bevolking, de omvang van de beroepsbevolking en de aantallen mensen werkzaam in de landbouw weergegeven.

Tabel 31 Totale bevolking, beroepsbevolking en aantal personen werkzaam in de landbouw

jaar	totale bevolking	beroepsbevolking	werkzaam in de landbouw*	werkzaam in de landbouw t.o.v. totale bevolking	werkzaam in de landbouw t.o.v. beroepsbevolking
1807	2.192.000	871.000	375.000	17,1%	43,1%
1849	3.074.000	1.271.000	506.000	16,5%	39,8%
1899	4.463.000	2.023.000	682.000	15,3%	33,7%
1909	5.772.000	2.326.000	700.000	12,1%	30,1%
1920	6.754.000	2.722.000	639.000	9,5%	23,5%
1930	7.825.000	3.181.000	640.000	8,2%	20,1%
1947	9.543.000	3.866.000	740.000	7,7%	19,1%
1950	10.026.773	3.873.000	520.422	5,2%	13,4%
1960	11.417.254	4.240.000	428.498	3,8%	10,1%
1970	12.957.621	4.806.000	268.054	2,1%	5,6%
1980	14.091.014	5.293.000	223.422	1,6%	4,2%
1990	14.892.574	6.063.000	195.320	1,3%	3,2%
2000	15.863.950	7.187.000	171.545	1,1%	2,4%
2010	16.574.989	7.400.000	122.998	0,7%	1,7%
2015	16.900.726	8.294.000	113.099	0,6%	1,4%

\* vanaf 1950 exclusief niet-voedingsglastuinbouw

(bron: CBS 2001, Tweehonderd jaar statistiek in tijdreeksen 1800-1999 en CBS 2010, Twee eeuwen beroepsbevolking)

Het aandeel van de agrarische beroepsbevolking in de totale bevolking is van 1807 tot 2015 gedaald van 17% tot minder dan 1%. Van de beroepsbevolking is het aandeel van de agrarische beroepsbevolking in dezelfde periode gedaald van 43% naar ruim 1%.

In absolute aantallen werkten in 1947 de meeste mensen in de landbouw, namelijk 740.000. Op de tweede plaats komt het jaar 1909 met 700.000 personen werkzaam in de landbouw.

Voor de glastuinbouw is de hoeveelheid arbeid geïnventariseerd en vervolgens gecorrigeerd voor het aantal arbeidsjaareenheden in de niet-voedingsglastuinbouw.

Een deel van de arbeid ten behoeve van de landbouw is in dit proefschrift niet meegenomen. Dit gaat bijvoorbeeld om arbeid besteed aan inpolderingen, ontginningen, landinrichting en allerlei incidenten (dierziektes en voedselschandalen) met de bijbehorende ambtelijke inzet. De ambtelijke capaciteit voor de Nederlandse landbouw bij de ministeries en andere overheden zit voor een deel bij de dienstverlening (zie hoofdstuk 8.11).

De directe hoeveelheid arbeid in de landbouw is in de periode 1950 t/m 2015 met ruim 407.000 arbeidsjaareenheden (a.j.e.) afgenomen, dat is met 78%. In diezelfde tijd is de hoeveelheid indirecte arbeid toegenomen met ruim 102.000 a.j.e. (120%).

Per saldo is de totale hoeveelheid arbeid afgenomen met bijna 305.000 a.j.e. (50%).

De arbeidsproductiviteit wordt ook wel aangegeven als de oppervlakte die één persoon kan bewerken of het aantal arbeidsjaareenheden per ha. Hoe minder arbeidsjaareenheden per ha hoe hoger de arbeidsproductiviteit. Bij het weergeven van de arbeidsproductiviteit wordt doorgaans alleen de directe arbeid in beschouwing genomen. Uitgaande van de totale hoeveelheid arbeid is de arbeidsproductiviteit lager (zie tabel 32).

Tabel 32: aantallen arbeidsjareenheden per ha voor directe arbeid en voor totale arbeid

	1950	1980	2010	2015
direct landgebruik	2.336.766 ha	2.016.171 ha	1.867.054 ha	1.841.362 ha
directe arbeid	520.422 a.j.e.	223.422 a.j.e.	122.998 a.j.e.	113.099 a.j.e.
totaal arbeid	606.354 a.j.e.	415.787 a.j.e.	293.768 a.j.e.	301.515 a.j.e.
a.j.e. direct/ha	0,223 a.j.e./ha	0,111 a.j.e./ha	0,066 a.j.e./ha	0,061 a.j.e./ha
a.j.e. totaal/ha	0,259 a.j.e./ha	0,206 a.j.e./ha	0,157 a.j.e./ha	0,164 a.j.e./ha
a.j.e. totaal/a.j.e.direct	1,16	1,86	2,39	2,67

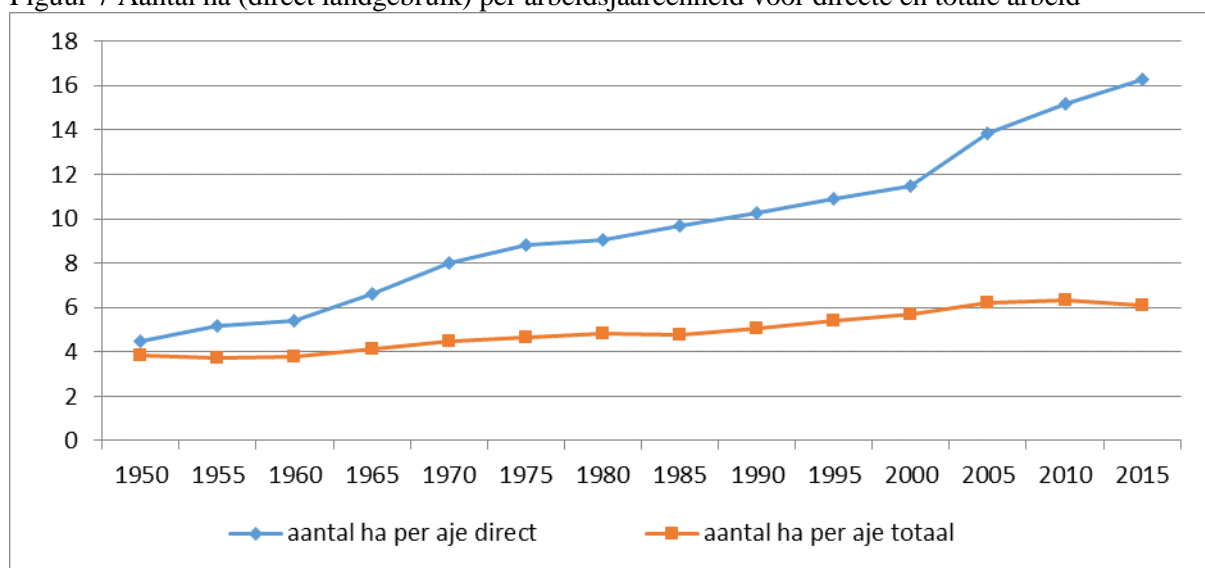
Uitgaande van het totale aantal ingezette arbeidsjareenheden zijn in 1950 dan 1,16 keer zoveel arbeidsjareenheden per ha nodig en in 2015 2,67 keer zoveel ten opzichte van het alleen in beschouwing nemen van de directe arbeid. De arbeidsproductiviteit kan ook worden weergegeven in het aantal arbeidsjaren per ton product. Het verschil tussen het aantal arbeidsjareenheden per ton product op basis van de directe arbeid en op basis van de totale arbeid is weergegeven in tabel 33.

Tabel 33: aantallen arbeidsjareenheden per ton product voor directe arbeid en voor totale arbeid

	1950	1980	2010	2015
output	16.077.256 ton	32.886.248 ton	37.966.737 ton	39.302.303 ton
directe arbeid	520.422 a.j.e.	223.422 a.j.e.	122.998 a.j.e.	113.099 a.j.e.
totaal arbeid	606.354 a.j.e.	415.787 a.j.e.	293.768 a.j.e.	301.515 a.j.e.
a.j.e. direct/ton	0,032 a.j.e./ton	0,007 a.j.e./ton	0,003 a.j.e./ton	0,003 a.j.e./ton
a.j.e. totaal/ton	0,038 a.j.e./ton	0,013 a.j.e./ton	0,008 a.j.e./ton	0,008 a.j.e./ton
a.j.e. totaal/a.j.e.direct	1,19	1,86	2,67	2,67

Het verloop van het aantal arbeidsjareenheden per ha is weergegeven in figuur 7, voor zowel de directe arbeid als de totale arbeid.

Figuur 7 Aantal ha (direct landgebruik) per arbeidsjareenheid voor directe en totale arbeid



In 1950 zijn er 4,49 ha per arbeidsjareenheid op basis van de directe arbeid en 3,85 ha per arbeidsjareenheid op basis van de totale arbeid. Voor 2015 is dat 16,28 ha respectievelijk 6,11 ha. De arbeidsproductiviteit zoals die in het algemeen wordt gehanteerd om de prestaties van de landbouw aan te geven berust op alleen de directe arbeid. Naast het feit dat het begrip

arbeidsproductiviteit teveel als leidend principe wordt gehanteerd (zie ook hoofdstuk 2.3) geven de cijfers ook een ander beeld als wordt uitgegaan van de in totaal ingezette arbeid. Voor het jaar 2015 is op basis van de totale arbeid het aantal ha per arbeidsjaareenheid met 59% gestegen ten opzicht van 1950. Volgens de gangbare methodiek, gebaseerd op alleen de directe arbeid, is deze stijging 263%. Dat is 4,5 keer zoveel. Het alleen in beschouwing nemen van de directe arbeid geeft een vertekend beeld ten aanzien van de arbeidsproductiviteit.

Aanvankelijk werd het meeste werk in de landbouw met behulp van handkracht uitgevoerd. Alleen voor zwaar werk, zoals grondbewerking, werden runderen en later paarden gebruikt. Toen er in de negentiende eeuw steeds meer machines kwamen ontstond de behoefte aan meer trekkracht en die kon goed worden geleverd door paarden. Het paard is in de landbouw van de laatste eeuwen het belangrijkste trekdier. Naar schatting zijn er in 2015 tussen de 300.000 en 500.000 paarden, waarvan tussen de 20.000 en 30.000 paarden die tot trekpaardrassen behoren. Een aantal trekpaardrassen wordt in Nederland in stand gehouden. Dit gebeurt vanuit een oogpunt van behoud van cultureel erfgoed, maar ook om voorbereid te zijn op een onzekere toekomst, waarbij de situatie ten aanzien van trekpaarden geheel anders kan zijn dan de huidige (de Weerd, 2010). Er wordt belang gehecht aan behoud van het genetisch materiaal en behoud van de beschikbaarheid voor eventuele toekomstige functies of veranderingen (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, 2002). Hierdoor en door de activiteiten van de diverse organisaties (stamboeken en verenigingen) blijft de mogelijkheid aanwezig om in de toekomst weer een beroep te kunnen doen op paarden als bron van trekkracht voor de landbouw (zie ook bijlage 1).

## **10 De totalen van gewicht, energiegebruik, landgebruik en arbeid**

In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven van de ten behoeve van de landbouw getransporteerde gewichten aan output en input, de energetische waarden van de output en de input en het landgebruik en de arbeid die ten behoeve van de landbouw zijn aangewend.

### ***Getransporteerde gewichten***

In tabel 34 staan de getransporteerde gewichten van output en input en het totaal daarvan.

Tabel 34 Getransporteerde gewichten van output en input en het totale gewicht

	1950	1980	2010	2015
output	16.077.256 ton	32.886.248 ton	37.966.737 ton	39.302.303 ton
input	7.799.557 ton	26.069.923 ton	42.302.971 ton	50.226.745 ton
totaal	23.876.813 ton	58.956.171 ton	80.269.708 ton	89.529.048 ton
gewicht output/input	2,06	1,26	0,90	0,78

Het gewicht van de input is veel sneller toegenomen dan het gewicht van de output.

### ***Energetische waarden output en input***

In het volgende overzicht (tabel 35) staan de energetische waarden van de output en de input, waarbij de input is onderscheiden in direct energiegebruik en het indirect energiegebruik. De output/input-verhoudingen zijn vervolgens weergegeven en laten een dalend verloop zien. Energetisch gezien is de landbouw vanaf circa 1955 een netto energiegebruiker.

Tabel 35 Output, input in PJ en output/input-verhoudingen:

	1950	1980	2010	2015
output	64,932522 PJ	114,176333 PJ	132,952305 PJ	134,904312 PJ
<i>input:</i>				
directe energiegebruik	27,392329 PJ	112,200162 PJ	127,493901 PJ	135,595314 PJ
<i>indirecte energiegebr:</i>				
mijnbouw	1,937152 PJ	7,414758 PJ	16,906500 PJ	21,850632 PJ
kassen	0,180980 PJ	1,263211 PJ	2,559760 PJ	2,140354 PJ
overige gebouwen	0,153570 PJ	4,283653 PJ	16,024239 PJ	19,532367 PJ
trekkers en machines	0,275600 PJ	4,994942 PJ	13,766843 PJ	15,748267 PJ
veevoer	1,470000 PJ	35,370000 PJ	49,860800 PJ	54,560000 PJ
dierlijke mest	0,210786 PJ	1,327265 PJ	10,395152 PJ	17,407823 PJ
kunstmest	15,848100 PJ	29,647550 PJ	10,069399 PJ	11,109768 PJ
bestrijdingsmiddelen	1,207066 PJ	4,614487 PJ	2,584820 PJ	2,674690 PJ
elektronica	0	1,648647 PJ	8,003532 PJ	10,191336 PJ
dienstensector	0,237500 PJ	0,421845 PJ	0,891723 PJ	0,700574 PJ
transport en infrastr.	4,880646 PJ	11,595438 PJ	12,881273 PJ	13,483881 PJ
totaal indir. energ.gebr	26,401400 PJ	102,581796 PJ	143,944041 PJ	169,399692 PJ
totale energiegebruik	53,793729 PJ	214,781958 PJ	271,437942 PJ	304,995006 PJ
output/input	1,20	0,53	0,49	0,44

In de figuur 6 zijn het verloop in energetische waarden van de output en input weergegeven. De output is van 1950 tot 1955 nog een klein beetje groter dan de input. Vanaf 1955 is dat andersom en wordt de output/input-verhouding steeds ongunstiger (zie figuur 8).

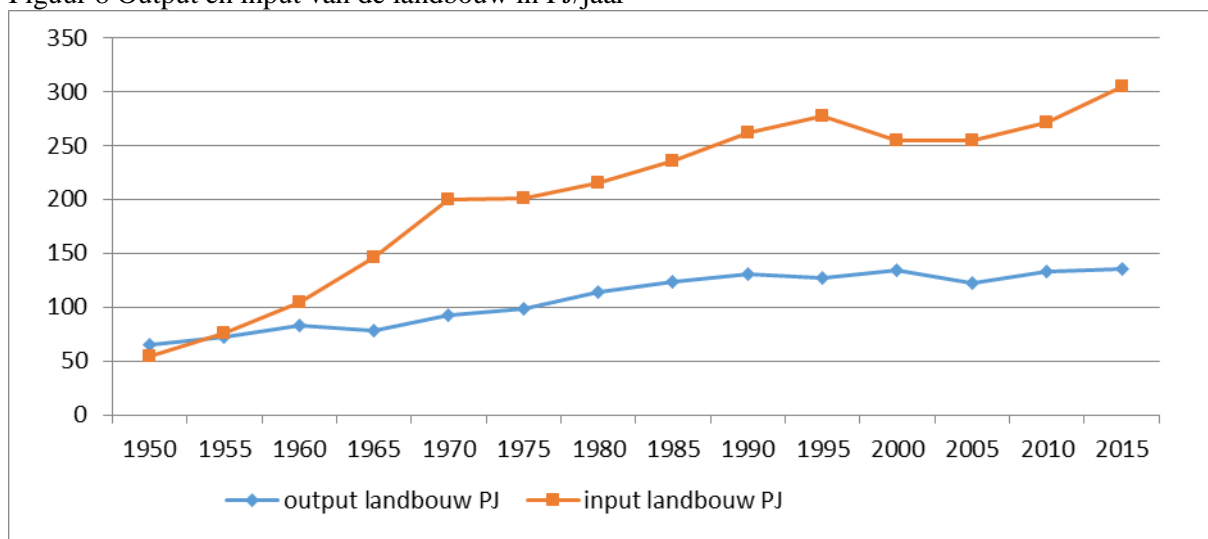




*Agriport A7 (Wieringermeer). Hier is ongeveer 800 ha akkerbouw vervangen door glastuinbouw. Hierdoor zijn de output/input-verhoudingen veel ongunstiger geworden.*

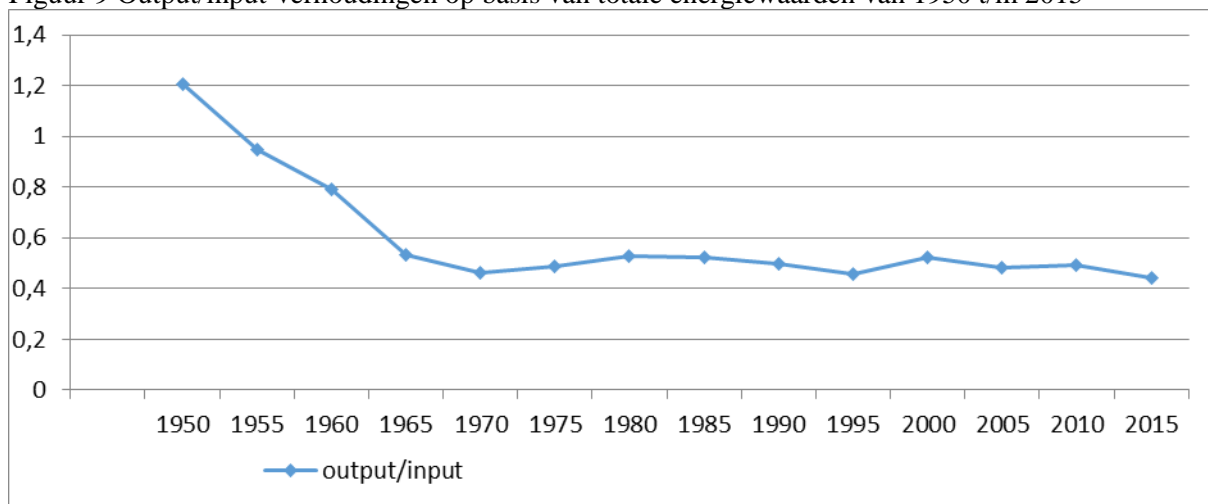


Figuur 8 Output en input van de landbouw in PJ/jaar



In figuur 9 zijn weergegeven de output/input-verhoudingen op basis van de energetische waarden van de output en input.

Figuur 9 Output/input-verhoudingen op basis van totale energiewaarden van 1950 t/m 2015



De output/input-factoren zijn ook voor een aantal sectoren bekeken. In tabel 36 zijn daarvan de resultaten weergegeven.

Tabel 36 Output/input-factoren voor een aantal sectoren

sectoren	output/input-verhoudingen
akkerbouw zonder fossiele input	5,73 - 139
akkerbouw met fossiele input	0,43 - 10,18
vollegrondstuinbouw zonder fossiele input	1,81
vollegrondstuinbouw met fossiele input	0,049 - 0,89
glastuinbouw, alleen fossiele input	0,014 - 0,2
fruitteelt, alleen fossiele input	0,69 - 3,63
veeteelt (melkvee en legpluimvee), alleen fossiele input	0,27 - 0,82

Akkerbouw heeft de hoogste output/input-verhoudingen en glastuinbouw de laagste. In bijlage 2 zijn output/-input-verhoudingen voor de verschillende sectoren beschreven.

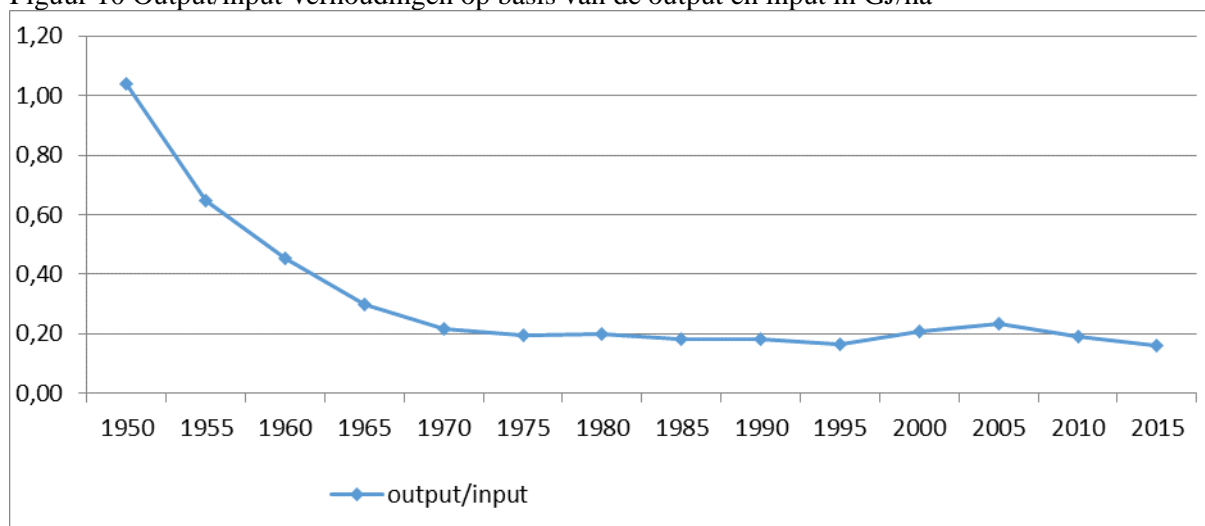
Bij het bepalen van de output/input-verhoudingen op basis van de energetische waarden van output en input voor de landbouw in totaal is nog geen rekening gehouden met het landgebruik en de ontwikkeling daarvan. Dit kan wel door uit te gaan van de energetische waarden van output en input per ha. In tabel 37 staan de output en input in GJ/ha en de daarop gebaseerde output/input-verhoudingen.

Tabel 37 Output (in GJ/ha) en input (in GJ/ha) en output/input-verhoudingen

	1950	1980	2010	2015
output	23,886 GJ/ha	21,028 GJ/ha	27,827 GJ/ha	26,821 GJ/ha
input	23,021 GJ/ha	106,530 GJ/ha	145,383 GJ/ha	165,636 GJ/ha
output/input	1,04	0,20	0,19	0,16

De output per ha in 2015 is gestegen met 12% ten opzichte van 1950. De input per ha is in 2015 gestegen met 619% ten opzichte van 1950. De output/input-verhoudingen verlopen dan van 1,04 in 1950 tot 0,16 in 2015 (zie figuur 10).

Figuur 10 Output/input-verhoudingen op basis van de output en input in GJ/ha



### ***Direct en indirect landgebruik***

Het directe landgebruik (de oppervlakte landbouwgrond in Nederland, exclusief de niet-voedingsglastuinbouw) en het indirecte landgebruik staan in tabel 38. Het indirecte landgebruik is de oppervlakte die nodig is voor het kunnen leveren van de verschillende soorten input.

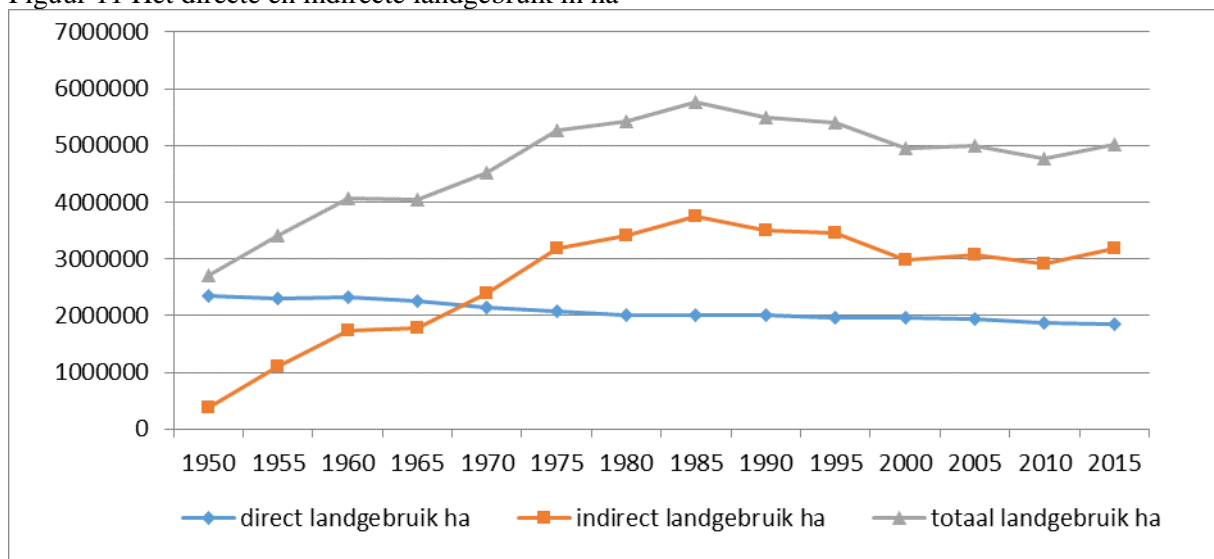


Tabel 38 Direct en indirect landgebruik

	1950	1980	2010	2015
directe landgebruik	2.336.766 ha	2.016.171 ha	1.867.054 ha	1.841.362 ha
<i>indirecte landgebruik:</i>				
direct energiegebruik	188 ha	5.046 ha	8.487 ha	9.078 ha
mijnbouw	56 ha	2.049 ha	4.579 ha	5.141 ha
gebouwen	9.320 ha	32.085 ha	58.584 ha	57.705 ha
trekkers en machines	144 ha	489 ha	861 ha	981 ha
veevoer	367.513 ha	3.368.784 ha	2.833.204 ha	3.100.223 ha
dierlijke mest	0 ha	0 ha	682 ha	800 ha
kunstmest	33 ha	72 ha	51 ha	54 ha
bestrijdingsmiddelen	109 ha	216 ha	98 ha	97 ha
elektronica	0 ha	12 ha	50 ha	100 ha
dienstverlening	280 ha	477 ha	603 ha	474 ha
transport en infrastr.	3.989 ha	4.354 ha	3.641 ha	4.035 ha
totaal indir. landgebr.	381.632 ha	3.413.584 ha	2.910.840 ha	3.178.688 ha
totaal landgebruik	2.718.398 ha	5.429.755 ha	4.777.894 ha	5.020.050 ha

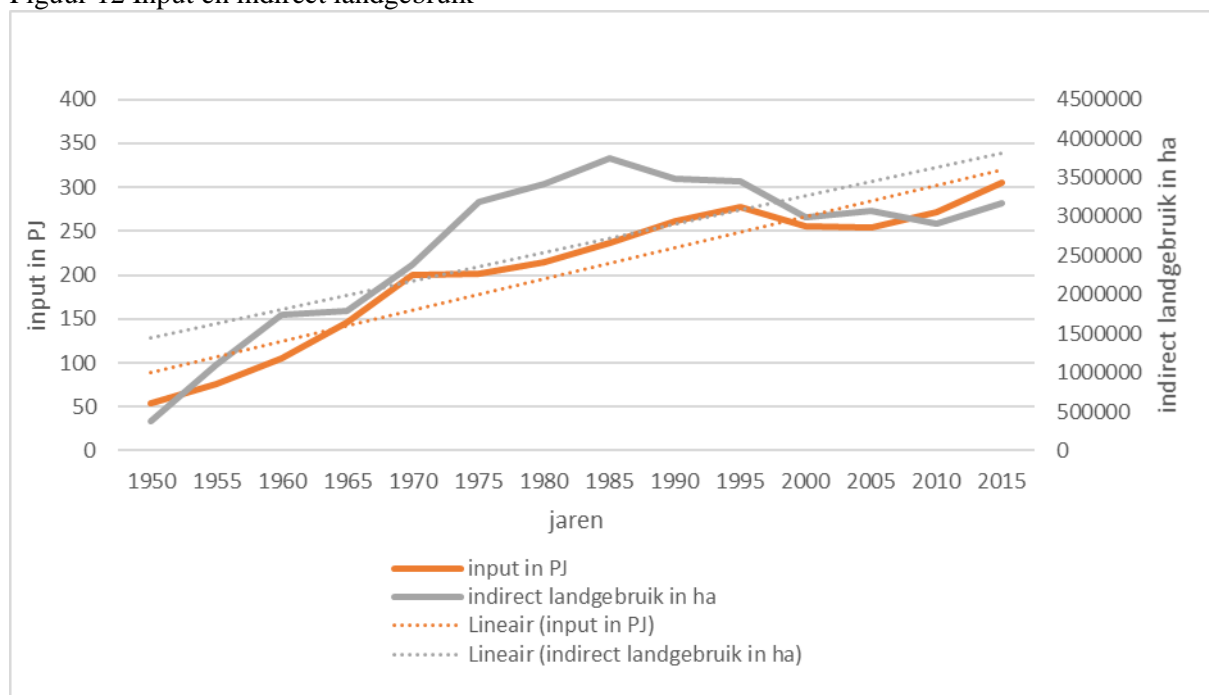
Het directe landgebruik is van 1950 t/m 2015 geleidelijk afgenomen met 495.404 ha (21%). Het indirecte landgebruik is toegenomen en is in 2015 groter dan het directe landgebruik. Het verloop van het directe en indirecte landgebruik wordt verbeeld in figuur 11.

Figuur 11 Het directe en indirecte landgebruik in ha



Het inzetten van meer input gaat in het algemeen gepaard met ook meer indirect landgebruik. In figuur 12 is daarvan een indruk gegeven

Figuur 12 Input en indirect landgebruik



De hoeveelheid input en het indirecte landgebruik lopen globaal gezien in gelijke mate op.

### **Directe en indirecte arbeid**

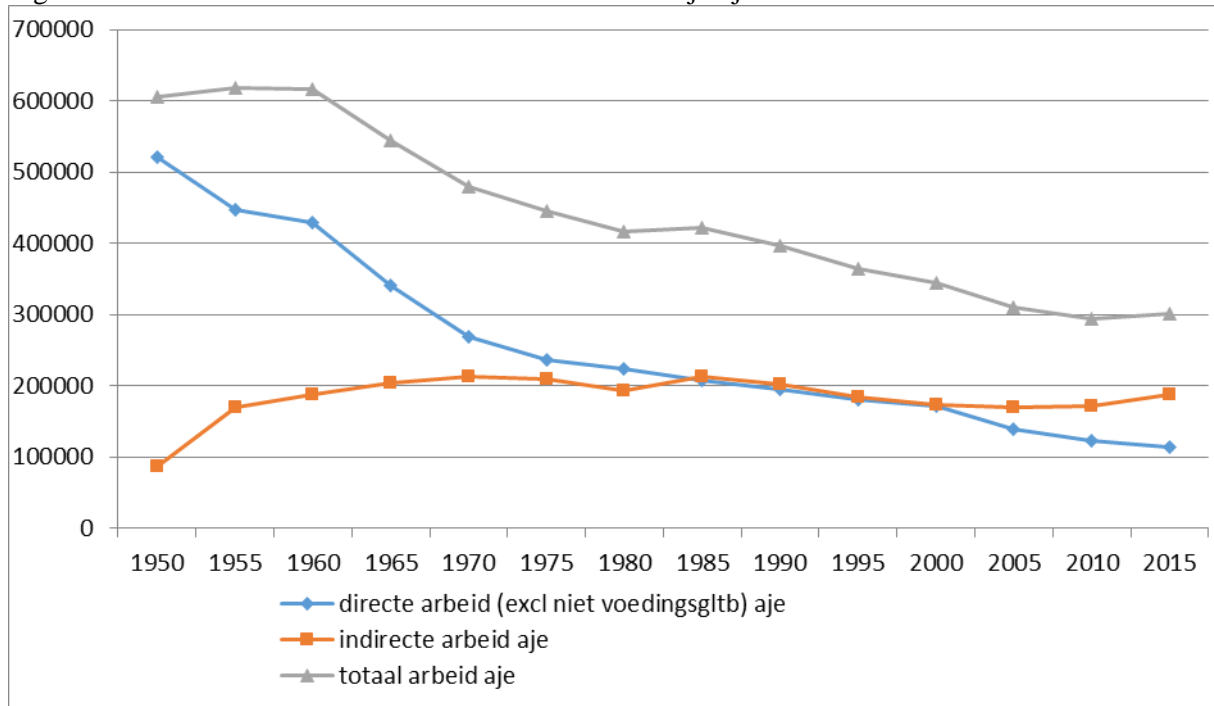
De hoeveelheden directe en indirecte arbeid staan in tabel 39.

Tabel 39 Directe en indirecte arbeid

	1950	1980	2010	2015
directe arbeid*)	520.422 a.j.e.	223.422 a.j.e.	122.998 a.j.e.	113.099 a.j.e.
<i>indirecte arbeid:</i>				
directe energie	6.054 a.j.e.	6.100 a.j.e.	4.287 a.j.e.	6.192 a.j.e.
mijnbouw	10.885 a.j.e.	24.839 a.j.e.	36.452 a.j.e.	46.320 a.j.e.
gebouwen	3.882 a.j.e.	8.182 a.j.e.	9.911 a.j.e.	9.732 a.j.e.
trekkers en machines	1.624 a.j.e.	3.463 a.j.e.	4.737 a.j.e.	5.402 a.j.e.
veevoer	37.690 a.j.e.	116.957 a.j.e.	74.713 a.j.e.	81.708 a.j.e.
dierlijke mest	130 a.j.e.	376 a.j.e.	3.268 a.j.e.	4.439 a.j.e.
kunstmest	501 a.j.e.	899 a.j.e.	408 a.j.e.	431 a.j.e.
bestrijdingsmiddelen	4.358 a.j.e.	8.650 a.j.e.	3.917 a.j.e.	3.872 a.j.e.
electronica	0 a.j.e.	1.950 a.j.e.	10.200 a.j.e.	12.000 a.j.e.
dienstverlening	20.000 a.j.e.	19.088 a.j.e.	21.534 a.j.e.	16.918 a.j.e.
transport en infrastr.	808 a.j.e.	1.861 a.j.e.	1.343 a.j.e.	1.402 a.j.e.
totaal indirecte arbeid	85.932 a.j.e.	192.365 a.j.e.	170.770 a.j.e.	188.416 a.j.e.
totaal arbeid	606.354 a.j.e.	415.787 a.j.e.	293.768 a.j.e.	301.515 a.j.e.

In figuur 13 zijn weergegeven het verloop van de directe en indirecte arbeid en de totale arbeid.

Figuur 13 Directe en indirecte arbeid en totale arbeid in a.j.e./jaar



De directe arbeid is in 2015 afgenomen met 78% ten opzichte van 1950. In dezelfde periode is de indirecte arbeid met bijna 120% toegenomen en is in 2015 groter dan de directe arbeid. De totale arbeid is met 50% afgenomen.



## **11 Landbouwkundige aspecten**

### **11.1 Algemeen**

In dit hoofdstuk komen aan de orde de relatie tussen het landbouwsysteem, de bodemvruchtbaarheid en de voedselkwaliteit en de wijze waarop dit kan worden verbeterd. Vervolgens is bepaald hoeveel voedsel nodig is om de bevolking van Nederland te kunnen voeden en hoeveel landbouwgrond dat vraagt. Om tot een verbetering van bodemvruchtbaarheid en voedselkwaliteit te komen en gezien in het licht van eindige energie- en grondstoffenvoorraden zou tot een kringlooplandbouw moeten worden overgegaan. Daarvoor is nodig dat er in de kringloop genoeg materiaal vrij komt om het land op een voldoende niveau te kunnen bemesten. Er is een inventarisatie gemaakt van de hoeveelheden reststromen van organisch materiaal die vrij komen uit dierlijke mest, uit de reststromen van huishoudens, bedrijven en overheden, uit afvalwater en uit baggerspecie. Van deze reststromen van organisch materiaal is de bemestende waarde bepaald en op basis daarvan is gekeken of dit voldoende is voor het bemesten van de Nederlandse landbouwgrond.

### **11.2 Landbouwsysteem en bodemvruchtbaarheid**

Net als nu maakte men zich in het verleden ook al zorgen over ontwikkelingen in de landbouw. Achteruitgang van de bodemvruchtbaarheid en achteruitgang van de voedselkwaliteit zijn ook in het verleden al vaak belicht (zie hoofdstuk 2). Het gebruik van kunstmest en bestrijdingsmiddelen, de mechanisatie en het niet hergebruiken van de reststromen van organisch materiaal worden als oorzaken hiervan genoemd. Ook de relatie tussen de kwaliteit van de bodem en de kwaliteit van ons voedsel is hierbij een belangrijk aspect. De bodemvruchtbaarheid gaat wereldwijd achteruit. De Verenigde Naties heeft daarom 2015 uitgeroepen tot het “Jaar van de Bodem”. De bodemvruchtbaarheid gaat ook in Nederland achteruit. De meeste landbouwgronden zijn teveel verdicht, ook de ondergrond. Door een combinatie van zware machines en een eenzijdige bemesting met kunstmest en drijfmest kan de kwaliteit van de bodem nog verder achteruit gaan.

