



Duurzaamheid teelt van suikerbieten voor covergisting

Resultaten 2008-2010 van vijf telers in het project Energieboerderij



Bram Hanse en Toon Huijbregts

Stichting IRS
Postbus 32
4600 AA Bergen op Zoom
Telefoon: +31 (0)164 - 27 44 00
Fax: +31 (0)164 - 25 09 62
E-mail: irs@irs.nl
Internet: <http://www.irs.nl>

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher.

Het IRS stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruikmaking van de gegevens uit deze uitgave.

Inhoud

1.	INLEIDING EN DOEL	4
2.	MATERIAAL EN METHODEN	5
2.1	PERCELEN EN TELERS	5
2.2	METINGEN EN REGISTRATIES	5
2.2.1	<i>Analyses</i>	5
2.3	MEETLAT.....	5
2.4	STATISTIEK.....	6
3.	RESULTATEN EN DISCUSSIE	7
4.	SAMENVATTING EN CONCLUSIES.....	13
5.	LITERATUUR	14
	BIJLAGE A GEGEVENS AFVOER NUTRIËNTEN WORTEL EN LOOF TELERS ENERGIEBOERDERIJ 2008-2010	16

1. Inleiding en doel

Deze rapportage is onderdeel van het project Energieboerderij. Het project Energieboerderij heeft als doel om de duurzaamheid van in Nederland geproduceerde biomassa inzichtelijk te maken en te verbeteren. In plaats van het rekenen met gegevens uit de literatuur worden op praktijkbedrijven gegevens verzameld en geanalyseerd. Deze informatie vormt de basis voor het berekenen van duurzaamheidskengetallen en het optimaliseren van energieteelten.

Achtergrond van het project is de discussie over de oplossingsrichtingen voor de energievoorziening, het belang van hernieuwbare grondstoffen en de bijdrage die energieteelten daaraan kunnen leveren. De initiatiefnemers van Energieboerderij hanteren als uitgangspunt dat de energieteelt dient te voldoen aan de duurzaamheidscriteria voor biomassa ten behoeve van energiedoelinden [1]. Ook de regionale impact van meer energieteelten dient inzichtelijk te zijn. Uitgangspunt daarbij is dat alle berekeningen en resultaten eenduidig en transparant zijn voor alle betrokkenen en geïnteresseerden.

Er is in Energieboerderij gewerkt met een drietal in de praktijk functionerende ketens. De ketens dienen als basis voor de verzameling van bruikbare praktijkcijfers. Het betreft de volgende ketens:

1. maïsteelt - vergisting - elektriciteit;
2. suikerbietenteelt - vergisting - elektriciteit;
3. koolzaad - PPO/biodiesel.

Per keten is een groep telers betrokken die een van de bovengenoemde gewassen heeft geteeld. In de keten zijn teelt en verwerking gevolgd (registratie) en de benodigde metingen uitgevoerd. Met deze gegevens is over een periode van drie jaar de duurzaamheid van het energiegewas voor de totale keten bepaald.

Daarnaast zijn van elk gewas jaarlijks proefvelden en zogenaamde ‘best practice’ demo’s aangelegd, waarin teeltvarianten zijn vergeleken en de invloed op de duurzaamheid is bepaald. De verzamelde praktijkcijfers en de cijfers van de proefvelden en de demo’s werden met de verschillende telersgroepen besproken, met als doel vast te stellen waar de verbeterpunten liggen.

De duurzaamheid is bepaald met een, in het project ontwikkelde, meetlat voor energie-efficiency en broeikasgasemissiereductie [2,3].

Energieboerderij is een initiatief van de Vereniging Innovatief Platteland. De uitvoering was in handen van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (Wageningen UR), IRS en Cultus Agro advies.

Het project is mogelijk gemaakt door de volgende organisaties: Ministerie van EL&I, Wageningen UR, provincie Limburg, LLTB, Productschap Akkerbouw, Cosun, IRS, Argos Oil, Essent Milieu, Carnola, Saweco, HAS Kennistransfer en OCI-Nitrogen (voorheen: DSM Agro).

2. Materiaal en methoden

2.1 Percelen en telers

In de jaren 2008-2010 zijn suikerbietenpercelen op zandgrond van vijf telers in zuidoost Brabant in het project ingebracht. Vier van deze telers zijn geselecteerd vanwege hun deelname aan de bedrijfsvergelijking SUSY (Speeding Up Sugar Yield) [4,5] en de ligging van hun percelen nabij proefboerderij PPO Vredepeel, de vijfde teler. De praktijkpercelen met suikerbieten, waar de proeven zijn uitgevoerd, lagen op zandgrond in Elsdorp, Milheeze, Sambeek, Vierlingsbeek en Vredepeel.

2.2 Metingen en registraties

Alle handelingen op het deelnemende perceel zijn door de teler geregistreerd. Van de gebruikte machines en trekkers zijn in de meetlat gewicht, werkbreedte, brandstofverbruik, capaciteit en draaiuren per jaar geregistreerd, evenals de hoeveelheden gebruikte gewasbeschermingsmiddelen en de bemesting.

Voor de wortelopbrengsten zijn de perceelsopbrengst zoals geleverd aan de fabriek gebruikt. Voor aanvullende bepalingen zijn op de percelen wortel- en loofmonsters genomen. In deze monsters is het drogestof- en asgehalte voor de berekening van de methaanopbrengst bepaald. De loofbemonstering is ook gebruikt voor de bepaling van de loofopbrengst. Tevens is de nutriënteninhoud van wortel en loof bepaald, om de afvoer aan nutriënten te berekenen. Op elk perceel is 9 m² (4 rijen, 4,5 m) geoogst voor de wortel- en 4,5 m² (2 rijen, 4,5 m) geoogst voor de loofbemonstering.

2.2.1 Analyses

De wortelmonsters zijn volgens de standaardprocedure geanalyseerd voor de bepaling van de opbrengst en het gehalte aan suiker, kalium, natrium en aminostikstofverbindingen [6]. Van een deel van de brij zijn per veldje (herhaling) twee mengmonsters gemaakt. De mengmonsters zijn gesplitst voor bepaling van de drogestof bij 105°C [7] en analyse van as, N-totaal en P na drogen bij 70°C [8,9,10].

Het loof is gewogen en vervolgens onderbemonsterd, per veldje (herhaling) in totaal twee ondermonsters. Na verkleining zijn de twee ondermonsters gedroogd bij 70°C voor analyse van as, N, P, K, Na [8,9,10,11] en droge stof bij 105°C [7].

Het organischestofgehalte is berekend uit het drogestof- en asgehalte (drogestof - as).

