



Prototype van een Dynamisch Input Advies Systeem voor biogasinstallaties

M. Timmerman en J.W. van Riel



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN **UR**

Prototype van een Dynamisch Input Advies Systeem voor biogasinstallaties

M. Timmerman
J.W. van Riel

Wageningen UR Livestock Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research, in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Kennisbasis onderzoeksprogramma Groene Grondstoffen, thema 'Biorefinery en bioenergie' (projectnummer KB-13-003-012)

Wageningen UR Livestock Research
Wageningen, Augustus 2015

Livestock Research Report 897



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN **UR**

Timmerman, M., J.W. van Riel, 2015. *Prototype van een Dynamisch Input Advies Systeem voor biogasinstallaties*. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 897.

Samenvatting NL Het Dynamisch Input Advies Systeem (Dynamisch Vergisten) voor biogasinstallaties maakt gebruik van bedrijfsspecifieke procesgegevens voor de dagelijkse bijsturing van de input naar een biogasinstallatie. Het adviesstelsel bestaat uit een methodiek die dagelijks de actuele invloed bepaalt van de input op de biogasproductie en een control algoritme die op basis van de relatie tussen de input en de biogasproductie de optimale input bepaalt. Op basis hiervan wordt de input bijgesteld in de richting van de optimale input. Het control algoritme kan worden ingesteld om de input voor de maximaal haalbare biogasproductie te bepalen of om de input te bepalen waarbij het voersaldo (energieopbrengst minus voerkosten) maximaal is. Het doel van het onderzoek was het vaststellen van het "proof of principle" van de methodiek van Dynamisch Vergisten onder praktijkomstandigheden. Het onderzoek heeft plaatsgevonden op een melkveeproefbedrijf en een praktijkbedrijf. Uit de resultaten blijkt dat het principe van Dynamisch Vergisten in staat was om de input zo te sturen dat de biogasproductie toenam zonder dat het vergistingsproces nadelig werd beïnvloed. De toename in biogasproductie leidde tot hogere voersaldo's. De methodiek van Dynamisch Vergisten biedt perspectief om het financiële rendement van biogasinstallaties te verbeteren.

Summary UK The Dynamic Input Advice System (Dynamic Anaerobic Digestion) for biogas plants makes use of plant specific process data for the daily adjustments of the input to the biogas plant. The advice system consists of a method which determines daily the actual influence of the input on the biogas production and a control algorithm which on the basis of the relationship between the input and the biogas production determines the optimal input and subsequently adjusts the input into the direction of the optimal input. The control algorithm can be set to determine the input for the highest achievable biogas production or can be set to determine the highest feed balance (energy returns minus feed costs). The research objective was to determine the proof of principle of the method of Dynamic Anaerobic Digestion under practical circumstances. The research was carried out on an experimental farm and a practical farm. The results are showing that the principle of Dynamic Anaerobic Digestion was capable of steering the input into the direction of higher biogas productions without having negative consequences on the anaerobic digestion process. The increase in biogas productions led to higher feed balances. The method of Dynamic Anaerobic Digestion offers possibilities to improve the financial returns of biogas plants.

© 2015 Wageningen UR Livestock Research, Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wageningenUR.nl/livestockresearch. Livestock Research is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op als onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Inhoud