Met het telen van gewassen op grote oppervlaktes is de kwetsbaarheid voor ziekten en plagen toegenomen. Er is te weinig biodiversiteit in het landbouwsysteem overgebleven om zich tegen ziekten en plagen te kunnen verweren. Dit heeft geleid tot kunstmatige onderdrukking hiervan met bestrijdingsmiddelen, wat weer kan leiden tot resistentie-ontwikkeling in de bespoten gewassen. Maar niet alleen in de gewassen, er zijn nu ook al resistente onkruiden. Het houden van grote aantallen dieren onder kunstmatige omstandigheden heeft geleid tot een instabiel veeteeltsysteem. Je moet nu eerst douchen en een plastic jas aantrekken om in een stal te mogen komen. De natuurlijke weerstand van het landbouwsysteem moet worden verhoogd. Dat hoeft niet ten koste van de opbrengsten te gaan.

In “Het boerenbedrijf in de lage landen” wordt beschreven dat er in de Gouden Eeuw een drukke mesthandel was met veel mestschepen. Het ging om meststoffen als stratendrek, stadsbeer, stadsvuilnis, houtas, turf as en schelpen. Een gevolg van deze mesthandel was dat de steden in Holland en Vlaanderen buitengewoon schoon aan deden. Rond 1650 is de grondproductiviteit van de landbouw in Holland en Zeeland op een hoogtepunt en zal dan tot circa 1800 niet verder stijgen. Om het zaad goed te laten gedijen, zaait men bij wassende maan. De effecten op natuur en landschap van de landbouw zijn tot circa 1800 wel zeer groot door de ontginning van woeste gronden en bossen en door de inklinking van de veengronden

door bemaling. Er is echter ook een toevoeging van biodiversiteit. Van een blijvende milieuverontreiniging is nauwelijks sprake. Tot aan de industriële revolutie zijn maar weinig meststoffen weggelekt naar het grondwater, er was een efficiënte mestkringloop (Reijnders, 1997).

Dat menselijk ingrijpen in de natuurlijke situatie niet altijd gunstige gevolgen heeft hebben sommigen al vroeg onderkend. De schrijver Willem Bilderdijk (1756 – 1831) schrijft in zijn “Geschiedenis des vaderlands” het volgende: “Men zegt dat de Nederlanders hun land geschapen hebben en dat klinkt zeer fraai, maar de waarheid van de zaak is dat God het hen toebereidde en zij het op een aller vernuftigste wijze bedorven hebben om er uiteindelijk mee te verzinken. Gelukkig Holland, zoo men nooit gegraven en zelfs nooit gedijkt had. Immers wanneer de rivieren hun gang hadden kunnen gaan, zou het omringende land op natuurlijke wijze zijn verhoogd en zouden wij thans boven de rivieren wonen”.

Volgens de FAO kunnen intensieve landbouwsystemen met een hoge input, die een zware ontbossing, waterschaarste, bodemuitputting en hoge niveaus van uitstoot van broeikasgassen hebben veroorzaakt, niet zorgen voor een duurzame agrarische productie en voeding. Nodig zijn innovatieve systemen die de natuurlijke hulpbronnen beschermen en vergroten en de productiviteit verhogen. Nodig is een transformatieproces naar holistische benaderingen, zoals agro-ecologie, agro-forestry, klimaatvriendelijke landbouw en landbouw die ook is gebaseerd op lokale en traditionele kennis. Technologische verbeteringen, waaronder een drastische afname van het gebruik van fossiele brandstoffen in de gehele economie en in de landbouw, zouden helpen bij het tegengaan van klimaatverandering en natuurrampen. Meer internationale samenwerking is nodig om bedreigingen van voedselsystemen te voorkomen. Vanwege de afnemende gehalten aan nutriënten in de voeding moet ook om gezondheidsredenen worden omgeschakeld naar een ander landbouwsysteem,. Op de wereld zijn ongeveer 700 miljoen mensen extreem arm, 800 miljoen mensen lijden honger en 2 miljard mensen lijden aan een gebrek aan micronutriënten. Door de groei van de wereldbevolking van 7 miljard nu naar 10 miljard mensen in 2050, de toenemende druk op de natuur, sociale ongelijkheid en klimaatverandering zijn onze voedselsystemen in gevaar (FAO, 2017).

De kringloop van vroeger is in het huidige landbouwsysteem sterk doorbroken. Dierlijke mest is een probleem geworden in plaats van een waardevolle bemestingsbron en van een goede circulatie van mineralen en sporenelementen is geen sprake meer. Een groot deel daarvan verdwijnt in het rioolwater en vervolgens in het zuiveringsslib, dat voor een groot deel wordt verbrand.

Micronutriënten (mineralen en sporenelementen) komen vrij bij de verwerking en erosie van gesteenten en worden via de rivieren afgevoerd. Daardoor kwamen ze vroeger via overstromingen op een natuurlijke wijze op het land. Soms werd dit ook kunstmatig bevorderd, bijvoorbeeld op het Kampereiland. Men probeert dit nu te doen door het strooien van gesteentemeel op het land en het zou ook kunnen door alle baggerslib weer op het land te gaan toepassen. Daarnaast zouden alle reststromen van organisch materiaal weer terug moeten naar het land. Dat vergt een andere infrastructuur dan die van de huidige verwerking van het afvalwater via riolering en afvalwaterzuiveringsinstallaties en ook van de overige verwerking van organische reststromen. Door het gebruik van kunstmest en het niet recirculeren van mineralen is de voorraad sporenelementen in de grond teruggelopen en daardoor ook in de gewassen en in de voeding. De behoefte aan mineralen van het vee moet nu kunstmatig op

peil worden gehouden en soms moet dat ook bij de mens door het slikken van voedingssupplementen.

### 11.3 Voedselkwaliteit

Berichten over een afnemende voedselkwaliteit, in de zin van afnemende gehalten aan mineralen, zijn er al sinds het begin van de twintigste eeuw. Dit wordt geweten aan het toepassen van de moderne landbouwmethoden. Sinds 1940 zijn er fundamentele veranderingen in de voedselkwaliteit opgetreden. Er wordt van uitgegaan dat de mineralenvoorziening is gerelateerd aan de fysieke en mentale gezondheid. Een voorbeeld van afnemende mineralengehaltes uit de periodes 1940-1991 en 1940-2002 is in tabel 40 weergegeven voor groentes, fruit, vlees, zuivel en kaas (Thomas, 2003 en Thomas, 2007).

Tabel 40 Gemiddelde veranderingen van mineralengehaltes in enkele voedingsmiddelen

	groentes	fruit	vlees	zuivel	kaas
periode	1940 - 1991	1940 - 1991	1940-2002	1940 - 2002	1940 - 2002
natrium	-49%	-29%	-24%	-47%	-9%
kalium	-16%	-19%	-9%	-7%	-19%
fosfor	+9%	+2%	-21%	+34%	-8%
magnesium	-24%	-16%	-15%	+1%	-26%
calcium	-46%	-16%	-29%	+4%	-15%
ijzer	-27%	-24%	-50%	-83%	-53%
koper	-76%	-20%	-55%	-97%	-91%
zink		-27%			

Over deze periode dalen de gehalten aan mineralen met soms tientallen procenten. Ook vanuit andere bronnen wordt deze ontwikkeling bevestigd.

Recycling is belangrijk voor het behouden van voldoende micronutriënten. Dat is beter dan dat ze via mijnbouw moeten worden verkregen, omdat daar ook schaarste dreigt. Er zijn 21 essentiële micronutriënten voor gewassen, vee of voor mensen. De primaire bron van nutriënten vormt de vertering van moedermateriaal in de aardkorst. In dierlijke mest zijn de meeste micronutriënten aanwezig. Er is weinig aandacht voor de micronutriënten, vergeleken met de aandacht voor de zeldzame aardmetalen voor de elektronica-industrie (zie ook hoofdstuk 8.6). In de landbouw kunnen de noodzakelijke stoffen niet door andere worden vervangen. In het landbouwbeleid is echter geen aandacht voor een komende schaarste aan micronutriënten. Ook in het Europese grondstoffenbeleid wordt geen aandacht besteed aan de landbouw. Om de afhankelijkheid van andere landen te verminderen en de bodemkwaliteit te verbeteren zijn efficiënter gebruik, substitutie in de industrie en recycling van organische stof nodig.

### 11.4 Benodigde hoeveelheid voeding en benodigde oppervlakte landbouwgrond

Alvorens de vraag te kunnen beantwoorden in hoeverre de Nederlandse landbouw de eigen bevolking kan voeden, is eerst een aantal uitgangspunten vastgesteld voor zowel de plantaardige als de dierlijke productie. Daarbij is deels uitgegaan van normen die voor de biologische landbouw gelden en deels van door mij zelf ingeschatte opbrengsten. Voor de benodigde hoeveelheden voer voor de dierlijke producten is aansluiting gezocht bij cijfers van de Wageningen Universiteit (Wageningen UR, 2008, Wageningen UR, 2010 en Wageningen UR Livestock Research, 2011).

In dit proefschrift is de benodigde oppervlakte landbouwgrond berekend voor de plantaardige productie en de dierlijke productie. Dit is gedaan op basis van de benodigde hoeveelheden voeding en de hier aangenomen opbrengstcijfers. Voor de dierlijke producten zijn ook de benodigde hoeveelheden voer bepaald en de benodigde oppervlakte landbouwgrond om het voer te verbouwen (op graanbasis). De in dit proefschrift aangenomen opbrengsten zijn lager dan die van de gangbare landbouw in 2015 (zie o.a. de kolom “opbrengsten” in tabel 41). Deze opbrengsten zijn gebruikt voor zowel het berekenen van de benodigde oppervlakte landbouwgrond als voor het scenario van een duurzame landbouw in 2040 (zie hoofdstuk 14).

Er zijn eerdere onderzoeken uitgevoerd, waarin is gekeken in hoeverre Nederland zichzelf zou kunnen voeden. In een onderzoek uit 1985 wordt geconstateerd dat Nederland zich kon voeden in een autarkische situatie met een bevolking van 14,7 miljoen inwoners. Het dieet zou dan wel moeten worden versoerd (Bakker, 1985). In een onderzoek van het LEI wordt ook aangegeven dat Nederland in een autarkische situatie genoeg voedsel kan produceren voor een eigen bevolking van 17 miljoen inwoners. Ook bij veel lagere productieniveaus omdat er minder input mogelijk is van energie, kunstmest, diergeneesmiddelen en bestrijdingsmiddelen. Wel is een versoering van het dieet nodig door minder graanproducten, geen varkensvlees, meer aardappelen, kippenvlees en eieren (LEI, 2013). In beide studies is het begrip autarkie toegespitst op de landbouwproductie zelf. Er is verondersteld dat productiemiddelen als energie en andere hulpmiddelen in een bepaalde mate voor de landbouw beschikbaar blijven. In die zin is niet uitgegaan van een volledige autarkie.

De benodigde hoeveelheden voeding zijn bepaald op basis van de richtlijnen Schijf van Vijf (2016) van het Voedingscentrum, die zijn gebaseerd op de Richtlijnen goede voeding 2015 van de Gezondheidsraad. De productgroepen waarover de Gezondheidsraad adviseert om zo min mogelijk er van te consumeren, zijn in hun geheel buiten de Schijf van Vijf geplaatst. Ook voedingsmiddelen waarover de Gezondheidsraad adviseert ze te vervangen door voedingsmiddelen met een gunstiger samenstelling vallen buiten de Schijf van Vijf. Daarnaast staan productgroepen die niet bijdragen aan een gezond voedingspatroon, zoals koek en snoep, buiten de Schijf van Vijf. Bij elk vak in de Schijf van Vijf hoort een specifiek advies over de dagelijks aanbevolen hoeveelheden voedingsmiddelen, uitgesplitst naar leeftijd en geslacht. De groep vis, peulvruchten, vlees en ei bestaat uit verschillende voedingsmiddelengroepen die elk een weekadvies hebben. Door dagelijks uit deze groep een andere keuze te maken varieert men tussen plantaardige en dierlijke eiwitbronnen (Gezondheidsraad, 2015).

In tabel 41 zijn de aanbevolen hoeveelheden voedingsmiddelen per persoon per dag of per week weergegeven. Het bepalen van de totale benodigde hoeveelheden voedingsmiddelen is gedaan op basis van een bevolkingsomvang van 17 miljoen inwoners.



Tabel 41 Hoeveelheden benodigde voedingsmiddelen en daarvoor benodigde oppervlaktes

	per persoon (Voedingscentrum)	totaal benodigd	opbrengsten	benodigde landoppervlak
groente	250 gram/dag	1.551.250 ton	35 ton/ha	44.321 ha
fruit	200 gram/dag	1.241.000 ton	35 ton/ha	35.457 ha
brood	200 gram/dag	1.241.000 ton	5 ton/ha	248.200 ha
graanproducten	100 gram/dag	620.500 ton	5 ton/ha	124.100 ha
aardappelen	200 gram/dag	1.241.000 ton	35 ton/ha	35.457 ha
noten/pitten/zaad	25 gram/dag	156.400 ton	2 ton/ha	78.200 ha
peulvruchten	135gram/week	119.340 ton	5 ton/ha	23.868 ha
smeer- en bereidingsvetten	50 gram/dag, zonnebloemolie	310.250 ton	1 ton/ha	310.250 ha
koolzaadolie	30 gram/dag	186.150 ton	1,5 ton/ha	124.100 ha
dranken *	1500 gram/dag 300 gram appelsap	1.861.500 ton	17,5 ton/ha	106.371 ha
totaal		8.528.390 ton		1.130.324 ha
gemiddeld		7,5 ton/ha		
melk/melkprod.	400 gram/dag	2.482.000 ton		
kaas **	35 gram/dag	217.600 ton		
roomboter***	20 gram/dag	124.100 ton		
rood vlees	250 gram/week	221.000 ton		
eieren	150 gram/week of 3 eieren/week	132.600 ton/ 2.652 mln.eieren		
wit vlees	250 gram/week	221.000 ton		

\* van deze 1500 gram/dag, 300 gram gebaseerd op appelsap, verder koffie, thee en water;

\*\* 9,5 kg melk nodig voor 1 kg kaas;

\*\*\* 22,5 kg melk nodig voor 1 kg boter

Bij de plantaardige productie komen vrij aan veevoedergrondstoffen:

- 620.500 ton zonnebloemschroot;
- 372.300 ton koolzaadschilfers.

De vis- en schaaldieren (100 gram/week aanbevolen) zijn buiten beschouwing gelaten, omdat het aandeel van de in Nederland gekweekte vis klein is ten opzichte van de totale visconsumptie.

Voor de te produceren zuivelproducten zijn 1,24 mln. koeien (en 248.000 kalveren) nodig, bij een totale melkproductie van ruim 7,7 miljoen ton melk. Het landgebruik hiervan is 1.055.844 ha, bij een veebezetting van 1,5 koe/ha en 0,1 ha/koe voor krachtvoer. De vleesopbrengst is 106.000 ton. Door begrazing in natuurgebieden kan 20.000 ton rundvlees worden geproduceerd. Dit is in totaal 125.000 ton rundvlees.

Uitgaande van 500.000 schapen (en 420.000 lammetjes) kan ruim 13.000 ton vlees worden geproduceerd. Voor 500.000 schapen is ruim 30.000 ha grond nodig. Omdat schapen voor een deel grazen op dijken, heidevelden, bermen, bosranden e.d. is de aanname gedaan dat voor schapen 15.000 ha landbouwgrond nodig is. Voor krachtvoer is 2.500 ha nodig; het landgebruik voor schapen is dan 17.500 ha.

Voor de productie van 85.000 ton varkensvlees zijn bijna 1,5 mln. varkens per jaar nodig, waarvan er circa 800.000 tegelijk aanwezig zijn. Per jaar is ruim 680.000 ton voer nodig, het

landgebruik daarvan is ruim 136.000 ha (gerekend op graanbasis). Voor de uitloop van de zeugen is ruim 1.300 ha nodig voor vrije uitloop (150 m<sup>2</sup> per zeug).

Voor de productie van de benodigde eieren zijn 12,7 mln. leghennen nodig. De totale vleesopbrengst hiervan is (inclusief haantjes) ruim 19.000 ton. Tegelijk zijn bijna 14 miljoen kippen aanwezig. De vrije uitloop hiervan is 5.470 ha (4 m<sup>2</sup> per kip). Er is ca 422.000 ton voer nodig, met een landgebruik van ruim 84.000 ha.

Voor de productie van het overige witte vlees zijn ruim 110 miljoen slachtkuikens nodig en ruim 600.000 leghennen voor de broedeieren voor de slachtkuikens. Tegelijk zijn ongeveer 28 miljoen slachtkuikens en leghennen aanwezig. De leghennen gebruiken bijna 19.000 ton voer, met een landgebruik van ruim 3.700 ha. De slachtkuikens vragen 1.193.132 ton voer, met een landgebruik van 238.626 ha. Voor vrije uitloop is ruim 11.000 ha nodig. Dit geeft als resultaat voor de dierlijke productie een landgebruik zoals in tabel 42 staat.

Tabel 42 Overzicht dierlijke productie

	productie	hoeveelheid krachtvoer	landgebruik voer	weiland of uitloop	totaal landgebruik
<i>melkvee</i>					
melk	2.842.000 ton	229.194 ton	45.838 ha	343.790 ha	389.628 ha
kaas*)	2.067.200 ton	166.710 ton	33.342 ha	250.065 ha	283.407 ha
boter*)	2.792.250 ton	225.181 ton	45.036 ha	337.772 ha	382.808 ha
totaal melkvee		621.085 ton	124.216 ha	931.627 ha	1.055.843 ha
vlees melkvee	105.584 ton				
<i>ov. rundvee</i>					
vlees	125.000 ton				
<i>schapen</i>					
vlees	13.180 ton	12.500 ton	2.500 ha	15.000 ha	17.500 ha
<i>varkens</i>					
vlees	85.000 ton	682.294 ton	136.459 ha	1.309 ha	137.768 ha
<i>pluimvee</i>					
eieren (2,6 mln.)	159.120 ton				
vlees leghennen	19.048 ton	421.598 ton	84.320 ha	5.470 ha	89.790 ha
vlees slachtkuikens	202.500 ton	1.193.132 t	238.626 ha	11.344 ha	249.970 ha
vlees leghennen tv slachtkuikens		18.822 ton	3.764 ha		3.764 ha
totaal		2.949.431 ton	589.885 ha	964.750 ha	1.554.635 ha

\*) kaas en boter zijn weergegeven op basis van de benodigde hoeveelheden melk.

Er is 2.949.431 ton krachtvoer nodig met een landgebruik van 589.885 ha.

Een hectare tarwe heeft een energetische opbrengst aan graan van 69,3 GJ.

Bij de plantaardige productie zijn vrijgekomen 620.500 ton zonnebloemschroot met een energie-inhoud van 3.102.500 GJ en 372.300 ton koolzaadschroot met een energie-inhoud van 2.382.720 GJ, samen is dat 5.485.220 GJ. Het equivalent van deze energie-inhoud komt overeen met 79.152 ha granen (zie ook bijlage 3). Bij de productie van kaas komt 1.740.800 ton wei vrij; dat heeft een energie-inhoud van 261.120 GJ. Bij de productie van boter komt 2.482.000 ton karnemelk vrij, dat heeft een energie-inhoud van 3.176.960 GJ. In totaal is dat 3.438.080 GJ. Het equivalent van deze energie-inhoud komt overeen met 49.612 ha granen.

Jaarlijks komt circa 10 miljoen ton aan reststromen van organisch materiaal vrij in de voedings- en genotmiddelenindustrie (VGI), waarvan circa 80% wordt afgezet als diervoeding, de rest wordt gebruikt als vulstof en meststof of wordt gestort of verbrand. In tabel 43 zijn de voor veevoer te gebruiken hoeveelheden biomassa weergegeven, alsmede een schatting daarvan in 2040.

Tabel 43 Geschatte beschikbaarheid van Nederlandse biomassa in 2010 en geschatte hoeveelheden aanwezig in 2040, vanuit de voedings- en genotmiddelenindustrie

biomassasoort	beschikbaarheid in Nederland in 2010	beschikbaar in 2040	energie-inhoud in GJ/ton	totale energie-inhoud
plantaardige olie	4.000 ton	2.000 ton	36	72.000 GJ
schillen	100.000 ton	50.000 ton	16,5	825.000 GJ
bio-olie, frituurvet	60.000 ton	30.000 ton	38	1.140.000 GJ
bio-olie, vetzuren	60.000 ton	20.000 ton	38	760.000 GJ
droge VGI restproducten	100.000 ton	80.000 ton	18	1.440.000 GJ
dierlijke vetten	200.000 ton	50.000 ton	25	1.250.000 GJ
swill	200.000 ton	100.000 ton	10	1.000.000 GJ
totaal	724.000 ton	332.000 ton		6.487.000 GJ

Dit geeft in 2014 een energie-opbrengst van 6.487.000 GJ, zijnde het equivalent van 93.608 ha aan granen.

Het totale benodigde landgebruik is 2.684.959 ha. Het totale landgebruik voor de dierlijke productie is 1.554.635 ha (58% van het totale landgebruik). De melkveehouderij gebruikt daarvan 1.055.843 ha, dat is 39% van het totale landgebruik en 68% van het landgebruik voor de dierlijke productie.

Het benodigde oppervlak voor de dierlijke productie kan nog als volgt worden verkleind:

Benodigde oppervlakte:	1.554.635 ha
Schroot zonnebloemen en koolzaad:	79.152 ha
Wei en karnemelk:	49.612 ha
Organische reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie:	93.608 ha
Benodigde oppervlakte voor de dierlijke productie:	1.332.263 ha

In een nieuw landbouwsysteem dient ook rekening te worden gehouden met een benodigde oppervlakte voor dierlijke trekkracht. De aanname is 100.000 paarden en 40.000 ha grond.

De benodigde oppervlakte landbouwgrond is dan:

- plantaardige productie 1.130.324 ha
- dierlijke productie: 1.332.263 ha (inclusief verbouw veevoer)
- trekkracht: 40.000 ha
- totaal: 2.502.587 ha

Een benodigd landgebruik van 2.502.587 ha is bij 17 mln. inwoners 0,15 ha landbouwgrond per inwoner. We hebben nu 1,8 mln. ha landbouwgrond, dan is er ruimte voor 12 miljoen inwoners. Dat betekent 5 miljoen inwoners teveel of 750.000 ha tekort. Bij 17 miljoen inwoners moet het dieet fors worden aangepast. De dierlijke productie moet worden gehalveerd.

Het beeld is dan als volgt:

Er is 1.474.716 ton krachtvoer nodig met een landgebruik van:	294.943 ha
Weiland en uitloop:	482.375 ha
Benodigde oppervlakte:	777.318 ha
Hier gaat vanaf:	
Schroot zonnebloemen en koolzaad:	79.152 ha
Wei en karnemelk (gehalveerd):	24.806 ha
Reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie (gehalveerd):	46.804 ha
Benodigde oppervlakte voor de dierlijke productie:	626.556 ha

De benodigde oppervlakte voor het verbouwen van veevoer gaat dan van 294.943 ha naar 144.181 ha.

De benodigde oppervlakte landbouwgrond is dan:

- plantaardige productie 1.130.324 ha
- dierlijke productie: 626.556 ha
- paarden: 40.000 ha
- totaal: 1.796.880 ha

Er is dan geen landbouwgrond meer over, want de beschikbare oppervlakte landbouwgrond is 1.800.000 ha. Een direct landgebruik van 1.800.000 ha is ook de basis voor het scenario voor de landbouw in 2040, zoals in hoofdstuk 14 is beschreven. Er is verder nog circa 20.000 ha nodig voor zaaizaad en plantgoed en nog enige oppervlakte voor de wat (in oppervlakte) kleinere gewassen zoals vlas, hennep, karwij, chicorei, blauwmaanzaad. De dierlijke productie zou dan nog iets verder moeten worden gereduceerd dan hier is aangegeven. Daar staat tegenover dat met nieuwe teeltsystemen (bijvoorbeeld permacultuur, agroforestry, combinatieteelten, meer integratie van plantaardige en dierlijke productie) hogere opbrengsten per ha kunnen worden behaald dan waar in het scenario voor 2040 vanuit is gegaan.

## 11.5 Bemesting van de grond

### 11.5.1 Algemeen

Om de bodemvruchtbaarheid (weer) op peil te houden/brengen moeten alle reststromen van organisch materiaal op landbouwgrond worden toegepast. Hiermee wordt het systeem van de kringlooplandbouw hersteld en kan de demineralisatie van de bodem en de voeding door het huidige systeem worden verminderd of teniet worden gedaan. Dit vraagt om een integrale systeembenadering, maar ook om een grote systeemverandering.

De volgende reststromen van organisch materiaal komen elk jaar vrij:

- dierlijke mest (hoofdstuk 11.5.2);
- reststromen van organisch materiaal van huishoudens, overheden en bedrijven (hoofdstuk 11.5.3);
- Reststromen van organische materiaal uit afvalwater (hoofdstuk 11.5.4);
- Baggerspecie (hoofdstuk 11.5.5).

Een deel van deze reststoffen kan al dan niet via een bewerking direct op landbouwgrond worden toegepast. Een ander deel is geschikt voor toepassing in veevoer en komt via deze indirecte weg (via de mest) ook weer op het land terecht. In dit hoofdstuk komen aan de orde de reststromen van organisch materiaal die voor de landbouw nuttig kunnen zijn.

### 11.5.2 Dierlijke mest

De hoeveelheden per jaar vrijkomende stikstof en fosfaat in de geproduceerde hoeveelheden dierlijke mest zijn berekend op basis van de in hoofdstuk 11.4 berekende aantallen dieren en de per dier geldende excretienormen volgens RVO. Het gaat hierbij om de aantallen dieren die behoren bij het landgebruik van 1,8 miljoen ha (waarvan 626.556 ha voor de dierlijke productie) en zoveel mogelijk autarkie van de Nederlandse voedselvoorziening. In tabel 44 zijn de excretienormen en de berekende hoeveelheden stikstof en fosfaat weergegeven, gebaseerd op het scenario voor de landbouw in 2040 (overeen komend met de berekende hoeveelheden in hoofdstuk 11.4).

Tabel 44 Excretienormen per diersoort en berekende hoeveelheden stikstof en fosfaat

	aantal dieren tegelijk aanwezig	excretienorm stikstof per dier*	excretienorm fosfaat per dier	stikstof	fosfaat
paarden	100.000	52,9 kg/jaar	24,5 kg/jaar	5.290 ton	2.450 ton
melkkoeien	621.085	123 kg/jaar	42,7 kg/jaar	76.393 ton	26.520 ton
jongvee	124.217	32,3 kg/jaar	9,6 kg/jaar	4.012 ton	1.192 ton
vleeskoeien	100.000	74,4 kg/jaar	27,1 kg/jaar	7.440 ton	2.710 ton
schapen	250.000	7,8 kg/jaar	2,5 kg/jaar	1.950 ton	625 ton
varkens	401.387	9,4 kg/jaar	2,1 kg/jaar	3.773 ton	843 ton
kippen	21.017.938	0,5 kg/jaar	0,4 kg/jaar	10.509 ton	8.407 ton
totaal	22.614.627			109.367 ton	42.747 ton
				61 kg N/ha	24 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha

(\*bron: RVO 2015. Tabel 4. Diergebonden mestproductie- en excretienormen)

Op basis van de berekende aantallen dieren komt een hoeveelheid organische mest vrij die van substantiële betekenis is voor het bemesten van de landbouwgrond.

### 11.5.3 Reststromen organisch materiaal van huishoudens, overheden en bedrijven

De reststromen van organisch materiaal van huishoudens, bedrijven en overheden zijn geïnventariseerd op basis van bruikbaarheid voor de landbouw (zie tabel 45).

Tabel 45 Voor de landbouw bruikbare reststromen van organisch materiaal in 2015

	hoeveelheden	gecorrigeerde hoeveelheden	hoeveelheid compost en grond
<i>Gemeentelijke afvalstoffen (CBS):</i>			
van huishoudens:			
GFT (Groente-, Fruit- en Tuinafval) *)	1.358.000 ton	1.630.000 ton	815.000 ton
grof tuinafval **)	463.000 ton	555.600 ton	277.800 ton
schone grond	95.000 ton	95.000 ton	95.000 ton
<i>Van reinigingsdiensten en overig afval:</i>			
riool-, kolken- en gemalenafval, waarvan gemalenafval (drijfafval) **)	84.000 ton 20.000 ton	20.000 ton	10.000 ton
drijfafval (excl. havenslib en baggerspecie **)	5.000 ton	5.000 ton	2.500 ton
groenafval (van aanleg en onderhoud openbaar groen, o.a. takken, snoeihout, en bermmaaisel) **)	649.000 ton	649.000 ton	324.500 ton
<i>Natuur- en landschapsonderhoud (Stichting Probos):</i>			
houtige biomassa bos en landschap **)	1.019.000 ton	1.019.000 ton	509.500 ton
riet, plagsel, heide **)	129.000 ton	129.000 ton	64.500 ton
<i>Bedrijfsafval (SBI 2008), (CBS):</i>			
dierlijk, plantaardig afval (van levensmiddelenbereiding, groenafval en mest)	6.550.000 ton 80% in veevoer 20% *)	1.310.000 ton	655.000 ton
zaagsel van de houtindustrie **)	270.000 ton	270.000 ton	135.000 ton
totaal			2.888.800 ton

(bron: CBS en Stichting Probos)

\*) aanname dat hiervan landbouwcompost wordt gemaakt, hoeveelheid: 1.470.000 ton

\*\*) hiervan wordt natuurcompost gemaakt, hoeveelheid: 1.323.800 ton

De hoeveelheden GFT (Groente-, Fruit- en Tuinafval) en grof tuinafval zijn nog wel te verhogen, een deel komt nu in de grijze container terecht. De aanname is gedaan dat beiden nog met 20% kunnen worden verhoogd, dus met 271.600 ton respectievelijk met 92.600 ton. De gecorrigeerde hoeveelheden zijn dan 1.629.600 ton, afgerond 1.630.000 ton en 555.600 ton. Uitgangspunt bij de reststromen van organisch materiaal is dat via compostering (al dan niet in combinatie met vergisting) 50% van de hoeveelheid overblijft. Dit levert 2.888.800 ton op, waarvan 95.000 ton grond en 2.793.800 ton compost. Op basis van de twee soorten compost en de daarbij behorende gehalten aan stikstof en fosfaat zijn de hoeveelheden daarvan bepaald (zie tabel 46).

Tabel 46 Hoeveelheden stikstof en fosfaat uit compost

	gehalte N	gehalte P2O5	hoeveelheid N	hoeveelheid P2O5
landbouwcompost 1.470.000 ton	6,8 kg N/ton	3,4 kg P2O5/ton	9.996.000 kg	4.998.000 kg
natuurcompost 1.323.800 ton	4,8 kg N/ton	2,1 kg P2O5/ton	6.354.240 kg	2.779.980 kg
totaal			16.350.240 kg	7.777.980 kg
per ha			9,1 kg N/ha	4,3 kg P2O5/ha

GFT-afval wordt nu in circa 20 GFT-composteerinrichtingen verwerkt, met een schaalgrootte van 15.000 ton/jaar tot 200.000 ton/jaar. Vaak is een vergistingsinstallatie voorgeschakeld.

Deze installaties zijn meestal in pandig. Groenafval wordt gecomposteerd in circa 100 composteerinrichtingen met verwerkingscapaciteiten van enkele duizenden tonnen tot meer dan 100.000 ton. Daarnaast zijn er kleine inrichtingen bij boeren en loonwerkers. De composteercapaciteit in Nederland is ongeveer 3,5 tot 4 miljoen ton, waarvan ongeveer 1,5 miljoen ton GFT-compostering en 2 tot 2,5 miljoen ton groencompostering.

#### **11.5.4 Reststromen van organische materiaal uit afvalwater**

Ruim 99% van het afvalwater van huishoudens wordt gezuiverd bij een van de 334 rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) van de waterschappen. Daarnaast zijn er 432 afvalwaterzuiveringsinstallaties van bedrijven. Het gaat daarbij om hoeveelheden in eenzelfde orde van grootte als bij de waterschappen. De capaciteit van de RWZI's heeft zich de laatste 10 jaar gestabiliseerd op ongeveer 24 miljoen inwonerequivalenten. Er zijn 22 waterschappen die 2 miljard m<sup>3</sup> afvalwater zuiveren. De hoeveelheid arbeid bij het zuiveringsbeheer is 1.700 a.j.e.. De exploitatiekosten zijn ruim 1 miljard euro. Het energiegebruik voor zuiveringsbeheer is 7,5 PJ. Er ligt 8000 km aan transportleidingen. Het rioolbeheer is in handen van de gemeenten, zij zamelen het afvalwater in en transporteren het naar de waterschappen. Er zijn 2.200 rioolgemalen. De slibproductie is 328.000 ton droge stof per jaar, 76% van het slib (ds) wordt vergist om de hoeveelheid te reduceren waardoor de afzetkosten van slib worden verlaagd. Het aantal RWZI's neemt steeds verder af, omdat afvalwater steeds meer centraal wordt gezuiverd. Deze installaties gebruiken veel energie en hulpstoffen en zouden moeten worden vervangen door decentrale meer brongerichte inzamelen en bewerkingsinstallaties, bijvoorbeeld in combinatie met de composteerinrichtingen.

Er worden vier technieken gebruikt voor de eindverwerking van het slib:

- ongeveer 55% wordt verbrand in één van de twee mono-verbrandingsinstallaties;
- 20% wordt gecomposteerd;
- 20% wordt gedroogd;
- 5% wordt mee verbrand in een afvalverbrandingsoven.

Het rioolstelsel heeft een lengte van ongeveer 110.000 km. Per jaar besteden de gemeenten ongeveer 1,4 miljard euro aan riolering en stedelijk waterbeheer (Unie van Waterschappen, 2016).

Om de hoeveelheden stikstof en fosfaat te kunnen bepalen zijn de volgende gegevens geïnventariseerd (zie ook bijlage 3):

- De hoeveelheden influent en effluent en het stikstof- en fosfaatgehalte daarvan bij de RWZI's;
- de hoeveelheden bij de RWZI's vrij gekomen slib naar bestemming;
- de hoeveelheden vrijkomend slib bij de afvalwaterzuivering van bedrijven en hun bestemmingen.

Omdat een groot deel van het slib wordt verbrand is het moeilijk om de aangevoerde stikstof en fosfaat te hergebruiken, deze gaat nu grotendeels verloren. Deze meststoffen worden nu uit de kringloop gehaald en kunnen niet meer goed worden hergebruikt. De hoeveelheden stikstof en fosfaat die worden aangevoerd bij de RWZI's en bij de afvalwaterzuiveringsinstallaties van bedrijven zijn vermeld in tabel 47.

Tabel 47 Hoeveelheden stikstof en fosfaat in riolering/afvalwaterzuiveringsinstallaties

	hoeveelheid N	hoeveelheid P2O5
influent stedelijk afvalwater bij rwzi's	89.122.000 kg	30.660.810 kg
influent afvalwater bedrijven bij afvalwaterzuiveringsinstallaties die lozen op het oppervlaktewater	12.965.000 kg	2.880.000 kg
totaal	102.087.000 kg	33.540.810 kg
per ha	56,7 kg N/ha	18,6 kg P2O5/ha

Om deze hoeveelheden stikstof en fosfaat (en andere nutriënten) op een goede wijze te kunnen hergebruiken zouden ze niet in het afvalwater terecht moeten komen, maar decentraal moeten worden ingezameld samen met de andere reststromen van organisch materiaal. Dit maakt de dure infrastructuur van riolering en afvalwaterzuivering overbodig en maakt een kringlooplandbouw mogelijk.

### 11.5.5 Baggerspecie:

In Nederland wordt per jaar 29,5 miljoen m3 baggerspecie verwerkt, waarvan 9 miljoen m3 zoete baggerspecie en 20,5 miljoen zoute baggerspecie. Van de zoute baggerspecie is ongeveer 4 % verontreinigd en van de zoete baggerspecie ongeveer 30% (klasse 3 en 4). Bij de zoete specie is een achterstand ten opzichte van de aanwas van sediment. Bij de zoute specie is een evenwicht tussen aanwas en baggeren. Zoute baggerspecie wordt voor 60% door Rijkswaterstaat gebaggerd en voor 40% door gemeenten en overige instanties. Vrijwel alles wordt gebaggerd vanwege onderhoud en de baggerspecie wordt voor 92% verspreid in zee. De niet verontreinigde baggerspecie die per jaar vrij komt is 25 miljoen m3 (bron: Compendium voor de leefomgeving, bodem en grondwater, 2009).

Baggerspecie bevat o.a. micronutriënten en stikstof en fosfaat. Daarnaast kan het organische stof bevatten. Baggerspecie kan ook als bodemverbeteraar worden gebruikt vanwege het slib. Op basis van kwaliteitsgegevens over baggerspecie is van de volgende aanname uitgegaan:

- 1 kg N per m3 baggerspecie
- 0,5 kg P2O5 per m3 baggerspecie.

In tabel 48 is aangegeven tot welke hoeveelheden stikstof en fosfaat dit kan leiden.