Voor de bepaling van de methaangasopbrengst is voor wortel uitgegaan van 400 m³ en voor loof van 340 m³ methaan per ton organische stof [12].

Het energierendement en de broeikasgasemissiereductie zijn met de meetlat van Energieboerderij [3] berekend.

2.3 Meetlat

Alle verzamelde gegevens zijn in de meetlat ingevoerd. De meetlat is speciaal voor het project Energieboerderij ontwikkeld en beschreven in een separaat rapport [2]. Het energieverbruik en de broeikasgasuitstoot in CO₂-equivalenten van de keten (teelt en vergisting) zijn berekend. Vervolgens zijn met de opbrengsten het energierendement en de broeikasgasemissiereductie (BKG-emissiereductie) uitgerekend. De gebruikte kengetallen, en op basis waarvan zij zijn gekozen, staan beschreven in het voorgenoemde rapport.

In de meetlat voor de covergistingketen suikerbieten worden drie scenario's doorgerekend: vergisting van de hele plant, alleen de wortel en alleen het loof. Bij het laatste scenario wordt

de wortel gebruikt voor suikerproductie. Daardoor wordt hierbij de energie-input en de broeikasgasuitstoot van de teelt over de beide producten loof en wortel verdeeld, op basis van de energie-inhoud. Bij het scenario 'alleen wortel vergist' blijft het loof achter op het perceel en wordt de wortel voor alle inputs belast.

2.4 Statistiek

Om verschillen tussen telers te beoordelen zijn de gegevens van de BKG-emissiereductie en het energierendement statistisch geëvalueerd voor vergisting van de hele plant, waarbij het jaar als herhaling geldt. Ook de gegevens met betrekking tot de drie scenario's zijn geanalyseerd door middel van een ANOVA met GenStat [13]. Bij deze analyse is de teler als herhaling gehanteerd. Bij het energierendement bleek het jaar als co-variabele een significant effect te hebben. Daarom is 'jaar' bij de statistische analyse van energierendement als co-variabele meegenomen. Bij BKG-emissiereductie was dit niet het geval.

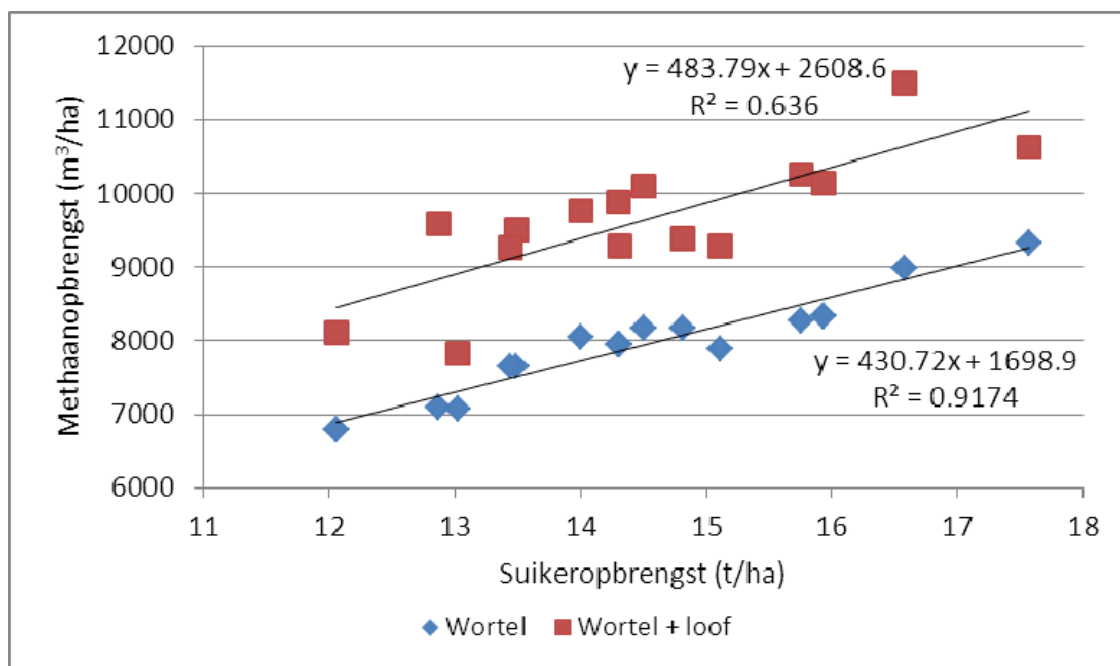
3. Resultaten en discussie

In tabel 1 staan de gemiddelde opbrengsten van de vijf suikerbietentelers in het project per jaar weergegeven. De opbrengsten zijn over de jaren hoog en redelijk stabiel: gemiddelde oogst 88,1 ton wortel en 45,9 ton loof per hectare. Het vastgestelde organische stofgehalte in de wortel was gemiddeld 23,0% en in het loof 11,0%. Er is gerekend met het organischestofgehalte in plaats van het drogestofgehalte, omdat de hoeveelheid aanhangende grond (variabel asgehalte) vooral bij loof het drogestofgehalte beïnvloedt. Voor de bepaling van de methaanopbrengst is gerekend met vaste verhoudingen tussen organischestofopbrengst en methaanopbrengst. Dit is mogelijk vanwege de relatief constante samenstelling van de organische stof in zowel wortel als loof [14]. De methaanopbrengst was gemiddeld 9.768 m³ per hectare, erg hoog in vergelijking met andere gewassen voor bio- of groengas. De methaanopbrengst is sterk gecorreleerd met de suikeropbrengst (figuur 1). Dit effect voor suikerbieten is ook in buitenlandse studies gevonden [15]. Deze auteurs stelden een formule op om de suikeropbrengst om te rekenen in drogestofopbrengst. Doordat voor suikerbieten in het project Energieboerderij een vaste methaanproductie per ton organische stof is gehanteerd, geldt dit ook voor de methaanopbrengst. Hierdoor is het beste suikerbietenras ook het beste ras om te telen voor energieproductie. Dat heeft het bijkomende voordeel dat een teler pas aan het eind van de teelt een besluit hoeft te nemen of hij de bieten wil leveren voor vergisting of voor suikerwinning. Vaak wordt ook aangedragen dat een voederbieten- of een suikerbietenras van mindere kwaliteit beter zouden zijn voor vergisting. Dit is echter niet het geval, omdat voor deze rassen de organischestofopbrengst op een vergelijkbaar of zelfs lager niveau als suikerbietenrassen ligt [14, 15, 16].