	Samenvatting	5
	Summary	6
1	Inleiding	8
	1.1 Achtergrond	8
	1.2 Doelstelling	9
	1.3 Afbakening	9
	1.4 Leeswijzer	9
2	Uitleg methodiek van Dynamisch Vergisten	10
	2.1 Aanleiding	10
	2.2 Uitleg methodiek van Dynamisch Vergisten	11
	2.2.1 Dosis-response curve	11
	2.2.2 Bepaling van het maximale voersaldo	15
	2.2.3 Dagelijkse operationele keuze voor aanpassing van de input	15
	2.2.4 Routine van Dynamisch Vergisten in de praktijk	16
	2.3 Implementatie methodiek van Dynamisch Vergisten	17
3	Onderzoeksopzet	22
	3.1 Materiaal en Methode	22
	3.1.1 Biogasinstallatie Dairy Campus	22
	3.1.2 Biogasinstallatie praktijkbedrijf	23
	3.2 Methoden	24
	3.3 Aanpak Dynamisch Vergisten	26
	3.3.1 Dairy Campus	26
	3.4 Evaluatie van Dynamisch Vergisten	29
4	Resultaten	31
	4.1 Dairy Campus	31
	4.2 Praktijkbedrijf	42
	4.3 Evaluatie Dynamisch Vergisten	48
5	Discussie	51
6	Conclusies en aanbevelingen	53
	6.1 Conclusies	53
	6.2 Aanbevelingen	53
	Bijlage 1 Biogasopbrengst coproducten	55
	Bijlage 2 Analyseresultaten Dairy Campus	56
	Bijlage 3 Alternatief model praktijkbedrijf	57
	Bijlage 4 Experimenteel model praktijkbedrijf	58

Samenvatting

Bij agrarische biogasinstallaties (covergisting) vormen de inputkosten van de coproducten circa de helft van de operationele kosten. Wisselende markt- en teeltomstandigheden zorgen voor variatie in samenstelling, hoeveelheden en prijzen van organische producten. Dit maakt, samen met de complexiteit van het biologische vergistingsproces, dat het optimaliseren van de dagelijkse input naar een biogasinstallatie geen eenvoudige opgave is. In de praktijk blijkt dan ook dat veel agrarische biogasinstallaties geen maximale biogasproductie realiseren, veelvuldig processtoringen kennen, wisselende biogasopbrengsten produceren in de tijd en tegenvallende financiële rendementen behalen door o.a. (te) dure coproducten. Als gevolg hiervan draaien veel agrarische biogasinstallaties onrendabel. Wanneer de dagelijkse input naar de biogasinstallatie wordt geoptimaliseerd is directe (financiële) verbetering realiseerbaar. Wageningen UR Livestock Research heeft op basis van adaptieve modellen een prototype van een Dynamisch Input Advies Systeem voor biogasinstallaties ontwikkeld genaamd 'Dynamisch Vergisten'. Dit adviessysteem maakt gebruik van bedrijfsspecifieke procesgegevens voor de dagelijkse bijsturing van de input naar de biogasinstallatie. Het adviessysteem bestaat uit een methode die dagelijks de actuele response bepaalt van de input op de biogasproductie. Deze relatie bepaalt bij welke input de maximale biogasproductie wordt behaald, zodat de actuele input stapsgewijs kan worden bijgestuurd naar de input die de maximale biogasproductie geeft. Het is in principe ook mogelijk om de input te sturen op het maximale voersaldo (=omzet uit elektriciteit minus voerkosten), maar dat is in dit onderzoek niet getest. Het doel van het onderzoek was het vaststellen van een "proof of principle" van het Dynamisch Vergisten onder praktijkomstandigheden. Het onderzoek heeft plaatsgevonden met de biogasinstallaties van het melkveeproefbedrijf Dairy Campus en een melkveebedrijf in de praktijk.

Op de basis van de gerealiseerde resultaten bij het optimaliseren van de input op maximale biogasproductie met het prototype van het Dynamisch Input Advies Systeem (Dynamisch Vergisten) zijn de volgende conclusies getrokken:

- 1) De theoretische benadering van het operationeel modelleren van de relatie input aan coproducten en output aan energieproductie door middel van een adaptief model met een Bayesiaanse grondslag is uitvoerbaar gebleken. Het model leverde een schatting op van de respons op de hoeveelheid input aan coproducten. Op Dairy Campus was het model in staat om de input aan droge en vloeibare input apart van elkaar bij te sturen en op het praktijkbedrijf was het model in staat de vloeibare input aan Ecofrit bij te sturen. Bij geleidelijke introductie van nieuwe coproducten kon het model de langzame verandering in rantsoensamenstelling goed bijhouden, maar snelle en grote rantsoenwijzingen kon het model niet bijhouden.
- 2) Bijsturing van de input op basis van informatie van de geschatte parameters leverde het verwachte effect op en zodoende kan het gewenste resultaat in voldoende mate bereikt worden. De energieproductie was bij alle drie adviesperioden toegenomen t.o.v. de productie bij aanvang van de advisering, met 120% en 31% op Dairy Campus en met 149% op het praktijkbedrijf. Het voersaldo was bij alle drie adviesperioden toegenomen t.o.v. het voersaldo bij aanvang, met €496 en €235 per dag op Dairy Campus en met €91 per dag op het praktijkbedrijf.
- 3) De geschatte invloed van coproducten op de biogasproductie varieerde in de tijd. Dit onderschrijft de noodzaak voor een model met voldoende flexibiliteit bij variatie in kwaliteit van de coproducten en variatie in capaciteit van de biomassa in de vergister.
- 4) Het model gaf op het praktijkbedrijf vroegtijdig het signaal af dat de haalbare maximale biogasproductie bij de optimale input van de gevoerde coproducten niet zou leiden tot de gewenste elektriciteitsproductie.

Op basis van de praktijkresultaten wordt geconcludeerd dat het principe van een Dynamisch Input Advies Systeem (Dynamisch Vergisten) voor optimalisatie van de input van een biogasinstallatie op maximale biogasproductie onder praktijkomstandigheden werkt.

Summary

The input costs of coproducts are around half of the operational costs of agricultural biogas plants. Due to changing market and growing circumstances the composition, volumes and prices of coproducts vary. Together with the complexity of the biological anaerobic digestion process makes the daily optimization of the input not an easy task. It turns out that a lot of biogas plants have a varying and suboptimal biogas production, have to cope with frequent process disturbances, and achieve disappointing financial returns caused among other things by (too) expensive coproducts. The consequences are that a lot of agricultural biogas plants are uneconomical. When the daily input to the biogas plant is being optimized, direct (financial) improvement is feasible. On the basis of adaptive models Wageningen UR Livestock has developed a prototype of a Dynamic Input Advice System for biogas plants called Dynamic Anaerobic Digestion. This advice system makes use of plant specific process data for the daily adjustment of the input to the biogas plant. This advice system consists of a method which daily determines the actual response of the input on the biogas production. This relationship determines which input gives the highest achievable biogas production. On the basis of this response-curve the input is adjusted into the direction of the input which gives the highest biogas production. In principle the control algorithm can also be set to determine the highest feed balance (energy returns minus feed costs), but was not tested in this research. The research objective was to determine the proof of principle of Dynamic Anaerobic Digestion under practical circumstances. The research was carried out with the biogas plants of the experimental dairy farm Dairy Campus and of a commercial dairy farm.

On the basis of the realized results with the optimization of the input for the highest biogas production with the prototype of the Dynamic Anaerobic Digestion model the following conclusions were drawn:

- 1) The theoretical approach of operational modelling of the relationship between input of coproducts and output of energy production, by using an adaptive model with a Bayesian foundation, has been shown to be feasible. At Dairy Campus the model was capable of adjusting the dry and liquid input streams separately and was at the commercial farm capable of adjusting the input of Ecofrit. During gradual introduction of new coproducts the model could keep up with the slowly changing composition of the input and could adjust the input, but not when fast and large changes in the composition of the input were made.
- 2) Adjusting the input on the basis of the information of the estimated parameters resulted in the expected effect and thereby the desired result can be achieved to an adequate degree. The energy production increased during all three advice periods with respect to the start of the advice period, with 120% and 31% at Dairy Campus and 149% on the commercial farm. The feed balance increased during all three advice periods with respect to the feed balance at the start of the advice period. The increase was €496 and €235 per day at Dairy Campus and €91 per day at the commercial farm.
- 3) The estimated influence of a coproduct on the biogas production varied over time. This endorses the necessity for a model with enough flexibility with varying quality of coproducts and varying capacity in biomass of the digester.
- 4) Early results at the commercial farm indicated that the maximum achievable biogas production with the optimal input of the currently fed coproducts would not lead to the desired electricity production.