Tabel 48 Hoeveelheden stikstof en fosfaat uit baggerspecie

	gehalte N	gehalte P2O5	hoeveelheid N	hoeveelheid P2O5
zoete baggerspecie, 6 mln. m3	1 kg N/m3	0,5 kg P2O5/m3	6.000.000 kg	3.000.000 kg
19 mln. m3	1 kg N/m3	0,5 kg P2O5/m3	19.700.000 kg	9.850.000 kg
totaal			25.000.000 kg	12.850.000 kg
per ha			13,9 kg N/ha	7,1 kg P2O5/ha

### 11.5.6 Totaal overzicht reststromen van organisch materiaal

Door de wijze waarop nu wordt omgegaan met de reststromen van organisch materiaal gaat veel stikstof en fosfaat verloren. Dat komt mede omdat in Nederland een overschot is aan stikstof en fosfaat door de import van veevoer en het gebruik van kunstmest. In een landbouwsysteem waarin alle organische stof weer moet worden hergebruikt vraagt dit om een goede recycling. Stikstof kan de landbouw nog zelf maken, maar fosfaat is niet te vervangen door iets anders en het is ook een niet hernieuwbare grondstof. Naar verwachting kunnen de fosfaatmijnen in de toekomst alleen nog sterk verontreinigd fosfaat leveren. Het is dan de vraag of op landbouwgronden met hoge gehalten aan zware metalen nog gewassen



voor menselijke consumptie mogen worden verbouwd. Het gerecyclede fosfaat bevat minder verontreinigingen, zoals cadmium en uranium. Het schoonste fosfaaterts raakt op. Het verbranden van mest (kippenmest wordt nu op grote schaal verbrand) en zuiveringsslib moet eigenlijk worden verboden.

Er moet een nieuwe inzamelstructuur komen om de reststromen van organisch materiaal op een goede wijze te kunnen hergebruiken. Via de diverse deelstromen zouden deze reststoffen decentraal moeten worden ingezameld, bewerkt, al dan niet gemengd en voor afzet in de landbouw gereed moeten worden gemaakt. Dit past beter in een circulaire economie dan het huidige systeem, waarbij veel macro- en micronutriënten en organische stof verloren gaan. De organische stof en nutriënten worden dan aangeleverd via:

- reststromen van organisch materiaal uit huishoudens en industrie
- reststromen van organisch materiaal uit landschapsbeheer, groenbeheer en bermbeheer;
- het equivalent via decentrale sanitatie van het nu nog afgevoerde afvalwater naar rwzi's;
- het equivalent via decentrale sanitatie van het nu nog afgevoerde afvalwater van bedrijven naar afvalwaterzuiveringsinrichtingen;
- zoete baggerspecie;
- zoute baggerspecie.

Van de bemestende waarde van deze reststromen is op basis van stikstof en fosfaat een indicatie gegeven (zie tabel 49).

Tabel 49 Totale hoeveelheden stikstof en fosfaat uit organische reststromen

	hoeveelheid N	hoeveelheid P2O5
dierlijke mest	109.367.000 kg	42.747.000 kg
reststromen organisch materiaal	16.350.240 kg	7.777.980 kg
influent afvalwaterzuiveringsinstallaties	102.087.000 kg	33.540.810 kg
baggerspecie	25.000.000 kg	12.850.000 kg
totaal	252.804.240 kg	96.915.790 kg
per ha	140 kg N/ha	54 kg P2O5/ha

De totale hoeveelheden aan organische reststromen is per ha weergegeven in tabel 50.

Tabel 50 Hoeveelheden stikstof en fosfaat uit stromen van organische reststoffen per ha

	kg N/ha	kg P2O5/ha
dierlijke mest	60,76	23,75
reststromen organisch materiaal	9,08	4,32
influent afvalwaterzuiveringsinstallaties	56,72	18,63
baggerspecie	13,89	7,14
totaal	140	54

Naast de in tabel 50 vermelde reststoffen komen er ook nog reststromen van organisch materiaal vrij uit de landbouw zelf (gewasresten, stro), die weer kunnen worden gebruikt. Ook de teelt van vlinderbloemigen levert bemesting op. De depositie vanuit de lucht zal in een maatschappij met een veel lager energie- en grondstoffengebruik wel lager zijn. De inzameling van reststromen van organisch materiaal kan nog verder worden geoptimaliseerd. Een nieuwe ontwikkeling is de toepassing van maaimeststoffen, waarbij de plantaardige productie ook zonder dierlijke mest mogelijk is (vegetarische akkerbouw). Verder kunnen nieuwe teeltsystemen ook een bijdrage leveren aan het op peil houden van de

bodemvruchtbaarheid. Met deze mogelijkheden gecombineerd met het toepassen van de hier aangegeven hoeveelheden reststoffen kan een voldoende bemestingsniveau van het landbouwareaal worden gerealiseerd en kan de bodemvruchtbaarheid worden hersteld.

## **12 Maatschappelijke kosten**

### **12.1 Algemeen**

In dit hoofdstuk komt een aantal studies naar de maatschappelijke kosten van de landbouw aan de orde. Vervolgens is een inschatting van deze kosten gemaakt op basis van de emissies in CO<sub>2</sub>-equivalenten en op basis van andere factoren. De resultaten geven een indicatie van de maatschappelijke kosten van de landbouw.

Maatschappelijke kosten (ook wel externe kosten genoemd) doen zich voor als de productie of consumptie van een product of dienst kosten veroorzaakt voor een derde partij. Deze kosten worden dan gedragen door de maatschappij of door anderen in plaats van door de veroorzaker, of ze worden helemaal niet betaald en verschoven naar de toekomst. Dit heeft als resultaat dat er verschillen zijn tussen private inkomsten en kosten en de inkomsten en kosten van de maatschappij als geheel. De kosten uitgedrukt in geld laten dus niet alle kosten zien.

Het is belangrijk inzicht te hebben in de omvang van de maatschappelijke kosten en ze ook toe te rekenen aan degene die ze veroorzaakt. Daarmee kan de besluitvorming over de wijze van produceren worden verbeterd en kan het veroorzaken van negatieve effecten worden gereduceerd. De producent heeft er dan immers belang bij om negatieve effecten te voorkomen.

Internalisering van de maatschappelijke kosten betekent dat de economische kosten, sociale kosten, gezondheidskosten en milieukosten geheel worden gedekt door de prijs van het product of de dienst (het de vervuiler betaalt principe). In economische zin blijft een aantal schaarsten op dit moment geheel of nagenoeg geheel ongeprijsd. Daardoor kunnen de kosten van vervuiling door de landbouw vrijwel integraal worden afgewenteld. Ook kunnen natuurlijke hulpbronnen zoals fosfaatkunstmest en aardolie, die worden gevormd in zeer trage geologische processen, worden ingezet zonder rekening te houden met de uitputting daarvan.

Voor externe effecten (de maatschappelijke baten of maatschappelijke kosten) komen per definitie geen marktprijzen tot stand, omdat hiervoor geen markt bestaat. Zolang er geen markt is voor het gebruik van het milieu zijn er andere methoden nodig om de externe effecten financieel te waarderen. Er begint nu wel een markt te ontstaan voor het betalen voor de uitstoot van broeikasgassen.

Waarderingsmethoden voor het bepalen van maatschappelijke kosten zijn:

- de kosten van de schade veroorzaakt door het externe effect;
- de kosten die nodig zijn om het externe effect te voorkomen: preventiekosten

Niet in het product doorberekende maatschappelijke kosten kunnen er voor zorgen dat marktprijzen maatschappelijk gezien niet optimaal zijn. Daarom worden maatschappelijke kosten ook wel aangeduid als een vorm van marktfalen. Om dit marktfalen te verhelpen kan een heffing worden ingevoerd die gelijk is aan de hoogte van de maatschappelijke kosten.

## 12.2 Voorbeelden van maatschappelijke kosten

Er zijn veel onderzoeken gedaan naar het kwantificeren van maatschappelijke kosten. In deze paragraaf worden enkele daarvan toegelicht.

In een studie van Bureau Berenschot, in opdracht van de Triodos Bank, (Berenschot, 1989) is de economische haalbaarheid van de biologisch dynamische landbouw nagegaan door de economische en milieuaspecten er van te vergelijken met die van de gangbare landbouw. De milieuschade veroorzaakt door de gangbare landbouw wordt geschat op € 2,77 miljard per jaar.

CE Delft geeft in het onderzoek “De onbetaalde rekening van de Nederlandse veeteelt” een schatting van de kosten die door de Nederlandse veehouderijsector worden afgewenteld op de Nederlandse samenleving. Deze worden voor 2002 geschat op tenminste 2,1 miljard euro per jaar. Daarbij is niet alle toegebrachte schade financieel gewaardeerd (bijvoorbeeld de kosten van geurhinder en het verlies aan biodiversiteit). Bekeken zijn de deelsectoren rundveehouderij, varkenshouderij en vleeskuikenhouderij. Niet meegenomen zijn o.a. de transportkosten van import en export en product- en afzetsubsidies (CE Delft, 2005).

Het LEI becijfert in de studie “Waardering van de duurzaamheidsprestaties van de biologische landbouw” de externe effecten van bestrijdingsmiddelengebruik op ruim 91 miljoen euro per jaar (LEI, 2008). De resultaten hiervan zijn in tabel 51 weergegeven.

Tabel 51: Welvaartseffecten van bestrijdingsmiddelen

fysiek effect	welvaartseffect	economische waarde*
emissie naar de lucht	kosten gezondheidszorg en arbeidsproductiviteit (acuut)	€ 0,07/kg actieve stof, € 796.740
emissie naar grondwater	kosten waterzuivering	€ 7,93/kg actieve stof, € 90.259.260
emissie naar oppervlaktewater	ecologische kwaliteit	pm
totaal		€ 91.056.000

\*In het jaar 2000 is 11.382 ton actieve stof gebruikt, eigen omrekening naar totaalbedragen

Het Louis Bolk Instituut geeft in het onderzoek “Verkenning naar een grondgebonden melkveehouderij” aan dat de Nederlandse melkveestapel van 1,6 miljoen melkkoeien in 2015 terug zou moeten naar 1,4 miljoen melkkoeien vanwege de ammoniakdoelstelling uit 2013 en terug naar ca 1,1 miljoen melkkoeien vanwege klimaatdoelstellingen (Louis Bolk Instituut, 2017). De maatschappelijke kosten zullen dan dalen met 300 tot 800 miljoen euro. De maatschappelijke kosten liggen tussen € 0,20 en € 0,58 per kg melk. De resultaten staan in tabel 52.

Tabel 52: maatschappelijke kosten van de melkveehouderij, per kg melk,

maatschappelijke kosten per onderdeel in euro/kg melk	ondergrens	bovengrens
broeikasgasemissie	€ 0,05	€ 0,25
biodiversiteitsverlies	€ 0,07	€ 0,13
humane gezondheid	€ 0,01	€ 0,13
dierziekten	€ 0,01	€ 0,01
bodemdaling	€ 0,02	€ 0,02
inkomenstoeslag	€ 0,04	€ 0,04
totaal	€ 0,20	€ 0,58
melkproductie in 2015 (aangevoerde melk in fabrieken)	13.325.976 ton	13.325.976 ton
maatschappelijke kosten melkveehouderij	€ 2.665.195.200	€ 3.331.494.000

De maatschappelijke kosten van de melkveehouderij liggen in 2015 dan tussen de 2,6 en 3,3 miljard euro per jaar.

De hier gegeven voorbeelden laten maatschappelijke kosten zien die (op jaarbasis) variëren van 91 miljoen euro (voor bestrijdingsmiddelen) tot 2,1 miljard euro (veeteelt), 2,77 miljard euro (de landbouw) en 2,6 tot 3,3 miljard euro voor de melkveehouderij. Verder wordt aan het GLB (Gemeenschappelijk Landbouw Beleid) in Nederland ongeveer 1 miljard euro per jaar uitgegeven en bestaan er nog allerlei (tijdelijke) subsidieregelingen en kosten die de overheid op zich neemt bij ziekte-uitbraken, voedselschandalen, e.d.

### **12.3 De maatschappelijke kosten van de landbouw**

De maatschappelijke kosten van de landbouw zijn tot nu toe op allerlei manieren berekend. Een uniforme maatstaf hiervoor is een eerste stap om dit te objectiveren. Als maat voor een deel van de maatschappelijke kosten is hier gekozen voor de uitstoot in CO<sub>2</sub>-equivalenten, omdat daarmee ook wordt aangesloten bij een bestaand systeem.

Sinds 2005 zijn er emissierechten. Deze worden verhandeld via het ETS (Emission Trading System). Voor de kosten van het veroorzaken van een ton CO<sub>2</sub> zijn verschillende berekeningen in omloop. Het Europese Emissiehandelssysteem is van toepassing op een beperkt aantal energie-intensieve sectoren. Dit zijn de sectoren basismetaal, aardolie-industrie, chemie/rubber/kunststof, bouwmaterialen en elektriciteitsopwekking. De landbouw valt niet onder het ETS.

In het EU-ETS systeem zijn per jaar emissierechten als volgt beschikbaar:

- een deel wordt toegewezen aan bedrijven;
- een deel wordt geveild;
- het jaarlijkse aanbod neemt af.

Er is een voorstel van de Europese Commissie uit 2015 voor aanpassing van de ETS-richtlijn 2012 - 2030. Voorgesteld is om een aangescherpte reductiefactor van 2,2% per jaar (was 1,74% per jaar) in te voeren. Dit kan wel een nadeel geven voor de concurrentie van landen buiten het EU-ETS systeem en intern van bedrijven die niet onder EU-ETS vallen. Er worden nu CO<sub>2</sub>-prijzen genoemd van € 23/ton tot € 26/ton in 2030. Bij de start van het Europese emissiehandelssysteem (ETS) is destijds uitgegaan van € 30 per ton. De EU heeft als doel om voor 2050 om een emissiereductie van 80% van de broeikasgasemissies te bereiken.

Een deel van de maatschappelijke kosten van de landbouw is hier bepaald op basis van de emissie in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Daarvoor is het eerst nodig deze emissie in beeld te brengen. Vervolgens kunnen dan de maatschappelijke kosten worden berekend op basis van de hoeveelheden CO<sub>2</sub>-equivalenten en de prijs per CO<sub>2</sub>-equivalent.

De broeikasgassen die bijdragen aan klimaatverandering zijn:

- kooldioxide (CO<sub>2</sub>);
- methaan (CH<sub>4</sub>);
- distikstofoxide of lachgas (N<sub>2</sub>O);
- allerlei gehalogeneerde gassen en sommige aerosolen.

Kooldioxide (CO<sub>2</sub>) ontstaat vooral door verbranding van fossiele brandstoffen. De glastuinbouw heeft hier met de verbranding van aardgas binnen de landbouw een groot aandeel in. Wereldwijd wordt bij de oliewinning circa 150 miljard m<sup>3</sup> aardgas afgefakkeld. Dit veroorzaakt meer dan 300 miljoen ton CO<sub>2</sub>. Het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) schat dat 25% van het totale opwarmingseffect is te wijten aan emissies van mee opgepompt gas dat zinloos wordt verbrand of ongehinderd weglekt in de atmosfeer.

Methaan (CH<sub>4</sub>) komt vrij bij pens- en darmfermentatie van graasdieren, uit afvalplaatsen en moerassen en het lekt weg uit gasleidingen. Methaan is een sterk broeikasgas, het vervliegt sneller dan CO<sub>2</sub>, maar het houdt ook veel meer warmte vast zolang het in de atmosfeer zit. Methaan is het belangrijkste bestanddeel van aardgas. Tijdens de winning, het transport en de opslag van aardgas komt methaan vrij. Een kwart tot één derde van alle methaanuitstoot is afkomstig van de energiesector. Om de doelstellingen van het Klimaatakkoord van Parijs te halen moeten ook maatregelen worden genomen om de uitstoot van methaan te verminderen. Met alleen het terugbrengen van CO<sub>2</sub> in de atmosfeer lukt het niet om de klimaatverandering te voorkomen. Volgens het IPCC wordt jaarlijks in totaal 370 miljoen ton methaan in de atmosfeer uitgestoten door het affakkelen en direct afblazen (flaring en venting) van aardgas dat omhoog komt bij de olie- en gaswinning. Bij de verbranding van aardgas komt de helft minder CO<sub>2</sub> vrij dan bij de verbranding van steenkool. Als er echter meer dan 3% tot 8% weglekt zou aardgas niet meer een schonere brandstof zijn dan steenkool.

Distikstofoxide of lachgas (N<sub>2</sub>O) komt vrij bij beweiding en bij het toepassen van organische mest en kunstmest. Dit veroorzaakt zowel directe emissies van N<sub>2</sub>O vanuit de bodem naar de lucht als indirecte emissies via depositie van ammoniak en na uitspoeling en afspoeling van stikstof naar het grond- en oppervlaktewater.

De totale emissie van broeikasgassen wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Een CO<sub>2</sub>-equivalent is een internationaal geaccepteerde eenheid die het effect van broeikasgasemissies weergeeft in termen van vergelijkbare hoeveelheden CO<sub>2</sub> die hetzelfde effect hebben, gemeten over een periode van 100 jaar. Methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O) worden omgerekend naar CO<sub>2</sub>-equivalenten met behulp van de karakterisatiefactoren zoals vastgelegd in IPCC 2013 ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)). Deze zijn voor methaan 28 (niet fossiel) en 30 (fossiel) en voor lachgas 265. Niet fossiel methaan komt uit pens- en darmfermentatie, fossiel methaan komt uit fossiele brandstoffen.

Als uitgangspunten voor het berekenen van de totale emissie van broeikasgassen door de landbouw, exclusief de niet-voedingsglastuinbouw, zijn aangenomen:

- de emissie van de glastuinbouw is alleen veroorzaakt door het gebruik van aardgas;
- de emissie van CO<sub>2</sub> is berekend aan de hand van de totale input van de landbouw en de standaardemissiefactor voor aardgas van 2017;
- de emissie van CH<sub>4</sub> is gerelateerd aan de output van de veehouderij;
- de emissie van N<sub>2</sub>O is gerelateerd aan de output van de akkerbouw en de veehouderij samen;

Eerst is berekend de emissie van CO<sub>2</sub> op basis van de input van de landbouw. Het gaat om de totale input van zowel directe als indirecte energie, zoals die in dit proefschrift is berekend. Hierbij maakt het niet uit waar deze emissies hebben plaats gevonden. De waarde van de standaard CO<sub>2</sub>-emissiefactor voor het emissiehandelsjaar 2017 is berekend op 56.6 kg/GJ

(Kennisgeving standaard CO<sub>2</sub>-emissiefactor aardgas voor emissiehandel 2017, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Staatscourant Nr. 3586 18 januari 2017). Dat is 56,6 kg CO<sub>2</sub> per GJ of 56.600 ton CO<sub>2</sub> per PJ. De emissiefactoren van andere brandstoffen (benzine, diesel, stookolie, kolen) zijn hoger dan die van aardgas.

De emissie van CH<sub>4</sub> is bekend voor de periode 1990 t/m 2015 (Wageningen Economic Research, 2017). Voor deze periode is de verhouding tussen de output van de veehouderij en de CH<sub>4</sub>-emissie bepaald, als de emissie CH<sub>4</sub>/output veehouderij. Dit geeft een bepaalde verhouding, die voor de periode 1990 t/m 2015 varieert van 0,24 tot 0,31. Met de waarde 0,24 zijn de emissies van CH<sub>4</sub> voor de periode 1950 t/m 1985 bepaald op basis van de output van de veehouderij in die periode.

De emissie van N<sub>2</sub>O is bekend voor de periode 1990 t/m 2015 (Wageningen Economic Research, 2017). Voor deze periode is de verhouding tussen de output van de akkerbouw en de veehouderij en de N<sub>2</sub>O-emissie bepaald, als de emissie N<sub>2</sub>O/output van akkerbouw + veehouderij. Dit geeft een bepaalde verhouding, die voor de periode 1990 t/m 2015 varieert van 0,04 tot 0,07. Met de waarde 0,04 zijn de emissies van N<sub>2</sub>O voor de periode 1950 t/m 1985 bepaald op basis van de output van de akkerbouw en de veehouderij samen.

De omstandigheden waaronder dieren werden gehouden was in de periode 1950 t/m 1985 anders dan daarna; er was meer vaste mest en minder drijfmest en meer dieren werden gehouden op gemengde bedrijven en in kleinere aantallen. De berekende waarden van de emissies in CO<sub>2</sub>-equivalenten in de periode 1950 t/m 1985 zijn niet meer dan een schatting op basis van hier gedane aannames. De emissies in CO<sub>2</sub>-equivalenten van de landbouw zijn in tabel 53 weergegeven.

Tabel 53: emissie van broeikasgassen door de landbouw in CO<sub>2</sub>-equivalenten:

	1950	1980	2010	2015
CO <sub>2</sub>	3.226.200 ton	12.678.400 ton	16.697.000 ton	18.564.800 ton
CH <sub>4</sub>	4.232.238 ton	12.106.112 ton	15.000.000 ton	15.400.000 ton
N <sub>2</sub> O	2.519.268 ton	4.434.122 ton	5.400.000 ton	5.200.000 ton
totaal	9.977.706 ton	29.218.635 ton	37.097.000 ton	39.164.800 ton

De emissies van de landbouw in CO<sub>2</sub>-equivalenten hebben een aandeel tussen de 10% en 15% van de totale emissie in CO<sub>2</sub>-equivalenten in Nederland.

Op basis van de berekende emissies in CO<sub>2</sub>-equivalenten kunnen de maatschappelijk kosten worden berekend voor verschillende prijzen per ton CO<sub>2</sub>-equivalent. De vraag daarbij is welke prijs per ton CO<sub>2</sub>-equivalent een juiste weergave is van de maatschappelijke kosten en of bepaalde soorten effecten wel in een CO<sub>2</sub>-prijs zijn uit te drukken (bijvoorbeeld biodiversiteit en landschap).

De volgende prijzen voor CO<sub>2</sub>-equivalenten zijn in omloop:

- de marktprijzen (ETS) in 2015 en 2016 liggen tussen de € 5/ton en € 10/ton;
- de maatschappelijke kosten van CO<sub>2</sub>-emissie zijn \$ 37 per ton (Obama regering);
- de Stanford University komt op \$ 220 per ton;
- Verenigd Koninkrijk: gemiddeld \$ 83 per ton;
- VS, EPA (Environment Protection Agency): sociale kosten van 1 ton CO<sub>2</sub> loopt van € 50 tot € 90 per ton in 2015 tot € 80 tot € 180 per ton in 2050.

- economist Nicholas Stern (former Chief Economist of the World Bank) werd door de Britse regering gevraagd de sociale kosten per ton CO<sub>2</sub> te schatten en kwam op € 66.
- de NS hanteert intern € 84 per ton in 2013 en € 11,70 per kg NO<sub>x</sub>.
- FAO: € 115 per ton (Stern, 2006);
- volgens Nederlandse klimaatexperts: € 90 tot € 100 per ton
- multinationals gebruiken intern CO<sub>2</sub>-emissieprijzen van € 4 - € 44 per ton;
- voor het halen van de twee gradendoelstelling (klimaatakkoord Parijs) € 60 tot € 300 in 2015 en € 200 tot € 1000 in 2050 (Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving, 2016).

De maatschappelijke kosten zijn op basis van verschillende prijzen per ton CO<sub>2</sub> uitgerekend. Hierbij zijn de volgende prijzen gehanteerd: € 5, € 10, € 50, € 100, € 115, € 200 en € 300 per ton CO<sub>2</sub>. Het gaat hierbij om de prijzen in 2015. Deze zijn met behulp van de prijsindex 1900 terug gerekend naar de jaren in de periode 1950 tot 2015. Op deze wijze zijn de maatschappelijke kosten berekend op basis van emissies en verschillende prijzen per ton CO<sub>2</sub>-equivalent (zie tabel 54).

Tabel 54: maatschappelijke kosten van de landbouw op basis van verschillende prijzen per ton CO<sub>2</sub>-equivalent

prijs per ton CO <sub>2</sub> -eq. (prijspeil 2015)	1950	1980	2010	2015
€ 5	€ 50 mln.	€ 146 mln.	€ 185 mln.	€ 196 mln.
€ 10	€ 100 mln.	€ 292 mln.	€ 371 mln.	€ 392 mln.
€ 50	€ 499 mln.	€ 1.461 mln.	€ 1.855 mln.	€ 1.958 mln.
€ 100	€ 998 mln.	€ 2.922 mln.	€ 3.710 mln.	€ 3.916 mln.
€ 115	€ 1.147 mln.	€ 3.360 mln.	€ 4.266 mln.	€ 4.504 mln.
€ 200	€ 1.996 mln.	€ 5.844 mln.	€ 7.419 mln.	€ 7.833 mln.
€ 300	€ 2.993 mln.	€ 8.766 mln.	€ 11.129 mln.	€ 11.749 mln.

De eerder gevonden bedragen aan maatschappelijke kosten (zie hoofdstuk 11.2) van € 2,77 miljard (landbouw in 1989), € 2,11 miljard (veehouderij in 2005) en € 2,7 - € 3,3 miljard (melkveehouderij in 2016) zouden dan overeenkomen met prijzen voor een ton CO<sub>2</sub>-equivalent tussen de € 100 en € 200. De prijzen die volgens het CPB en PBL horen bij de tweegradendoelstelling zijn voor 2015 € 60 tot € 300 per ton. De daarbij behorende maatschappelijke kosten liggen dan tussen de 2 miljard euro en ruim 11 miljard euro.

Het in rekening brengen van de emissie van CO<sub>2</sub> zou het gebruik van fossiele brandstoffen moeten ontmoedigen. De prijs voor CO<sub>2</sub>-emissie geeft niet een volledig beeld van alle maatschappelijke kosten. Externe milieueffecten worden niet alleen veroorzaakt door de verschillende broeikasgassen. Er zijn ook andere soorten effecten, zoals bijvoorbeeld verkeersveiligheid, congestie, geluid, de kosten van lucht- en watervervuiling, schade aan de gezondheid, de natuur, de biodiversiteit en aan vastgoed en landbouwopbrengsten. Er is ook schade aan de economie ten gevolge van klimaatverandering. Daarnaast zijn er maatschappelijke kosten op sociaal gebied, bijvoorbeeld de kosten van kinderarbeid en slechte werkomstandigheden. Het blijft moeilijk om aan te geven hoe groot de maatschappelijke kosten hiervan zijn.

In het rapport “Food wastage footprint: full cost accounting” van de FAO zijn de externe kosten van de voedselproductie berekend. Men komt op 2.100 miljard dollar aan ecologische kosten en 2700 miljard dollar aan sociale kosten, samen 4.800 miljard dollar. De milieukosten en sociale kosten van voedselverspilling zijn als volgt onderverdeeld:



- emissie CO2: 394 miljard dollar;
- toenemende waterschaarste: 164 miljard dollar;
- bodemerrosie door water: 35 miljard dollar;
- risico's biodiversiteit door gebruik bestrijdingsmiddelen, eutrofiering door stikstof en fosfaat, verlies aan bestuiving, overexploitatie visserij: 32 miljard dollar;
- toenemend risico conflicten door bodemerrosie: 396 miljard dollar;
- verlies van bestaansmogelijkheden door bodemerrosie: 333 miljard dollar;
- nadelige gezondheidseffecten vanwege blootstelling aan bestrijdingsmiddelen: 153 miljard dollar.

Dit is in totaal 1.507 miljard dollar per jaar (FAO, 2014). Het aandeel van de kosten die samenhangen met de CO2-emissie is 26% van de totale kosten. Hoewel deze situatie niet zonder meer op Nederland van toepassing is kan wel worden gesteld dat de totale maatschappelijke kosten veel groter zijn dan de kosten die zijn berekend op basis van alleen de emissie in CO2-equivalenten. Als we alleen de risico's ten aanzien van biodiversiteit en gezondheid in beschouwing nemen dan gaat het om een bedrag van 185 miljard dollar, bijna de helft van de kosten voor de emissie van CO2. De effecten die samenhangen met waterschaarste, bodemerrosie en de risico's op conflicten worden indirect wel mede door Nederland veroorzaakt. Gaan we uit van de totale ecologische en sociale kosten van 4.800 miljard dollar, dan is dit 12 keer zoveel als de kosten van de CO2-emissie. In het rapport "Natural Capital Impacts in Agriculture" komt de FAO tot een wereldwijd totaal voor de milieukosten van de landbouw van 2.330 miljard dollar. Dat ligt dicht bij de eerder genoemde 2.100 miljard dollar.(FAO, 2015). Het landbouwareaal op de wereld is 1,5 miljard ha; de milieukosten zijn op basis van dit wereldgemiddelde dan \$ 1.553/ha, dat is € 1.267/ha. Voor de 1,8 miljoen ha Nederlandse landbouwgrond is dat 2,28 miljard euro, op basis van dit wereldgemiddelde. Wel is het zo dat in Nederland de input per ha veel hoger ligt dan het wereldgemiddelde.

Ook in een aantal Nederlandse studies zijn bandbreedtes aangegeven voor de hoogte van de maatschappelijke kosten van de landbouw. Alleen de emissies in CO2-equivalenten zijn een duidelijke basis voor verdere berekeningen, die dan echter wel afhankelijk zijn van de gehanteerde CO2-prijzen. Duidelijk is echter wel dat het om zeer hoge bedragen kan gaan, zeker als ook andere factoren dan alleen de CO2-emissies worden meegenomen. Alles omvattende resultaten voor de maatschappelijke kosten van de landbouw in Nederland ontbreken tot nu toe. Op basis van de emissies in CO2-equivalenten van de landbouw in 2015 en de CO2-prijzen in 2015 van CPB en PBL voor de tweegradendoelstelling liggen de maatschappelijke kosten tussen de 2,3 miljard euro en 11,7 miljard euro. Inclusief de sociale en ecologische kosten is hier uitgegaan van een bandbreedte van 5 tot 20 miljard euro per jaar. De maatschappelijke kosten van de landbouw moeten wel in rekening worden gebracht bij het beoordelen van de economische prestaties van de landbouw.



## **13 Economische aspecten**

### **13.1. Algemeen**

In dit hoofdstuk gaat het over de prijzen van energie en grondstoffen ten opzichte van de prijs van arbeid. Er wordt ingegaan op een studie naar de gevolgen van het verschuiven van belasting op arbeid naar belasting op energie en grondstoffen. Middels een voorbeeld wordt aangegeven hoe groot het verschil is tussen een beoordeling op basis van geld en een beoordeling op basis van energie- en grondstoffengebruik. Vervolgens wordt ingegaan op de uitvoer en invoer van landbouwproducten en op de toegevoegde waarde van de landbouw in relatie tot de maatschappelijke kosten. Daarna wordt aangegeven hoe de prijsverhoudingen tussen de productiefactoren arbeid en kapitaal zouden kunnen veranderen.

Van 1950 tot 1970 is de economische groei hoog en is er een volledige werkgelegenheid buiten de landbouw. Hierdoor zijn mechanisatie, schaalvergroting en verbetering van de agrarische infrastructuur gestimuleerd. De afhankelijkheid van de boeren van de toeleverende, verwerkende en distribuerende bedrijven is sterk toegenomen. “De landbouw is steeds meer een industrie geworden, wier wel en wee mede afhankelijk is van de gang van zaken in de toeleverende, verwerkende en distribuerende sectoren” (de Wit, 1971).

Eén en ander heeft geleid tot het gebruiken van steeds meer input en in samenhang daarmee een groei van export en import en een toename van de maatschappelijke kosten. Dit heeft uiteindelijk niet geleid tot een reële toename van de toegevoegde waarde en slechts tot een beperkte verhoging van de fysieke opbrengsten per ha. De landbouw is ook beheerder van een groot deel van de groene ruimte. Zouden de aan de landbouw opgelegde beperkingen wel nodig zijn als de landbouw haar maatschappelijke kosten minimaliseert en haar baten voor de samenleving maximaliseert?

### **13.2 Prijzen van arbeid en prijzen van energie en grondstoffen**

Hoge belastingen op arbeid maken dat arbeid duur is en vervangen wordt door kapitaal en/of door arbeid van elders (landen waar de lonen lager zijn). Op energie en grondstoffen worden naar verhouding weinig belastingen geheven. Om dit systeem te veranderen zou naast het doorberekenen van de maatschappelijke kosten de belasting op arbeid moeten worden verlaagd en de belasting op energie en grondstoffen en op consumptie moeten worden verhoogd.

Fiscale maatregelen kunnen een krachtig middel zijn om ontwikkelingen in een gewenste richting te sturen. In Zweden werd bijvoorbeeld in de jaren negentig van de twintigste eeuw een belasting op kunstmest ingevoerd, waardoor de vraag met 15 tot 20% daalde. Loodhoudende benzine werd in 1989 in Nederland belast en werd twee maanden later al uit de markt genomen. The Ex'tax Project is een onafhankelijke (in 2012 opgerichte) stichting die een fundamentele belastingverandering nastreeft (erfenis van Eckart Wintzen). In het in 2014 uitgevoerde Ex-tax project is een voorstel gedaan om belastingen op hulpbronnen te verhogen en belasting op arbeid te verlagen (the Ex'tax Project, 2014). In dit project hebben fiscale experts van Deloitte, EY, KPMG, Meijburg en PwC samengewerkt. De groep ontwikkelde een plan om in de EU de belasting op arbeid te verlagen en de belasting op het gebruik van natuurlijke hulpbronnen, vervuiling en consumptie te verhogen (CO2 emissies, water, fossiele brandstof, elektriciteit en BTW). Econometristen van Cambridge modelleerden

de impact in de 27 EU landen. Casestudies zijn gedaan voor vier EU-landen, te weten Duitsland, Polen, Spanje en Nederland.

Men gaf de volgende vijf megatrends aan:

- massawerkloosheid;
- risico's schoon watervoorziening;
- risico's materiaalvoorziening;
- luchtvervuiling;
- klimaatverandering.

Belasting op arbeid bevordert technologische innovatie die er op is gericht om mensen in productieprocessen overbodig te maken. Door het verschuiven van de belasting op arbeid naar een belasting op natuurlijke hulpbronnen en consumptie verandert dit. In de casestudy voor Nederland was de vraag hoe ruim dertig miljard euro aan belastingen kan worden verschoven van arbeid naar grondstoffen en wat daarvan de effecten van zouden zijn.

Voor Nederland is uitgegaan van de volgende kengetallen:

- er zijn 17 miljoen inwoners;
- bruto nationaal inkomen (BNI) in 2012 is € 607 miljard;
- beschikbare arbeid is 7,9 miljoen mensen; in 2013 zijn 656.000 mensen werkloos en er is € 78,6 miljard besteed aan sociale zekerheid en arbeidsmarkt;
- de ecologische footprint van Nederland is drie keer de omvang van het land;
- voor metalen is men geheel afhankelijk van import;
- er is 60 miljoen ton afval per jaar, waarvan 392 miljoen kg elektronisch afval (waarvan 32% gerecycled of geëxporteerd);
- de landbouw is zeer afhankelijk van mineralen in mest, kunstmest en andere mest;
- 4,5% van het energiegebruik is gebaseerd op hernieuwbare bronnen;
- vanaf 2025 is Nederland een netto gasimporteur;
- het streven is 100% duurzame energie in 2050;
- Nederland is kwetsbaar voor klimaatverandering vanwege de ligging: 26% van het oppervlak ligt beneden de zeespiegel en 29% van het oppervlak is door rivieren overstroombaar.

In tabel 55 is een overzicht gegeven van de verdeling van de belastingen in 2012.

Tabel 55 Verdeling van de belastinginkomsten in 2012

belasting op	belastinginkomsten	deel van de totale belasting	deel van het BNI
arbeid	€ 134,5 miljard	57,5 %	22,4 %
consumptie	€ 66,1 miljard	28,3 %	11,0 %
kapitaal	€ 33,3 miljard	14,2 %	5,6 %
totaal	€ 233,8 miljard	100,0 %	39,0 %

De voorgestelde belastingverschuiving van € 33,7 miljard (dat is 5,6% van het BNI of 14,4% van de totale belastinginkomsten) geeft de volgende verschuiving:

- bij € 33,7 miljard minder belasting op arbeid daalt het aandeel van 57,5% naar 43,1% van de totale belastingen
- er wordt € 33,7 miljard meer belasting geheven op natuurlijke hulpbronnen en consumptie.

Dit heeft tot gevolg:

- een reductie van de kosten van de sociale zekerheid met € 4,7 miljard (hiermee kunnen 280.000 banen worden gefinancierd);
- een potentiële vraag naar arbeid van 650.000 arbeidsjaareenheden;
- een toename van 87.000 banen in de reparatiesector

Een verschuiving van de belastingen van arbeid naar energie, grondstoffen en consumptie kan meehelpen om de input van energie en grondstoffen in de landbouw te beperken en eerder andere ontwikkelingen mogelijk te maken.

### 13.3 Voorbeeld erwten zaaien

Het verschil tussen een financiële afweging en een energetische afweging is in Nederland voor de landbouw nogal groot. In het hierna volgende voorbeeld is een vergelijking gemaakt tussen de huidige werkwijze in de landbouw en een werkwijze met weinig input van energie en grondstoffen en met input van meer arbeid.

Als voorbeeld is hier gekozen het inzaaien van een oppervlakte van 2 ha met erwten:

- 1 ha wordt gedaan met een trekker met zaaimachine, de tijdbesteding is 1 uur (variant 1);
- 1 ha wordt ingezaaid met een moderne handzaaimachine (twee rijen): de tijdbesteding is 9 uur (variant 2). Verder gaan we uit van 330 rijen per ha, dat betekent 24.750 meter lopen. Uitgegaan is van een loopsnelheid van 3 km per uur.

Uitgaande van een kavel van 150x800meter = 12 ha, is de afstand van de boerderij tot het in te zaaien perceel 400 meter (halverwege de kavel). Er wordt 175 kg zaaizaad gebruikt.