Tabel 1. Gemiddelde opbrengsten van de vijf suikerbietentelers in het project Energieboerderij per jaar.

jaar	versgewicht (t/ha)		organische stof (t/ha)		methaan (m ³ /ha)	
	wortel ¹	loof	wortel ¹	loof	wortel ¹	loof
2008	85,6	42,3	20,0	5,0	8.004	1.690
2009	88,9	41,3	20,4	4,2	8.179	1.449
2010	89,8	54,2	20,2	5,6	8.079	1.903
gemiddeld	88,1	45,9	20,2	4,9	8.087	1.681
maximum	104,0	82,9	23,3	7,4	9.322	2.512
minimum	78,4	19,1	17,7	2,2	7.096	752

¹ Wortel inclusief kop.



Figuur 1. Relatie tussen de methaanopbrengst uit wortel en wortel plus loof met de suikeropbrengst van de vijf telers in het project Energieboerderij 2008-2010.

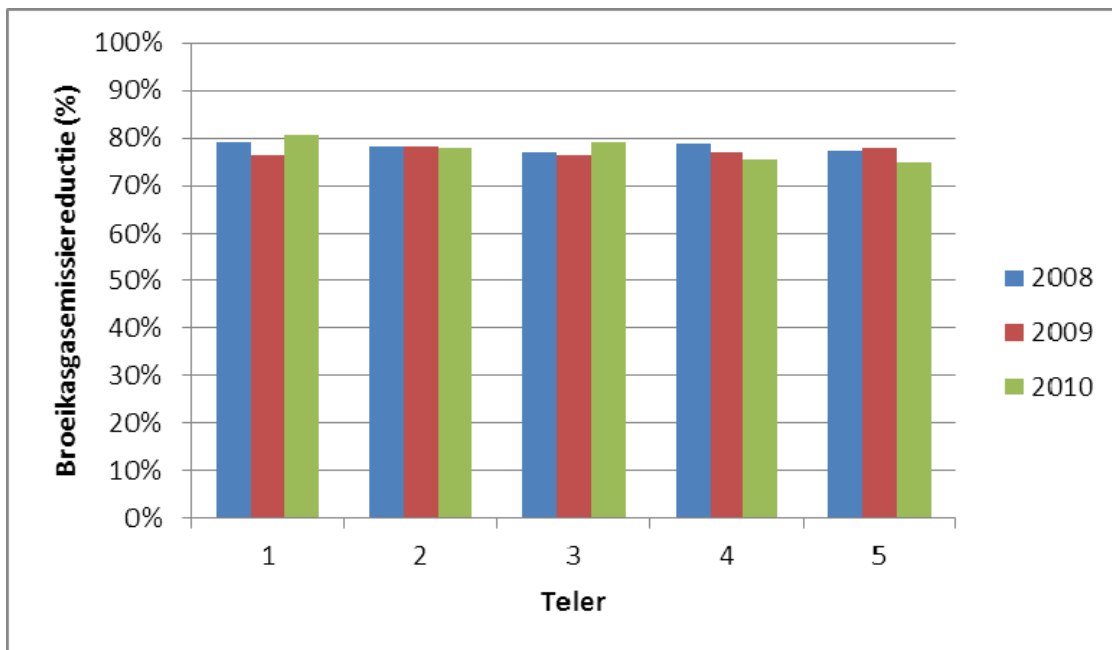
Het invullen van de volledige teeltregistratie, -handelingen en de opbrengsten in de meetlat resulteerde in de efficiëntie voor de energieproductie en broeikasgasuitstoot. De cijfers voor de covergisting van suikerbieten staan vermeld in tabel 2. Het betreft de gemiddelden van de vijf deelnemende telers over de drie jaren. De keten suikerbieten voldoet met de BKG-emissiereductie van gemiddeld 78% ruimschoots aan de gestelde normen in de NTA8080 [1]. Zelfs de laagst gevonden BKG-emissiereductie voldoet hieraan ruimschoots. Het energierendement is ook hoog. Gemiddeld wordt een equivalent van slechts 11% van de totaal geproduceerde energie gebruikt om te produceren.

Tabel 2. Gemiddelde energieverbruik, -productie, -rendement en broeikasgasemissie, -opname en -emissiereductie voor covergisting van suikerbieten (hele plant) gemeten bij vijf telers, berekend met de meetlat, ontwikkeld in het kader van project Energieboerderij.

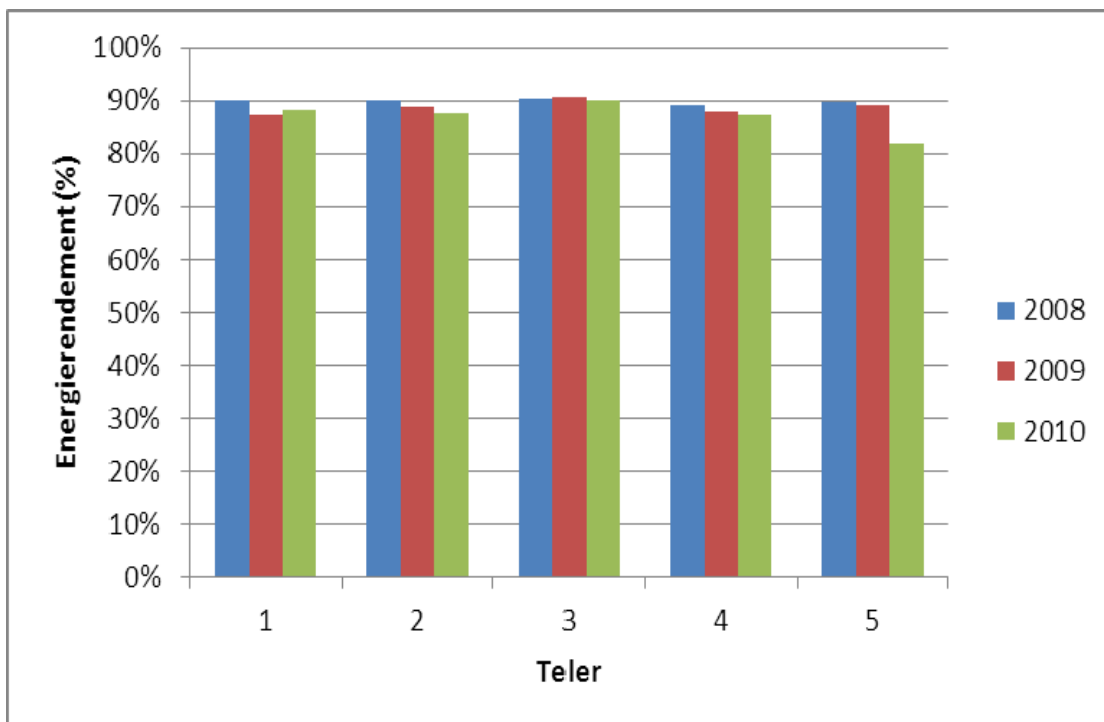
	gemiddelde 2008-2010	maximum	minimum
energieverbruik (mj)	35.421	65.487	23.381
bruto-energieproductie (mj)	307.139	362.569	246.762
netto-energieproductie (mj)	271.717	299.165	223.382
energieyield (%)	89%	91%	82%
emissie (kg CO ₂ equivalenten)	8.806	11.693	7.272
opname (kg CO ₂ equivalenten)	39.390	46.498	31.646
netto-opname (kg CO ₂ equivalenten)	30.584	34.806	24.196
BKG-emissiereductie (%)	78%	81%	75%