On the basis of the results the conclusion has been drawn that the principle of a Dynamic Input Advice System (Dynamic Anaerobic Digestion) for optimization of the input of a biogas plant to the highest biogas production under practical circumstances has been proved.



1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Wisselende markt- en teeltomstandigheden zorgen voor variatie in samenstelling, hoeveelheden en prijzen van organische producten. Dit maakt, samen met de complexiteit van het biologische vergistingsproces, dat het optimaliseren van de dagelijkse input naar een biogasinstallatie geen eenvoudige opgave is. In de praktijk blijkt dan ook dat veel agrarische biogasinstallaties geen maximale biogasproductie realiseren, veelvuldig processtoringen kennen, wisselende biogasopbrengsten produceren in de tijd en tegenvallende financiële rendementen behalen door o.a. (te) dure coproducten. Als gevolg hiervan draaien veel agrarische biogasinstallaties onrendabel (Peene et al., 2011; Van den Boom en van der Elst, 2013; Velghe en Wierinck, 2013). Wanneer de dagelijkse input naar een biogasinstallatie wordt geoptimaliseerd is directe (financiële) verbetering realiseerbaar. Tools die helpen bij het constant zoeken naar de dagelijkse bijsturing van de input om tot een maximale biogasproductie of tot een maximaal voersaldo (energieopbrengst minus voerkosten) te komen zijn daarbij nog niet voorhanden. De huidige praktijktools om tot een advisering van de input te komen zijn veelal gebaseerd op algemene richtlijnen voor de biogasproductie uit coproducten, streefwaarden voor analyseresultaten van monsters uit vergisters en praktijkervaring van operators en adviseurs. Deze praktijktools benutten de schat aan informatie uit historische procesgegevens van een biogasinstallatie niet of nauwelijks. Daarnaast ontbreekt het bij de huidige praktijktools veelvuldig aan een economische optimalisatie en evaluatie.

Adaptieve (of zelflerende) modellen zijn operationele modellen die toegepast kunnen worden om dagelijks online de actuele invloed van de hoeveelheid input (mest en coproducten) op de hoeveelheid output (biogas) te bepalen. Adaptieve modellen gebaseerd op Bayesiaanse analyse van tijdreeksen lijken bij uitstek geschikt om de dynamische relatie 'input - output' in het complexe vergistingsproces te modelleren en te 'vangen' in geschatte parameters. Dit zogenaamde 'dynamisch lineair model' levert telkens een nieuwe set van parameters op, afhankelijk van de frequentie waarmee er nieuwe gegevens aan de gegevensreeks worden toegevoegd. Afhankelijk van het optimalisatiecriterium kan met behulp van de geschatte parameters uit het model een advies voor de hoeveelheid input voor de eerstvolgende dagen worden berekend. Het advies wordt berekend met behulp van een rekensystematiek voor optimalisatie (het 'controle algoritme'). Het adaptieve model kan in theorie in elke mate van detail van de inputstroom worden gebouwd. Een model met weinig detail bijvoorbeeld voorspelt voor het eerstvolgende meetmoment de respons op de totale inputstroom, terwijl een gedetailleerd model de respons op verandering in ieder individueel product in de inputstroom voorspelt (bij het laatstgenoemde model kan als het ware aan meerdere 'knoppen' tegelijk worden gedraaid).

Wageningen UR Livestock Research heeft op basis van adaptieve modellen een prototype van een Dynamisch Input Advies Systeem voor biogasinstallaties ontwikkeld genaamd 'Dynamisch Vergisten'. Het adviessysteem maakt gebruik van bedrijfsspecifieke procesgegevens voor de dagelijkse bijsturing van de input naar de biogasinstallatie. Het adviessysteem bestaat uit een methodiek die dagelijks de actuele respons bepaalt van de input op de biogasproductie. Deze relatie bepaalt bij welke input de maximale biogasproductie wordt behaald, zodat de actuele input stapsgewijs kan worden bijgestuurd naar de input die de maximale biogasproductie geeft. Het adviessysteem is een operationele tool die optimaliseert naar maximale biogasproductie (of maximaal voersaldo) onder de huidige omstandigheden van een biogasinstallatie. Het betreft dus geen strategische tool zoals bijvoorbeeld een rantsoenadviesprogramma die uit alle op de markt beschikbare coproducten een rantsoen kan samenstellen. 'Dynamisch Vergisten' kan als een software tool worden ingebouwd in de besturingsprogrammatuur van een biogasinstallatie of als een separate adviesapplicatie worden geïmplementeerd.