De bijkomende werkzaamheden zijn voor variant 1 het tanken van de trekker met dieselolie, het aankoppelen van de zaaimachine aan de trekker en het vullen en afstellen van de zaaimachine, naar het land rijden en na het zaaien terug rijden, het schoon maken van de zaaimachine en het weer weg zetten van machine en trekker. Dit kost ook 1 uur.

Voor variant 2 zijn de bijkomende werkzaamheden het brengen van het zaaizaad met een kruiwagen naar het land (in twee keer), bij de tweede keer wordt ook de zaaimachine meegenomen. Na het zaaien worden de zaaimachine en de lege zakken in de kruiwagen mee terug genomen. Het vullen van de zaaimachine gebeurt tijdens het zaaien in kleine hoeveelheden per keer, na elk rondje zaaien. Het met de kruiwagen naar het land heen en weer lopen kost ook 1 uur.

In variant 1 zijn de bijkomende werkzaamheden 50% van de totale tijd zijn en bij variant 2 is dat 10%. De arbeidskosten zijn in beide varianten € 50 per uur. Om zowel de kosten in geld als de kosten in energie zichtbaar te maken is de methodiek gevolgd zoals die in dit proefschrift is gehanteerd. In bijlage 4 zijn de uitgangspunten voor de input van energie en de kosten in geld weergegeven. Op basis van de aldus berekende kengetallen zijn in tabel 56 voor variant 1 en variant 2 de input in energie en de kosten in geld naast elkaar gezet.

Tabel 56 Energiegebruik en kosten van variant 1 en variant 2

	variant 1, trekker en zaaimachine, tijdbesteding 2 uur per ha		variant 2, handzaaimachine, tijdbesteding 10 uur per ha	
	energie per ha	kosten per ha	energie per ha	kosten per ha
trekker	112,50 MJ	€ 12,50		
zaaimachine	82,50 MJ	€ 15,00		
dieselolie	368,00 MJ	€ 9,60		
onderhoud en verzekering		€ 7,20		
handzaaimachine			10,29 MJ	€ 3,75
arbeidskosten		€ 100,00		€ 500,00
<i>indirect landgebruik:</i>				
trekker en machine	0,0138m <sup>2</sup>			
handzaaimachine			0,00715 m <sup>2</sup>	
<i>indirecte arbeid:</i>				
trekker en machine	0,02496 uur	€ 1,25		
handzaaimachine			0,002112 uur	€ 0,11
maatschappelijke kosten*)		€ 3,66		€ 0,07
totaal energie en geld	563,00 MJ	€ 149,21	10,29 MJ	€ 503,93

\*) op basis van € 115/ton CO<sub>2</sub>-eq.

Variante 2 is in geld ongeveer 3,4 keer duurder dan variant 1. In variant 1 wordt bijna 54,7 keer zoveel energie gebruikt als in variant 2. Indirect landgebruik en indirecte arbeid zijn nauwelijks van invloed op het beeld, vanwege de kleinschaligheid van dit voorbeeld.

De energie moet duurder worden en/of de arbeid veel goedkoper om op financiële gronden te kiezen voor variant 2. Voor de energie betekent dit circa 12 keer duurder. De arbeidskosten zouden met circa 90% moeten afnemen (€ 5/uur i.p.v. € 50/uur) om op basis van een financiële afweging te kiezen voor variant 2. Energie duurder en arbeid goedkoper maken (verschuiven belastingen van arbeid naar grondstoffen en energie) kan helpen, maar dan moeten de prijsveranderingen heel groot zijn.

#### 13.4 Uitvoer en invoer

De maatschappelijke kosten hebben een verband met de grote hoeveelheden input en daarmee ook met de uitvoer en invoer. De uitvoer is mogelijk door een omvangrijke invoer van veevoer, broodgraan en plantaardige vetten. In tabel 57 staat een overzicht van de totale uitvoer en invoer van Nederland en van de landbouw.

Tabel 57 Nederlandse handel in landbouwgoederen en overige goederen (inclusief niet-voedingsglastuinbouw)

	2000	2005	2010	2015
<i>uitvoer in miljard euro:</i>				
alle goederen	232	281	372	426
landbouwgoederen	44	50	68	81
aandeel van de landbouw	19%	18%	18%	19%
<i>invoer in miljard euro:</i>				
alle goederen	216	250	332	378
landbouwgoederen	25	29	42	55
aandeel van de landbouw	12%	11%	13%	15%
<i>handelssaldo in miljard euro:</i>				
alle goederen	16	32	40	48
landbouwgoederen	18	22	26	26
aandeel van de landbouw	115%	69%	65%	55%

(bron: CBS/LEI, 2016)

De invoer van landbouwgoederen is in de periode 2000-2015 met een factor 2,2 gestegen, en de uitvoer met een factor 1,8. De goedereninvoer voor de Nederlandse markt is bestemd voor consumptie en voor intermediair verbruik. De invoer voor wederuitvoer naar het buitenland, (bijna) zonder enige bewerking, is ongeveer één derde gedeelte van de landbouwimport. Bloemen en planten (49% voor wederuitvoer) en fruit (54% voor wederuitvoer) zijn hierin relatief groot.

Er worden drie soorten landbouwgoederen onderscheiden:

- primaire: onbewerkt;
- secundaire: bewerkt;
- tertiaire: zijn belangrijk voor de productie door de landbouwsector.

Qua invoerwaarde zijn de tertiaire goederen het belangrijkste.

Bij de export gaat het bij circa 56% om secundaire goederen (zie ook tabel 58).

Tabel 58 Handelsbalans tertiaire landbouwgoederen in 2015 (inclusief niet-voedingsglastuinbouw)

	invoerwaarde 2015 in miljard euro	uitvoerwaarde 2015 in miljard euro	handelsbalans 2015 in miljard euro
bestrijdingsmiddelen	0,62	0,66	0,04
kasmaterialen	0,51	0,74	0,23
landbouwdrogers	0,00	0,01	0,01
landbouwgereedschap	0,06	0,04	-0,02
landbouwmachines	0,91	1,93	1,02
tractors, landbouwtrailers	0,42	0,3	-0,12
machines voedingsindustrie	0,36	1,53	1,17
meststoffen	0,86	2,25	1,39
sproeitoestellen	0,04	0,17	0,13
stalinrichting	0,03	0,29	0,26
vaccins voor dieren	0,14	0,73	0,59
totaal	3,93	8,64	4,71

(bron: CBS/LEI, 2016)

Inclusief de aan de landbouw gerelateerde export komt de export van landbouwproducten op 81 miljard euro in 2015, dat is 19% van de totale Nederlandse goederenexport. Belangrijk

hierin zijn bloemen en planten. Nederland is de tweede landbouwexporteur ter wereld en de zesde importeur. Het handelssaldo van de landbouwgoederen is 26 miljard en het saldo van de tertiaire goederen 4,71 miljard. Er blijft dan ruim 21 miljard over voor de landbouw. De export van boomkwekerijproducten was in 2015 1,3 miljard euro, die van snijbloemen en planten 5,6 miljard euro en van bloembollen 1,2 miljard euro, samen 8,1 miljard euro. Voor voedingslandbouwproducten blijft dan een exportsaldo over van circa 13 miljard euro.

### 13.5 De netto toegevoegde waarde tegen factorkosten

De Nationale Rekeningen kennen het volgende schema:

- totale productiewaarde marktprijzen
- minus interne leveringen
- = bruto productiewaarde
- minus aangekochte goederen en diensten
- = bruto toegevoegde waarde
- minus afschrijvingen
- = netto toegevoegde waarde tegen marktprijzen
- minus indirecte belastingen + prijs verlagende subsidies
- = netto toegevoegde waarde tegen factorkosten = agrarisch inkomen

Hiermee zijn de bedragen voor de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten (is het agrarisch inkomen) voor de periode 1950 t/m 2015 berekend, zowel in reële prijzen als in prijzen van 1950. De netto toegevoegde waarde is nominaal gezien gestegen tussen 1950 en 2015, maar reëel gezien in 2015 gedaald met 21% ten opzichte van de waarde in 1950. Het volume van aangekochte goederen en diensten is over deze periode sneller gestegen dan het productievolume. In tabel 59 zijn weergegeven de netto toegevoegde waarden tegen factorkosten, enkele varianten voor de maatschappelijke kosten en de saldi van de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten en de maatschappelijke kosten. Het gaat bij de bedragen voor de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten om de cijfers voor de totale landbouw, dus inclusief de niet-voedingsglastuinbouw. De maatschappelijke kosten zijn exclusief de niet-voedingsglastuinbouw.

Tabel 59 Netto toegevoegde waarde tegen factorkosten en maatschappelijke kosten

	1950	1980	2010	2015
netto toegevoegde waarde tegen factork.	€ 975 mln. € 417/ha	€ 4.225 mln. € 2.091/ha	€ 6.906 mln. € 3.688/ha	€ 6.934 mln. € 3.757/ha
ntw tfk in prijzen van 1950	€ 975 mln. € 417/ha	€ 1.035 mln. € 512/ha	€ 704 mln. € 376/ha	€ 774 mln. € 419/ha
maatschappelijke kosten(€115/ton CO2)	€ 1.147 mln. € 491/ha	€ 3.360 mln. € 1.667/ha	€ 4.266 mln. € 2.284/ha	€ 4.504 mln. € 2.446/ha
maatschappelijke kosten(€300/ton CO2)	€ 2.993 mln. € 1.281/ha	€ 8.766 mln. € 4.348/ha	€ 10.758 mln. € 5.961/ha	€ 11.749 mln. € 6.381/ha
totale maatschappelijke kosten*	€ 2.239 mln. € 958/ha	€ 9.134 mln. € 4.530/ha	€ 18.309 mln. € 9.806/ha	€ 20.000 mln. € 10.862/ha
ntw tfk – mk (€ 115)	- € 172 mln.	€ 865 mln.	€ 2.640 mln.	€ 2.430
ntw tfk – mk (€ 300)	- € 2.018 mln.	- € 4.541 mln.	- € 3.852 mln.	- € 4.815
ntw tfk – mk (totaal)	- € 1.264 mln.	- € 4.909 mln.	-€ 11.403 mln.	- € 13.066

\*zie ook hoofdstuk 12.3

ntw tfk = netto toegevoegde waarden tegen factorkosten

mk = maatschappelijke kosten



Voor het jaar 2015 lopen de saldi van de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten minus de maatschappelijke kosten uiteen van ruim 2 miljard euro positief tot 13 miljard euro negatief (afhankelijk van het gekozen scenario). Als dit saldo negatief is kan de vraag worden gesteld of landbouw op de huidige wijze economisch en maatschappelijk gezien nog wel een zinvolle activiteit is.

De totale output van de landbouw is in 2015 (zowel in gewicht als in energetische waarde) ruim twee keer zo groot als in 1950. De totale input is in 2015 (in zowel gewicht als energetische waarde) ongeveer zes keer zo groot als in 1950. Dit heeft geleid tot een reële afname met 21% van de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten en tot een stijging van de maatschappelijke kosten. Per ha direct landgebruik is de nominale waarde van de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten toegenomen van € 417/ha tot € 3.757/ha. De reële waarde van de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten per ha (in prijzen van 1950) is ongeveer gelijk gebleven; dit komt mede omdat de oppervlakte landbouwgrond tussen 1950 en 2015 is afgenomen.

Op basis van het totale landgebruik is de netto toegevoegde waarde per ha toegenomen van € 359/ha tot € 1.381/ha en de reële waarde is afgenomen van € 359/ha tot € 154/ha. Deze ontwikkeling is in tabel 60 weergegeven.

Tabel 60 Netto toegevoegde waarde tegen factorkosten totaal en per ha op basis van het totale landgebruik

	1950	1980	2010	2015
netto toegevoegde waarde tegen factork. nominale waarde	€ 975 mln. € 359/ha	€ 4.225 mln. € 778/ha	€ 6.906 mln. € 1.445/ha	€ 6.934 mln. € 1.381/ha
netto toegevoegde waarde tegen factork. in prijzen van 1950	€ 975 mln. € 359/ha	€ 1.035 mln. € 191/ha	€ 704 mln. € 147/ha	€ 774 mln. € 154/ha

Voor een lage-input-landbouw in het scenario voor 2040, met zo weinig mogelijk export en import, zal het exportsaldo van landbouwproducten van ongeveer 13 miljard euro ook dalen. Daar staat echter tegenover dat de maatschappelijke kosten ook zullen afnemen. In welke mate is sterk afhankelijk van de aspecten die men daarbij in beschouwing neemt. Daarbij zij opgemerkt dat op basis van het hoogste bedrag per CO2-equivalent in het kader van de tweegradendoelstelling voor 2015 de maatschappelijke kosten van de landbouw bijna 12 miljard euro zijn (alleen op basis van CO2-emissies) en 20 miljard euro op basis van een inschatting van de totale maatschappelijke kosten.

Om enigszins te kunnen begrijpen hoe we in deze situatie verzeild zijn geraakt eerst even terug in de geschiedenis. Volgens Keynes zou de economische en inkomensgroei in 2030 stoppen; hij veronderstelde dat men bij meer welvaart meer vrije tijd zou willen in plaats van meer inkomen. Verder dacht hij dat de groei van het BNP per capita tussen 1930 en 2000 zou verviervoudigen en dat het aantal werkuren zou dalen van 50 uur per week in 1930 tot 15 uur per week in 2000. De voorspelling over het BNP is uitgekomen, maar het aantal werkuren is veel minder afgenomen dan voorspeld, namelijk tot 40 uur per week. Ook werkten in 1930 mensen in hoge functies korter dan mensen in lagere functies en dat is nu andersom. Keynes dacht dat de materiële behoeften van de mens van nature eindig zijn. Op een dag zouden deze geheel bevredigd zijn en zou er tijd komen voor “hogere dingen” (Keynes, 1931).

In het boek “How much is enough?” staat beschreven dat Keynes geen onderscheid maakte in noodzaak (Needs of Necessities) en wensen (Wants of Luxuries). Noodzaak zijn de objectieve behoeften voor een goed en comfortabel leven, deze zijn eindig in hoeveelheid. Wensen zijn echter puur psychologisch en oneindig uit te breiden, zowel kwantitatief als kwalitatief. Dat betekent dat economische groei geen natuurlijke neiging heeft te stoppen. Als het tot een stop komt is dat omdat mensen er voor kiezen niet meer te willen dan ze nodig hebben. In 1930 was het merendeel van de huishoudelijke uitgaven nodig voor noodzakelijke dingen. Nu is het omgekeerd, het meeste is niet nodig. In het westen is er nu voor het eerst de mogelijkheid om “het goede leven” voor iedereen mogelijk te maken. Gezondheid, respect, veiligheid, vertrouwensrelaties en liefde worden overal erkend als deel van een goed leven. Boven een bepaald niveau is er geen relatie meer tussen inkomen en zich gelukkig voelen. In de Westerse wereld wordt men niet meer gelukkiger. Sinds ongeveer 1970 is er geen toename meer van geluk, terwijl het inkomen (in BNP per capita) meer dan verdubbeld is. De randvoorwaarden voor een goed leven bestaan in de Westerse wereld al, maar het steeds maar streven naar groei plaatst het continu buiten bereik. Het vereist collectieve acties om dit te doorbreken (Skidelsky, 2012).

Economische groei helpt niet meer om ons gelukkiger maken en het is rampzalig voor het milieu. Het beseft dat het niet alleen moet gaan over het BNP, maar dat andere zaken ook belangrijk zijn begint langzaam te ontstaan. Pogingen voor een bredere kijk op de economie waren er ook vroeger al (zie ook hoofdstuk 2). Nu zien we allerlei pogingen, zoals het berekenen van maatschappelijke kosten en het ontwikkelen van nieuwe beleidsinstrumenten, om tot deze bredere kijk te komen. Huidige voorbeelden daarvan zijn de “Inclusive Wealth index” die is ontworpen door wetenschappers en verschillende organisaties die gelieerd zijn aan de Verenigde Naties (waaronder UNESCO). Met deze index wordt getracht een beeld te geven van het begrip brede welvaart.

Inclusive wealth wordt in deze index gemeten op basis van drie hoofdcomponenten, namelijk:

- **Manufactured Capital:** geproduceerd/voortgebracht kapitaal, waaronder componenten als bevolkingsomvang, productiviteit, investeringen, productie;
- **Natural Capital:** natuurlijk kapitaal, waaronder componenten als mineralen, fossiele brandstoffen, bossen, landbouw- en visgronden;
- **Human Capital:** menselijk kapitaal, waaronder bevolkingsopbouw, werkgelegenheid, onderwijs, gezondheid

In deze index zitten naast kwantitatieve componenten ook facetten van welzijn, die niet kwantitatief van aard zijn en daardoor lastig in geld zijn uit te drukken. Er zijn inmiddels vele soorten indicatoren ontwikkeld, waarbij wordt gekeken naar de verschillende dimensies van welvaartsontwikkeling, zoals economische, ecologische of sociale aspecten en daarmee samenhangend ook duurzame ontwikkeling en groene groei. Enkele voorbeelden van indicatoren waarmee een poging wordt gedaan om de brede welvaart (of belangrijke aspecten daarvan) te meten zijn:

- **Happy Planet Index:** is een indicator van de ecologische efficiency waarmee menselijk welzijn tot stand is gebracht. Hoe verhoudt welzijn zich tot de ecologische voetafdruk, de mate waarin het milieu wordt belast;
- **Better Life Index:** ontwikkeld door de OESO, moet een beeld geven van het persoonlijke geluk van iedereen;
- **Genuine Progress Indicator:** houdt ook rekening met uitputting van grondstofvoorraden, vervuiling en schade aan het milieu;
- **Index of Economic Well-being;**

Vaak wordt voor de ontwikkeling van welvaart gekeken naar het Bruto Nationaal Product (BNP). Maar het BNP per capita is een te beperkte maatstaf voor welvaartsontwikkeling. Brede welvaart is breder dan alleen materiële vooruitgang, dus meer dan een economische groei, zoals die thans wordt gehanteerd. Bij brede welvaart gaat het ook om welzijn, om zaken als sociale vooruitgang, inkomensgelijkheid, vrije tijd, gezondheid, onderwijs en een goede kwaliteit van de leefomgeving. Het CBS heeft een “Monitor Brede Welvaart” ontwikkeld. Dit komt voort uit de erkenning dat welvaart meer is dan de groei van het BNP alleen. Brede welvaart bevat ook aspecten als milieu, gezondheid, onderwijs, arbeid, veiligheid, vertrouwen en ongelijkheid.

Ook al heb je een methodiek om de duurzaamheid te meten, dit leidt niet “vanzelf” tot een betere inzet van de productiefactoren arbeid en kapitaal. Er moet ook nog een “prijstechnisch gat” worden gedicht om deze productiefactoren optimaal (met het oog op duurzaamheid) te kunnen inzetten en het gebruik maken van elders geproduceerde goederen, onder condities die hier onacceptabel worden gevonden, te stoppen. Arbeid is nu duur en kapitaal relatief goedkoop. Prijsveranderingen zijn de resultaten van veranderingen in schaarsteverhoudingen. Er kan niet worden gewacht tot de prijzen van de productiefactoren arbeid en kapitaal zich zodanig hebben ontwikkeld dat het voordeliger wordt om meer arbeid in te zetten in plaats van meer kapitaal, want er moet ook nog een hele infrastructuur worden aangepast en dat kost tijd. Er zit een vertraging in de reactie van het systeem en van de markt, voordat de markt het gaat regelen. Heel belangrijk is dat de overheid sterk gaat anticiperen op een toekomstige situatie van schaarste en ver van tevoren duidelijkheid geeft over de randvoorwaarden die in de toekomst gaan worden gesteld en dat de overheid daar ook een bestendig beleid op voert. Als dit niet gebeurt, is er kans op grote kapitaalvernietiging doordat men te lang blijft investeren in achterhaalde infrastructuur. De overheid moet zelf dan ook stoppen met het aanleggen van infrastructuur die behoort bij een voorbijgaande tijd, heeft bijgedragen aan het klimaatprobleem en zeker niet toekomstbestendig is. De overheid moet zich houden aan haar eigen doelstellingen en het akkoord van Parijs.

Het in gang zetten van processen van aanpassing van de sociale, technologische en economische inrichting van de maatschappij kan worden ondersteund door een overheidsbeleid met een combinatie van de volgende beleidsinstrumenten:

- veel minder belasting op arbeid en veel meer belasting op het gebruik van energie en grondstoffen;
- het doorberekenen van maatschappelijke kosten in de kostprijs van producten;
- fiscale instrumenten en subsidies en heffingen;
- actieve voorlichting aan bevolking en bedrijven.

Een langjarig consistent overheidsbeleid is daarbij zeer belangrijk.



## **14 Een duurzaam landbouwsysteem**

### **14.1 Algemeen**

In dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de randvoorwaarden die een duurzame landbouw mogelijk kunnen maken. Vervolgens komen de daarbij behorende maatregelen aan de orde. Voor de periode 1950-2015-2040 is cijfermatig aangegeven hoe de ontwikkeling in de periode 1950 t/m 2015 is geweest en is een scenario geschetst voor de periode 2016 t/m 2040. Daarnaast zijn voorbeelden van een duurzame landbouw uit het verleden genoemd en enkele huidige ontwikkelingen richting een meer duurzame landbouw ten aanzien van mechanisatie, wetgeving, terugkeer naar het platteland en biologische landbouw.

### **14.2 Randvoorwaarden**

#### ***Landbouw en natuur***

De natuur heeft een aantal belangrijke functies, ook voor de landbouw.

De landbouw heeft de natuur nodig als onderdeel van het bedrijf met als doel o.a.:

- het handhaven van natuurlijke evenwichten: door het aanwezig zijn van natuurlijke vijanden kan de ziektedruk in gewassen afnemen;
- het voorzien in grondstoffen, bijvoorbeeld hout;
- het zorgen voor een bepaald microklimaat;
- het functioneren als genenbron;
- het voorkomen of reduceren van erosie door wind en water.

In het agrarisch natuurbeheer keert de functie van de natuur al weer enigszins terug in de landbouw: het aanleggen van bloemenstroken verlaagt de ziektedruk, verhoogt de biodiversiteit en verhoogt de landschappelijke kwaliteit. Het functioneel inzetten van bijvoorbeeld deze stroken (functionele agrobiodiversiteit) vraagt om niet al te grote percelen, om het mogelijk te maken dat natuurlijke vijanden vanaf de randen goed in het perceel kunnen komen. Bovendien zijn grote monoculturen teeltkundig gezien kwetsbaar en zijn kleinere percelen, een ruimere vruchtwisseling, meer gewassen en meer natuur in de landbouwpercelen een goede manier om de ziektedruk te verlagen en de biodiversiteit te laten toenemen.

In het landelijk gebied heeft een aantal ontwikkelingen plaats gevonden dat eigenlijk haaks staat op het idee om de natuur in de landbouw in te zetten, te weten:

- de scheiding tussen landbouwgebieden en natuurgebieden. De wens vanuit de landbouw tot aanwijzing van gebieden waar grootschalige landbouwontwikkeling mogelijk is heeft een sterke achteruitgang van cultuurhistorische, landschappelijke en ecologische waarden tot gevolg gehad. Bovendien is het huidige landbouwsysteem teelttechnisch gezien niet houdbaar en zal voortzetting daarvan een verdere verslechtering van de landbouw tot gevolg hebben;
- een tweede bedreiging van dezelfde genoemde waarden is de ontwikkeling van grootschalige natuurgebieden. We zien in de praktijk ook de gevolgen daarvan (bijvoorbeeld het verdwijnen van cultuurhistorische waarden);
- de derde bedreiging is de aanleg van nieuwe woonwijken en bedrijfsterreinen en de soms onnodige hoogbouw aan de randen van de bebouwing. Bestuurders kunnen nog niet omgaan met de gedachte dat we straks op een aantal gebieden met een krimpeconomie te maken hebben. Men gaat als vanzelfsprekend uit van nog meer woningen, bedrijventerreinen, infrastructuur, etc. Ook dit zal een achteruitgang van de genoemde waarden veroorzaken en zal ook leiden tot kapitaalvernietiging;

- de krimpeconomie geldt niet alleen voor de omvang van de bevolking, maar vooral ten aanzien van de beschikbaarheid van energie en grondstoffen.

We moeten veel zuiniger omgaan met het landelijk gebied en ook met onze landbouwgrond. Landbouwgrond wordt teveel gezien als een bron van ruimte die je voor allerlei doeleinden kunt gebruiken. Het meest toekomstgericht zijn verwevingsgebieden, waar de landbouw is geïntegreerd met andere functies en het stoppen met de aantasting van het landelijk gebied (zowel door de landbouw zelf als door andere functies).

De drie grote terreinbeherende organisaties (TBO's) in Nederland zijn Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer en de provinciale landschappen. Zij beheren ongeveer 470.000 ha aan terreinen. Bijna 90% hiervan ligt binnen het Natuurnetwerk Nederland (voorheen Ecologische Hoofdstructuur). Tot 2027 gaan de provincies nog circa 80.000 ha nieuwe natuur inrichten (Natuurpact 2013). De TBO's hebben veel grond aangekocht. Dit gaat teveel uit van functiescheiding (bloempottencultuur). Ze gaan zelf ook boeren of verpachten delen van hun bezit aan boeren. Wel is het zo dat dit is gebeurd als reactie op de ontwikkelingen in de landbouw, waardoor er waarden verloren gingen die men op deze wijze tracht te behouden. Jaarlijks besteden de TBO's ongeveer 2,4 miljard euro aan terreinbeheer, waarvan een belangrijk deel door de overheid wordt gefinancierd. Daarnaast wordt er door particuliere grondeigenaren ongeveer 200.000 ha beheerd en door de landbouw 1,8 miljoen ha. Voor de ontwikkeling van het landelijk gebied is het van groot belang dat landbouw- en natuurgebieden niet verder van elkaar worden gescheiden, maar dat er (weer) een integratie komt van landbouw, natuur en cultuurhistorie.

Het beheer van het buitengebied is in handen van de volgende organisaties:

- de landbouw: heeft ongeveer 1,8 miljoen ha in beheer;
- Natuurmonumenten: beheert in 2015 ongeveer 105.000 ha; de beheerkosten zijn 71 miljoen euro (€ 676/ha) verdeeld over 363 gebieden;
- Staatsbosbeheer: beheert in 2015 ongeveer 265.000 ha, de kosten zijn € 597/ha;
- de Provinciale landschappen: beheren gezamenlijk 103.000 ha;
- particuliere grondeigenaren, aangesloten bij de Federatie Particulier Grondbezit: beheren ongeveer 200.000 ha, waarvan 50.000 ha bos, 15.000 ha natuur, 50.000 ha landbouwgrond in eigen gebruik en 70.000 ha landbouwgrond verpacht

In dit overzicht zit enige dubbeltelling in, omdat de hier genoemde organisaties ook landbouwgrond verpachten. Het is mogelijk dat de landbouw, net zoals in het verleden, weer zelf een deel van de natuurgebieden gaat beheren. In een meer toekomstgericht landbouwsysteem zal men de natuur ook weer functioneel moeten inzetten. Het integreren van meer natuur in de landbouwgebieden zal ook per saldo een uitbreiding geven van de oppervlakte natuur of "natuurlijke" landbouwgrond. Bovendien kan dit beheer voor de landbouw ook een inkomstenbron vormen. Voor het functioneel kunnen inzetten van de natuur in de landbouw zal een oppervlakte van circa 150.000 ha nodig zijn. Voor de herinrichting van de landbouwbedrijven betekent dit een groene dooradering en kleinere percelen. Deze benodigde oppervlakte kan worden verkregen door een verschuiving van natuurgronden naar de landbouw. De landbouw moet weer een duidelijke rol krijgen in het natuurbeheer, maar zal dan ook aan de daarbij behorende eisen moeten gaan voldoen. Het integreren van landbouw en natuur levert een landbouwsysteem op dat stabiel is en minder vatbaar voor allerlei aantastingen. Dat betekent kleinere percelen, geen monoculturen, meer gewassen en meer integratie van plantaardige en dierlijke productie. Nieuwe landbouwsystemen zoals permacultuur, voedselbossen, mengteelten, strokenteelt en ook het

“ouderwetse” gemengde bedrijf passen daar goed in. Uitgangspunt is om de natuur zoveel mogelijk zelf te laten doen: dieren halen zelf hun voer, meerjarige gewassen (klein en groot fruit, gras, noten), minimalisatie van transport en het verlagen van de ziektedruk door kleine akkers, veel gewassen en een ruime vruchtwisseling. Vanwege de schaarste aan energie en grondstoffen en het klimaatprobleem moeten mechanisatie en arbeid worden afgestemd op deze nieuwe landbouwsystemen.



*Strokenteelt: verlaging ziektedruk en verhoging biodiversiteit (ERF bv)*

### ***Energie en grondstoffen***

In Europees verband is de doelstelling van een reductie van 80% tot 95% (ten opzichte van 1990) van de emissies van broeikasgassen in 2050 afgesproken voor de gehele economie. Hier zal ook de landbouw aan moeten gaan voldoen. In dit proefschrift is berekend dat de landbouw in 1990 een input had van 262 PJ en in 2015 305 PJ. Gaan we uit van een reductie met 90% ten opzichte van 1990 dan moet worden volstaan met een input van 26,2 PJ, dit is afgerond op 30 PJ. Een dergelijke grote reductie van het gebruik van energie en grondstoffen kan alleen worden verkregen door op grote schaal kapitaal te vervangen door arbeid. Dit moet worden gecombineerd met het ontwikkelen van technologie die is gericht op het creëren van zo goed mogelijke arbeidsomstandigheden en niet meer op arbeidsbesparing. Alle grondstoffen moeten in een circulair systeem worden ingezet. Voor anorganische materialen betekent dit het na gebruik recyclen en er weer nieuwe producten van maken. De reststromen van organisch materiaal moeten decentraal worden ingezameld en verwerkt en worden hergebruikt in de landbouw. Dat betekent een recirculatie van organische stof, inclusief sporenelementen, mineralen en overige meststoffen.

De reductie van de inzet van energie en grondstoffen geldt voor de hele maatschappij. Het is in dit proefschrift alleen uitgewerkt voor de landbouw. De aan de landbouw toeleverende bedrijven en organisaties hebben ook met een reductie van de te leveren input te maken.

### ***Arbeid***

De hierna genoemde cijfers zijn indicatief, maar geven wel een beeld van de toekomstige arbeidsbehoefte van de landbouw.

Aannames voor de arbeidsbehoefte voor een lage-input-landbouw zijn:

- glastuinbouw (4.000 ha): 4 a.j.e./ha, dat is 16.000 a.j.e.;
- vollegrondstuinbouw, fruit en noten (157.978 ha): 1 a.j.e. per ha, dat is 158.000 a.j.e.;
- akkerbouw en veehouderij (1.638.000 ha): 0,25 a.j.e./ha, dat is 409.500 a.j.e.

Dit zijn in totaal 583.500 directe arbeidsjaareenheden, een uitbreiding met 470.401 directe arbeidsjaareenheden ten opzichte van 2015. De inzet van veel meer arbeid in de landbouw maakt ook een uitbreiding van het agrarische onderwijs nodig.

Als de inzet van zo weinig mogelijk energie en grondstoffen het doel is en niet meer het zoveel mogelijk besparen op arbeid, is er geen noodzaak meer (zo die er ooit al was) voor schaalvergroting. Dit geeft in combinatie met een herinrichting van de landbouwgebieden andere mogelijkheden voor optimale bedrijfsgroottes. Ter indicatie daarvan het volgende voorbeeld:

- 1 ha voor glastuinbouw, geeft 4000 bedrijven en 4 arbeidsjaareenheden per bedrijf;
- 5 ha voor groente, fruit en noten geeft 31.500 bedrijven, met 5 arbeidsjaareenheden per bedrijf
- 12 ha voor de overige bedrijven geeft 136.500 bedrijven, met 3 arbeidsjaareenheden per bedrijf.

Dat zijn in totaal 172.000 bedrijven, met een gemiddelde bedrijfsgrootte van 10,5 ha.

### **14.3 Benodigde maatregelen**

Een beschikbare input voor de hele landbouw van 30 PJ zit nog beneden het niveau van 1950, toen was de input van de landbouw 54 PJ. Sinds 1950 is echter wel de kennis toegenomen en hebben we gewassen en dieren die meer kunnen produceren. Ook op energiegebied is nu meer kennis beschikbaar. Het halen van de grote reductie van het energie- en grondstoffengebruik zal moeten komen van een slimme combinatie van arbeid en technologie. Het onderzoek zal daar op moeten worden gericht en de ervaring leert dat er dan ook wel weer nieuwe mogelijkheden komen.

Maatregelen om een lage-input-landbouwsysteem te kunnen realiseren zijn:

- alleen voedselproductie voor de eigen bevolking;
- alleen voedingsglastuinbouw in koude kassen;
- geen intensieve veehouderij;
- reductie van transportstromen, heel weinig export en import en lokaal/regionaal produceren en consumeren, transportsystemen aanleggen die weinig energie vragen, zoals vervoer via rails en water;
- herinrichting van de landbouwgebieden en een deel van de natuurgebieden
- verhoging koolstofvastlegging in landbouwgrond door meer organische stof (geeft minder droogte- en natschade) en minder grondbewerking;
- het onderzoek richten op het ontwikkelen van energie- en grondstoffenbesparende technologie en niet meer op arbeidsbesparende technologie;
- als uitgangspunt voor het leveren van energie handkracht nemen;
- zo weinig mogelijk fossiele brandstoffen gebruiken;
- zo weinig mogelijk elektronica toepassen;
- alle grondstoffen hergebruiken;
- onderwaterdrainage van veengrond en verhoging van grondwaterstanden in



veengronden. Geen akkerbouw of tuinbouw op veengronden, alleen grasland of natuur;

- waterbeheer afstemmen op voorraadvorming in de winter en gebruik in de zomer;
- alle organische stof hergebruiken, dat betekent dat alle reststromen van organisch materiaal apart moeten worden ingezameld om als bemesting te kunnen worden gebruikt. Hiervoor moet een nieuwe inzamelstructuur komen, die de huidige inzamelstructuren (ook die van riolering en afvalwaterzuivering) vervangt;
- het inzetten van de beleidsinstrumenten zoals vermeld in hoofdstuk 13.

#### 14.4 Ontwikkelingen 1950 – 2015 - 2040

Op basis van de in dit proefschrift gevonden uitkomsten is voor het jaar 2040 (indicatief) een beeld geschetst van een toekomstige landbouw die voedselzekerheid kan bieden en waarmee aan het akkoord van Parijs kan worden voldaan. Voor de jaren 1950, 2015 en 2040 is een aantal algemene gegevens weergegeven (zie tabel 61).

Tabel 61 Algemene gegevens van de landbouw in 1950, 2015 en 2040

	1950	2015	2040
aantal inwoners Nederland	10.200.280	16.900.726	17.000.000
direct landgebruik	2.336.766 ha	1.841.362 ha	1.800.000 ha
indirect landgebruik	381.632 ha	3.178.688 ha	250.000 ha
totaal landgebruik	2.718.398 ha	5.020.050 ha	2.050.000 ha
voedingsglastuinbouw	2.160 ha	4.755 ha	4.000 ha
groenteteelt open grond	32.982 ha	25.339 ha	40.000 ha
directe arbeid	520.422 a.j.e.	113.099 a.j.e.	583.500 a.j.e.
indirecte arbeid	85.932 a.j.e.	188.416 a.j.e.	100.000 a.j.e.
totaal arbeid	606.354 a.j.e.	301.515 a.j.e.	683.500 a.j.e.
aantal landbouwbedrijven	410.000	64.000	172.000
gemiddelde bedrijfsgrootte	5,7 ha	28,8 ha	10,5 ha

In tabel 62 staan gegevens over de oppervlaktes van de verschillende gewassen en over de aantallen dieren. De gegevens voor de jaren 1950 en 2015 zijn gebaseerd op de uitgevoerde inventarisaties en die voor het jaar 2040 op de berekeningen van de benodigde hoeveelheden voeding en de daarvoor benodigde oppervlaktes en aantallen dieren, zoals bepaald in hoofdstuk 11.4.

Tabel 62 Gewasoppervlaktes en aantallen dieren in 1950, 2015 en 2040.

	1950	2015	2040
<i>Plantaardige productie:</i>			
groente	32.982 ha	25.339 ha	44.321 ha
fruit	61.000 ha	19.770 ha	141.828 ha
granen totaal	476.000 ha	196.817 ha	516.481 ha
(w.v. granen voor consumptie)			(372.300 ha)
(w.v. granen voor veevoer)			(144.181 ha)
consumptieaardappelen	130.000 ha	71.736 ha	35.457 ha
pootaardappelen		41.848 ha	
zetmeelaardappelen	45.000 ha	42.927 ha	
noten		61 ha	78.200 ha
peulvruchten	26.000 ha	15.506 ha	23.868 ha
zonnebloemen		660 ha	310.250 ha
koolzaad	32.000 ha		124.100 ha
zaaizaad en plantgoed			(20.000 ha)
oppervlakte voor paarden			40.000 ha
suikerbieten	67.000 ha	58.436 ha	
bloembollen	3.500 ha	24.842 ha	
<i>dierlijke productie:</i>			
grasland en uitloop	1.317.000 ha	1.240.000 ha	482.375 ha
totaal oppervlakte			1.796.880 ha
<i>aantallen dieren: *</i>			
paarden	281.000	30.000	100.000
rundvee	2.723.000	4.133.854	845.302
melkproductie	5.771.000 ton	13.325.976 ton	3.850.725 ton
gemiddelde productie per koe**	3.800 kg	7.957 kg	6.200 kg
schapen	390.000	523.103	250.000
varkens:	1.864.000	12.602.888	401.194
hoenders/kippen	23.400.000	103.038.539	21.017.938
(wv leghennen)		(47.684.000)	(6.349.358)
(wv haantjes)			(488.412)
(wv vleeskuikens)		(49.107.000)	(14.180.168)

\* de overige soorten dieren zijn hier buiten beschouwing gebleven

\*\* 6500 kg productie, waarvan 300 kg door kalf opgedronken

In tabel 63 staan de opbrengsten in totaal en per ha, zowel in tonnen als in GJ. Voor zowel de totale output en input als output en input per ha zijn de output/input-verhoudingen weergegeven, alsmede de output en input per ton product.