De behaalde BKG-emissiereductie door de telers in de drie jaren van het project is weer gegeven in figuur 2. De verschillen tussen de telers waren niet significant. Hetzelfde geldt voor het energierendement (figuur 3). De variatie tussen de vijf geselecteerde telers is gering en betekent dat beoordeling op efficiëntie bij het gewas suikerbieten over grotere groepen kan

plaatsvinden en dat beoordeling per teler minder relevant is.



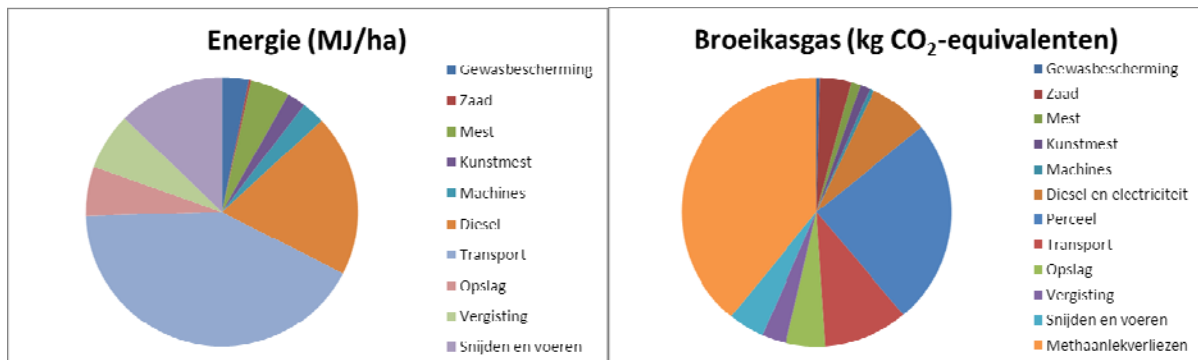
Figuur 2. BKG-emissiereductie bij vergisting van de hele plant van vijf suikerbietentelers op zandgrond in het project Energieboerderij in de periode 2008-2010. De verschillen tussen telers zijn niet significant.



Figuur 3. Energierendement bij vergisting van de hele plant van vijf suikerbietentelers op zandgrond in het project Energieboerderij in de periode 2008-2010. De verschillen tussen telers zijn niet significant.

De verdeling van het energieverbruik en de broeikasgasemissie van de hele keten suikerbieten staan weergegeven in figuur 4. Van het totale energieverbruik van de keten vergisting suikerbiet (hele plant) wordt 75% bepaald door drie zaken: transport van product naar de vergister

en afvoer van het digestaat (42%), diesilverbruik voor bewerkingen gedurende de teelt (19%) en het snijden, wassen en voeren van de vergister 13% (figuur 4). Voor de broeikasgasuitstoot zijn de belangrijkste posten de methaanlekverliezen van de vergister (39%) en de broeikasgasuitstoot van het perceel (25%). Dit duidt erop dat naast de teelt ook de vergister en de efficiëntie waarmee de vergister draait en een optimale logistiek heel belangrijk zijn voor de duurzaamheid van de hele keten. Daarnaast hebben de aannamen en kengetallen van de lekverliezen en het transport grote invloed op de duurzaamheid van de hele keten.



Figuur 4. De verdeling van het energieverbruik en de broeikasgasemissie voor teelt en vergisting van suikerbieten (hele plant). Totaal energieverbruik: 35.421 MJ per hectare. Totale broeikasgasemissie: 8.806 kg CO₂-equivalenten.

In figuur 5 staan de uitkomsten weergegeven van het doorrekenen van de drie scenario's:

- de hele plant vergist;
- loof vergist en wortel voor suikerproductie;
- wortel vergist met loof achterblijvend op het perceel.

Er is een significant lager energierendement wanneer het loof voor vergisting wordt afgevoerd en de wortel voor suikerproductie wordt gebruikt, omdat het loof veel minder organische stof per ton versgewicht bevat dan de wortel. In dit scenario zijn het energieverbruik en de BKG-emissie van de teelt zelf opgedeeld naar wortel en loof op basis van energie-inhoud. De extra kosten om het loof af te voeren naar de vergister komt echter volledig voor rekening van het loof. Dit transport kost dus relatief veel energie. Dit is ook de verklaring waarom de broeikasgasefficiëntie voor dit scenario significant lager is. De scenario's hele plant vergisten en wortel vergisten met loof achterlaten op het perceel zijn qua energie-efficiëntie aan elkaar gelijk. Wel is de BKG-emissiereductie significant lager voor het scenario wortel vergisten met loof achterlaten op het perceel door de extra uitstoot van broeikasgassen als gevolg van de vertering van het loof op het land. Deze extra uitstoot (45,9 t/ha; tabel 1) bedraagt gemiddeld 1.038 kg CO₂-equivalenten per hectare. Dit is 32,4% van de broeikasgasuitstoot van de teelt (wortel vergist met achterlating van loof) en 11,9% van de hele keten. Het afvoeren en vergisten van loof kan dus de suikerbienteelt verduurzamen. Hoe groot het effect op de bodemstructuur is door de extra transportbewegingen is onbekend. Vanuit het oogpunt duurzaam telen moet hier wel aandacht voor zijn. Ook betekent het afvoeren van loof een extra afvoer van nutriënten (tabel 3 en bijlage A). Hier komt duurzaamheid met de meststoffenwetgeving in de knel.