1.2 Doelstelling

Het vaststellen van een “proof of principle” voor het Dynamisch Input Advies Systeem voor biogasinstallaties (Dynamisch Vergisten) onder praktijkomstandigheden.

1.3 Afbakening

Deze rapportage beperkt zich tot de praktijkonderzoeken die met een tweetal operationele biogasinstallaties zijn gedaan. De laboratoriumonderzoeken naar mest- en covergisting waarbij gebruik is gemaakt van Dynamische Vergisten zijn in deze rapportage niet meegenomen, omdat deze in andere rapporten beschreven staan (Timmerman et al., 2009; Timmerman et al., 2013).

1.4 Leeswijzer

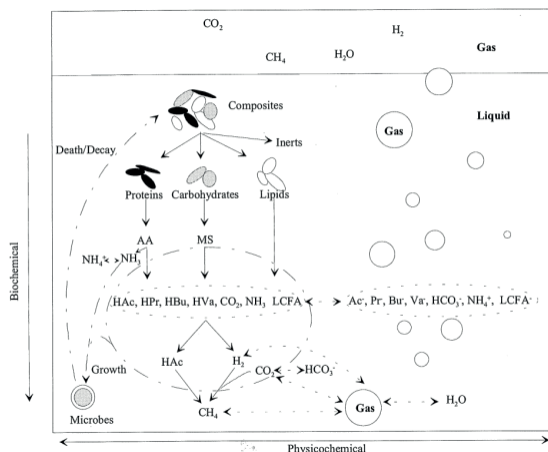
Naast de presentatie van de behaalde resultaten en evaluatie van de methodiek Dynamisch Vergisten is het de doelstelling van deze rapportage om ook de methodiek en de implementatie van Dynamisch Vergisten uit te leggen, zodat men de werking van Dynamisch Vergisten beter begrijpt en daardoor de onderzoeksresultaten beter kan interpreteren. Daarom wordt in hoofdstuk 2 worden de methodiek van Dynamisch Vergisten stap-voor-stap uitgelegd en wordt de implementatie van Dynamisch Vergisten uitvoerig beschreven. In hoofdstuk 3 worden de twee biogasinstallaties waar de proeven zijn gedaan en het specifieke wiskundige model van Dynamisch Vergisten dat ingezet is bij beide biogasinstallaties beschreven. In hoofdstuk 4 worden de onderzoeksresultaten weergegeven en wordt de methodiek van Dynamisch Vergisten geëvalueerd. In hoofdstuk 5 worden de resultaten bediscussieerd en in hoofdstuk 6 worden de conclusies en aanbevelingen weergegeven.

2 Uitleg methodiek van Dynamisch Vergisten

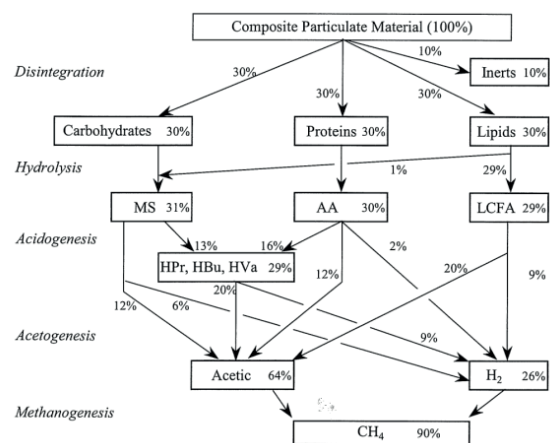
Bij Dynamisch Vergisten staat het optimaliseren van de maximale biogasproductie (of maximale voersaldo) centraal door continue automatische bijsturing van de input aan coproducten van een individuele biogasinstallatie. Voor de input van coproducten betekent dit dat niet wordt uitgegaan van algemene normen of richtlijnen, maar van de actuele input aan coproducten en de actuele biogasproductie van de biogasinstallatie. In dit hoofdstuk wordt de methodiek van Dynamisch Vergisten uitgelegd gevolgd door de implementatie van Dynamisch Vergisten in een model dat gebruikt wordt in een software applicatie voor de optimalisatie van de input.