Tabel 63: output en input van de landbouw in 1950, 2015 en 2040

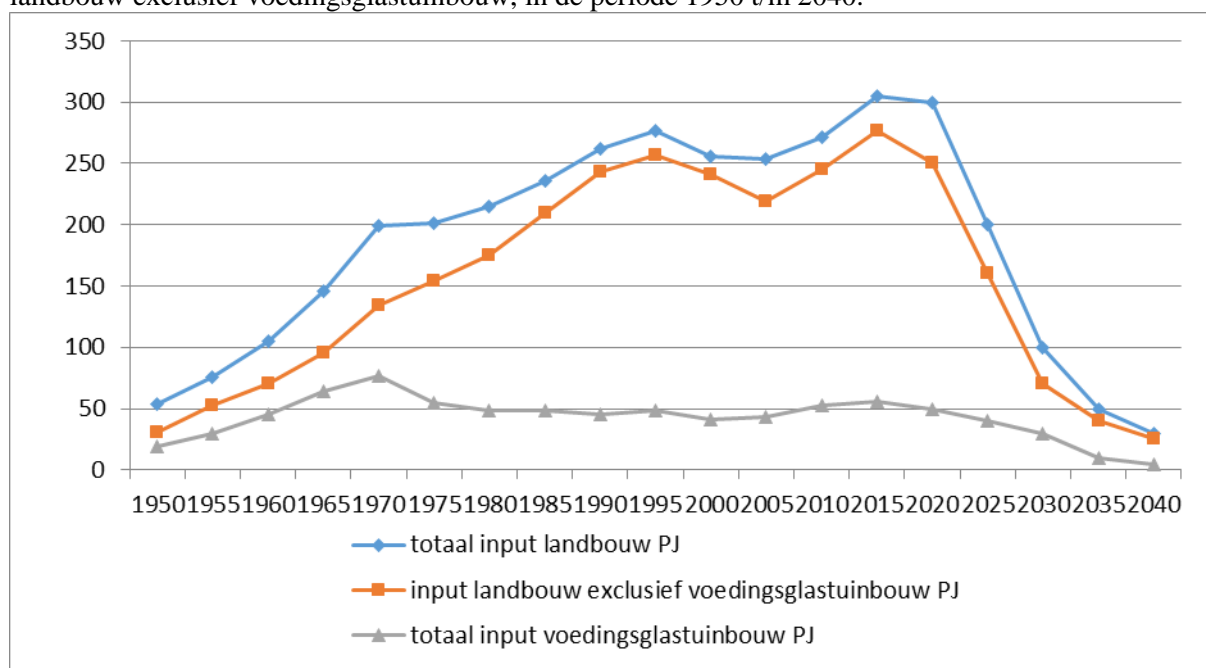
	1950	2015	2040
output in tonnen	16.077.256 ton	39.302.303 ton	10.339.046 ton
output in ton per hectare	5,91 ton/ha	7,83 ton/ha	5,04 ton/ha
output in PJ	64,932522 PJ	134,904312 PJ	65,536427 PJ
input in PJ	53,793729 PJ	304,995006 PJ	30,000000 PJ
output/input	1,20	0,44	2,18
output in GJ/ha	23,886 GJ/ha	26,821 GJ/ha	31,969 GJ/ha
input in GJ/ha	23,021 GJ/ha	165,636 GJ/ha	16,667 GJ/ha
output/input	1,04	0,16	1,92
output in GJ/ton product	4,039 GJ/ton	3,432 GJ/ton	6,339 GJ/ton
input in GJ/ton product	3,346 GJ/ton	7,760 GJ/ton	2,902 GJ/ton

De output in tonnen per ha is in 2040 gedaald ten opzichte van de jaren 1950 en 2015. Dit komt door een andere samenstelling van het voedingspakket: meer groentes, fruit, noten, granen, peulvruchten (lagere opbrengsten in tonnen per ha, hogere energetische waarden in GJ/ton) en minder aardappels en suikerbieten (hogere opbrengsten in ton/ha en lagere waarden in GJ/ton). Daarnaast zijn de hoeveelheden dierlijke producten in het scenario voor 2040 sterk gereduceerd.

De output/input-verhoudingen dalen in de periode 1950 t/m 2015 voor de output en input in GJ/ha sneller dan die voor de totale output en input. De input in GJ per ton product stijgt van 1950 tot 2015 met 132%. De cijfers voor 2040 worden gunstig beïnvloed door minder indirect landgebruik en een sterk verlaagde input. De energetische opbrengsten per ha zijn in 2015 met 12% gestegen ten opzichte van 1950 en in 2040 met 34% ten opzichte van 1950.

In figuur 14 zijn voor de periode 1950 t/m 2040 weergegeven het verloop van de input van de totale landbouw, van de voedingsglastuinbouw en van de landbouw exclusief de voedingsglastuinbouw. Het begint in 1950 met 54 PJ en is op het maximum van 305 PJ in 2015, om daarna te dalen tot 30 PJ in 2040.

Figuur 14 Het verloop van de input voor de totale landbouw, de voedingsglastuinbouw en de landbouw exclusief voedingsglastuinbouw, in de periode 1950 t/m 2040.



In 2040 blijft er na de benodigde reductie van de input 30 PJ aan input voor de landbouw over. Om hierover enig idee te krijgen is indicatief aangegeven wat dit zou kunnen betekenen. In tabel 64 is de ontwikkeling van de input weergegeven voor de landbouw in totaal, de voedingsglastuinbouw en de landbouw exclusief de voedingsglastuinbouw.

Tabel 64 Verloop van de input voor de periode 2015 t/m 2040

	2015	2020	2025	2030	2035	2040
input glastuinbouw	55 PJ	50 PJ	40 PJ	30 PJ	15 PJ	5 PJ
input landbouw	250 PJ	250 PJ	160 PJ	70 PJ	40 PJ	25 PJ
totale input	305 PJ	300 PJ	200 PJ	100 PJ	50 PJ	30 PJ

Voor de glastuinbouw is uitgegaan van een beschikbare input in 2040 van 5 PJ/jaar en van 4.000 ha aan onverwarmde kassen, met een gemiddelde hoogte van 2,5 meter. Als deze in 50 jaar worden afgeschreven is dat 2,4 PJ/jaar. Er is dan nog 2,6 PJ/jaar beschikbaar voor overige voorzieningen, gereedschappen, etc. Een beschikbare input van 5 PJ/jaar is op 4.000 ha een input van 1.250 GJ/ha, jaar. De input van de voedingsglastuinbouw in 2015 is 56 PJ, dat komt overeen met 14.000 GJ/ha, jaar. Deze input bestaat voor het grootste deel (circa 90%) uit directe energie voor het verwarmen van de kassen.

Voor de landbouw exclusief de voedingsglastuinbouw is in 2040 een input van 25 PJ beschikbaar, dat is 14 GJ/ha, jaar. In 2015 is de input van de landbouw exclusief de voedingsglastuinbouw 276 PJ, dat is 150 GJ/ha, jaar.

Als bijvoorbeeld wordt uitgegaan van 22 m<sup>2</sup>/ha die nodig zijn aan gebouwen, dan is daar een input voor nodig van 2,4 PJ/jaar. Dit komt overeen met 1,34 GJ/ha, jaar. Er is dan nog 11,6 GJ/ha, jaar over voor andere zaken als zaaizaadvoorziening, mechanisatie en gereedschappen, transport, etc.

Voor het scenario 2040 is het van belang hoe dit zich economisch gezien verhoudt tot de situatie in 2015. De totale productiewaarde van de landbouw en de interne leveringen zijn voor het scenario 2040 berekend op basis van de te produceren hoeveelheden en de daarbij behorende prijzen van 2015 (zie bijlage 5). Voor de maatschappelijke kosten in 2015 is uitgegaan van € 5 miljard en € 20 miljard en voor de maatschappelijke kosten in 2040 van 10% daarvan. De kosten voor de aangekochte goederen en diensten en de afschrijvingen in 2040 zijn ook bepaald op 10% van die in 2015. Per extra in te zetten arbeidsjaareenheid (direct) in 2040 is gerekend met € 50.000. Voor het aantal gereduceerde indirecte arbeidsjaareenheden is de aanname gedaan dat 70% afkomstig is uit lage lonen landen (€ 5.000 per arbeidsjaareenheid) en 30% uit Nederland of landen met een vergelijkbaar loonpeil (€ 50.000 per arbeidsjaareenheid). Verder is voor 2040 nog het alternatief aangegeven dat aangekochte goederen en diensten 50% duurder zijn en arbeid 50% goedkoper is. In tabel 65 is e.e.a. weergegeven.

Tabel 65 Vergelijking economische aspecten 2015 met 2040

	2015		2040 (prijspeil 2015)	
	miljoen euro	miljoen euro	miljoen euro	miljoen euro
totale productiewaarde	26.708	26.708	14.273	14.273
interne leveringen	6.608	6.608	832	832
bruto productiewaarde	20.100	20.100	13.441	13.441
aangekochte goederen en diensten	10.221	10.221	1.022	1.533*
kosten extra directe arbeid			23.520	11.760**
besparing op indirecte arbeid			1.656	973
maatschappelijke kosten	5.000	20.000	2.000	500
bruto toegevoegde waarde tegen marktprijzen	4.879	-10.121	-11.445	621
afschrijvingen	3.696	3.696	370	370
netto toegevoegde waarde tegen marktprijzen	1.183	-13.817	-11.815	251
saldo heffingen en subsidies	751	751	751	751
netto toegevoegde waarde tegen factorkosten	1.934	-13.066	-11.064	1.002

\*50% duurder

\*\* 50% goedkoper (eigenlijk is dan alle arbeid goedkoper)

Uitgaande van maatschappelijke kosten van 20.000 miljoen euro, respectievelijk 2.000 miljoen euro en arbeidskosten op het niveau van 2015 is de landbouw in 2015 iets duurder dan die in het scenario voor 2040. Uitgaande van maatschappelijke kosten van 5.000 miljoen euro, respectievelijk 500 miljoen euro en aangekochte goederen en diensten die 50% duurder zijn en arbeid die 50% goedkoper is, zijn de opbrengsten van de landbouw in 2015 iets hoger dan die in 2040. Maatschappelijk gezien is belangrijk dat de voedselzekerheid in het scenario 2040 beter is gewaarborgd (zeker in een min of meer autarkische situatie) dan die in 2015 en dat in een veel grotere mate sprake is van een duurzaam landbouwsysteem. Het duurder maken van de input en het goedkoper maken van de arbeid heeft een positief effect. Flankerend beleid zoals aangegeven in hoofdstuk 13.5 kan een overgang naar een duurzame landbouw bevorderen.

Het voor 2040 geschetste scenario voor de landbouw is een landbouw met weinig input in een land met een hoge bevolkingsdichtheid. Duurzame landbouwsystemen zijn er in het verleden ook geweest. Het boek “Vierduizend jaar kringlooplandbouw” is een vertaling van een reisverslag van F.H. King, die hoogleraar en grondlegger van de bodemkunde in Amerika

was. Het reisverslag gaat over zijn studiereis naar Oost Azië in 1909. Het was een reis die een half jaar duurde, met als doel om de landbouw in Japan, Korea en China te bestuderen.

Tot in de twintigste eeuw konden Chinese, Koreaanse en Japanse boeren miljoenen mensen voeden (in 1909 al ruim 500 miljoen mensen) met respect voor de natuur. Alle reststromen van organische stoffen (inclusief menselijke uitwerpselen) en slib uit kanalen en houtas werden ingezameld, gemengd, gecomposteerd en hergebruikt op het land. In West Europa en de VS werd dit toen vaak in het water gedumpt. Omdat in die tijd in het westen de industriële productie van kunstmest al was begonnen, was het pleidooi voor een natuurlijke organische kringloop kansloos geworden.

China, Japan en Korea hebben gedurende 4.000 jaar honderden miljoenen inwoners gevoed met behoud van de bodemvruchtbaarheid. Dit zonder gebruik te maken van minerale meststoffen en fossiele energie. Met wissel- en volgteelten en groenbemesting had men een stabiel landbouwsysteem. Dit werd gerealiseerd met behulp van spierkracht en een klein beetje dierlijke trekkracht, windkracht en waterkracht. Ook verbouwde men nog katoen, vlas, hennep (kleding), werden bamboe en bomen gebruikt voor bouw materiaal en energie en waren er moerbeibomen voor de zijdeproductie. Zowel de landbouwbedrijven als de percelen waren klein in omvang. Het voedselpakket was voor een groot deel plantaardig, er werd weinig vlees gegeten.

Japan had in 1909 51 miljoen inwoners en 5.400.000 ha landbouwgrond, dat is 1.059 m<sup>2</sup> landbouwgrond per inwoner. Per ha was er 1 boerengezin. Er werd meer dan 20 miljoen ton compost door boeren bereid en dit leverde 65 kg stikstof, 34 kg fosfaat en 43 kg kalium per ha op. De grootte van de akkers varieerde van 25 m<sup>2</sup> tot 100 m<sup>2</sup>.

In 1909 had China ongeveer 490 miljoen inwoners. De meeste landbouwbedrijven waren tussen enkele honderden m<sup>2</sup> en 1 ha groot. De grootte van de akkers lag tussen enkele tientallen m<sup>2</sup> en enkele honderden m<sup>2</sup>. Per persoon varieerde de hoeveelheid beschikbare landbouwgrond tussen 550 m<sup>2</sup> en 1.900 m<sup>2</sup>. Dagelijks werden de menselijke uitwerpselen (nachtaarde genoemd) zorgvuldig en hygiënisch ingezameld en gebruikt voor het maken van compost. Enkele opbrengstcijfers zijn: aardappels 27 ton/ha, wintertarwe 6,4 ton/ha en stro 8 ton/ha, natte rijst 2,5 ton/ha en droge rijst 1,2 ton/ha. In Japan en China had men in 1909 0,3 kip per inwoner, in Nederland zijn er nu ongeveer zes kippen per inwoner.

China heeft nu ongeveer 1,5 miljard inwoners en een oppervlakte van 950.000.000 ha. Meer dan de helft van de Chinezen werkt in de landbouw. Ongeveer 10% van de oppervlakte is landbouw, dat is circa 95.000.000 ha. In het huidige China is dan ongeveer 625 m<sup>2</sup> landbouwgrond per inwoner beschikbaar (ter vergelijking: in Nederland was in 1910 4.085 m<sup>2</sup> landbouwgrond per inwoner beschikbaar en in 2015 1.090 m<sup>2</sup>).

Met de val van de Qing-dynastie (1638 – 1911) kwam een einde aan de keizerlijke macht die China eeuwenlang heeft gekend; dit gaf politieke verdeeldheid en verval. Meer dan 100 miljoen boeren raakten op drift; dit veroorzaakte een terugslag in de landbouw en grote delen van de bevolking werden getroffen door hongersnood. Veel van de oude kennis ging verloren en hygiëne was niet meer zo vanzelfsprekend als ten tijde van Kings' reis (Leeftang, 2009).

Het voor het jaar 2040 geschetste landbouwscenario vereist ook andere vormen van mechanisatie. De tendens naar steeds grotere en zwaardere machines wordt nu hier en daar doorbroken door het zoeken naar kleinere en lichtere machines. In het project SMARAGD

(onderdeel van de Topsector Agrifood) wordt met diverse partners (o.a. WUR en bedrijfsleven) gewerkt aan een autonome gerobotiseerde mechanisatie van akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. Deze “slimme” mechanisatie zal de zware grootschalige mechanisatie vervangen en de bodem sparen. In Frankrijk is “Atelier paysan” een coöperatie die in 2011 is opgericht. Het is een collectief dat streeft naar nieuwe oplossingen voor kleinschalige biologische bedrijven. De boeren moeten meer autonoom worden ten aanzien van hun mechanisatie en gebouwen. Ook bij enkele machinefabrikanten is weer belangstelling voor kleine handmatig aangedreven machines. Omdat de biologische landbouw groeit komt hier meer belangstelling voor

In de wetgeving lijkt enige aandacht te komen voor het klimaatprobleem. In Zweden is per 1 januari 2018 een wet van kracht geworden die overheden verplicht aan te tonen dat hun beleid bijdraagt aan het reduceren van de emissie van CO<sub>2</sub>. Als overheidsbeleid er voor zorgt dat het doel van een nulmissie in 2045 niet wordt gehaald kan dat beleid met behulp van deze wet worden geblokkeerd. In Wales is een wet aangenomen, de Well-being of Future Generations Act 2015, waarin staat dat elke nieuwe wet door een ombudsman wordt getoetst op de impact die de wet heeft voor toekomstige generaties. In Nederland is in 2018 een klimaatwet aangenomen, waarin de reductiedoelstellingen uit het akkoord van Parijs worden onderschreven. Concrete maatregelen zijn in deze wet nog niet aangegeven.

In Portugal en Griekenland keren mensen vanuit de stad terug naar het platteland. Dit komt door de economische situatie en het niet kunnen vinden van werk. Een aantal van hen probeert nu in de landbouw een bestaan op te bouwen. Daardoor komen er wel mensen met andere kennis en nieuwe ideeën in de landbouw.

De vraag naar biologische landbouwproducten blijft stijgen. Hoewel het aantal biologische boeren nog klein is, schakelen steeds meer boeren om naar biologische landbouw. Dit kan ook worden gezien als een eerste stap op weg naar een meer duurzame landbouw.

Voorbeelden laten zien dat een scenario voor de landbouw mogelijk is met weinig input van energie en grondstoffen en aangedreven door voornamelijk handkracht, waarmee ook redelijke opbrengsten per ha kunnen worden behaald. Ontwikkelingen in de mechanisatie, in de wetgeving en in de biologische landbouw kunnen ondersteunend zijn voor het realiseren van een scenario zoals dat is geschetst voor het jaar 2040.





## **15 Slotbeschouwing**

### ***De uitkomsten***

De output is op basis van de beschikbare gegevens redelijk goed in beeld gebracht. De output/input-verhoudingen geven de verhoudingen weer tussen de energie-inhoud van de landbouwproducten (als stofwisselingsenergie) en de energie (i.h.a. fossiele energie) die nodig is geweest om deze stofwisselingsenergie te kunnen produceren. Deze output/input-verhoudingen worden als een goede indicatie gezien voor de efficiency van het productieproces in de landbouw. In dit proefschrift is er van uitgegaan dat de geproduceerde landbouwproducten zijn bestemd voor de voeding van de mens. De productie van biomassa (hooi, stro, in Nederland verbouwd veevoer, gewasresten) behoort tot de interne leveringen. In de output van de producten zit enige overschatting (granen en vleesproductie).

Voor de input is volledigheid moeilijker. Het directe energiegebruik voor Nederland is wel uit statistische gegevens af te leiden, maar het energiegebruik van de landbouw is alleen fragmentarisch geregistreerd en is verder uit beschikbare cijfers afgeleid. Van het indirecte energiegebruik zijn 11 onderwerpen geïnventariseerd. Eigenlijk zijn er alleen van veevoer, dierlijke mest, kunstmest en bestrijdingsmiddelen maar voor een deel van de periode 1950 t/m 2015 cijfers in de statistieken aanwezig. Van gebouwen, trekkers en machines zijn fragmentarisch gegevens geregistreerd. Van mijnbouw, elektronica, de dienstensector en transport en infrastructuur ten behoeve van de landbouw zijn als zodanig geen gegevens geregistreerd. Van het directe landgebruik en de directe arbeid zijn de benodigde gegevens wel geregistreerd, van indirect landgebruik en indirecte arbeid niet. De ontbrekende gegevens zijn via andere informatiebronnen en eigen inventarisaties, aannames en berekeningen in kaart gebracht. De grootste onzekerheidsmarge zit bij mijnbouw, omdat daar op basis van gegevens op wereldschaal aannames zijn gedaan. Het energiegebruik van mijnbouw wordt geschat op 7% tot 10% van het wereldenergiegebruik en het landgebruik door mijnbouw op 30 tot 150 miljoen ha. Daar waar voor bepaalde gegevens bandbreedtes zijn gegeven is steeds uitgegaan van de laagste waarden, behalve bij de maatschappelijke kosten. Voor het berekenen van de maatschappelijke kosten bestaat nog geen algemeen aanvaarde standaard. Derhalve zijn in dit proefschrift verschillende waardes weergegeven. Voor een deel van de input is de inventarisatie onvolledig en niet alle inputs zijn in beschouwing genomen. Verder is het zo dat in de meeste energie-analyses de embodied energy van de gebouwen niet is meegenomen en dat het op zich ook al heel moeilijk is de embodied energy volledig te bepalen. Dit betekent dat de input in werkelijkheid groter is dan hier is berekend. De tendens is echter wel heel duidelijk. De input is in de periode 1950 t/m 2015 gestegen en sneller toegenomen dan de output.

Sinds de energiecrises in de jaren zeventig van de twintigste eeuw is een groot aantal studies verschenen op het gebied van energie. Een deel daarvan gaat over het energiegebruik in de landbouw. Deze studies kunnen als volgt worden gerubriceerd voor wat betreft de gekozen onderwerpen:

- energiegebruiken in bepaalde teelten;
- vergelijkingen tussen energiegebruiken in de gangbare en in de biologische landbouw;
- technische mogelijkheden voor energiebesparing;
- totale energiegebruiken in een bepaald land.

De meeste uitgevoerde studies gaan over deelaspecten van het energiegebruik. Studies naar het totale energiegebruik in een bepaald land komen minder vaak voor. Ze zijn o.a. uitgevoerd

voor Nederland (1950-1970), Zweden (1956, 1972, 1993), China (1978, 1985, 1990, 1995, 2000, 2004), Denemarken (2004-2007) en Spanje (1960, 1985, 2010).

Een voorbeeld van een onderzoek naar het totale energiegebruik van de landbouw in Nederland is een studie van het IMAG uit 1974, over de periode 1950 t/m 1970 (Lange, 1974). Hoe e.e.a. is uitgerekend is niet goed meer te achterhalen. Wel heeft men de calorische waarde van de voeding van mensen en paarden bij de input meegenomen. De cijfers zijn hiervoor gecorrigeerd om het enigszins vergelijkbaar te maken. Ter vergelijking zijn in tabel 66 de resultaten van dit onderzoek vergeleken met die uit dit proefschrift.

Tabel 66 Vergelijking resultaten onderzoek IMAG en dit proefschrift

<i>IMAG:</i>	1950	1955	1960	1965	1970
output	105 PJ	111 PJ	121 PJ	117 PJ	116 PJ
input	89 PJ	150 PJ	207 PJ	278 PJ	373 PJ
output/input	1,17	0,74	0,58	0,42	0,31
<i>dit proefschrift:</i>					
output	65 PJ	72 PJ	83 PJ	78 PJ	92 PJ
input	54 PJ	76 PJ	105 PJ	146 PJ	200 PJ
output/input	1,20	0,95	0,79	0,53	0,46

Hoewel de cijfers niet goed vergelijkbaar zijn (het IMAG-onderzoek gaat over de totale landbouw en bij de output zijn bijvoorbeeld ook de energetische waarden van organisch restmateriaal meegenomen en bij de input ook het energiegebruik van riool- en poldergemalen), is de tendens van dalende output/input-verhoudingen bij beiden zichtbaar.

In het Zweedse onderzoek zijn output en input voor de jaren 1956, 1972 en 1993 geïnventariseerd. In de output zitten ook de interne leveringen aan veevoedergewassen, stro, hooi, e.d. en de oogstresten die op het land achterblijven. De input bestaat uit de directe energie en de indirecte energie in de vorm van mechanisatie, gebouwen, veevoer, kunstmest, bestrijdingsmiddelen, zaaizaad en diensten. De energie voor gebouwen is gebaseerd op gemiddelde afschrijving en onderhoud in de sector (Uhlin, 1999).

Het onderzoek over China gaat het over de jaren 1978, 1985, 1990, 1995, 2000 en 2004. In de Chinese landbouw werken 350 miljoen mensen en er is 95 miljoen ha landbouwgrond. De input bestaat uit directe energie en indirecte energie in de vorm van kunstmest, bestrijdingsmiddelen, mechanisatie, zaden en menselijke en dierlijke arbeid. In China is een hoge inzet van menselijke arbeid: 3,7 arbeidsjaareenheden per ha (Cao, et al., 2010).

In het Deense onderzoek zijn ook de voedingsindustrie en het transport meegenomen. De cijfers zijn daarvoor gecorrigeerd en ook is de energie van het geproduceerde biogas in mindering gebracht. Basis voor de inventarisaties zijn de gemiddelde waarden van de jaren 2004 – 2007. Het Deense landbouwareaal is 2.668.000 ha. De directe arbeid is circa 60.000 arbeidsjaareenheden. De output is de voedselproductie voor menselijke consumptie en die is 61 PJ De input bestaat uit de directe energie en de indirecte energie van kunstmest, bestrijdingsmiddelen, geïmporteerd veevoer, machines en gebouwen en is 121 PJ (Markussen et al., 2013).

Het Spaanse onderzoek gaat over het energiegebruik van het Spaanse voedselsysteem, inclusief transport, industrie, verpakkingen, handel en huishoudens. Hier zijn alleen de cijfers voor de Spaanse landbouw gebruikt. Het gaat over de periode 1960-2010. Het landbouwareaal is 20.155.000 ha in 1960 en 17.221.000 ha in 2010. Voor 1985 is de aanname gedaan van

18.500.000 ha. De input is 46,3 PJ in 1960, 348,7 PJ in 1985 en 449,1 PJ in 2010. Deze input bestaat uit brandstoffen, elektriciteit, kunstmest, machines, bestrijdingsmiddelen, geïmporteerd veevoer, en geïmporteerde zaden. Cijfers over de output ontbreken, wel zijn twee output/input-verhoudingen vermeld (Amate et al., 2014).

Een vergelijking tussen de verschillende landen is hier gemaakt op basis van output/input-verhoudingen, de output per arbeidsjaareenheid en de input per ha. Daarbij is steeds een vergelijking gemaakt met de cijfers zoals die voor de Nederlandse landbouw in dit proefschrift zijn berekend. In tabel 67 staan de output/input-verhoudingen.

Tabel 67 Output/input-verhoudingen

jaar	Nederland	Zweden	China	Denemarken	Spanje	dit proefschrift
1950	1,17				6,10	1,20
1955	0,74					0,95
1956		0,93				
1960	0,58					0,79
1965	0,42					0,53
1970	0,31					0,46
1972		0,75				
1978			2,01		1,22	(1975) 0,49
1985			2,24			0,52
1990			2,30			0,50
1993		1,14				
1995			1,84			0,46
2000			1,62			0,53
2004			1,52			
2005				0,50		0,48
2010						0,49

De output/input-verhoudingen liggen voor de verschillende landen wel in eenzelfde orde van grootte, alleen voor China zijn deze verhoudingen hoger. Dit komt door een grotere inzet van menselijke arbeid in China. De tendens van dalende output/input-verhoudingen is op een enkele uitzondering na, in alle landen zichtbaar.

In tabel 68 is de output in GJ per arbeidsjaareenheid weergegeven. Om het vergelijkbaar te maken is uitgegaan van de directe arbeid

Tabel 68 Output per arbeidsjaareenheid

jaar	Nederland	Zweden	China	Denemarken	Spanje	dit proefschrift
1950	202 GJ/a.j.e.					125 GJ/a.j.e.
1955	248 GJ/a.j.e.					162 GJ/a.j.e.
1956		195 GJ/a.j.e.				
1960	282 GJ/a.j.e.					194 GJ/a.j.e.
1965	343 GJ/a.j.e.					230 GJ/a.j.e.
1970	433 GJ/a.j.e.					344 GJ/a.j.e.
1972		611 GJ/a.j.e.				
1978			14 GJ/a.j.e.			
1985			19 GJ/a.j.e.			591 GJ/a.j.e.
1990			23 GJ/a.j.e.			669 GJ/a.j.e.
1993		1.551 GJ/a.j.e.				
1995			24 GJ/a.j.e.			706 GJ/a.j.e.
2000			24 GJ/a.j.e.			779 GJ/a.j.e.
2004			26 GJ/a.j.e.			
2005				1.017 GJ/a.j.e.		877 GJ/a.j.e.
2010						1.081 GJ/a.j.e.

De cijfers voor de output per arbeidsjaareenheid komen voor Nederland, Zweden en Denemarken qua orde van grootte overeen. Voor China zijn ze veel lager vanwege de hoge arbeidsinzet. Voor Spanje ontbreken voldoende gegevens.

De cijfers voor de input in GJ per ha staan vermeld in tabel 69. Daarbij is uitgegaan van het directe landgebruik.

Tabel 69 Input per ha

jaar	Nederland	Zweden	China	Denemarken	Spanje	dit proefschrift
1950	38 GJ/ha					23 GJ/ha
1955	65 GJ/ha					33 GJ/ha
1956		13 GJ/ha				
1960	89 GJ/ha					45 GJ/ha
1965	123 GJ/ha				2 GJ/ha	65 GJ/ha
1970	174 GJ/ha					93 GJ/ha
1972		24 GJ/ha				
1978			26 GJ/ha			
1985			32 GJ/ha		19 GJ/ha	117 GJ/ha
1990			36 GJ/ha			131 GJ/ha
1993		21 GJ/ha				
1995			49 GJ/ha			141 GJ/ha
2000			56 GJ/ha			130 GJ/ha
2004			63 GJ/ha			
2005				45 GJ/ha		131 GJ/ha
2010					26 GJ/ha	145 GJ/ha

Uit deze tabel blijkt dat de input per ha in Nederland veel hoger is dan die in andere landen.

Hoewel uitgangspunten en berekeningswijzen voor de verschillende onderzoeken van elkaar verschillen, blijkt wel dat de Nederlandse landbouw intensief is en naar verhouding veel externe inputs gebruikt. In de hier vermelde onderzoeken is geen relatie gelegd tussen het energiegebruik en het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid. Verder is in de meeste internationale onderzoeken het energiegebruik van gebouwen buiten beschouwing gebleven.

Soms wordt dit vermeld, maar meestal niet. Als reden wordt o.a. opgegeven dat het moeilijk is vanwege de grote verscheidenheid aan gebouwen en onzekerheid omtrent de levensduur (Taylor, et al., 1993).

### ***De methode en de betekenis van de gevonden resultaten***

In dit proefschrift is niet de arbeidsproductiviteit gekozen als maat voor de prestaties van de landbouw, maar een combinatie van energiegebruik, landgebruik en arbeid, samengevat in het begrip duurzaamheid. Het voordeel hiervan is dat de inzet van energie en grondstoffen, arbeid en landgebruik kunnen worden bepaald onafhankelijk van de plaats waar de input wordt geproduceerd, getransporteerd of gebruikt. Het toepassen van deze methode kan leiden tot andere uitkomsten dan de uitkomsten die in de meeste registraties zijn opgenomen.

Dit betekent:

- een hoger energiegebruik, omdat het directe en indirecte energiegebruik bij elkaar worden opgeteld. Dit heeft tot gevolg dat ook de emissies van broeikasgassen hoger zijn;
- een lagere arbeidsproductiviteit, omdat ook de indirecte arbeid in beschouwing wordt genomen;
- lagere opbrengsten per ha, omdat het indirecte landgebruik wordt meegerekend bij de ingezette oppervlakte landbouwgrond.

### ***Resultaten energiegebruik***

Voor zover daar gegevens van zijn geregistreerd kan een vergelijking worden gemaakt met bestaande registraties. Enkele voorbeelden daarvan staan in tabel 70.

Tabel 70 Emissie in CO<sub>2</sub>-equivalenten en energiegebruik van de landbouw in 2015

	Wageningen Economic Research en CBS	dit proefschrift
emissie van de landbouw in totaal	27,6 mln. ton CO <sub>2</sub> -eq.	43,6 mln. ton CO <sub>2</sub> -eq
emissie landbouw exclusief niet-voedingsglastuinbouw	niet geregistreerd	39,1 mln. ton CO <sub>2</sub> -eq
directe energiegebruik landbouw totaal	145,8 PJ *	214 PJ **
directe energiegebruik exclusief niet-voedingsglastuinbouw	92,5 PJ *	135,6 PJ **
totale energiegebruik landbouw exclusief niet-voedingsglastuinbouw	niet geregistreerd	305 PJ
totale energiegebruik landbouw inclusief niet-voedingsglastuinbouw	niet geregistreerd	385 PJ

\* finale energiegebruik

\*\* primaire energiegebruik, inclusief winningkosten kolen en olie buitenland

De beoogde reductie van de uitstoot van broeikasgassen met 90% komt dan voor de landbouw inclusief de niet-voedingsglastuinbouw neer op een reductie met 39 miljoen ton CO<sub>2</sub>-eq. In het regeerakkoord staat een reductiedoelstelling van 3,5 miljoen ton voor de landbouw. De verschillen worden veroorzaakt omdat de emissies van het indirecte energiegebruik in de huidige CO<sub>2</sub>-emissieregistraties niet zijn meegeteld. Voor wat betreft de emissies van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O is in dit proefschrift alleen rekening gehouden met de emissies in Nederland. Eventuele emissies elders van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O ten behoeve van de Nederlandse landbouw zijn niet meegeteld. Ook de CO<sub>2</sub>-emissies ten gevolge van veenoxidatie zijn niet meegeteld.

### **Resultaten arbeidsproductiviteit**

De in dit proefschrift gehanteerde methode geeft ook andere resultaten ten aanzien van de arbeidsproductiviteit. Dit kan worden geïllustreerd door een vergelijking te maken tussen het aantal ha dat per persoon bewerkt kan worden op basis van zowel de directe arbeid (het aantal mensen werkzaam in de Nederlandse landbouw) als de totale arbeid (is inclusief de mensen werkzaam bij de toelevering). Hetzelfde is gedaan voor de opbrengsten in zowel tonnen als energetische waarden. De hectares zijn hier dan de oppervlakte cultuurgrond in Nederland (zie tabel 71).

Tabel 71 Oppervlakte (ha) en output in tonnen en GJ per arbeidsjaareenheid

	1950	1980	2010	2015
ha per aje direct	4,49 ha/aje	9,02 ha/aje	15,18 ha/aje	16,28 ha/aje
ha per aje totaal	4,43 ha/aje	4,46 ha/aje	6,37 ha/aje	6,24 ha/aje
ton output per aje dir.	30,89 ton/aje	147,10 ton/aje	308,67 ton/aje	347,50 ton/aje
ton output per aje tot.	26,29 ton/aje	72,72 ton/aje	129,49 ton/aje	133,21 ton/aje
output GJ per aje dir.	125 GJ/aje	511 GJ/aje	1.081 GJ/aje	1.193 GJ/aje
output GJ per aje tot.	106 GJ/aje	253 GJ/aje	453 GJ/aje	457 GJ/aje

Het aantal ha wat één persoon kan bewerken is gestegen van 4,49 ha in 1950 tot 16,28 ha in 2015 (gebaseerd op de directe arbeid). Dit betekent een stijging van de arbeidsproductiviteit met 263%. Uitgaande van de totale arbeid is het aantal ha wat één persoon kan bewerken gestegen van 4,43 ha in 1950 tot 6,24 ha in 2015. Een stijging met 41%.

Per ton output wordt in 2015 op basis van directe arbeid ruim 11 keer zoveel per arbeidsjaareenheid geproduceerd dan in 1950. Op basis van de totale arbeid is dit 5 keer zoveel. Voor de output uitgedrukt in GJ is het ruim 9 keer zoveel (directe arbeid) respectievelijk 4 keer zoveel (totale arbeid).

### **Resultaten landgebruik**

Evenzo kan een vergelijking worden gemaakt tussen de opbrengsten per ha, uitgaande van het directe landgebruik (het landbouwareaal in Nederland) en de opbrengsten per ha uitgaande van het totale landgebruik (het landbouwareaal in Nederland en het landgebruik ten behoeve van de input). De output is zowel in tonnen per ha als in GJ per ha weergegeven (zie tabel 72).