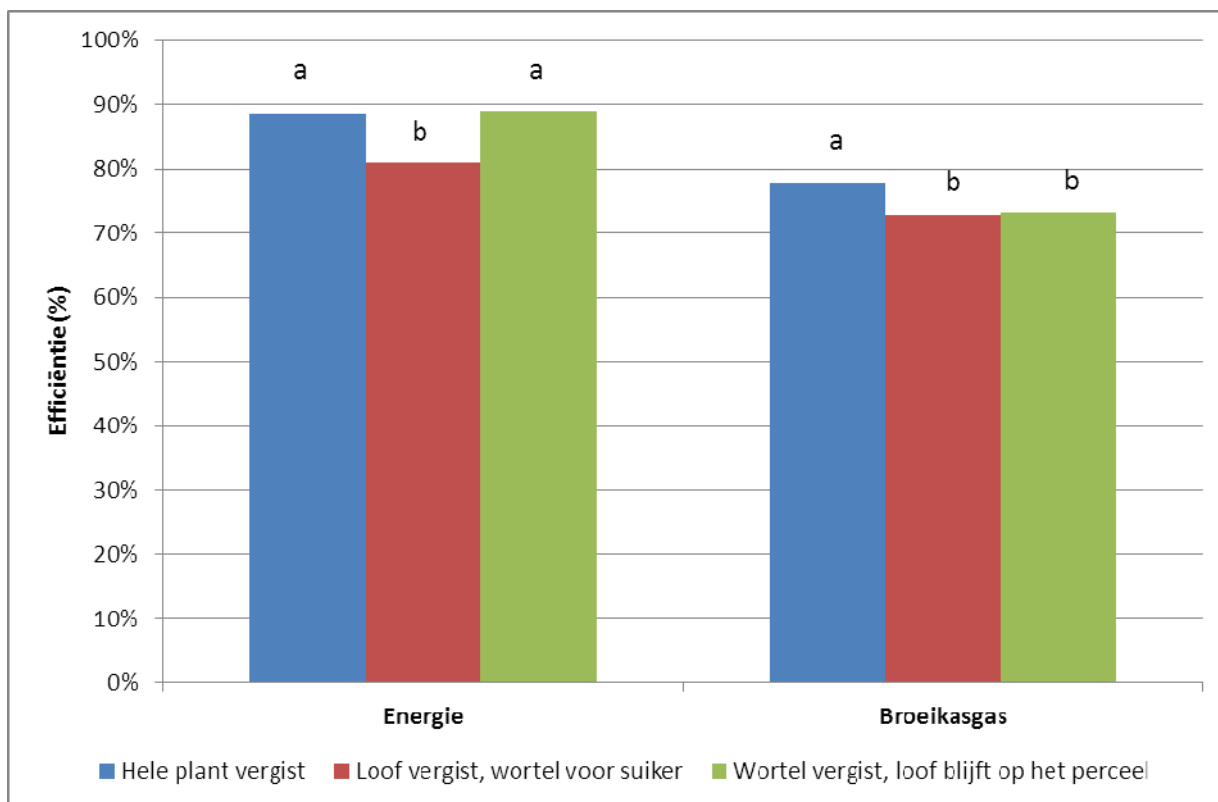
Over de hele keten worden er door de afvoer van het loof meer broeikasgassen (8.806 kg CO₂-equivalenten) uitgestoten door het transport en de methaanlekverliezen van de vergister, dan bij achterlating op het perceel (8.692 kg CO₂-equivalenten). Omdat het loof ook methaangas produceert, is de BKG-emissiereductie wel het hoogst bij het afvoeren ervan. Het beste is het loof als het wordt afgevoerd zo dicht mogelijk bij het perceel te vergisten.

Als het wordt afgevoerd, wordt met gemiddeld 46 ton vers loof bijna 50 kg fosfaat extra per hectare geloosd. Terwijl bij achterlating op het land vrijwel alle fosfaat die in het loof aanwezig is, uiteindelijk beschikbaar zal komen voor volgende teelten [17,18]. Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar de fosfaatinhouden van bietenloof. Deze leiden tot een ongeveer 10 kg P_2O_5 per hectare lagere schatting van fosfaat afvoer bij een versgewicht loof van 40 ton per hectare [19, 20, 21]. Ook bij onderzoek in de jaren zestig was gemiddeld 40 kg P_2O_5 in bietenloof aanwezig. Deze hoeveelheid was er al vanaf half augustus en nam vanaf die tijd niet meer toe. De fosfaatafvoer is toen gemeten op verschillende grondsoorten [22]. De gevonden extra fosfaatafvoer in deze studie is gedeeltelijk te verklaren uit de hogere loofopbrengst.

Voor stikstof kan afvoering van loof juist een verduurzaming betekenen als het digestaat na de winter op het perceel wordt teruggebracht. Met onbewerkt digestaat wordt 78% van de stikstof die bij de oogst in het loof aanwezig was, naar het perceel teruggebracht [17]. Bij achterblijving van loof op het perceel blijft maximaal 10-30 kg N (7-21%) beschikbaar voor het gewas van het volgende jaar, terwijl soms uitgegaan wordt van 0-10 kg N per hectare [23, 24, 25]. De rest van de in het kader van Energieboerderij gevonden 145 kg N per hectare spoelt dan uit of vervluchtigt. Aangenomen wordt dat afvoering van loof de N_2O -uitstoot met 15% kan reduceren [26]. In dit onderzoek is dus een veel hoger percentage (32,4%, zie boven) berekend. De hoeveelheid stikstof in bietenloof varieert sterk binnen en tussen verschillende onderzoeken, vooral veroorzaakt door de grote verschillen in loofhoeveelheden bij de oogst. De gevonden hoeveelheden variëren tussen 57-197 kg N per hectare, waarbij het gemiddelde tussen de 115 en 151 kg N lag [25, 27, 28]. Dit komt grotendeels overeen met de in dit onderzoek gevonden variatie en gemiddelden.

Wanneer het loof afgevoerd wordt, zal er een mogelijkheid moeten worden geboden om te compenseren voor de afvoer van de nutriënten uit het loof, anders zal er weinig voor gekozen worden om het loof te laten vergisten. De vergoeding voor loof dat wordt gebruikt in de vergister zou de afgevoerde nutriënten dus moeten compenseren en de fosfaatgebruiksruimte zou dan hierop moeten worden aangepast. Een andere mogelijkheid is om digestaat van de vergisting, dat bijna alle nutriënten nog bevat, ook buiten het eigen bedrijf toe te staan als meststof, zonder dat dit gebruiksruimte inneemt. Momenteel geldt dit alleen als vergisting plaatsvindt binnen het eigen bedrijf.

Naast de afvoer van nutriënten met het loof wordt er ook effectieve organische stof afgevoerd. Hoe groot het effect hiervan is op het bodemleven in het perceel is niet geheel duidelijk. Wel is de effectieve organische stof belangrijk voor het gehalte in de bodem en betekent de afbraak van verse organische massa in het eerste jaar een stimulans voor het bodemleven.



Figuur 5. Gemiddeld energierendement en BKG-emissiereductie van teelt en vergisting bij de suikerbietentelers in het project Energieboerderij in de periode 2008-2010 voor drie doorgerkende scenario's. De verschillende letters geven significante verschillen aan binnen het onderdeel (Energie lsd¹ 5% = 1,8% en Broeikasgas lsd¹ 5% = 1,7%).