2.1 Aanleiding

Bij agrarische biogasinstallaties wordt naast mest volop gebruik gemaakt van coproducten. Dikwijls is globale kennis over de verwachte biogasproductie per ton coproduct voorhanden, veelal verkregen uit literatuurbronnen of batchtesten. Dit betekent dat een schatting voorhanden is van hoeveel biogas verwacht mag worden als deze coproducten worden vergist. Deze informatie is vooral normatief van aard, terwijl in de praktijk de biogasproductie behoorlijk kan verschillen van de normatieve waarden. Bij het operationeel management (de dagelijkse beslissingen) gaat het erom hoeveel ton coproducten er dagelijks gevoerd moeten worden aan de micro-organismen in de vergister. Hoewel het misschien een eenvoudige rekensom lijkt van de benodigde biogasproductie voor de WKK en normatieve biogasproducties per ton coproduct respectievelijk mest, spelen er diverse factoren een rol die van invloed zijn op het vergistingsproces. Hierdoor is tijdige bijsturing belangrijk voor behoud van een maximale biogasproductie uit de gevoerde coproducten. Zo kan de werkelijke samenstelling van mest of coproducten afwijken van de veronderstelde samenstelling door bijvoorbeeld wisselende groei- en bodemomstandigheden, rasverschillen van (energie)gewassen, andere herkomst en variatie in de samenstelling van industriële restproducten. Daarnaast kunnen bepaalde combinaties van coproducten in de praktijk leiden tot tegenvallende biogasproducties door een ongunstige samenstelling van de totale input (bijv. teveel stikstof, te hoge zoutgehalten, etc.). Verder is het vergistingsproces moeilijk te doorgronden vanwege het complex samenspel van biochemische en fysisch-chemische conversie processen (zie figuren 1 en 2).



Figuur 1 Schematisch overzicht van de conversie processen in het vergistingsproces (Batstone et al., 2002).



Figuur 2 Schematisch overzicht van de flow van een coproduct (Batstone et al., 2002).

Ook kan de actuele verblijftijd verschillen van de verblijftijd die wordt aangegeven bij de richtwaarden voor de biogasproductie uit coproducten in de literatuur. Tot slot varieert de prijs van coproducten in de loop van de tijd waarop ook ingespeeld dient te worden om tot goede financiële resultaten te kunnen komen. De kosten van de coproducten zijn van grote invloed op het financiële resultaat van een biogasinstallatie doordat ze een groot aandeel van de kostprijs uitmaken. Bij agrarische

biogasinstallaties zijn de inputkosten van de coproducten de laatste jaren gestegen tot meer dan de helft van de operationele kosten (Van den Boom en van der Elst, 2013; Van den Boom, 2014).

Dagelijks meten en bijsturen

In de huidige generatie biogasinstallaties worden dagelijks veel gegevens automatisch vastgelegd, zoals o.a. van de input van mest en coproducten, biogasproductie en de elektriciteitsproductie van de WKK-installatie. Deze gegevens bevatten een schat aan informatie over hoe de biogasinstallatie presteert, maar ook over hoe de coproducten presteren in de biogasinstallatie. Wageningen UR Livestock Research heeft een methodiek ontwikkeld genaamd 'Dynamisch Vergisten' waarbij deze procesgegevens worden gebruikt voor de dagelijkse bijsturing van de input naar de vergister. Elke dag wordt in het systeem nagegaan of bijsturing (verhoging of verlaging) van de input naar de vergister zal leiden tot een verhoging van de biogasproductie (of het voersaldo). De optimale input aan coproducten wordt dagelijks opnieuw berekend, omdat invloedsfactoren zoals prijzen of samenstelling van de input in de loop van de tijd veranderen.