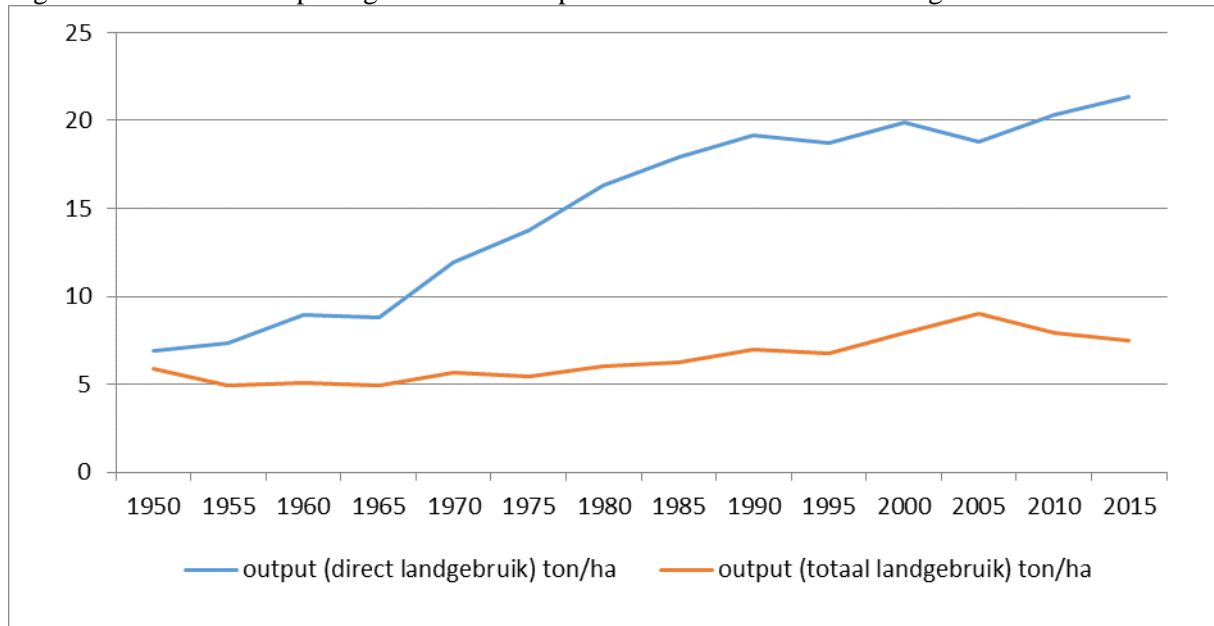
Tabel 72 Output per ha op basis van zowel direct landgebruik als totaal landgebruik

	1950	1980	2010	2015
ton per ha direct	6,88 ton/ha	16,30 ton/ha	20,34 ton/ha	21,34 ton/ha
ton per ha totaal	5,92 ton/ha	5,48 ton/ha	7,95 ton/ha	7,84 ton/ha
GJ per ha direct	27,79 GJ/ha	56,63 GJ/ha	71,21 GJ/ha	73,26 GJ/ha
GJ per ha totaal	23,92 GJ/ha	19,04 GJ/ha	27,86 GJ/ha	26,90 GJ/ha

Gebaseerd op het directe landgebruik zijn de opbrengsten in ton per ha in 2015 3,1 keer zo hoog als in 1950, een stijging met 210%. Op basis van het totale landgebruik zijn de opbrengsten per ha in 2015 1,5 keer zo hoog als in 1950, een stijging met 51%.

De ontwikkeling van de opbrengsten in ton per hectare is in figuur 15 afgebeeld op basis van zowel het directe als het totale landgebruik, voor de periode 1950 t/m 2015.

Figuur 15 Gemiddelde opbrengsten in ton/ha op basis van direct en totaal landgebruik



De energetische waarden van de opbrengsten stijgen op basis van het directe landgebruik van 27,79 GJ/ha in 1950 naar 73,26 GJ/ha in 2015, een opbrengstverhoging met 164%. Op basis van het totale landgebruik stijgen de opbrengsten van 23,92 GJ/ha in 1950 tot 26,90 GJ/ha in 2015, een opbrengstverhoging met 12%.

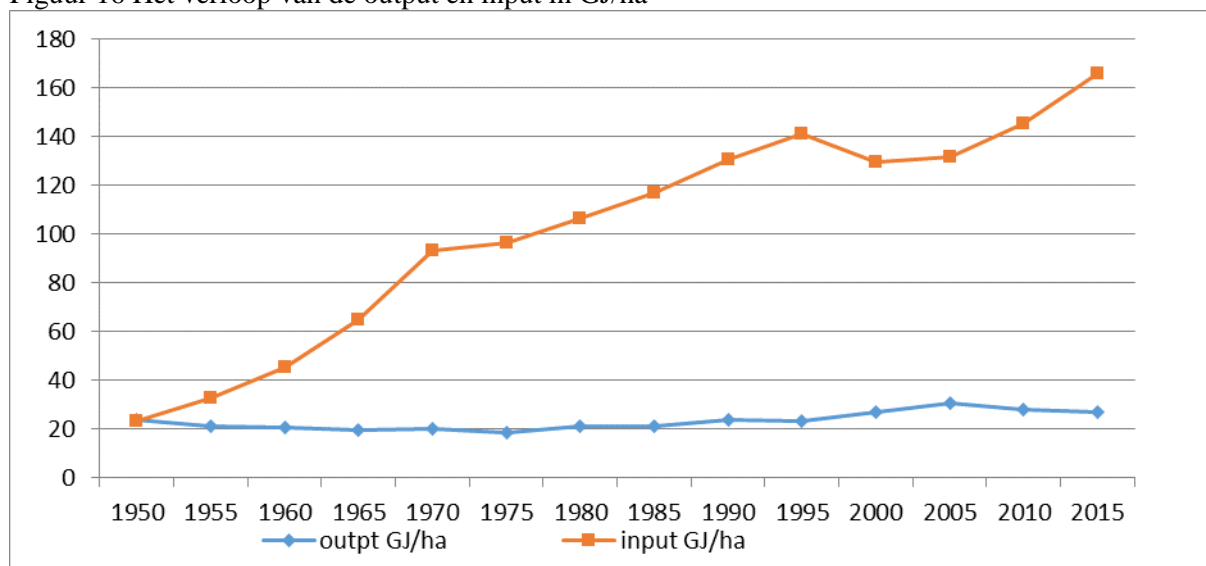
Deze opbrengstverhoging met 12% is verkregen door een stijging van de input van 21,80 GJ/ha in 1950 naar 165,64 GJ/ha in 2015, dat is een toename met 619%. De output/input-verhoudingen zijn op basis van de output per ha (gebaseerd op het totale landgebruik) en input per ha (de input wordt ingezet op het Nederlandse landbouwareaal) in tabel 73 weergegeven.

Tabel 73 Output en input in GJ/ha en output/input-verhoudingen

	1950	2015	stijging/daling
output	23,886 GJ/ha	26,821 GJ/ha	+12%
input	23,021 GJ/ha	165,636 GJ/ha	+619%
output/input	1,04	0,16	-85%

In figuur 16 is de ontwikkeling weergegeven van de output en input in GJ/ha

Figuur 16 Het verloop van de output en input in GJ/ha



Was een productieverhoging per hectare met 51% (in tonnen) respectievelijk 12% (in GJ) niet op een veel makkelijkere wijze te bereiken geweest? De hogere productie van gewassen en dieren is al genoemd. Aan de hand van enkele opbrengstcijfers is dit in tabel 74 geïllustreerd.

Tabel 74 Enkele opbrengstcijfers in 1950 en 2040

	opbrengst in 1950*	opbrengst in 2040**	stijging
tarwe	3,2 ton/ha	5 ton/ha	56%
consumptie aardappels	23,5 ton/ha	35 ton/ha	49%
groente	29,3 ton/ha	35 ton/ha	19%
fruit	10 ton/ha	35 ton/ha	250%
melk	3.800 kg/koe	6.200 kg/koe	63%
eieren	110 eieren/leggen	275 eieren/leggen	150%

\* (bron: CBS, 1994, opbrengsten per ha direct landgebruik)

\*\* voor 2040 is hier uitgegaan van de opbrengsten die in hoofdstuk 11.3 zijn gebruikt om de benodigde oppervlaktes landbouwgrond te berekenen en is niet uitgegaan van de (hogere) opbrengsten in de gangbare landbouw in 2015.

Voor de totale opbrengsten per ha gaat het om de gemiddelde opbrengsten per ha totaal landgebruik. In tabel 75 staan de opbrengststijgingen per ha totaal landgebruik in 2015 en 2040 ten opzichte van 1950.

Tabel 75 Opbrengststijgingen in 2015 en 2040 ten opzichte van 1950

	1950	2015	stijging t.o.v. 1950	2040	stijging/daling t.o.v. 1950
opbrengsten	5,91 ton/ha	7,83 ton/ha	+51%	5,04 ton/ha	-15%
opbrengsten	23,886 GJ/ha	26,821 GJ/ha	+12%	31,969 GJ/ha	+34%

Uit tabel 75 blijkt dat de opbrengst in GJ/ha in 2040 met 34% is gestegen ten opzichte van 1950, hoewel de opbrengsten in ton/ha iets zijn gedaald. Door een verandering in het voedingspakket (zie eerder) is de energetische waarde wel gestegen. De energie-inhoud van de output daalt van 4,039 GJ/ton in 1950 tot 3,432 GJ/ton in 2015 en stijgt daarna tot 6,339 GJ/ton in 2040.



De totale opbrengsten zijn in 2040 weliswaar lager dan in 2015, maar daar staat tegenover dat de opbrengst in energetische waarde per ha stijgt. Verder wordt in het scenario 2040 2.970.050 ha minder land gebruikt (op basis van het totale landgebruik).

Als men in de periode 1950 t/m 2015 had gestreefd naar minder inzet van energie en grondstoffen en betere arbeidsomstandigheden en minder had ingezet op arbeidsbesparende technologie, dan was de nu bereikte productiviteitsstijging ook mogelijk geweest. Ook de herstructurering van het landelijk gebied door middel van ruilverkavelingen en landinrichtingsprojecten had minder rigoureuus gekund en met meer oog voor de belangen van natuur en landschap. Bij een mechanisatie die meer is gericht op goede arbeidsomstandigheden en minder op arbeidsbesparing en meer op een stabiel landbouwsysteem, worden eisen aan de inrichting van het landelijk gebied gesteld die meer overeenkomen met de vroegere situatie. Het resultaat zou een meer toekomstbestendige landbouw zijn geweest dan we nu in 2015 hebben. Het is moeilijk te verklaren waarom middels het beleid/het landbouwbeleid niet meer in deze richting is bijgestuurd. Ook na de opschudding over het bestrijdingsmiddelengebruik na het uit komen van het boek “Silent Spring” van Rachel Carson in 1962, het rapport van de Club van Rome “Grenzen aan de groei” in 1972 en de energiecrises daarna in 1973 komt er geen verandering in het landbouwbeleid. De enige reactie is de impuls van buiten de landbouw voor de biologische landbouw, die aanvankelijk wordt tegengewerkt vanuit zowel het Ministerie van LNV als vanuit de gangbare landbouwsector. In het begin van de jaren zestig van de twintigste eeuw was een bijsturing van het landbouwbeleid nog relatief makkelijk geweest, omdat men toen nog aan het begin stond van de grote sprong achterwaarts. Ook alle incidenten daarna hebben geen beleidsverandering bewerkstelligd.

In het boek “De virtuele boer” valt te lezen dat het landbouwbeleid sterk was en is gericht op een verhoging van de arbeidsproductiviteit en op schaalvergroting en niet op andere mogelijkheden, zoals biologische landbouw, verbreding en parttime boeren, laat staan een lage input. Het in dit boek onderscheiden expertsysteem (gevormd door o.a. het Ministerie van LNV, de Landbouwuniversiteit Wageningen, DLO en andere onderzoeksinstituten en delen van het Ministerie van VROM, DLV en provinciale apparaten) heeft een bepaalde ontwikkeling tot norm verheven. Men staat niet meer open voor andere ontwikkelingen. Het beleid is (als institutie) een belang op zich geworden (van der Ploeg, 1999).

Dit verklaart wellicht waarom men via het landbouwbeleid niet in staat is geweest te komen tot een bijsturing en men al heel lang (inclusief de landbouworganisaties) en ook nu nog een beleid verdedigt dat niet in het belang is van de boeren en van de maatschappij. Uiteindelijk heeft dit beleid geleid tot hoge maatschappelijke kosten, een sterke afname van het aantal boeren en een verlies aan draagvlak voor de landbouw bij de rest van de samenleving.

Door de inzet van heel veel meer input heeft de landbouw uiteindelijk maar een relatief geringe stijging van de opbrengsten weten te bereiken.

Deze geringe stijging van de opbrengsten is gepaard gegaan met:

- een extra input van 251 PJ aan directe en indirecte energie;
- een extra landgebruik van 2.301.652 ha;
- ruilverkavelingen en landinrichtingsprojecten in Nederland over een oppervlakte van ruim 1.300.000 ha;
- een verlies van 407.232 arbeidsjaareenheden (directe arbeid vanuit de landbouw), respectievelijk 304.839 arbeidsjaareenheden (op basis van de totale arbeid);



*Schaalvergroting van een melkveehouderij bij Ternaard (Friesland)*



- een reële achteruitgang van de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten, die in 2015 met 21 % is gedaald ten opzichte van die in 1950;
- een reële achteruitgang van de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten per ha (op basis van het totale landgebruik) van € 359/ha in 1950 tot € 154/ha in 2015; een daling met 57%;
- hoge maatschappelijke kosten; alleen al het direct in geld uit te drukken gedeelte op basis van emissies in CO<sub>2</sub>-equivalenten ligt tussen de 4,5 miljard euro (op basis van FAO-prijs voor CO<sub>2</sub>) en 11,7 miljard euro (op basis van hoogste CO<sub>2</sub>-prijs in 2015 van de tweegraden doelstelling akkoord van Parijs); voor de totale maatschappelijke kosten is hier uitgegaan van een bandbreedte van 5 tot 20 miljard euro per jaar.

Wat is macro-economisch gezien het nut geweest van het landbouwbeleid in de periode 1950 t/m 2015? Het resultaat is dat veel boeren hun bedrijf hebben verloren en er vele miljarden aan overheidssteun is (en nog steeds wordt) gegeven, de volksgezondheid wordt bedreigd en een achteruitgang van natuur, landschap, milieu en biodiversiteit is veroorzaakt. Je zou denken dat voedselschandalen, fraudes met vlees, vee en mest tot een snelle koerswijziging zouden leiden, maar dat is tot nu toe nog niet het geval. Het probleem wat dan voorligt, is of de landbouw in z'n huidige vorm, zowel maatschappelijk als economisch gezien, nog wel iets oplevert.

### ***Vernieuwing en innovatief vermogen***

Net zo als in de jaren 1920 en 1970/1980 is het nodig om mensen van buiten de landbouw in te laten stromen om de benodigde vernieuwingen te kunnen doorvoeren. In de jaren twintig van de twintigste eeuw werd vanuit de antroposofie de biologisch dynamische landbouw in Nederland geïntroduceerd. De biologische landbouw kreeg daarna een extra impuls in de jaren 1970-1980, mede geïnspireerd vanuit de kabouterbeweging en De Kleine Aarde. Vanuit de gangbare landbouw werd de biologische landbouw eerst tegengewerkt. Het duurde tot 1996 voordat LTO en NAK de biologische landbouw als een volwaardige bedrijfstak wilden zien (Hollander, 2012). Nu is een omschakeling nodig naar een duurzame landbouw. Omdat daarvoor veel extra arbeid nodig is kunnen veel buitenstaanders in de landbouw instromen en zorgen voor de nodige vernieuwing. Dat is nodig want een groot deel van de huidige landbouw is teveel vastgeroest in het oude systeem en de landbouwvoormensen zijn waarschijnlijk niet in staat de draai te maken en zullen (zoals ze altijd doen bij nieuwe ontwikkelingen) op de rem gaan staan.

### ***Maatschappij en landbouw***

Omdat natuurlijke hulpbronnen eerst als oneindig werden beschouwd is er geen rekening gehouden met een duurzame ontwikkeling. Het niveau van het energie- en grondstoffengebruik hangt uiteindelijk af van de mogelijkheden om aan de vraag te kunnen voldoen met hernieuwbare bronnen. Er moet een vorm van kringloopeconomie worden gevonden die op de lange termijn houdbaar is. Als dat niet gebeurt, zal de natuur terug slaan en de kringloop herstellen op een wijze die voor de mensheid fataal is. Het blijkt dat deeloplossingen steeds weer nieuwe problemen veroorzaken. Er moet vanuit totaaloplossingen worden gedacht en gehandeld. Uit een enquête van het Milieu- en Natuurplanbureau blijkt dat 70% van de burgers de duurzaamheidsvraag als een sociaal dilemma ziet. Men is alleen bereid het gedrag aan te passen als anderen dat ook doen. Het is de taak van de overheid om het doorbreken van dit sociaal dilemma te regelen (RIVM, Milieu- en Natuurplanbureau, 2004).

Het inzetten van meer arbeid in de landbouw (en andere productiesectoren) kan ook gezondheidbevorderend werken. In de jaren 30 van de twintigste eeuw werkte ongeveer 80% van de beroepsbevolking in een productiebedrijf en 20% in de dienstensector. Dat is nu andersom. De zorgkosten in 2015 zijn 95 miljard euro (€ 5.628 per inwoner); deze kosten waren in 1975 nog ruim 10 miljard euro en zijn sindsdien voortdurend gestegen (CBS, 2017). Een in procenten geringe besparing door een gezondere leefwijze betekent al een hoog bedrag aan besparingen.

De (relatief) hoge productie van de landbouw in Nederland is alleen mogelijk geweest door een hoge input van energie en grondstoffen, een massale invoer van veevoer en het indirecte landgebruik in zowel Nederland als elders. Een voortdurende groei is echter niet mogelijk en veroorzaakt teveel problemen. De arbeidsbesparende technologie heeft wel de arbeidsproductiviteit verhoogd, maar daardoor is het ecosysteem aangetast, wat veel problemen heeft veroorzaakt: minder biodiversiteit en het gebruiken van meer kunstmest, bestrijdingsmiddelen en energie. De innovaties in de landbouw zijn teveel gericht geweest op het verhogen van de productie. De echte innovaties zijn bewerkstelligd door buitenstaanders en/of onder maatschappelijke druk tot stand gekomen. De landbouwproductie moet weer worden afgestemd op het ecosysteem ter plaatse. Een nieuwe duurzame landbouw kan nu ontstaan door de randvoorwaarden die worden gesteld vanuit het klimaatprobleem en de daarvoor benodigde instroom van arbeid.

## **16 Conclusies en aanbevelingen**

### **16.1 Conclusies**

De onderzoeksvragen heb ik kunnen beantwoorden, met daarbij de volgende kanttekeningen: zowel het directe als het indirecte energiegebruik zijn in de periode 1950 t/m 2015 gestegen, waarbij de input sneller is gestegen dan de output, wat zorgt voor ongunstiger output/input-verhoudingen. Voor het landgebruik en de arbeid is een verschuiving geconstateerd van direct naar indirect, waarbij in 1950 de directe component het grootste was en in 2015 de indirecte component. Het totale landgebruik is gestegen en de totale hoeveelheid arbeid is gedaald. Dit laatste komt door de vervanging van arbeid door kapitaal, die zowel in de landbouw zelf als in de toeleverende organisaties heeft plaats gevonden.

De duurzaamheid van de landbouw (zoals in dit proefschrift gedefinieerd) is steeds minder geworden. Dit komt omdat men steeds meer energie en grondstoffen en land is gaan gebruiken. Dit is sneller gegaan dan de toename van de productie. Dit heeft in toenemende mate negatieve effecten op de omgeving veroorzaakt.

Door bij productieprocessen de hele keten (van grondstof tot eindproduct) in beschouwing te nemen en altijd te kijken naar de combinatie van directe en indirecte energie, direct en indirect landgebruik, directe en indirecte arbeid en maatschappelijke kosten worden de effecten in kaart gebracht ongeacht de plaats waar ze worden veroorzaakt. Deze benadering is hier voor de landbouw uitgewerkt, maar kan op alle sectoren worden toegepast.

De randvoorwaarden waar de landbouw aan moet gaan voldoen betekenen een drastische reductie van het gebruik van energie en grondstoffen. Dit kan alleen worden gerealiseerd als kapitaal wordt vervangen door arbeid. Het minimaliseren van het energie- en grondstoffengebruik betekent ook dat het transport zo gering mogelijk moet worden. Dat heeft tot gevolg dat de landbouw zich moet richten op het voeden van de eigen bevolking en dat grootschalige uitvoer en invoer niet meer mogelijk zijn. Bij een combinatie van een lage-input-landbouw (die weinig milieubelasting veroorzaakt) en een bevolkingsomvang van 17 miljoen inwoners is het niet mogelijk om een voedselpakket aan te bieden overeenkomstig de richtlijnen van de Gezondheidsraad. Dit heeft tot gevolg dat de dierlijke productie in Nederland fors moet worden ingekrompen.

Er is een duidelijke tendens gevonden van een input (gebaseerd op energie- en grondstoffengebruik) die sneller is toegenomen dan de output. De output is qua orde van grootte redelijk goed in beeld gebracht. Voor de input is dat in mindere mate het geval. De input komt van over de hele wereld en het is niet mogelijk gebleken daar volledig in te zijn. Gevonden is wel dat er steeds meer input nodig is voor het produceren van een bepaalde hoeveelheid output. In werkelijkheid zullen de output/input-verhoudingen ongunstiger zijn dan in dit proefschrift is weergegeven.

De productiviteit van de landbouw gebaseerd op output/input-verhoudingen is in de periode 1950 t/m 2015 gedaald terwijl de productiviteit op basis van het begrip arbeidsproductiviteit is gestegen.

Dit onderzoek heeft mij gesterkt in mijn mening dat de landbouw rigoureuus moet veranderen.



Voor mij is wel de vraag of de huidige landbouwwereld in Nederland daar al aan toe is. Er zullen ongetwijfeld reacties zijn in de trant van “hij wil terug naar vroeger” en “dat kan niet, je kunt de vooruitgang niet tegen houden”, “schaalvergroting is nu eenmaal nodig”, etc. etc.

Maar:

- de voorraden van energie en grondstoffen nemen af;
- vanwege dalende EROEI-waarden en het klimaatprobleem moet een deel van de fossiele brandstoffen in de grond blijven zitten en kost het winnen van energie steeds meer energie en grondstoffen. Dit betekent dat de reserves op papier eigenlijk niet bestaan, want deze kunnen niet meer volledig worden gewonnen;
- vanwege de dalende eerstgehaltes kost het winnen van grondstoffen ook steeds meer energie en grondstoffen;
- de combinatie van dalende EROEI's en dalende ertsgehaltenes cumuleren in een versneld proces richting schaarste: de ontwikkelingen bij de winning van energie en grondstoffen versterken elkaar;
- hernieuwbare energie is maar voor een klein deel een optie, want er is te weinig materiaal om het op een zo grote schaal toe te kunnen passen dat aan de huidige vraag naar energie kan worden voldaan;
- biomassa kan niet of maar beperkt dienen als energiebron. Biomassa is nodig voor de voedselproductie en het op peil houden van de bodemvruchtbaarheid;
- omdat de landbouw een onmisbare bedrijfstak is, moet deze snel en als eerste worden omgevormd.

Als de prijsverhoudingen tussen de productiefactoren éénmaal zodanig zijn dat je op basis van geld zou gaan kiezen voor een veel lager energie- en grondstoffengebruik, is het te laat en kan de infrastructuur niet meer op tijd worden aangepast. Daarom moet nu al worden geanticipeerd op een toekomstige situatie van schaarste en moet de omschakeling naar een duurzame landbouw direct beginnen.

## 16.2 Aanbevelingen

### *Het onderzoek*

Traditioneel is het onderzoek teveel gericht op technieken die leiden tot meer energie- en grondstoffengebruik. De veronderstellingen dat het doel van de landbouw alleen maar is het produceren van voedsel, dat de opbrengsten gebaseerd op het directe landgebruik zo hoog mogelijk moeten zijn, dat fossiele energie de landbouw kan blijven voorzien en dat landbouw alleen “efficiënt” kan worden bedreven op een industriële wijze, zijn achterhaald. In het onderzoek zou meer aandacht moeten worden besteed aan de uitputting van fossiele energie en van niet-hernieuwbare grondstoffen, het ecologisch beheer, alternatieven voor chemische bestrijding, mechanisatie, automatisering en genetische manipulatie. Er is weinig onderzoek gedaan naar technieken die praktisch toepasbaar zijn binnen de randvoorwaarden van een zo laag mogelijke input van energie en grondstoffen.

Een andere reden voor een gebrek aan onderzoek naar een meer toekomstbestendige landbouw is de fragmentatie van het onderzoek in allerlei specialismen. Te weinig is er een integratie van al deze disciplines richting een duurzame landbouw. Voor een deel kunnen we terug naar vroegere technieken (die nu nog vaak inefficiënt worden genoemd), maar er moeten ook nieuwe technieken worden ontwikkeld.

### ***De gegevens/data***

De omschakeling naar een duurzame landbouw moet gepaard gaan met het verzamelen van de goede gegevens, zodat de input en de maatschappelijke kosten regulier zichtbaar kunnen worden gemaakt.

Om duurzaamheid op een goede wijze te kunnen meten:

- moet naast de huidige statistiek een registratiesysteem worden opgezet van het directe en indirecte energiegebruik, het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid;
- moeten de maatschappelijke kosten standaard in beeld worden gebracht;
- moet het boek Land- en tuinbouwcijfers weer op papier elk jaar worden uitgebracht, maar dan op nieuwe leest geschoeid;

Het meten van de prestaties van de landbouw op basis van het begrip duurzaamheid (zoals in dit proefschrift gedefinieerd) in plaats van op basis van het begrip arbeidsproductiviteit kan meehelpen om tot een meer duurzame landbouw te komen. In dit proefschrift is dit voor een deel concreet ingevuld, maar een verdere vervolmaking is nodig door het ontwikkelen van de benodigde kengetallen en registratiesystemen. Met de hier voorgestelde methodiek is voor de landbouw een eerste invulling gegeven. Dit kan ook worden toegepast op andere sectoren.

Nu gaan door de digitalisering veel gegevens verloren. Tijdens mijn onderzoek konden soms nog schriftelijke bronnen worden geraadpleegd omdat medewerkers (tegen de opdrachten van het management in) papieren documenten hadden bewaard. De digitalisering is een ernstige bedreiging voor onderzoekers die historische data willen raadplegen. Dit probleem zal in de tijd gezien alleen maar toenemen, als men niet op zijn schreden terugkeert en ook weer data op papier gaat bewaren. Papier is een informatiedrager waarvan is bewezen dat het honderden jaren stand kan houden. Dat kan van de huidige gedigitaliseerde informatie niet worden gezegd.

### ***Tot slot***

De Nederlandse regering heeft het akkoord van Parijs ondertekend, maar het blijkt moeilijk te zijn dit ook te vertalen in concrete maatregelen. Nog steeds is de overheid bezig met het doen van investeringen die het klimaatprobleem vergroten (bijvoorbeeld wegeaanleg en uitbreiding van vliegvelden) en het kunnen bereiken van de klimaatdoelstellingen moeilijker maken. Hier is nog geen sprake van de omschakeling naar een lage-input-maatschappij.

Door het concreet maken van de randvoorwaarden die vanuit het klimaatprobleem aan de landbouw (en aan de hele maatschappij) worden gesteld is in dit proefschrift zichtbaar gemaakt hoe de landbouw zich heeft ontwikkeld in de periode 1950 – 2015 en hoe een duurzame landbouw met een lage input van energie en grondstoffen en een herstel van de kringloop van organische en anorganische stoffen er in 2040 uit zou kunnen zien. Hiermee is een bijdrage geleverd aan de gedachtenvorming over de zo noodzakelijke omschakeling van onze landbouw. Dit laat onverlet dat het nu beginnen aan een drastische omschakeling van de landbouw zeer noodzakelijk is.

## Literatuurreferenties

- Amate, J.I., Aguilera, E., Molina de, M.G. (2014). *La gran transformación del sector agroalimentario español. Un análisis desde la perspectiva energética (1960-2010)*. Sociedad Española de Historia Agraria-Documentos de Trabajo. DT-SEHA n. 1403.
- Bakker, Th. M. (1985). *Eten van eigen bodem*. PhD thesis Landbouwhogeschool Wageningen en LEI Den Haag.
- Bardi, U. (2010). Extracting Minerals from Seawater: An Energy Analysis. *Sustainability*. 2010.2: p. 980-992.
- Barker, D. (2007). *The Rise and Predictable Fall of Globalized Industrial Agriculture*, International Forum on Globalization, San Francisco
- Berenschot (1989). *Op zoek naar een duurzame landbouw, Een schets van de kosten en baten van de omschakeling van Nederland op Biologisch-Dynamische landbouw*. Rapportnummer 5938-okt. 1989. Organisatieadviesbureau Berenschot, Utrecht
- Bos, J.F.F.P. (2006). *Mengvoedergrondstoffen met binnen- of buitenlandse oorsprong: effect op energieverbruik van mengvoerproductie*. Wageningen Plant Research International BV, Wageningen
- Boulding, K.E. (1966). The Economics of the Coming Spaceship Earth. *Resources for the Future Forum on Environmental Quality*. John Hopkins University Press
- Brand, R., Melman, A. (1993). *Energie-inhoudsnormen voor de veehouderij*. TNO MEP, Apeldoorn
- Braungart, M., McDonough, W. (2002). *Cradle tot Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press, New York, Verenigde Staten
- Cao, S., Xie, G., Zhen, L. (2010). Total embodied energy requirements and its decomposition in China's agricultural sector. *Ecological Economics* 69: 1396-1404.
- CBS (1959). *Nationale Rekeningen 1958*, Den Haag
- CBS (1970). *Nationale Rekeningen 1965, deel 1, tekst en staten*, Den Haag
- CBS (1994). *Vijfennegentig jaren statistieken in tijdreeksen, 1899-1994*
- CBS (2010). *111 jaar statistiek in tijdreeksen, 1899-2010*. Den Haag
- CBS (2016). *Energiebalans 21-12-2016*. Den Haag
- CBS (2017). *Zorguitgaven, kerncijfers december 2017*. Den Haag
- CE Delft, (2005). *De onbetaalde rekening van de Nederlandse veeteelt. Een verkenning naar de maatschappelijke kosten van de veeteeltsector*. Publicatienummer: 05.3862.02, Delft
- CE Delft, (2007). *Energieverbruik in de veevoederketen*. Publicatienummer 07.61.36.01., Delft
- Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving (2016).
- Chardon, W.J., Oenema, O. (2013). *Verkenning mogelijke schaarste aan micronutriënten in het voedselsysteem*. Wageningen Universiteit, Wageningen
- Cleveland, C.J., Costanza, R., Hall, C.A.S., Kaufmann, R. (1984). Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective. *Science*, 255, 890-897
- Commissie Onderzoek Biologische Landbouwmethoden (1977). *Alternatieve landbouwmethoden*. Centrum voor landbouwpublicaties en landbouwdocumentatie, Wageningen
- Compendium voor de Leefomgeving (2012). *Verkoop, gebruik en afgedankte elektronische en elektrische apparatuur, 1995 – 2010*
- Conforti, P., Giampietro, M. (1997). Fossil energy use in agriculture: an international comparison. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 65, 231-243



- Diederer, A.M. (2009). *Metal minerals scarcity: A call for managed austerity and the elements of hope*. TNO Rijswijk
- Directie van de Wieringermeer (Noordoostpolderwerken) (1955). *Wording en opbouw van de Wieringermeer*, Zwolle. H. Veenman & zonen, Wageningen
- Douglas, I., Lawson, N. (2000). Material flows due to mining and urbanization. *A Handbook of Industrial Ecology*, ed. U Ayers, LW Ayers, pp. 351-64. Cheltenham, UK/Nothampton, MA: Elgar.
- Edwards, G.W. (1976). Energy budgetting: Joules or dollars? *Australian Journal of Agricultural Economics*, Vol. 20, No. 3, pp. 179-191
- EIA (2017). *Key world energy statistics 2017*. Energy Information Administration, Washington, Verenigde Staten
- Faist Emmenegger, M., Frischknecht, R., Stutz, M., Guggisberg, M., Witschi, R., Otto, T. (2006). Life Cycle Assessment of the Mobile Communication System UMTS: Towards Eco-efficient Systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Volume 11, Issue 4, pp 265-276
- FAO (2014). *Food wastage footprint: full cost accounting*. Rome
- FAO (2015). *Natural Capital Impacts in Agriculture*. Rome
- FAO, 2017. *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Rome
- Fluck, R.C. (1992). *Energy in Farm Production*. Energy in World Agriculture Volume 6, Elsevier Amsterdam-London-New York-Tokyo
- Galbraith, J.K. (1958). *The Affluent Society*, Houghton Mifflin Company, Boston-New York
- Georgescu-Roegen, N. (1975). Energy and Economic Myths. *Southern Economic Journal*, No. 3, January, 41
- Geurts, A.J. (2003). *Boerderijen in de Noordoostpolder, Bouwhistorie en vormgeving 1942-1962*. Stichting uitgeverij de twaalfde provincie.
- Gever, J., Kaufmann, R., Skole, D., Vörösmarty, C. (1991). *Beyond Oil: The Threat to Food and Fuel in the Coming Decades*, third edition University Press of Colorado, Niwot, CO
- Gezondheidsraad (2015). *Richtlijnen goede voeding 2015*. Nr. 2015/24, Den Haag
- Giampietro, M. (2006). Comments on “The Energetic Metabolism of the European Union and the United States” by Haberl and Colleagues. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 10, Number 4
- Gouwe, W.F.K. (1948). *Bodemgezondheid*, Nederlandse Vereniging voor Natuurgeneeswijze, Soest
- Hall, C., Balogh, S., Murphy, D. (2009). What is the minimum EROI that a sustainable society must have? *Energies* 2, 25-47
- Hall, C.A.S. (2008). Provisional Results from EROI Assessments. *The Oil Drum*, [www.theoil Drum.com/node/3810](http://www.theoil Drum.com/node/3810)
- Hall, C.A.S., Cleveland, C.J., Kaufmann, R. (1986). *Energy and Resource Quality*. Wiley, New York
- Hall, C.A.S., Lambert, J.G., Balogh, S.B. (2014). EROI of different fuels and the implications for society. *Energy Policy*, 64: 141-152
- Hartog, C. den (1972). *Nieuwe Voedingsleer*. Het Spectrum N.V., Utercht/Antwerpen
- Heinberg, R.W. (2005). *The Party's over: Oil, War and the Fate of Industrial Societies*. New Society Publishers, Canada
- Heinberg, R.W., (2009). Searching for a Miracle: “Net Energy” Limits & the Fate of Industrial Society. *A joint Project of the International Forum on Globalization and the Post Carbon Institute*

- Hentschel, T., Hruschka, F., Priester, M. (2002). Global Report on Artisanal & Small-Scale Mining. *International Institute for Environment and Development, World Business Council for Sustainable Development*
- Hollander, D. (2012). *Tegen beter weten in, de geschiedenis van de biologische landbouw en voeding in Nederland*. Wilco Amersfoort.
- Howard, A. (1943). *An Agricultural Testament*, Oxford University Press, New York and London
- Hruschka, F., Echavarria, C. (2011). *Rock-Solid Chances for Responsible Artisanal Mining*, ARM Series on Responsible ARM No.3  
<http://europe.theoildrum.com/node/4428>
- Hueting, R. (1974). *Nieuwe schaarste en economische groei*, Agon Elsevier, Amsterdam/Brussel
- Huisman, J., M. van der Maesen, R.J.J. Eijsbouts, F. Wang, C.P. Baldé, C.A. Wielenga (2012). *The Dutch WEE Flows*. United Nations University, ISP-SYCLE, Bonn, Germany
- Interdepartementaal Onderzoeksprogramma Duurzame Technologische Ontwikkeling (1997). *DTP sleutel Voeden, spectrum van een duurzame voedselvoorziening*, ten Hagen & Stam, Den Haag
- Keynes, J.M. (1931). *Essays in Persuasion*, Macmillan and Co., Limited, London
- Knol, A. (2012). *De zoektocht naar kringlooptlandbouw*, Mulder Agro BV, Kollumerzwaag
- Lambert, J., Hall, C., Balogh, S., Gupta, A., Arnold, M. (2013). Energy, EROI and Quality of Life. *Energy Policy*. (in press)
- Lange, J.M. (1974) : *de energiehuishouding in de Nederlandse landbouw*. IMAG-publicatie 12, Wageningen.
- Leach, G. (1975). *Energy and Food production*. International Institute for Environment and Development, 1525 New Hampshire Ave., Washington, DC, 151 pp.
- Leach, G., Jarass, L., Obermair, G., Hoffmann, L. (1986). *Energy and Growth: A comparison of 13 industrial and developing countries*. Butterworth, London
- Leeftang, S. (2009). *Vierduizend jaar kringlooptlandbouw* Stichting De Twaalf Ambachten, Boxtel
- LEI (2008). *Waardering van de duurzaamheidsprestaties van de biologische landbouw*. Rapport 2008-017, Den Haag
- LEI Wageningen UR (2013). *Voedselvoorziening in Nederland onder buitengewone crisesomstandigheden*. LEI-rapport 2013-012, Den Haag
- LEI Wageningen UR, (2014). *Sojaverbruik in de Nederlandse diervoederindustrie 2011-2013*. Nota LEI 14-098, Den Haag
- LEI, *Landbouwcijfers 1954*. (1955). Den Haag
- Leontief, W. (1966). *Input-Output Economics*. New York: Oxford University Press.
- Louis Bolk Instituut (2017). *Verkenning naar een grondgebonden melkveehouderij*. Publicatienummer 2017-017LbD, Driebergen
- Markussen, M.V., Ostergard, H. (2013). Energy Analysis of the Danish Food Production System: Food-EROI and Fossil Fuel Dependency. *Energies* 6, 4170-4186.
- Marshall, A. (1890). *Principles of Economics*. Macmillan and Co, London, New York
- Martinez-Alier, J. (1987). *Ecological Economics*. Oxford University Press, Oxford
- McNeill, J.R. (2000). *Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth-Century World*. New York: Norton.