Tabel 3. Gemiddelde afvoer van nutriënten in wortel en loof van suikerbieten van vijf telers binnen Energieboerderij, 2008-2010.

plantdeel	versgewicht (t/ha)	organische stof (t/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	N (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Na ₂ O (kg/ha)	MgO* (kg/ha)	CaO* (kg/ha)
loof	46	5	49	145	239	95	45	66
wortel	88	20	62**	130**	148	10	36	32
hele plant	134	25	111	275	392	105	80	98

* Alleen in 2009 en 2010 bepaald.

** In 2008 alleen in Vierlingsbeek.

¹ least significant difference.

4. Samenvatting en conclusies

- De methaanopbrengst is sterk gecorreleerd aan de suikeropbrengst.
- Suikerbieten telen voor (co)vergisting tot groene stroom uit biogas voldoet aan de gestelde eisen voor duurzaamheid met een BKG-emissiereductie van gemiddeld 78%.
- Gemiddeld wordt slechts 11% van de energieopbrengst gebruikt om deze bio-energie te produceren.
- De vijf deelnemende telers verschilden onderling niet op duurzaamheidscriteria.
- 75% van het energieverbruik van de hele keten komt ten laste van transport (aanvoer product en afvoer digestaat), diesel (verbruik in de teelt) en bieten snijden, wassen en invoeren in de vergister.
- Belangrijkste bronnen van broeikasgasuitstoot in de keten zijn de methaanlekverliezen van de vergister en de broeikasgasuitstoot van het perceel (samen 64%). Beide zijn echter mede gebaseerd op aannamen en kengetallen.
- Naast een efficiënte teelt is dus ook een efficiënt vergistingsproces en optimale logistiek nodig.
- Afvoering van loof voor vergisting heeft een positieve bijdrage voor de duurzaamheid, wanneer er alleen wordt gelet op energierendement en BKG-emissiereductie. Er worden echter wel meer broeikasgassen uitgestoten.
- Van de onderzochte scenario's geeft het scenario 'hele plant vergist' de hoogste BKG-emissiereductie en het hoogste energierendement.
- Afvoering van loof betekent een aanzienlijke afvoer van nutriënten wat knelpunten oplevert met het huidige mestbeleid.
- Aanpassing van het mestbeleid met betrekking tot digestaat is dan ook gewenst om gewasresten duurzaam te kunnen benutten.

5. Literatuur

1. Nederlandse Technische Afspraak, NTA8080 (2009): Duurzaamheidscriteria voor biomassa ten behoeve van energiedoelinden. NEN, Delft, 46 p.
2. Voort, M. van der & Stilma, E.S.C. (2011): Toelichting meetlat Energieboerderij; energiegebruik en broeikasgasemissie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. PPO projectnummer; 32500348 (in druk).
3. Energieboerderij: www.energieboerderij.nl.
4. Hanse, Bram (2011): Improvement of the competitiveness of the sugar beet crop in the Netherlands, Göttingen, Univ., Diss. 144 p.
5. Hanse, A.C. (2011): Onderzoek verbetering rendement suikerbietenteelt. IRS, Bergen op Zoom, 11P02, 87 p.
6. Bruijn, J.M. de & Huijbregts, A.W.M. (2007): Uniforme methode voor gewichtsbepaling, monsternamen en monsteronderzoek van suikerbieten in Nederland. Uitgave van de Nederlandse Suikerindustrie. Uitgave 2007.
7. Animal feeding stuffs - Determination of moisture and other volatile matter content. ISO 6496: 1999.
8. Animal feeding stuffs - Determination of crude ash. ISO 5984: 2003.
9. Animal feeding stuffs - Determination of phosphorus content - Spectrometric method. ISO 6491: 1999.
10. Animal feeding stuffs - Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content - Part 2: Bloch digestion/steam distillation method. ISO 5983-2: 2005 (with modification).
11. Animal feeding stuffs - Determination of the calcium, copper, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium, and zinc contents - Atomic absorption spectrometric method. ISO 6869: 2001.
12. Raap J. (2009): CFTC, pers. comm.
13. GenStat 12de Editie, VSN International Ltd.
14. Starke, P. & Hoffmann, C. (2010): Zuckerrüben als Substrat für die Biogaserzeugung. Sugar Industry, Sonderheft 9. Göttinger Zuckerrübenstagung 135, 88-96.
15. Hoffmann, C., Starke, P. & Märländer, B. (2011): Trockenmasse- und damit Zuckerertrag als Kriterium für den Biogasertrag von Zuckerrüben. Sugar Industry, Sonderheft 10. Göttinger Zuckerrübenstagung 136, 81-89.
16. Huijbregts, Toon & Hanse, Bram (2011): De teelt van suikerbieten voor vergisting. Effect van oogsttijdstip, stikstofbemesting en raskeuze. IRS, Bergen op Zoom (in druk).
17. Ruijter, F.J. de, Brooijmans, P.W.A.M., Wilting, P., Huijbregts, A.W.M., Raap, J.F.M. & Corré, W.J. (2009): Afvoer en vergisting van bietenloof. Burostudie naar de effecten op nutriënten, emissies en energie. Rapport 241, PRI, Wageningen, 38 p.
18. Wilting, P. (2011): IRS, pers. comm.

19. Dornburg, V., Lewandowski, I. & Patel, M. (2004): Comparing the land requirements, energy savings, and greenhouse gas emissions reduction of biobased polymers and bioenergy. *Journal of Industrial Ecology* 7: 93-116.
20. Ehler, P.A.I., Van Middelkoop, J.C. & Dekker, P.H.M. (2006): Fosfaatgehalten en fosfaatafvoer van landbouwgewassen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1348. 92 p.
21. Wilting, P. (2006): Opname voedingsstoffen. IRS, Betatip, 2006.
22. Jorritsma, J. (1985):. De teelt van suikerbieten. Instituut voor Rationele Suikerproductie, Bergen op Zoom, Nederland.
23. Van Dijk, W. (2003): Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Lelystad, 66 p.
24. Ruijter, F.J. de & Smit, A.L. (2007): Het lot van stikstof uit gewasresten. Plant Research International. Rapport 133. 33 p.
25. Wilting, P. (1992):. Onderzoek naar het vrijkomen van stikstof, kalium en natrium uit bietenblad gedurende de wintermaanden en het vroege voorjaar. Instituut voor Rationele Suikerproductie, Interne mededeling nr. 134.
26. Tijmensen, M.J.A., Mombarg, H., Van den Broek, R.C.A. & Wasser, R. (2002): Haalbaarheid van co-vergisting van oogstresten in de mestvergister in de Wieringermeer. Ecofys bv en CLM i.o.van Novem, Utrecht. 65 p.
27. Baumgärtel, G. & Engels, T. (1994):. Mineralization and leaching of nitrogen from beet leaves. *Zuckerrübe* 43: 125-129.
28. Smit, A.B., Struik, P.C. & Van Niejenhuis, J.H. (1995): Nitrogen effects in sugar beet growing: a model for decision support. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 43: 391-408.