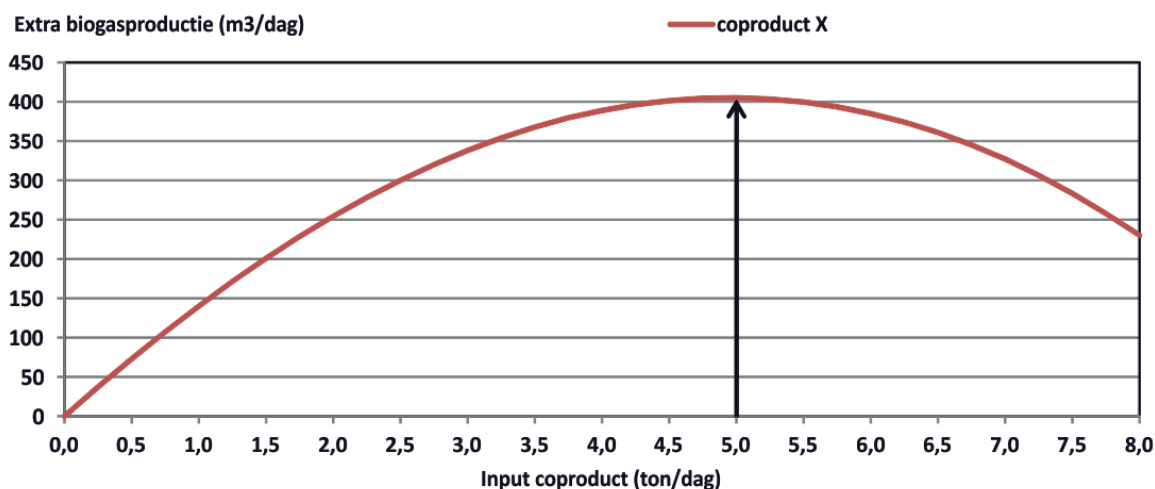
2.2 Uitleg methodiek van Dynamisch Vergisten

In deze paragraaf wordt de methodiek van Dynamisch Vergisten uitgelegd aan de hand van een aantal figuren zodat de werking van Dynamisch Vergisten beter wordt begrepen. Het draait allemaal om het feit dat elke actie die gedaan wordt een effect heeft op de biogasproductie. De actie kan dus geëvalueerd worden aan de hand van de verandering in de biogasproductie, want elke actie geeft een reactie.

2.2.1 Dosis-response curve

Biogasproductie van een coproduct als een dosis-response curve

De micro-organismen in de vergister zetten de gevoerde organische stof in de input deels om in biogas. Als de micro-organismen het voedsel (organische stof, mineralen, water, etc.) krijgen dat ze nodig hebben en worden voorzien van een comfortabele leefomgeving (juiste temperatuur, geen verontreinigingen/gifstoffen, goede mixfrequentie, etc.) dat betalen ze dit terug met een goede biogasproductie. Echter als de micro-organismen teveel voedsel krijgen en/of van slechte kwaliteit en teveel stress (temperatuurschommelingen, toxische stoffen, etc.) dan wordt dit terug betaald met een lage biogasproductie. Ofwel anders gezegd de micro-organismen reageren op de uitgevoerde acties: een goede actie levert meer biogas op en een slechte actie levert minder biogas op. Kortom de acties die gedaan zijn worden weerspiegeld in de biogasproductie en kunnen dus als een response-curve worden weergegeven, zie figuur 3. Als de dosis-response-curve van een coproduct via de methodiek van Dynamisch Vergisten is bepaald, dan kan de optimale input van dat betreffende coproduct worden bepaald.