- Mearns, E. (2008). Should EROEI be the most important criterion our society uses to decide how it meets its energy needs? *The Oil Drum*, <http://europe.theoil Drum.com/node/4428>
- Merrill, R. (1976). *Radical Agriculture*. Harpers & Row, Publishers, New York, Hagerstown, San Francisco, London
- Mill, J.S. (1862). *Of the Stationary State*. Macmillan Publishers Limited
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (2002). *Landenrapport Nederland over Dierlijke Genetische Bronnen. Een strategisch beleidsdocument*. Drukkerij Romer bv., Schiedam
- Mishan, E.J., (1967) *The Costs of Economic Growth*. London Staples Press, London
- Murphy, D.J. en Hall, C. (2010). Year in Review- EROI or energy return on (energy) invested. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1185, 102-118
- Murray, D., (2005). *Oil and food: A rising security challenge*. Earth Policy Institute, New York
- Neuteboom, J.D., (1957). *De rentabiliteit van de trekker op het veenkoloniale bedrijf*, Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie, Publicatie no 41, Wageningen
- Odum, H.T. (1967). *Energetics of world food production*. In: The President's Science Advisory Committee. Report of Problems of World Food Supply, Vol. 3. White House, Washington, D.C., pp. 55-94
- Patterson, M.G., (1996). What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*. Vol.24, No 5, pp. 377-390
- Pigou, M.A. (1932). *The Economics of Welfare*, Macmillan and Co., Limited, London
- Pimentel, D. (1980). *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca, New York.
- Pimentel, D., Dazhong, W., Giampietro, M. (1990). Technological changes in energy use in US agricultural production. In: *Gliessman, S.R. (Ed), Agroecology*. Springer, New York, pp. 305-321
- Pimentel, D., Hall, C.W. (1984). *Food and Energy Resources*. Academic Press
- Pimentel, D., Hurd, L.E., Belotti, A.C., Forster, D.J., Oka, I.N., Sholes, O.D., Whitman, R.G. (1973). Food Production and the energy crises. *Science* 182, 443-449
- Pimentel, D., Pimentel, M. (2008). *Food, Energy and Society*, Third Ed. CRC Press
- Planbureau voor de leefomgeving (2012). *De Nederlandse voetafdruk op de wereld: hoe groot en hoe diep?* PBL-publicatienummer: 500411002, Den Haag
- Ploeg, J.D. van der (2001). *De virtuele boer*. Koninklijke van Gorcum Assen
- Reijnders, L. (1997). *Het boerenbedrijf in de Lage Landen*. Van Gennep Amsterdam
- Rietveld, M.R. (2011). *Houden van de Aarde, Respectvol omgaan met landbouw, voeding en milieu*. Christofoor Zeist
- Rijksbreed programma Circulaire Economie (2016). *Nederland circulair in 2050*, De staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, De minister van Economische Zaken, Kamerstukken II, 34 300 XII, nr.27.
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en milieu (2016). *Nederlands Voedingsstoffenbestand*. Bilthoven
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Milieu- en Natuurplanbureau (2004) *Kwaliteit en toekomst, verkenning van duurzaamheid*. Bilthoven
- RIVM, Milieu- en Natuurplanbureau (2004). *Kwaliteit en toekomst: Verkenning van duurzaamheid*. RIVM Bilthoven
- Roep, D. (2000). *Vernieuwend werken: sporen van vermogen en onvermogen*. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen
- Skidelsky, R., Skidelsky, E.(2012). *How Much Is Enough?* Other Press, New York

- Smil, V. (1987). *Energy-Food-Environment. Realities-Myths-Options*. Clarendon Press, Oxford
- Smil, V., (2005). *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London
- Soil Atlas (2015). *Facts and figures about earth, land and fields*. Heinrich Böll Foundation, Berlin and the Institute for Advanced Sustainability Studies, Potsdam
- Stanhill, G. (1984). *Energy and Agriculture*. Springer, Berlin
- Steiner, R. (1924). Stichting Rudolf Steiner Vertalingen (1992). *Vruchtbare landbouw op biologisch-dynamische grondslag*, Uitgeverij Vrij Geestesleven, Zeist
- Stern, N. (2006). *Stern Review on the Economics of Climate Change*, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics
- Stout, B.A. (Editor-in-chief) (1992). *Energy in World Agriculture* (6 volumes). In: Singh, R.P. (Ed), Energy in Food Processing, Vol.1. In: Hessel, Z.R. (Ed), Energy in Plant Nutrition and Pest Control, Vol.2. In: McFate, K.L. (Ed), Electrical Energy in Agriculture, Vol. 3. In: Parker, B.F. (Ed), Solar Energy in Agriculture, Vol. 4. In: Peart, R.M., Brooks, R.C. (Eds), Analysis of Agricultural Systems, Vol. 5. In: Fluck, R.C. (Ed), Energy in Farm Production, Vol. 6. Elsevier, Amsterdam
- Stuvell, H.J. (1967), *Bouwen op nieuwe bodem*, van Gorcum & Comp. N.V – DR.H.J. Prakke & H.M.G. Prakke, Assen
- Taylor, A.E.B., O’Callaghan, P.W., Probert, S.D. (1993). Energy Audit of an English Farm, *Applied Energy* 44: 315-335.
- Teehan, P., Kandlikar, M. (2013). Comparing Embodied Greenhouse Gas Emissions of Modern Computing and Electronic Products. *Environmental Science & Technology* 47, 3997-4003.
- Terpstra, P. (1982), *50 jaar Wieringermeer*. M.A. van Seijnen, Leeuwarden
- The Ex-tax Project (2014). *New era. New plan. Fiscal reforms for an inclusive, circular economy. Case study the Netherlands* In corporation with Deloitte, EY, KPMG, Meijburg and PwC Third edition
- The World Bank (2016). *World Development Indicators, Energy use per capita in 2014*. The World Bank, Washington
- Thomas, D.E. (2003). A study of the mineral depletion of foods available to us as a nation over the period 1940 to 1991, *Nutrition and Health*, 17, 85-115
- Thomas, D.E. (2007). *The Mineral Depletion of Foods Available to US as A Nation (1940-2002)*. A Review of the 6<sup>th</sup> Edition of McCance and Widdowson,
- TNO (2015). *Materialen in de Nederlandse economie - Een kwetsbaarheidsanalyse*. TNO-rapport/TNO 2015R11613, Delft
- Treolar, G.J. (1997). Extracting Embodied Energy Paths from Input-Output Tables: Towards an Input-Output-based Hybrid Energy Analysis Method, *Economic Systems Research*, Vol 9 No 4, 375-391
- Uhlin, H.E. (1999). Energy productivity of technological agriculture-lessons from the transition of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73: 63-81.
- Unie van Waterschappen (2016). *Bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer 2015*. Den Haag
- United Nations Environment Programme, International Resource Panel (2013). *Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles*

- Vollaers, J.A. (1970) *Motorisatie en Mechanisatie in de Nederlandse landbouw, een beschouwing over de na-oorlogse periode, Deel 2 motorisatie*. Rapport 169 Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie, Wageningen
- Vollaers, J.A. (1971) *Motorisatie en Mechanisatie in de Nederlandse landbouw, Deel 3 mechanisatie*. Rapport 181 Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie, Wageningen
- Vries, E. de (1948). *De aarde betaalt: de rijkdommen der aarde en hun betekenis voor de wereldhuishouding en politiek*. Albani, Den Haag
- Wageningen Economic Research (2017). *Emissie van broeikasgassen (mln ton CO<sub>2</sub>-equivalenten voor land- en tuinbouw, 1990-2015*. Bron: emissieregistratie.nl; bewerking door Wageningen Economic Research, Agrimatie juli 2017, Den Haag
- Wageningen UR (2008). *Kostprijs biologische vleeskuikens*. Animal Science Group, Wageningen
- Wageningen UR (2010). *Quickscan opbrengsten en efficiëntie in de gangbare en biologische akkerbouw, melkveehouderij, varkenshouderij en pluimveehouderij deelstudie van project "Duurzame eiwitvoorziening) benodigde krachtvoer leghennen voor eieren*. Wageningen
- Wageningen UR Animal Sciences Group (2007). *Opties voor duurzame energieproductie in de biologische landbouw*. Rapport 54, Wageningen
- Wageningen UR Livestock Research (2011). *Van kuiken tot kip*. Wageningen
- Weerd, M. de, Oldenbroek, J.K. (2010). *Het paard in Nederland*. Centrum voor Genetische Bronnen (CGN), Wageningen. Wageningen Universiteit en Research Centrum. CNG Rapport 17, Wageningen
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (2014). *Naar een voedselbeleid*, University Press, Den Haag/Amsterdam
- Wirsenius, S. (2007). *Global use of agricultural biomass for food and non-food purposes: Current situation and future outlook*. SIK-The Institute for Food and Biotechnology, Sweden
- Wit, C.T. de (1971). Voedselproductie, verleden, heden en toekomst. *Stikstof*, jaargang 6, no 69
- Worell, E., Heijningen, R.J.J. van, Castro, J.F.M. de, Hazewinkel, J.H.O., Beer, J.G. de, Faaij, A.P.C., Vringer, K. (1994). New gross energy-requirement figures for materials production, *Energy*, Volume 19, Issue 6, Pages 627-640
- World Resources Institute (2017). *Logging, mining and agricultural concessions data transparency: a survey of 14 forested countries*. World Resources Institute, Washington
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Farla, J., Schaeffer, R. (1997). Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators. *Energy Policy* Volume 25, Issues 7-9, Pages 727-744

## **Lijst van geraadpleegde organisaties/personen**

- Accountantskantoor S. Vos, Middenmeer, M. Brugman;
- Action Aid, Amsterdam, mevr. M. van der Heide;
- AGCO International GmbH, R.W. Markwell;
- AgriBusiness Intelligence, H. van der Fange;
- AgriMedia bv, ir. J. Hoenderken, redacteur;
- Anoniem: een grote veevoederfabrikant;
- Attero, dr. ir. A.H.M. Veeken, Research & Business Developer Bio-based;
- Bayer, J. Roskam, Manager Sustainable Agriculture;
- Bond van Boerderij-Zuivelbereiders, W. Groot Wassing, secretaris;
- CBS, J. van Dalen, H. Jansen, F. Lapré, L. Pleijsier, R. Segers, M. Tanriseven, R.P. van der Wal;
- Cherton kassenbouw, Poeldijk, R. van de Sande;
- CLM Onderzoek en Advies, mevr. dr.ir. C. Rougoor;
- DLV Advies, Uden, J.S.M. de Groot, Manager Bouw;
- EOSTA B.V., M. Wilde, Sustainability & Communications Manager;
- Fedecom (branchevereniging voor mechanisatietechniek), ir. T. Vulink;
- FIDIN (Fabrikanten Importeurs Diergeneesmiddelen Nederland), B. Eussen;
- Gasunie, M.J.W. Groeneveld, Manager Energietransitie;
- Groningen Seaports, J. van Dijken;
- Instituut voor Landbouwbedrijfsgebouwen (voormalig), ir. D. Hoogerkamp;
- Louis Huisman & Zn. B.V., Hallenbouw-Bouwmaterialen, Gemert, R. Reintjes;
- Lowtech Magazine, K. De Decker, hoofdredacteur;
- Mechan Groep, H. Heijink, Productmanager Massey Ferguson;
- Meststoffen Nederland, mevr. M. Donker;
- Milieudefensie, E. Hassink;
- NAM, C. Seinen;
- Nefyto, mevr. M. van Assen;
- NEVEDI (Nederlandse Vereniging Diervoederindustrie), G.J. Swinkels;
- OCI Nitrogen B.V., Geleen, J.J. Nusselder, Manager Public Affairs & Strategic Projects;
- Planbureau voor de Leefomgeving, mevr. M.M. van Eerdt, Senior beleidsonderzoeker landbouw en milieu;
- Plukon Food Group, Wezup, R. Welpelo;
- PPO Lelystad, ir. P.M. Spoorenberg;
- Rijks Universiteit Groningen, prof.dr. H.C. Moll, Centrum voor Energie en Milieukunde;
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, mevr. ir. J.M. Toebast;
- Rijksuniversiteit Groningen, mevr. dr.ir. S. Nonhebel, Centrum voor Energie en Milieukunde;
- Rijkswaterstaat Helpdesk Water;
- RIVM, Natuur en Milieuplanbureau, ir. J.D. Van Dam; Planbureau voor de Leefomgeving, A. Hof;
- Royal Reesink N.V., G. van der Scheer, CEO;
- SBS support & consultancy/RiBuilT, R. Rovers;
- Shell Nederland BV, W. van der Wiel, P. de Wit;
- Slagerij Hilbrants, Paterswolde;

- SOMO (Stichting Onderzoek Multinationale Ondernemingen), mevr. G. ten Kate;
- Steverink Techniek B.V., Tollebeek, W. Steverink;
- Stichting Onderzoek Multinationale Ondernemingen, mevr. G. ten Kate;
- Stichting Vlees, D. van de Riet, Communicatie;
- Studiecentrum Kraaybeekerhof, Driebergen, ir. M.R. Rietveld;
- TNO, dr. ir. A.M. Diederer;
- Twence BV, ir. G.F. Dijkman;
- Unie van Waterschappen, E.J. Monsma MSc;
- Universiteit Nijmegen, Department of Environmental Science, prof. dr. M.A.J. Huijbregts, Professor Integrated Environmental Assessment;
- Vereniging Afvalbedrijven, mevr. J. Koster-Bos, beleidsmedewerker/secretaris;
- Vewin, mevr. L. Coonen;
- Vionfood, Boxtel, H. Pol, Group QA manager;
- Wageningen Economic Research, mevr. Y. Fernhout, dr. F.M. Brouwer, ing. W.H. van Everdingen, R. Hoste, ing. J.H. Jager, H.H. Luesink, ir. H. van der Meulen, W. Pronk, ir. P.J. Rijk, drs. D. Verhoog;
- WUR Glastuinbouw, mevr. dr. S. Hemming, mevr. dr. C. Stanghellini;
- WUR, dr.ir. J. Bieleman;
- WUR, Farming Systems Ecology Group, prof.dr.ir. P.A. Tittonell;
- WUR, mevr. prof.dr.ir. G. Zeeman, Professor in New Sanitation;
- WUR, mevr. prof.dr.ir. IJ.M. de Boer, hoogleraar dierlijke productiesystemen;
- WUR, prof.dr. W.J.M. Heijman, hoogleraar regionale economie;
- WUR, sub-department of Environmental Technology, mevr. dr.ir. M.H.A. van Eekert;
- Yara Sluiskil, F. Bentrup, G. Gunter.

## **Bijlage 1 Paarden**

### **Bijlage bij hoofdstuk 9 Arbeid**

Bij een paard (of ander dier dat als hulpbron wordt ingezet) is stalling nodig, voer, hulpmiddelen (tuigage, hoefijzers) en ook eventueel mensen/organisaties die daarbij helpen, bijvoorbeeld de veearts en de hoefsmid. Het verschil met een trekker of machine is dat er constant energie (voer) nodig is om het paard in stand te houden, ook als er geen arbeid wordt verricht. Het indirecte energieverbruik is bij een paard ook continu: stalling, leidsels/tuig, paardendecken, hoefijzers.

In het paardenleven zijn ook improductieve periodes: veulen, drachtperiode, oud paard. Aan het eind van de levensduur is er nog een energieopbrengst in de vorm van ongeveer 600 kg aan vlees en huid en botten. Gedurende het leven van het paard is er een opbrengst aan mest. De effectieve werktijd van een paard kan worden geschat op basis van een indeling van het paardenleven:

- het paard werkt niet in de leeftijd van 0 - 3 jaar;
- in de leeftijd van 4 - 12 jaar werkt het paard gemiddeld 1000 uur per jaar;
- in de leeftijd van 13 - 15 jaar werkt het paard niet.

Dan werkt het paard in 9 jaar ongeveer 9.000 uur. Als het 15 jaar oud wordt leeft het 131.400 uur. De effectieve werktijd van het paard is dan 6,8%. Dus de energie van 1 uur paarde-arbeid moet voor 14,7 uur genoeg zijn. De geleverde mechanische energie is niet fossiel. Dat geldt ook voor het maken van het paard.

Vroeger waren er veel hoefsmiden nodig voor het beslaan van de paarden. Vooral landbouwpaarden van drie jaar en ouder komen voor hoefbeslag in aanmerking. Een paard moet om de twee maanden een behandeling ondergaan; de hoefsmid heeft daar ongeveer twee uur voor nodig. In de jaren dertig van de twintigste eeuw waren er ca 3.000 tot 4.000 hoefsmiden. Het hoefijzer is fabrieksmatig gemaakt. Een hoefsmid kan 1.200 tot 1.500 behandelingen per jaar uitvoeren.

Er zijn in Nederland nog maar weinig landbouwbedrijven die met paarden werken. Verder is er nog een aantal paardenmelkerijen. De Amish in Amerika werken nog wel met paarden, waarbij de voortbeweging van de machine door het paard gebeurt en de aandrijving van de machine soms door een motor. Voor de Amish worden moderne paardenmachines geproduceerd.

In 1850 waren er 250.000 landbouwpaarden in Nederland. Dit steeg tot 319.000 in 1900 en tot 360.000 landbouwpaarden in 1920. Daarna daalde het aantal landbouwpaarden tot 256.000 in 1950 en tot 62.000 in 1985 (CBS, 2010). Daarna stijgt het aantal paarden weer, maar dan gaat het om paarden voor recreatief gebruik.

Het areaal haver was in 1900 131.000 ha en in 1920 160.000 ha. In 1950 was er 141.000 ha haver en dit daalde tot 11.000 ha in 1985. Daarna werd haver een klein gewas, met 1.528 ha in 2015. Gemiddeld werd in de periode 1900 tot 1975 0,4 ha per paard aan haver verbouwd. Van 1900 tot 1950 was er tussen de 6 ha en 7 ha cultuurgrond per paard. Daarna steeg het tot 10 ha per paard in 1950 tot 30 ha per paard in 1985.



## **Bijlage 2 Output/input-verhoudingen van de sectoren**

### **Bijlage bij hoofdstuk 10 De totalen van gewicht, energiegebruik, landgebruik en arbeid**

#### **Algemeen**

Om iets te kunnen zeggen over de verschillen tussen de sectoren is een aantal (groepen van) bedrijven en teeltsituaties geïnventariseerd. Ook zijn twee voorbeelden uit het wat verdere verleden (16<sup>e</sup> en 18<sup>e</sup> eeuw) bekeken en voor zover mogelijk geanalyseerd met behulp van de in dit proefschrift gehanteerde methodiek. Een groot verschil tussen de historische situatie op boerderijen en de situatie in de 20<sup>e</sup> en 21<sup>e</sup> eeuw is dat in vroegere eeuwen veel meer mensen op landbouwbedrijven woonden en grote aantallen mensen direct leefden van de voortgebrachte producten. In de huidige tijd verkrijgt men de voeding grotendeels via de winkel (ook de boer zelf). Dit betekent dat vroeger een belangrijk deel van de output door de eigen mensen werd gebruikt, terwijl dat nu in het algemeen een zeer gering gedeelte is. Een andere ontwikkeling is die van het gemengde bedrijf naar steeds mee specialisatie in de diverse sectoren en soms ook nog weer specialisaties binnen een sector. Bijvoorbeeld binnen de pluimveesector aparte bedrijven waar eieren worden uitgebroed, kuikens worden geleverd en de legkippen of de slachtkuikens worden gehouden. Of glastuinbouwbedrijven die alleen tomaten of alleen komkommers telen.

#### **Resultaten inventarisatie sectoren**

Op basis van een inventarisatie van 324 teeltsituaties en een aantal meer algemene studies of studies op basis van modelbedrijven zijn de output/input-verhoudingen per sector bekeken. Voor zover mogelijk zijn de resultaten van de verschillende onderzoeken in lijn gebracht met de in dit proefschrift gevolgde methode. Dit was niet geheel mogelijk omdat in de verschillende onderzoeken verschillende uitgangspunten zijn gehanteerd ten aanzien van bijvoorbeeld de mate waarin naar het indirecte energiegebruik is gekeken.

Onderscheiden zijn de sectoren gemengde bedrijven, akkerbouw, vollegronds tuinbouw, glastuinbouw, fruitteelt en veehouderij. De resultaten zijn weergegeven in de tabellen 76 t/m 81. In de tabellen is in de kolom "aantal teeltsituaties" geen getal vermeld als de resultaten berusten op een algemene studie of op modelbedrijven. Er is een onderscheid gemaakt in de output/input-verhoudingen niet fossiel en fossiel. Onder niet fossiel worden verstaan de teeltsituaties waarbij alleen gebruik wordt gemaakt van handkracht, al of niet in combinatie met trekdieren. Bij fossiel is er sprake van de inzet van fossiele brandstoffen. Daar waar het expliciet gaat om biologische teelt is in de kolom "bedrijf/teelt" bio er bij vermeld.

In tabel 76 zijn de resultaten voor de gemengde bedrijven weergegeven. Deze zijn voornamelijk van historische betekenis, omdat gemengde bedrijven in de in dit proefschrift bekeken onderzoeken weinig voorkomen

Tabel 76 output/inputverhoudingen gemengde bedrijven

bedrijf/teelt	periode of jaar	locatie	aantal teeltsituaties	output/input niet fossiel	output/input fossiel
gemengd	16 <sup>e</sup> eeuw	Nederland	1	9,27	
gemengd	18/19e eeuw	Nederland	1	82	
gemengd	1956	Nederland	2	4,96-6,07	
gemengd	1956	Nederland	2		3,57-4,54

De opbrengsten in vroeger eeuwen kenmerken zich door lagere opbrengsten dan tegenwoordig, maar ook door een hele lage input, waardoor de resultaten energetisch gezien

zeer gunstig zijn. Dit komt door de afwezigheid van het gebruiken van fossiele brandstoffen, wat ook in 1956 nog is te zien.

In tabel 77 staan de resultaten voor de akkerbouw.

Tabel 77 Output/inputverhoudingen akkerbouw

bedrijf/teelt	periode of jaar	locatie	aantal teeltsituaties	output/input niet fossiel	output/input fossiel
graan	1952-1954	China		139	
akkerbouw	1940-1971	diverse landen	8	10,59-129,75	
akkerbouw	1969-1980	VS	61		0,43-10,18
mais	1969-1980	Mexico	2	41,8-128,2	
akkerbouw	1950-1981	diverse landen	15	5,73	
akkerbouw	1950-1981	diverse landen	9		1,80
graan	1976-2006	diverse landen	6		1,50-5,12
akkerbouw bio	2006	Spanje*			1,04
akkerbouw	2006	Spanje*			4,45
akkerbouw bio	2006	Nederland	3		3,30-3,41
akkerbouw	2006	Nederland	2		3,26-3,41

Opvallend is de grote spreiding in de gevonden waarden, vooral bij de situaties zonder fossiele brandstoffen. De verschillen in de tijd en de verschillende locaties zijn hier mede de oorzaak van. Duidelijk is wel dat de output/input-verhoudingen veel hoger zijn als er geen fossiele brandstoffen worden gebruikt. In het algemeen heeft de akkerbouw waarden die (op een enkele uitzondering na) groter zijn dan 1.

In tabel 78 staan de output/inputverhoudingen voor de vollegrondstuinbouw.

Tabel 78 Output/inputverhoudingen vollegronds tuinbouw

bedrijf/teelt	periode of jaar	locatie	aantal teeltsit.	output/input niet fossiel	output/input fossiel
groenten	1969-1980	VS	12		0,14-0,89
watarmeloen	1969-1980	India	1		0,54
sla	1969-1980	VS	1	1,81	
sperziebonen	1994	import vliegtuig			0,018
sperziebonen	1994	import via weg			0,153
sperziebonen	1994	imp binnenschepen			0,252
sperziebonen	1994	vollegrond Ned.			0,281
groente	1977-2006	VS	2		0,23-0,47
groenten vollegr. bio	2006	Spanje*			0,13
groenten vollegrond	2006	Spanje*			0,43
groenten vollegr.bio	2006	Nederland	1		0,73
groente vollegrond	2006	Nederland	2		0,73-0,77
aardbeien vollegr.	2010	Nederland			0,049
aardb. op stellingen	2010	Nederland			0,052

Voor de vollegrondstuinbouw is de output/input-verhouding alleen maar groter dan 1 als er geen fossiele brandstoffen worden gebruikt. Dit is een indicatie, omdat het maar op één waarneming is gebaseerd. Als wel fossiele brandstoffen worden gebruikt liggen de waarden voor de output/input-verhoudingen tussen 0,018 (sperziebonen geïmporteerd met het vliegtuig) en 0,77 (groente, 2006). Alleen kijkend naar de teelt en niet naar de distributie liggen de waarden tussen 0,049 (aardbeien vollegrond) en 0,77 (groente, 2006). Het gaat hier

om plantaardige productie in de buitenlucht; daarbij zouden met minder input veel hogere waarden voor de output/input-verhoudingen mogelijk moeten zijn.

De output/input-verhoudingen voor de glastuinbouw staan in tabel 79.

Tabel 79 Output/inputverhoudingen glastuinbouw

bedrijf/teelt	periode of jaar	locatie	aantal teeltsituaties	output/input niet fossiel	output/input fossiel
sperziebonen	1994	kas in Ned.			0,034
kasgroenten bio	2006	Spanje*			0,120
kasgroenten	2006	Spanje*			0,200
glastuinbouw bio	2006	Nederland	2		0,01-0,02
glastuinbouw	2006	Nederland	2		0,03
kasaardbeien	2010	Nederland			0,014
kastomaten	2010	Nederland			0,019

Omdat het hier om verwarmde kassen gaat zijn de output/input-verhoudingen erg laag. Ze variëren van 0,014 tot 0,20. Kassen zonder verwarming (en de daarbij behorende installaties) zijn hier niet bekeken. Dat is voor de toekomst wel belangrijk. Bij koude kassen is alleen nog energie nodig voor het bouwen en onderhouden van de kassen zelf.

In tabel 80 zijn de output/input-verhoudingen voor de fruitteelt weergegeven

Tabel 80 Output/inputverhoudingen fruitteelt

bedrijf/teelt	periode of jaar	locatie	aantal teeltsituaties	output/input niet fossiel	output/input fossiel
appels	1969-1980	VS	2		0,69-0,73
fruit, irrigatie bio	2006	Spanje*			0,86
fruit met irrigatie	2006	Spanje*			3,30
fruit bio	2006	Spanje*			0,78
fruit	2006	Spanje*			1,30
fruit	2006	VS	2		1,50-1,57
fruit bio	2009	Nederland			1,21-3,63

Voor de fruitteelt liggen de waardes tussen 0,69 (appels, 1969-1980) en 3,63 (appels, 2009).

\*Spaanse teelten: voor alle teelten is de output van de biologische teelten lager en de input hoger dan die voor de gangbare teelten. Dit wordt ten dele verklaard door het relatief nieuw zijn van biologische bedrijven in Spanje. Men verwacht dat de verschillen tussen biologisch en gangbaar in de loop van de tijd kleiner zullen worden.

De output/input-verhoudingen voor de veeteelt staan in tabel 81.

Tabel 81 Output/inputverhoudingen veeteelt

bedrijf/teelt	periode of jaar	locatie	aantal teeltsituaties	output/input niet fossiel	output/input fossiel
melkvee	1981	Nederland	15		0,34-0,43
melkvee bio	2006	Nederland	8		0,53-0,82
melkvee	2006	Nederland	6		0,39-0,48
legpluimvee bio	2009	Nederland	gem.		0,27
legpluimvee	2009	Nederland	gem.		0,39-0,51

Voor de veeteelt zijn de output/input-verhoudingen allemaal kleiner dan 1. Dit komt omdat er ten opzichte van de plantaardige productie een extra omzetting nodig is van de plantaardige grondstoffen in dierlijke producten. Met een veel natuurlijker veeteeltsysteem kunnen de waarden wel hoger zijn.

### **Output/input-verhoudingen van de sectoren**

Op basis van de in de bekeken teeltsituaties voor de periode 1940 tot 2011 ontstaat het beeld dat voor de akkerbouw de spreiding in waarden voor de output/input-verhoudingen groot is en varieert van 0,43 (graanteelt 1969-1980) tot 139 (graanteelt 1952-1954, met inzet van trekdieren).

Voor akkerbouw met inzet van fossiele energie liggen de output/input-verhoudingen tussen 0,43 en 10,18 (graanteelt 1969-1980). Voor akkerbouw met alleen inzet van handkracht en/of trekdieren variëren de output/input-verhoudingen van 4,96 (akkerbouw, 1956) tot 129,75 (graanteelt, 1951, met alleen inzet van handkracht). Output/input-verhoudingen kleiner dan 1 zijn uitzonderingen. De meeste waarden liggen tussen 2 en 4. Het algemene beeld is dat de akkerbouw de hoogste waarden heeft voor output/input.

Hoewel de vollegrondstuinbouw ook plantaardige productie in de open lucht is, is de energie-inhoud van de producten veel lager dan die van akkerbouwproducten en is de input hoog, omdat het intensieve teelten zijn.

Voor fruitteelt liggen de de output/input-verhoudingen rond de 1.

Alle veehouderij heeft waarden die kleiner zijn dan 1.

Voor de glastuinbouw zijn de waarden het laagste. Ondanks de hoge opbrengsten per ha is veel energie nodig om de kassen te verwarmen.

Verhoging van de output/input-verhoudingen is voor alle sectoren mogelijk door een lagere inzet van energie en grondstoffen, minder import en export, geen verwarmde kassen en meer zelfvoorziening, zowel ten aanzien van de landbouw zelf als ten aanzien van de voedselvoorziening in Nederland (zie ook de hoofdstukken 11 en 14).

## Bijlage 3 Landbouwkundige aspecten

### **Bijlage bij hoofdstuk 11.4 Benodigde hoeveelheid voeding en benodigde oppervlakte landbouwgrond**

In tabel 82 staan de benodigde hoeveelheden voeding en de energetische inhouden daarvan.

Tabel 82 Hoeveelheden benodigde voedingsmiddelen en energetische opbrengsten

	totaal benodigd	energie- inhoud in GJ/ton	totale energie- inhoud	landgebruik
groente	1.551.250 ton	0,83 GJ/ton	1.287.538 GJ	44.321 ha
fruit	1.241.000 ton	2,34 GJ/ton	2.903.940 GJ	35.457 ha
brood	1.241.000 ton	13,86 GJ/ton	17.200.260 GJ	248.200 ha
graanproducten	620.500 ton	13,86 GJ/ton	8.600.130 GJ	124.100 ha
aardappelen	1.241.000 ton	3,71 GJ/ton	4.604.110 GJ	35.457 ha
noten, pitten, zaden	156.400 ton	27,58 GJ/ton	4.313.512 GJ	78.200 ha
peulvruchten	119.340 ton	13,25 GJ/ton	1.581.255 GJ	23.868 ha
smeer- en *) bereidingsvetten	310.250 ton	36,90 GJ/ton	11.448.225 GJ	310.250 ha
koolzaadolie	186.150 ton	6 GJ/ton	1.116.900 GJ	124.100 ha
dranken	1.861.500 ton	2,54 GJ/ton	4.728.210 GJ	106.371 ha
<b>totaal</b>	<b>8.528.390 ton</b>		<b>57.784.080 GJ</b>	<b>1.130.324 ha</b>
gemiddeld	7,5 ton/ha		51,12 GJ/ha	
interne levering:				
zonnebl. schroot	620.500 ton	5 GJ/ton	3.102.500 GJ	
koolz. schroot	372.300 ton	6,4 GJ/ton	2.382.720 GJ	
<b>totaal</b>	<b>9.521.190 ton</b>		<b>63.269.300 GJ</b>	
gemiddeld	8,4 ton/ha		55,97 GJ/ha	
melk en melkproducten	2.482.000 ton	2,95 GJ/ton	7.321.900 GJ	389.628 ha
kaas**)	217.600 ton	15,26 GJ/ton	3.320.576 GJ	283.407 ha
roomboter***)	124.100 ton	3,03 GJ/ton	376.023 GJ	382.808 ha
rood vlees	221.000 ton			
rundvlees	125.000 ton	6,71 GJ/ton	838.750 GJ	
schapenvlees	13.000 ton	12,14 GJ/ton	157.820 GJ	17.500 ha
varkensvlees	85.000 ton	8,96 GJ/ton	761.600 GJ	137.768 ha
eieren (2,6 mln.)	132.600 ton	5,49 GJ/ton	727.974 GJ	
wit vlees	221.000 ton	9,05 GJ/ton	2.000.050 GJ	343.524 ha
<b>totaal</b>	<b>3.621.300 ton</b>		<b>15.504.693 GJ</b>	<b>1.554.635 ha</b>
gemiddeld			9,97 GJ/ha	
wei	1.740.800 ton	0,15 GJ/ton	261.120 GJ	
karnemelk	2.482.000 ton	1,28 GJ/ton	3.176.960 GJ	
<b>totaal</b>	<b>7.844.100 ton</b>		<b>18.942.773 GJ</b>	
gemiddeld			12,18 GJ/ha	

\*) zonnebloemolie

\*\*\*) per kg kaas komt 8 kg wei vrij

\*\*\*\*) per kg boter komt 20 kg karnemelk vrij

Tabel 83 De aangepaste dierlijke productie

	totaal benodigd	energie- inhoud in GJ/ton	totale energie- inhoud	landgebruik
melk en melkproducten	1.241.000 ton	2,95 GJ/ton	3.660.950 GJ	194.814 ha
kaas**)	108.800 ton	15,26 GJ/ton	1.660.288 GJ	141.704 ha
roomboter***)	62.050 ton	3,03 GJ/ton	188.012 GJ	191.404 ha
<i>rood vlees, wv:</i>	110.500 ton			
rundvlees	125.000 ton	6,71 GJ/ton	838.750 GJ	
schapenvlees	6.500 ton	12,14 GJ/ton	78.910 GJ	8.750 ha
varkensvlees	42.500 ton	8,96 GJ/ton	380.800 GJ	68.884 ha
eieren (1,3 mln.)	66.300 ton	5,49 GJ/ton	363.987 GJ	
wit vlees	110.500 ton	9,05 GJ/ton	1.000.025 GJ	171.762 ha
totaal	1.810.656 ton		7.752.347 GJ	777.318 ha
gemiddeld			9,97 GJ/ha	
wei	870.400 ton	0,15 GJ/ton	130.560 GJ	
karnemelk	1.241.000 ton	1,28 GJ/ton	1.588.480 GJ	
totaal	3.922.050 ton		9.471.387 GJ	
gemiddeld			12,18 GJ/ha	

Tabel 84 Gehalveerde dierlijke productie en landgebruik

	productie	hoeveelheid krachtvoer	landgebruik voer	landgebruik weiland of uitloop	totaal landgebruik
<i>melkvee</i>					
melk	1.421.000 ton	114.597 ton	22.919 ha	171.895 ha	194.814 ha
kaas*)	1.033.600 ton	83.355 ton	33.342 ha	250.065 ha	283.407 ha
boter*)	2.792.250 ton	225.181 ton	45.036 ha	337.772 ha	382.808 ha
totaal melkvee		621.085 ton	124.216 ha	931.627 ha	1.055.843 ha
vlees melkvee	105.584 ton				
<i>ov. rundvee</i>					
vlees	125.000 ton				
<i>schapen</i>					
vlees	13.180 ton	12.500 ton	2.500 ha	15.000 ha	17.500 ha
<i>varkens</i>					
vlees	85.000 ton	682.294 ton	136.459 ha	1.309 ha	137.768 ha
<i>pluimvee</i>					
eieren (2,6 mln.)	159.120 ton				
vlees leghennen	19.048 ton	421.598 ton	84.320 ha	5.470 ha	89.790 ha
vlees slachtkuikens	202.500 ton	1.193.132 t	238.626 ha	11.344 ha	249.970 ha
vlees leghennen tv slachtkuikens		18.822 ton	3.764 ha		3.764 ha
totaal		1.474.716 t	294.943 ha	482.375 ha	777.318 ha

\*) kaas en boter zijn weergegeven op basis van de benodigde hoeveelheden melk.

## Bijlage bij hoofdstuk 11.5.4 Reststromen van organisch materiaal uit afvalwater

De aan- en afvoer van stedelijk afvalwater is hierna vermeld (zie tabel 85).

Tabel 85 Aan- en afvoer van stedelijk afvalwater in 2015

aanvoer afvalwater (influent)		afvoer afvalwater (effluent)	
volume influent:	1.957.261.000 m <sup>3</sup>	volume effluent:	1.957.261.000 m <sup>3</sup>
aanvoer in kg N :	89.122.000 kg	afvoer in kg N:	14.641.000 kg
aanvoer in kg P2O5:	30.660.810 kg	afvoer in P2O5:	1.960.000 kg

(bron: CBS, 2017. Zuivering van stedelijk afvalwater)

Het bij de afvalwatering vrij gekomen slib wordt voor een groot deel verbrand. Daarnaast is nog een aantal andere bestemmingen (zie tabel 86).