Bijlage A Gegevens afvoer nutriënten wortel en loof telers Energieboerderij 2008-2010

locatie	jaar	loof (l)							wortel (w)							l+w
		vers (t/ha)	OS (t/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	N (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Na ₂ O (kg/ha)	CH ₄ (m ³ /ha)	vers (t/ha)	OS (t/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	N (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Na ₂ O (kg/ha)	CH ₄ (m ³ /ha)	CH ₄ (m ³ /ha)
Vredepeel	2008															
A		43,7	5,6	54,9	136,2	208,4	89,0	1.909								
B		41,2	5,4	68,2	142,2	162,1	84,6	1.841								
C		36,1	4,8	60,6	120,9	142,0	75,3	1.620								
D		51,6	6,2	68,6	129,8	296,2	103,1	2.110								
gemiddeld		43,1	5,5	63,1	132,3	202,2	88,0	1.854	81,4	19,1					7.653	9.507
Vierlingsbeek	2008															
A		47,9	5,1	50,5	140,4	271,3	60,8	1.744	87,5	20,1	50,6	116,5	149,3	5,5	8.052	9.796
B		42,9	4,5	49,1	124,8	206,7	51,8	1.523	98,2	21,9	56,7	141,3	166,0	6,8	8.773	10.296
C		42,9	4,8	47,8	124,0	202,3	52,8	1.630	96,8	22,0	55,4	134,9	155,3	6,2	8.791	10.422
D		51,0	5,9	54,4	154,5	283,9	69,2	2.001	97,5	22,0	54,5	144,1	169,9	5,7	8.804	10.805
gemiddeld		46,2	5,1	50,4	135,9	241,1	58,7	1.724	95,0	21,5	54,3	134,2	160,1	6,0	8.605	10.330
Sambeek	2008															
A		61,5	6,5	58,0	146,1	272,4	147,0	2.220								
B		72,5	8,0	68,5	152,3	228,7	97,2	2.723								
C		29,2	3,8	36,1	150,6	310,0	64,2	1.278								
D		44,4	4,6	38,8	139,4	257,7	172,4	1.571								
gemiddeld		51,9	5,7	50,4	147,1	267,2	120,2	1.948	86,7	20,4					8.169	10.117
Milheeze	2008															
A		30,9	3,9	50,8	113,2	164,7	69,4	1.321								
B		32,2	4,3	50,1	116,7	179,0	66,1	1.475								
C		34,4	4,5	52,6	127,7	172,9	79,6	1.529								
D		57,3	6,3	77,3	196,0	256,1	111,8	2.144								
gemiddeld		38,7	4,8	51,7	138,4	193,2	81,7	1.617	80,8	19,1					7.620	9.238
Elsendorp	2008															
A		32,6	4,0	41,5	123,9	208,8	41,3	1.354								
B		34,4	4,6	48,8	139,7	177,3	51,2	1.547								
C		26,3	3,1	30,9	97,8	234,4	26,7	1.042								
D		32,4	3,8	45,9	133,4	205,6	36,7	1.291								
gemiddeld		31,4	3,8	41,8	123,7	206,5	39,0	1.308	74,5	17,0					6.793	8.102

locatie	jaar	loof (l)									wortel (w)									l+w	
		vers (t/ha)	OS (t/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	N (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Na ₂ O (kg/ha)	MgO (kg/ha)	CaO (kg/ha)	CH ₄ (m ³ /ha)	vers (t/ha)	OS (t/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	N (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Na ₂ O (kg/ha)	MgO (kg/ha)	CaO (kg/ha)	CH ₄ (m ³ /ha)	CH ₄ (m ³ /ha)	
Vredepeel	2009																				
A		50,7	5,5	35,4	90,5	136,4	28,0				23,7	73,0	143,5	166,6	11,2						
B		35,0	3,9	45,1	103,5	138,4	40,9				23,1	77,6	142,6	188,8	10,8						
C		19,1	2,5	51,6	118,0	99,8	31,0				23,7	74,2	158,2	135,5	7,6						
D		22,6	2,9	45,6	114,9	147,0	29,8				22,7	75,5	142,2	140,4	8,2						
gemiddeld		31,8	3,7	44,4	106,7	130,4	32,4			1.287	104,0	23,3	75,1	146,6	157,8	9,5				9.322	10.609
Vierlingsbeek	2009																				
A		35,6	3,7	44,4	128,2	246,3	84,6	35,8	54,8		20,0	62,9	112,3	139,4	6,3	46,1	41,7				
B		43,9	4,5	44,4	134,1	236,9	78,3	37,4	50,2		20,5	58,4	111,8	123,2	5,7	48,8	45,9				
C											19,6	68,2	124,4	148,7	8,3	44,0	45,4				
D											19,7	66,2	134,4	150,1	9,9	47,4	45,9				
gemiddeld		39,7	4,1	44,4	131,2	241,6	81,5	36,6	52,5	1.391	85,0	20,0	63,9	120,7	140,4	7,5	46,6	44,7	7.887	9.278	
Sambeek	2009																				
A		55,2	5,3	64,1	203,8	433,6	168,2	50,5	69,6		20,8	80,8	133,9	205,1	9,2	52,9	28,3				
B		78,8	6,3	66,0	190,6	415,4	194,9	64,8	76,7		20,8	84,8	129,1	202,8	9,3	52,3	27,6				
C											20,5	78,0	132,1	208,7	10,9	53,0	28,5				
D											20,6	75,1	140,2	204,0	9,2	49,7	28,5				
gemiddeld		67,0	5,8	65,1	197,2	424,5	181,6	57,7	73,1	1.993	88,3	20,7	79,7	133,8	205,2	9,6	52,0	28,3	8.267	10.260	
Milheeze	2009																				
A		37,2	4,4	48,6	161,1	217,3	92,1	40,8	85,2		21,0	51,4	124,0	108,6	7,7	42,7	29,5				
B		58,3	6,2	49,4	188,1	223,3	120,2	35,1	70,0		21,3	54,6	128,1	113,4	8,6	41,1	36,7				
C		51,0	5,3	54,6	194,5	202,0	91,5	48,8	105,0		20,4	54,3	123,7	128,4	11,5	45,3	23,1				
D		49,1	5,4	51,0	299,1	239,2	105,8	40,1	83,3		20,6	57,2	130,8	146,4	12,4	39,0	22,4				
gemiddeld		48,9	5,3	50,9	210,7	220,5	102,4	41,2	85,9	1.820	88,5	20,8	54,4	126,7	124,2	10,1	42,1	27,9	8.321	10.141	
Elsendorp	2009																				
A		24,1	2,7	25,1	76,5	88,0	37,6	28,9	36,6		17,9	57,9	126,2	120,9	7,1	53,0	37,5				
B		13,8	1,6	31,4	75,5	130,2	27,8	16,2	32,5		17,6	57,3	171,4	89,2	7,0	52,4	36,8				
C		27,7	2,9	25,7	72,7	92,7	32,0	22,8	30,2		17,7	62,7	179,3	138,2	8,6	46,4	41,4				
D		10,9	1,4	39,0	67,1	108,7	29,7	23,1	41,5		17,8	60,5	145,0	123,4	8,3	45,2	36,1				
gemiddeld		19,1	2,1	30,3	73,0	104,9	31,8	22,7	35,2	752	78,5	17,8	59,6	155,5	117,9	7,8	49,3	38,0	7.069	7.848	

locatie	jaar	loof (l)									wortel (w)									l+w
		vers (t/ha)	OS (t/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	N (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Na ₂ O (kg/ha)	MgO (kg/ha)	CaO (kg/ha)	CH ₄ (m ³ /ha)	vers (t/ha)	OS (t/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	N (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Na ₂ O (kg/ha)	MgO (kg/ha)	CaO (kg/ha)	CH ₄ (m ³ /ha)	CH ₄ (m ³ /ha)
Vredepeel	2010																			
A		57,8	6,6	53,9	188,4	207,2	122,4	66,1	83,8	2.251	95,4	22,0	59,9	136,6	130,4	12,1	28,8	31,0	8.794	11.044
B		68,7	7,7	43,4	181,4	228,4	132,7	65,3	80,3	2.627	98,5	22,4	57,8	141,3	142,0	11,4	29,7	29,3	8.949	11.576
C		69,2	7,7	57,8	196,2	304,5	133,5	74,9	88,6	2.621	102,9	23,3	62,0	150,4	156,0	12,5	30,1	30,6	9.334	11.955
D		63,1	7,6	54,6	187,2	252,8	142,1	60,1	67,3	2.568	96,8	22,1	54,6	128,3	135,8	11,5	29,0	29,6	8.850	11.418
gemiddeld		64,7	7,4	52,6	188,9	247,4	132,8	66,7	80,3	2.517	98,4	22,5	58,6	139,1	141,9	11,9	29,4	30,1	8.982	11.498
Vierlingsbeek	2010																			
A		84,0	7,8	64,4	232,0	391,8	157,2	59,4	73,1	2.647	87,4	18,3	61,0	134,6	179,0	20,0	21,5	25,2	7.310	9.957
B		87,1	7,7	69,7	231,5	323,9	180,7	74,0	105,7	2.607	82,0	17,1	52,0	117,9	147,2	20,1	19,2	25,2	6.821	9.429
C		73,9	7,0	46,2	169,4	299,9	190,7	51,9	92,2	2.367	85,7	17,8	50,5	119,6	150,8	23,1	22,1	26,8	7.130	9.496
D		86,6	6,7	58,3	204,1	410,7	212,2	63,9	57,0	2.281	87,2	17,9	52,8	129,5	178,7	24,5	22,2	22,6	7.139	9.419
gemiddeld		82,9	7,3	59,4	208,6	356,7	186,1	62,2	82,0	2.475	85,6	17,8	54,1	125,3	163,7	21,9	21,2	25,0	7.100	9.575
Sambeek	2010																			
A		57,1	4,8	40,8	162,4	363,9	180,6	53,6	62,2	1.644	82,7	19,2	57,7	100,7	192,1	9,8	27,4	34,7	7.687	9.331
B		37,4	4,1	33,1	232,3	228,5	99,0	29,9	50,8	1.382	82,2	19,6	58,6	97,6	148,8	6,5	26,6	23,0	7.848	9.230
C		33,6	2,9	19,1	77,5	172,9	126,3	38,6	55,2	9.78	84,1	19,6	57,6	92,2	155,6	9,2	27,6	24,9	7.823	8.801
D		42,2	4,0	25,3	107,8	235,8	187,4	46,1	79,7	1.352	92,5	21,1	51,8	98,1	171,0	10,8	31,4	26,0	8.448	9.800
gemiddeld		42,6	3,9	29,2	144,1	246,7	149,3	42,5	63,3	1.339	85,4	19,9	56,6	97,3	167,1	9,0	28,2	27,2	7.951	9.290
Milheeze	2010																			
A		24,4	3,0	34,3	95,1	133,0	79,2	14,6	49,7	1.024	91,4	21,3	59,1	99,1	123,6	11,7	34,9	49,2	8.526	9.550
B		32,0	4,0	37,4	112,3	145,8	69,3	23,5	58,1	1.358	87,6	20,0	63,6	116,1	126,8	10,5	28,5	52,6	8.017	9.376
C		33,9	3,9	29,6	127,7	197,3	83,9	33,3	59,5	1.309	85,4	19,7	39,0	102,6	124,8	8,7	27,3	32,0	7.883	9.192
D		28,6	3,5	25,0	98,0	139,2	69,4	24,3	47,5	1.193	86,9	20,6	40,3	95,9	112,5	9,0	31,0	35,8	8.232	9.425
gemiddeld		29,7	3,6	31,7	108,0	153,3	75,9	23,7	53,7	1.221	87,8	20,4	50,4	104,0	122,1	10,0	30,2	42,3	8.165	9.386
Elsendorp	2010																			
A		45,3	4,8	54,5	1,5	289,7	70,7	57,2	65,7	1.619	81,5	17,8	70,0	136,0	188,2	6,7	18,1	24,6	7.136	8.755
B		73,3	8,8	84,4	231,3	441,4	78,3	79,4	81,5	3.005	100,4	23,0	92,8	176,8	210,4	7,0	26,4	28,7	9.213	12.218
C		35,8	4,3	57,2	131,0	236,7	41,1	25,1	35,0	1.457	93,9	21,2	76,6	132,5	154,1	6,1	26,1	28,1	8.467	9.924
D		50,1	5,0	47,2	150,1	379,8	66,5	42,9	87,8	1.682	80,4	17,4	63,5	126,1	188,3	6,5	17,1	23,0	6.971	8.653
gemiddeld		51,1	5,7	62,2	128,5	342,4	66,0	50,3	68,7	1.941	89,0	19,9	75,6	142,9	187,5	6,7	21,5	26,2	7.947	9.887