Tabel 86 Hoeveelheden slib naar bestemming

	nat slib	droog slib	
landbouw	0 ton	0 ton	
natte oxidatie	0 ton	0 ton	
composteren	194 ton	43 ton	
storten	9.178 ton	2.056 ton	
verbranden	1.034.423 ton	246.663 ton	
cementindustrie	135.616 ton	46.231 ton	
elektriciteitscentrale	119.286 ton	29.520 ton	
overige bestemmingen	3.689 ton	846 ton	
totaal	1.302.386 ton	325.359 ton	25% ds

Omdat het grootste deel van het slib wordt verbrand is het moeilijk om de aangevoerde stikstof en fosfaat te hergebruiken, deze gaat nu grotendeels verloren. Naast de zuivering van afvalwater door de waterschappen zijn er ook bedrijven met een eigen afvalwaterzuivering. Het gaat daarbij om grote hoeveelheden, in eenzelfde orde van grootte als bij de waterschappen. Dit is in tabel 87 aangegeven.

Tabel 87 Bij de afvalwaterzuivering van bedrijven de vrijkomende hoeveelheden slib en hun bestemmingen

	totaal slib	droge stof	
landbouw/bodem	144.978 ton	14.152 ton	
diervoeders/ destructiebedrijven	30.819 ton	3.095 ton	
composteren	110.337 ton	20.404 ton	
storten	83.381 ton	32.014 ton	
verbranden	79.833 ton	12.961 ton	
vergisten	306.092 ton	34.249 ton	
inzet als brandstof	98.764 ton	23.102 ton	
overige bestemmingen	232.799 ton	58.209 ton	
totaal	1.087.003 ton	198.186 ton	18% ds.

(bron: CBS, 2017. Afvalwaterzuivering bij bedrijven; afvoer zuiveringsslib naar bestemming)

Er zijn 432 afvalwaterzuiveringsinstallaties van bedrijven. De wijze waarop zij hun effluent lozen is als volgt:

- 310 lozen op de riolering of op een rioolwaterzuiveringsinstallatie;
- 31 lozen op regionaal oppervlaktewater;
- 81 lozing op rijkswater;
- geen installatie maat gebruik van bodemverzinking;

- 1 heeft een onbekende effluentbestemming.

(bron: CBS, 2017. Afvalwaterzuivering bij bedrijven; installaties naar effluentbestemming)

De lozingen van de bedrijfsafvalwaterzuiveringen zijn in 2014 als volgt:

Fosforverbindingen als P, totale lozing industrie: 1.130 ton

Lozing op oppervlaktewater: 185 ton

Lozing op riool: 944 ton

(bron: CBS, 2016. Emissies naar water, type lozing, bedrijfstak industrie (SBI 2008))

Stel het rendement is hetzelfde als bij de rwzi's voor stedelijk afvalwater (in effluent voor P 14,6% van de aanvoer), dan wordt er op het oppervlaktewater  $185 \text{ ton} \times 6,8 = 1258 \text{ ton P}$  geloosd, dat is  $\times 2,29 = 2.880 \text{ ton P}_2\text{O}_5$ .

De in de riolering geloosde P zit dan in het influent van de rwzi.

Stikstofverbindingen als N, totale lozing industrie: 8.068 ton

Lozing op oppervlaktewater: 2.058 ton

Lozing op riool: 6.009 ton

Stel het rendement is hetzelfde als bij de rwzi's voor stedelijk afvalwater (in effluent voor N 16% van de aanvoer), dan wordt er op het oppervlaktewater  $2.058 \text{ ton} \times 6,3 = 12.965 \text{ ton N}$  geloosd.

De in de riolering geloosde stikstof zit dan in het influent van de rwzi.



## **Bijlage 4 Economische aspecten**

### **Bijlage bij hoofdstuk 16.3 Voorbeeld erwten zaaien**

In tabel 88 zijn de uitgangspunten voor de input van energie en de kosten in geld weergegeven.

Tabel 88 Uitgangspunten voor energie, arbeid en kosten van variant 1 en variant 2:

<b>variant 1:</b>	gewicht/hoeveelheid	embodied energy	kosten	levensduur
trekker (500 uren/jaar)	3.000 kg	450.000 MJ	€ 50.000	8.000 uur
trekker per uur:		56,25 MJ/uur	€ 6,25/uur	
zaaimachine	1.100 kg	165.000 MJ	€ 30.000	4.000 uur
zaaimachine per uur		41,25 MJ/uur	€ 7,50/uur	
dieselolie	4 liter/uur	184 MJ/uur	€ 4,80/uur	
onderhoud*) en verzekering			€ 1.800/jaar	
onderhoud en verz.			€ 3,60/uur	
<b>variant 2:</b>				
handzaaimachine	22 kg (aluminium)	4.114 MJ	€ 1.500	4.000 uur
handzaaimachine per uur		1,0285 MJ/uur	€ 0,375/uur	
arbeidskosten per uur			€ 50/uur	

\*) onderhoud zit qua energie al in de embodied energy

Op basis van de aldus berekende kengetallen zijn in tabel 56 voor variant 1 en variant 2 de input van energie en de kosten in geld naast elkaar gezet.

## **Bijlage 5 Een duurzaam landbouwsysteem**

### **Bijlage bij hoofdstuk 14.4 Ontwikkelingen 1950 – 2015 - 2040**

Tabel 89 Totale productiewaarde van de plantaardige productie voor het scenario 2040

	totaal benodigd	prijzen	opbrengsten	benodigde landoppervlak
groente	1.551.250 ton	€ 1,00/kg	€ 1.551.250.000	44.321 ha
fruit	1.241.000 ton	€ 1,50/kg	€ 1.861.500.000	35.457 ha
brood	1.241.000 ton	€ 0,50/kg	€ 620.500.000	248.200 ha
graanproducten	620.500 ton	€ 0,50/kg	€ 260.250.000	124.100 ha
aardappelen	1.241.000 ton	€ 0,60/kg	€ 744.600.000	35.457 ha
noten/pitten/zaad	156.400 ton	€ 8,00/kg	€ 1.251.200.000	78.200 ha
peulvruchten	119.340 ton	€ 0,85/kg	€ 101.439.000	23.868 ha
smeer- en bereidingsvetten	310.250 ton	€ 1,50/l	€ 465.375.000	310.250 ha
koolzaadolie	186.150 ton	€ 0,60	€ 111.690.000	124.100 ha
dranken	1.861.500 ton	€ 1,50/kg	€ 2.792.250.000	106.371 ha
totaal	8.528.390 ton		€ 9.760.054.000	1.130.324 ha

Tabel 90 Totale productiewaarde van de aangepaste dierlijke productie voor scenario 2040

	totaal benodigd	prijzen	totale bedragen	landgebruik
melk en melkproducten	1.241.000 ton	€ 0,50/kg	€ 620.500.000	194.814 ha
kaas	108.800 ton	€ 10,00/kg	€ 1.088.000.000	141.704 ha
roomboter	62.050 ton	€ 5,00/kg	€ 310.250.000	191.404 ha
<i>rood vlees, wv:</i>	110.500 ton			
rundvlees	125.000 ton	€ 5,00/kg	€ 625.000.000	
schapenvlees	6.500 ton	€ 4,00/kg	€ 26.000.000	8.750 ha
varkensvlees	42.500 ton	€ 3,00/kg	€ 127.500.000	68.884 ha
eieren (1,3 mln.)	66.300 ton	€ 0,15/stuk	€ 195.000	
wit vlees	110.500 ton	€ 8,00/kg	€ 884.000.000	171.762 ha
totaal	1.810.656 ton		€ 3.681.445.000	777.318 ha
wei	870.400 ton	€ 20/ton		
karnemelk	1.241.000 ton	€ 50/ton		
totaal	3.922.050 ton			
leveringen intern			€ 831.504.000	
productiewaarde			€ 14.273.003.000	

Interne leveringen:

- 620.500 ton zonnebloemschroot, € 180/ton = € 111.690.000
- 372.300 ton koolzaadschroot, € 220/ton = € 81.906.000
- 870.400 ton kaaswei x € 20 = 17.408.000 (kaaswei kost € 2,75 per % ds. per ton, 6% ds., dan 6x2,75 = € 16,50/ton ex BTW, dan € 19,196/ton = € 20/ton)
- 1.241.000 ton karnemelk x € 50 = € 620.500.000

Totaal interne leveringen: 831.504.000, afgerond € 832 miljoen

## Samenvatting

Het doel van dit proefschrift is:

- het geven van een theoretisch model, waarmee de prestaties van de landbouw (samengevat in het begrip duurzaamheid) kunnen worden beoordeeld;
- het in beeld brengen van de ontwikkeling van de duurzaamheid van de landbouw in de periode 1950 t/m 2015;
- het geven van een schets van een landbouwsysteem dat duurzaam is, voedselzekerheid biedt en aan de klimaatdoelstellingen kan voldoen.

In dit proefschrift wordt onder duurzaamheid verstaan het produceren van goederen en diensten met zo weinig mogelijk energie, grondstoffen en landgebruik en het veroorzaken van zo weinig mogelijk negatieve effecten op de omgeving.

Duurzaamheid is hier bepaald op basis van de volgende parameters:

- de energetische waarden van de output en de input van de landbouw;
- het directe en indirecte landgebruik;
- de directe en indirecte arbeid.

De energetische waarde van de output is bepaald op basis van de opbrengsten in gewicht en vervolgens op basis van energie-inhoud (de stofwisselingsenergie) van de landbouwproducten. De energetische waarde van de input is bepaald op basis van de gebruikte hoeveelheden en de daarbij behorende energie-inhoudswaarden. Bij het directe landgebruik gaat het om de oppervlakte landbouwgrond in Nederland. Het indirecte landgebruik zijn de oppervlaktes land die nodig zijn voor het winnen, produceren en distribueren van de input. De directe arbeid betreft de mensen die op de land- en tuinbouwbedrijven in Nederland werkzaam zijn. De indirecte arbeid is de arbeid die wordt ingezet bij het maken van de input. Het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid kunnen zowel in Nederland als elders zijn ingezet. De niet-voedingsglastuinbouw is hier buiten beschouwing gebleven.

Na het theoretisch kader zijn de onderzoeksvragen geformuleerd en de in dit proefschrift gehanteerde begrippen, de methodiek en de werkwijze. Het theoretisch kader is vorm gegeven aan de hand van de productiefactoren grond, arbeid en kapitaal. De prestaties van de landbouw zijn tot nu toe gemeten op basis van het begrip arbeidsproductiviteit, waarbij een aantal zaken wordt veronachtzaamd. Het meten van deze prestaties op basis van het begrip duurzaamheid, zoals hier gedefinieerd, komt aan deze bezwaren tegemoet. Aangegeven is dat de begrippen EROEI (Energy Return On Energy Investment) en Net Energy belangrijk zijn voor het beoordelen van de toekomstige energievoorziening.

De input is bepaald op basis van de volgende 12 onderwerpen: het directe en indirecte energiegebruik, waarbij de laatste bestaat uit mijnbouw, kassen, overige gebouwen, trekkers en machines, veevoer, dierlijke mest, kunstmest, bestrijdingsmiddelen, elektronica, de dienstensector en transport en infrastructuur. Per soort van input zijn (voor zover mogelijk) ook het indirecte landgebruik en de indirecte arbeid bepaald.

Sinds 1950 is de landbouwproductie (output) in Nederland toegenomen. Met minder mensen en minder landbouwbedrijven wordt in 2015 meer geproduceerd dan in 1950.

De hoeveelheid gebruikte hulpmiddelen (input) is sneller toegenomen dan de productie

(output). De verhouding tussen output en input neemt af in de periode 1950 t/m 2015. Over deze zelfde periode neemt het directe landgebruik af en neemt het indirecte landgebruik toe. Hetzelfde geldt voor de arbeid: de directe arbeid neemt af en de indirecte arbeid neemt toe. In 1950 zijn direct landgebruik en directe arbeid groter dan indirect landgebruik en indirecte arbeid, in 2015 is het voor beide andersom.

Het behoud van de bodemvruchtbaarheid is belangrijk voor de landbouw en voor de voedselkwaliteit. De voedselkwaliteit is de laatste decennia achteruit gegaan. Dit komt omdat organische stof en nutriënten niet in een kringloop worden hergebruikt, maar verloren gaan door de wijze waarop reststoffen nu worden verwerkt. Bekeken is of de Nederlandse landbouw de eigen bevolking kan voeden. Op basis van de Richtlijn goede voeding 2015 van de Gezondheidsraad zijn de benodigde hoeveelheden voeding voor de Nederlandse bevolking uitgerekend en op basis daarvan de benodigde oppervlakte landbouwgrond. Het blijkt dat niet voldoende voedsel kan worden geproduceerd. Vervolgens is de helft genomen van de berekende hoeveelheid aan benodigde dierlijke producten en dan zou er wel voldoende voeding kunnen worden geproduceerd.

De wenselijkheid van het hergebruiken van grondstoffen is uitgewerkt door te bekijken of met het hergebruiken van alle reststromen van organisch materiaal in de landbouw een voldoende bemestingsniveau van de landbouwgrond mogelijk is. Dat blijkt het geval, maar dan moet er wel een (voor een groot deel) nieuwe inzamelstructuur komen voor alle reststromen van organische materialen. Hiermee kan de kringloop worden gesloten en kan een verdere achteruitgang van bodemvruchtbaarheid en voedselkwaliteit worden tegen gegaan.

De maatschappelijke kosten van de landbouw zijn voor een deel berekend op basis van de uitstoot van broeikasgassen in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Deze kosten zijn vergeleken met de maatschappelijke kosten zoals die in een aantal studies zijn berekend. De ordes van grootte komen overeen. De hier berekende maatschappelijke kosten van de landbouw komen uit op 4,5 miljard euro (op basis FAO prijs voor CO<sub>2</sub>) of tussen de 2 miljard euro en 11,7 miljard euro (op basis van de prijs voor CO<sub>2</sub> van CPB en PBL behorend bij de tweegradendoelstelling). De emissie van broeikasgassen door de landbouw was in 2015 39.064.800 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten. Maatschappelijke kosten worden niet alleen veroorzaakt door de emissies in CO<sub>2</sub>-equivalenten, maar ook door andere factoren. Op basis van FAO-studies is een bandbreedte aangegeven van de totale maatschappelijke kosten van de landbouw van 5 tot 20 miljard euro.

Prijsverhoudingen tussen arbeid en energie en grondstoffen zijn nu zodanig dat gekozen wordt voor het vervangen van arbeid door kapitaal. Dit is in een voorbeeld uitgewerkt. Berekeningen op basis van energetische waarden lopen niet (altijd) parallel met die op basis van geld. Bij het nemen van besluiten is dit aspect vaak onderbelicht. Het exportsaldo van voedingslandbouwproducten is circa 13 miljard euro. De netto toegevoegde waarde tegen factorkosten is reëel gezien in de periode van 1950 t/m 2015 met 21% gedaald. In 2015 variëren de berekende maatschappelijke kosten van de landbouw tussen lager en veel hoger dan de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten, die toen 6,9 miljard euro bedroeg. Hiermee komt de vraag naar voren of de huidige landbouw zowel maatschappelijk als economisch gezien nog wel een zinvolle activiteit is.

Om aan de klimaatdoelstellingen, zoals geformuleerd in het akkoord van Parijs, te kunnen voldoen zijn deze naar de Nederlandse landbouw vertaald. Vervolgens is een aantal uitgangspunten bepaald voor de landbouw in de toekomst, waarbij het jaar 2040 als

richtinggevend is gekozen. Op basis van een aantal randvoorwaarden, zoals gesteld voor het jaar 2040, dient een drastische reductie plaats te vinden van het gebruik van energie en grondstoffen. Dit is alleen mogelijk als kapitaal op grote schaal wordt vervangen door arbeid. Ook uitvoer en invoer moeten dan tot een minimum worden beperkt. Om deze ontwikkeling in beeld te brengen is een aantal gegevens over de landbouw voor de periode 1950 tot 2040 bepaald.

De belangrijkste conclusies van dit onderzoek zijn:

- de duurzaamheid van de landbouw is van 1950 t/m 2015 sterk afgenomen en zal in de periode 2016 t/m 2040 moeten stijgen. Dit maakt een grote instroom van arbeid in de landbouw noodzakelijk (reruralisatie). Daarmee zal het beeld van de landbouw in 2040 sterk afwijken van dat in 2015 en in sommige opzichten lijken op de landbouw in 1950;
- het directe landgebruik is in de periode 1950 t/m 2015 met 495.000 ha (21%) afgenomen en het indirecte landgebruik is met 2,8 miljoen ha toegenomen;
- de directe arbeid is in de periode 1950 t/m 2015 afgenomen met ruim 407.000 a.j.e. en de indirecte arbeid is toegenomen met ruim 102.000 a.j.e.;
- tegenover een stijging van de energetische waarde van de input in GJ/ha met 619% in de periode 1950 t/m 2015, staat een relatief geringe verhoging van de output in GJ/ha met 12%;
- de middelen die in de periode 1950 t/m 2015 zijn ingezet om de productie te verhogen staan niet in een redelijke verhouding tot de gerealiseerde opbrengstverhoging;
- de huidige landbouw moet snel worden omgevormd tot een duurzame landbouw.

Voor het weergeven van de hoeveelheden energie is in dit proefschrift de eenheid PJ (Peta Joule) gebruikt als het om grote hoeveelheden gaat (nationaal niveau) en de eenheid GJ (Giga Joule) als het om energiehoeveelheden gaat op bedrijfsniveau of per ton of per ha.

In tabel 91 is een overzicht van de belangrijkste resultaten weergegeven.

Tabel 91 Output in gewicht en energie, input in energie, landgebruik en arbeid

	1950	1980	2010	2015	2040
aantal inwoners NL	10.200.280	14.091.000	16.486.000	16.900.726	17.000.000
aantal landbouwbdr.	410.000	145.000	72.000	64.000	172.000
gem. bedrijfsgrootte	5,7 ha	13,9 ha	25,9 ha	28,8 ha	10,5 ha
direct landgebruik	2.336.766 ha	2.016.171 ha	1.867.054 ha	1.841.362 ha	1.800.000 ha
indirect landgebruik	381.632 ha	3.413.584 ha	2.910.840 ha	3.178.688 ha	250.000 ha
totaal landgebruik	2.718.398 ha	5.429.755 ha	4.777.894 ha	5.020.050 ha	2.050.000 ha
directe arbeid	520.422 a.j.e.	223.422 a.j.e.	122.998 a.j.e.	113.099 a.j.e.	583.500 a.j.e.
indirecte arbeid	85.932 a.j.e.	192.365 a.j.e.	170.770 a.j.e.	188.416 a.j.e.	100.000 a.j.e.
totaal arbeid	606.354 a.j.e.	415.787 a.j.e.	293.768 a.j.e.	301.515 a.j.e.	683.500 a.j.e.
<i>output, input totaal</i>					
output (gewicht)	16 mln. ton	33 mln. ton	38 mln. ton	39 mln. ton	10 mln. ton
output (energie)	65 PJ	114 PJ	133 PJ	135 PJ	66 PJ
input (energie)	54 PJ	215 PJ	271 PJ	305 PJ	30 PJ
output/input	1,20	0,53	0,49	0,44	2,18
<i>output, input per ha</i>					
output in ton/ha	5,91 ton/ha	6,06 ton/ha	7,95 ton/ha	7,83 ton/ha	5,04 ton/ha
output in GJ/ha	23,886 GJ/ha	21,028 GJ/ha	27,827GJ/ha	26,821 GJ/ha	31,969 GJ/ha
input in GJ/ha	23,021 GJ/ha	106,530 GJ/ha	145,383GJ/ha	165,636GJ/ha	16,667 GJ/ha
output/input	1,04	0,20	0,19	0,16	1,92
output/ton product	4,039 GJ/ton	3,472 GJ/ton	3,502 GJ/ton	3,432 GJ/ton	6,339 GJ/ton
input/ton product	3,346 GJ/ton	6,531 GJ/ton	7,149 GJ/ton	7,760 GJ/ton	2,902 GJ/ton

Voor een relatief geringe stijging van de opbrengsten per ha (50% in tonnen en 12% in GJ) in de periode 1950 t/m 2015 is de input per ha met 619% toegenomen en is elders 2,8 miljoen ha extra grond ingezet. Voor deze productieverhoging zijn over een oppervlakte van ruim 1,3 miljoen ha ruilverkavelingen en landinrichtingsprojecten uitgevoerd. Hierbij kan de vraag worden gesteld of de kosten hier niet veel groter zijn dan de baten. Veel kosten hadden kunnen worden vermeden als eerder was omgeschakeld naar een duurzame landbouw. De resultaten voor het jaar 2040 dienen te worden gezien als een schets voor een duurzaam landbouwsysteem.

Er kan niet worden gewacht tot de prijsverhoudingen tussen de productiefactoren zodanig zijn dat wordt gekozen voor de inzet van minder grondstoffen en energie en meer arbeid. Daar is de tijd niet voor, omdat een hele infrastructuur moet worden aangepast. Extra beleidsmaatregelen moeten worden ingezet om de omschakeling naar een duurzame landbouw te versnellen. De overheid moet in haar eigen handelen het goede voorbeeld geven en geen investeringen meer doen die het klimaatprobleem erger maken (zoals wegen en vliegvelden). Het onderzoek moet ook worden afgestemd op het realiseren van een lage-input-landbouw.

Door het concreet maken van de randvoorwaarden die vanwege het klimaatprobleem aan de landbouw (en aan de hele maatschappij) worden gesteld is in dit proefschrift zichtbaar gemaakt hoe de landbouw zich heeft ontwikkeld in de periode 1950 – 2015 en hoe een duurzame landbouw met een lage input van energie en grondstoffen en een herstel van de kringloop van organische en anorganische stoffen er in 2040 uit zou kunnen zien. Hiermee is een bijdrage geleverd aan de gedachtenvorming over de zo noodzakelijke omschakeling van

onze landbouw. Dit laat onverlet dat het nu beginnen aan een drastische omschakeling van de landbouw zeer noodzakelijk is.





## Summary

The purpose of this thesis is:

- to provide a theoretical model with which the performance of agriculture (summarized in the concept of sustainability) can be assessed;
- to visualize the development of the sustainability of agriculture in the period from 1950 to 2015;
- giving an outline of an agricultural system that is sustainable, can provide food security and can meet the climate objectives.

In this thesis sustainability is defined as producing goods and services with as little as possible energy, raw materials and land use and causing as less as possible negative effects on the environment.

Sustainability has been calculated based on the following parameters:

- the energetic value of the output and input of agriculture;
- direct and indirect land use;
- direct and indirect labour.

The energetic value of the output has been calculated based on the weights of the yield of the products and the energetic value of the agricultural products (the metabolic energy). The energetic value of the input has been calculated based on the quantities of the used energy and raw materials and their embodied energy. The direct land use is the quantity of agricultural land in the Netherlands. The indirect land use is the area of land needed for winning, producing and distributing the input. Direct labour concerns the workers on the farms in the Netherlands. Indirect labour is the labour needed for producing the input. Indirect land use and indirect labour can be deployed in the Netherlands or elsewhere. The non-nutritive greenhouse horticulture has not been taken into consideration here.

After formulating the theoretical framework the research questions have been formulated plus the concepts used in this thesis and the methodology and way of working. The theoretical framework is conceptualized based on the production factors land, labour and capital. The performance of agriculture has been measured so far based on the productivity of labour, whereby a number of things are ignored. Measuring the performance based on sustainability, as defined in this thesis, meets these objections. Indicated is that the concepts EROEI (Energy Return On Energy Investment) and Net Energy are important to judge the future energy supply.

The input is calculated based on the following 12 topics: the direct and indirect use of energy, the latter of which consists of mining, greenhouses, other buildings, tractors and machinery, cattle feeder, animal manure, fertilizer, pesticides, electronics, services and transport and infrastructure. For every kind of input also (as far as possible) the indirect land use and the indirect labour are calculated.

Since 1950 agricultural production (output) in the Netherlands has increased. With less people and less farms the production in 2015 is higher than in 1950. The quantity of used input has increased faster than the production (output). The ratio between output and input decreases between 1950 and 2015. In the same period direct land use decreases and indirect land use increases. The same applies to labour: direct labour decreases and indirect labour increases. In

1950 direct land use and direct labour are larger than indirect land use and indirect labour; in 2015 it is the other way round.

The maintenance of soil fertility is important for agriculture and for food quality. Food quality has declined in recent decades. This is because organic matter and nutrients are not reused in a cycle, but are lost due to the way in which residues are processed now. It has been ascertained whether Dutch agriculture can feed its own population. Based on the Health Council directive 2015 the required amounts of food for the Dutch population have been calculated and on this base the required area of agricultural land. It appears that not enough food can be produced. The calculated quantities of animal products have been reduced to 50% and in that situation there would be enough food.

The desirability reusing raw materials has been elaborated by examining whether all residual flows of organic material in agriculture makes a sufficient fertilization level of the agricultural land possible. That appears to be the case, but then there must come a (for a large part) new collection structure for all residual flows of organic materials. This allows the cycle to be closed and a further deterioration of soil fertility and food quality can be avoided.

The social costs of agriculture has partly been calculated on the basis of greenhouse gas emissions in CO<sub>2</sub>-equivalents. These costs were compared with the social costs as calculated in a number of studies. The orders of magnitude are similar. The social costs of agriculture calculated here are 4.5 billion euros (based on the FAO price for CO<sub>2</sub>) and vary from 2 billion euros to 11.7 billion euros (based on the price for CO<sub>2</sub> of CPB and PBL). The greenhouse gas emissions of agriculture in 2015 amounted to 39,064,800 tons of CO<sub>2</sub> equivalents. Social costs are not only caused by the emissions in CO<sub>2</sub>-equivalents, but also by other factors. Based on FAO-studies a range is indicated of the total social costs from 5 to 20 billion euros.

Price ratios between labour and energy and raw materials are now such that they opt for replacing labour by capital. This has been worked out in an example. Calculations based on energetic values do not (always) run parallel to those based on money. When making decisions this aspect is often underexposed. The export balance of food agriculture is approximately 13 billion euros. The net added value at factor costs has been fallen by 21% after inflation correction in the period from 1950 to 2015. In 2015 the calculated social costs of agriculture vary between lower and much higher than the net added value at factor costs, which then amounted to 6.9 billion euros. The question arises then whether the present agriculture is still a useful activity both in a social and economical way.

In order to meet the climate targets, as formulated in the Paris agreement, these have been translated to Dutch agriculture. Subsequently, a number of starting points were determined for agriculture in the future, with as the guiding principle the year 2040 chosen. Based on a number of preconditions, as stated for the year 2040, a drastic reduction of the use of energy and raw materials should take place. This is only possible on a large scale if capital will be replaced by labour on a large scale. Also exports and imports must then be kept to a minimum. In order to visualize this development, a number of data on agriculture for the period 1950 to 2040 have been determined.

The main conclusions of this research are:

- the sustainability of agriculture has declined sharply from 1950 to 2015 and should increase in the period from 2016 to 2050. This necessitates a large influx of labour into agriculture (reruralisation). In doing so the picture of agriculture in 2040 will

deviate strongly from that in 2015 and in some respects look a bit like agriculture in 1950;

- direct land use has decreased by 495.000 ha (21%) in the period 1950 to 2015 and indirect land use has increased with 2,8 million ha;
- direct labour has decreased by more than 407.000 f.t.e. in the period 1950 to 2015 and indirect labour has increased with 102.000 f.t.e.;
- an increase in the energetic value of the input in GJ/ha of 619% in the period 1950 to 2015 results in a relatively small increase of the output in GJ/ha by 12%;
- all resources deployed in the period 1950 to 2015 to increase production bear no reasonable relation to the realized revenue increase
- present agriculture must quickly be transformed into a sustainable agriculture.

In order to display the amounts of energy in this thesis the PJ (PetaJoule) unit is used when it concerns large quantities (national level) and the GJ (GigaJoule) unit is used when it comes to energy quantities at company level or per ton or per ha.

Table 92 provides a survey of the most important results.

Table 92 Output in weight and energy, input in energy, land use and labour

	1950	1980	2010	2015	2040
population NL	10.200.280	14.091.000	16.486.000	16.900.726	17.000.000
number of farms	410.000	145.000	72.000	64.000	172.000
average farm size	5,7 ha	13,9 ha	25,9 ha	28,8 ha	10,5 ha
direct land use	2.336.766 ha	2.016.171 ha	1.867.054 ha	1.841.362 ha	1.800.000 ha
indirect land use	381.632 ha	3.413.584 ha	2.910.840 ha	3.178.688 ha	250.000 ha
total land use	2.718.398 ha	5.429.755 ha	4.777.894 ha	5.020.050 ha	2.050.000 ha
direct labour	520.422 f.t.e.	223.422 f.t.e.	122.998 f.t.e.	113.099 f.t.e.	583.500 f.t.e.
indirect labour	85.932 f.t.e.	192.365 f.t.e.	170.770 f.t.e.	188.416 f.t.e.	100.000 f.t.e.
total labour	606.354 f.t.e.	415.787 f.t.e.	293.768 f.t.e.	301.515 f.t.e.	683.500 f.t.e.
<i>output, input total</i>					
output (weight)	16 mln. ton	33 mln. ton	38 mln. ton	39 mln. ton	10 mln. ton
output (energy)	65 PJ	114 PJ	133 PJ	135 PJ	66 PJ
input (energy)	54 PJ	215 PJ	271 PJ	305 PJ	30 PJ
output/input	1,20	0,53	0,49	0,44	2,18
<i>output, input per ha</i>					
output in ton/ha	5,91 ton/ha	6,06 ton/ha	7,95 ton/ha	7,83 ton/ha	5,04 ton/ha
output in GJ/ha	23,886 GJ/ha	21,028 GJ/ha	27,827GJ/ha	26,821 GJ/ha	31,969 GJ/ha
input in GJ/ha	23,021 GJ/ha	106,530 GJ/ha	145,383GJ/ha	165,636GJ/ha	16,667 GJ/ha
output/input	1,04	0,20	0,19	0,16	1,92
output/ton product	4,039 GJ/ton	3,472 GJ/ton	3,502 GJ/ton	3,432 GJ/ton	6,339 GJ/ton
input/ton product	3,346 GJ/ton	6,531 GJ/ton	7,149 GJ/ton	7,760 GJ/ton	2,902 GJ/ton

For a relatively small increase in yields per ha (50% in tons and 12% in GJ) in the period 1950 to 2015, the input per ha increased by 619% and 2.8 million ha of additional land was used elsewhere. For this increase in production land consolidation and land use projects have been carried out over an area of more than 1.3 million ha. The question can be asked whether the costs are not much higher than the benefits. Many costs could have been avoided if the

switch to sustainable agriculture had been made earlier. The results for the year 2040 should be seen as an outline for a sustainable agricultural system.

It is not possible to wait until price ratios between the production factors are such that the choice is made for the use of fewer raw materials and energy and more labour. We can't wait so long, because an entire infrastructure needs to be changed. Additional policy measures must be used to accelerate the transition to a sustainable agriculture. The government must set a good example in its own actions and no longer make any investments that make the climate problem worse (such as roads and airports). Research must also be tuned to achieve a low input agriculture.

By making specific the preconditions that are demanded from agriculture (and society as a whole) because of the climate problem, this thesis shows how agriculture has developed in the period 1950-2015 and how sustainable agriculture with a low input of energy and raw materials and a recovery of the cycle of organic and inorganic substances could be in 2040. With this thesis a contribution is delivered to the way of thinking about the necessary transition of our agriculture. This does not alter the fact that now soon starting a drastic conversion of agriculture is very urgent.

## Curriculum Vitae

### **Opleiding:**

Landbouwhogeschool Wageningen (1975), studierichting cultuurtechniek B, specialisatie projecten. Afstudeervakken: landinrichting/agrohydrologie, weg- en waterbouwkunde, economie en natuurbeheer.

### **Werkzaamheden:**

- landbouwer (biologische akkerbouw), 1996 – heden
- PhD Wageningen University, 2010 - 2018;
- zelfstandig adviseur, 2000 – 2014;
- lid Dagelijks Bestuur Waterschap Hunze en Aa's, 2009 – 2015;
- Waterbedrijf in Groningen, 1989 – 1998;
- Advies- en ingenieursbureau Grontmij in De Bilt, 1978 – 1989;
- Raadgevend Bureau Twijnstra Gudde te Deventer, 1977 – 1978;
- militaire dienst, 1975 – 1977.

### **Nevenfuncties:**

- voorzitter Coöperatie Drentsche mAat B.A., 2003 - heden;
- voorzitter Noord Nederlandse Biologische Landbouwvereniging (NBLV), 2014-2017
- lid Dagelijks Bestuur Agrarische Natuurvereniging Drenthe (interim), 2016/2017
- lid provinciaal bestuur Agrarische Natuurvereniging Drenthe, 2013 – 2016;
- plaatsvervangend voorzitter NBLV, 2012-2014;
- bestuurslid Studiekring Biologische Landbouw, Wageningen Universiteit, 2009 – 2012;
- bestuurslid Drents Particulier Grondbezit, 2005 – 2009;
- lid algemeen bestuur Waterschap Hunze en Aa's, 2001 – 2009;
- lid Statencommissie Omgevingsbeleid van de provincie Drenthe, 2001 – 2007;
- voorzitter Stichting Grondbeheer BD Landbouw, 1999 – 2007;
- lid Sectorberaad Platform Biologica, 1999 – 2003;
- secretaris Stichting Landelijk Platform Biologische Boerenmarkten, 1998 – 2003;
- voorzitter Landbouwkundige Kring Groningen, 1995 - 2001;
- voorzitter Milieufederatie Drenthe, 1992 - 2001;
- lid Algemeen Bestuur Stichting Noorderbreedte, 1992 - 2001;
- voorzitter Werkgroep Energie wetenschappelijk bureau D66, 1990 – 2001;
- commissaris Reststoffenunie BV, 1995 – 1999;
- lid werkgroep duurzame stedelijke waterkringloop in het kader van het interdepartementale onderzoekprogramma DTO (Duurzame Technologische Ontwikkeling), 1996 – 1997;
- raadslid/fractievoorzitter in de gemeente Nijkerk, 1982 – 1989;
- tentoonstelling en boek van de Stichting Nederland Nu Als Ontwerp, 1986 – 1988.

## Lijst van publicaties

- Smit, M.J. (ca 2002). “Waterbeheer door boeren”, *Noorderbreedte*
- Smit, M.J. (1997). “Voor elke oplossing een proces”, symposium “Waterwinning en bronnenkeuze; een blik op de 21<sup>e</sup> eeuw”, *Woudschoten conferentiecentrum Zeist, 26 en 27 november 1997*
- Smit, M.J. (1997). “Preventive or curative measures to reach (future) drinking water standards”, *21<sup>st</sup> International Water Supply Congress and Exhibition, Madrid 20 – 26 september 1997*
- Smit, M.J. (1997). *Samenwerken in de waterketen is noodzaak*. Interdepartementaal onderzoekprogramma duurzame technologische ontwikkeling, modellen van een duurzame waterketen, september 1997
- Smit, M.J. (1995). Visie vanuit de drinkwatersector, *Studiedag Samen werken aan water*”, *Nederlandse Vereniging voor Waterbeheer en Vereniging voor Waterleidingbelangen in Nederland, Jaarbeurs Utrecht, 5 april 1995*
- Smit, M.J. (1995) Oppervlaktewaterbedrijf “De Punt”, *voordracht uit de 47<sup>e</sup> Vakantiecursus in Drinkwatervoorziening “Bouwen voor de 21<sup>e</sup> eeuw”, gehouden op 6 januari 1995 aan de TU Delft, ir. M.J. Smit, H2O 23 maart 1995*
- Smit, M.J. et al. (1987). Biomassa uit afvalwater *Nieuw Nederland 2050, Stichting Nederland Nu Als Ontwerp*

## **Dankwoord**

Na in 1975 te zijn afgestudeerd ben ik in 2010 weer terug gekomen in Wageningen, dit keer als externe PhD bij de Rural Sociology Group. De verschillen met 1975 die mij het meest zijn opgevallen: veel mensen die Engels praten, veel computers en nieuwe gebouwen buiten het centrum van Wageningen.

Vanuit de gedachte dat het beeld over de prestaties van de Nederlandse landbouw toch enigszins verschilt van datgene wat het in werkelijkheid is, ben ik aan dit onderzoek begonnen. Mijn promotor Jan Douwe van der Ploeg heeft dit voor mij mogelijk gemaakt, waarvoor ik hem bij deze bedank. Hoewel ik zeker in het begin grote moeite had met de werkwijze die in de wetenschap dient te worden gevolgd, ben ik dit dankzij de consistente begeleiding van Jan Douwe (volgens mij) toch enigszins gaan begrijpen.

Ondanks het feit dat ik maar af en toe in Wageningen kwam, omdat ik dit onderzoek heb uitgevoerd naast mijn andere werkzaamheden, heb ik het altijd zeer plezierig gevonden om weer een dag naar Wageningen te kunnen gaan. Alle collega's in Wageningen bedank ik voor de prettige contacten die ik heb mogen ondervinden.

Verder dank aan alle mensen die aan mijn onderzoek hebben bijgedragen, zowel middels gesprekken als het geven van informatie.

Niet op vakantie en nooit ergens tijd voor waren vaak het gevolg van het schrijven van dit proefschrift. Heel veel dank aan mijn vrouw en kinderen voor jullie hulp en voor het getoonde begrip.

## **Colofon**

Kaftontwerp: Matthijs Betlem

Drukkerij: ProefschriftMaken || Digiforce

Copyright © 2018 | Meino Smit