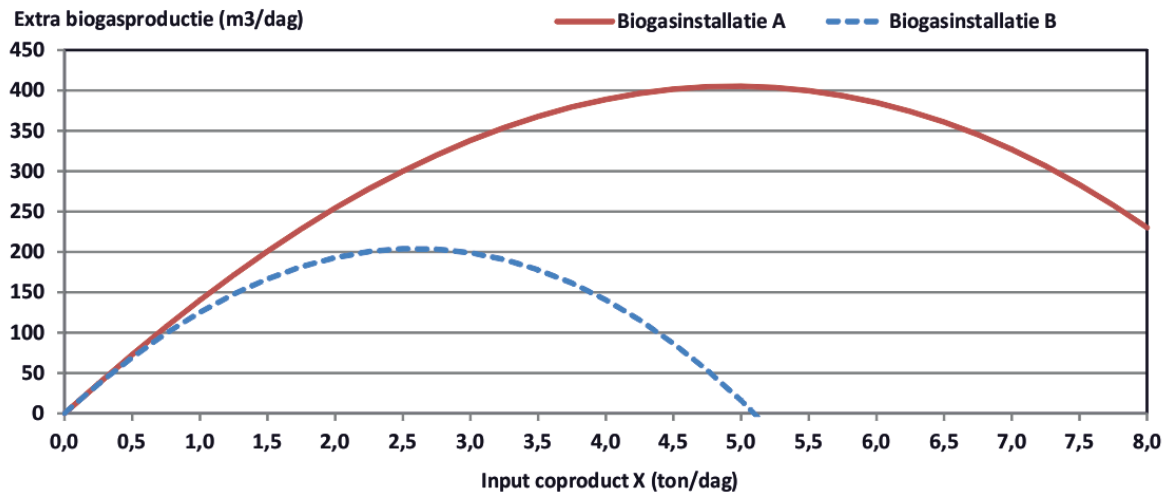


Figuur 3 Illustratieve dosis-response curve van de input van coproduct X op de extra biogasproductie.

In figuur 3 wordt de response (=reactie) van de micro-organismen op de input (=actie) van coproduct X illustratief weergegeven. Als er nog maar weinig input van coproduct X is, dan levert elke extra ton X ongeveer dezelfde hoeveelheid extra biogas op. Na een bepaalde hoeveelheid extra tonnen X neemt de extra hoeveelheid biogas af (wet van afnemende meeropbrengst) totdat het punt wordt bereikt dat een extra ton X geen extra biogas meer oplevert. Op dit punt produceren de micro-organismen de maximale biogasproductie uit de input van coproduct X en kunnen ze niet meer extra input van coproduct X verwerken. Als er dan toch nog extra input van X wordt gegeven, dan worden de micro-organismen overvoerd waardoor de biogasproductie gaat afnemen en de response-curve gaat dalen. Uit de dosis-response-curve blijkt dat in dit voorbeeld de maximale biogasproductie van ruim 400 m³ wordt behaald bij een input van 5,0 ton X.

De biogasproductie van een coproduct verschilt per biogasinstallatie

Elke biogasinstallatie is uniek door o.a. verschillen in de coproducten die worden gevoerd, andere hoeveelheden mest en coproducten, een ander mixregime, een ander temperatuurinstelling en verschillen in organische belastingen, verblijftijden en mestsamenstelling. Dit zorgt ervoor dat de leefomstandigheden voor de micro-organismen in elke biogasinstallatie anders zijn. Doordat de leefomstandigheden anders zijn, is de samenstelling en hoeveelheid van de aanwezige micro-organismen anders. Hierdoor is de biogasopbrengst van een coproduct in elke biogasinstallatie anders. Oftewel de dosis-response curve van een coproduct is in elke biogasinstallatie anders. Als de dosis-response-curve van een coproduct in een specifieke biogasinstallatie via de methodiek van Dynamisch Vergisten is bepaald, dan kan de optimale input van dat betreffende coproduct voor die specifieke biogasinstallatie worden bepaald.

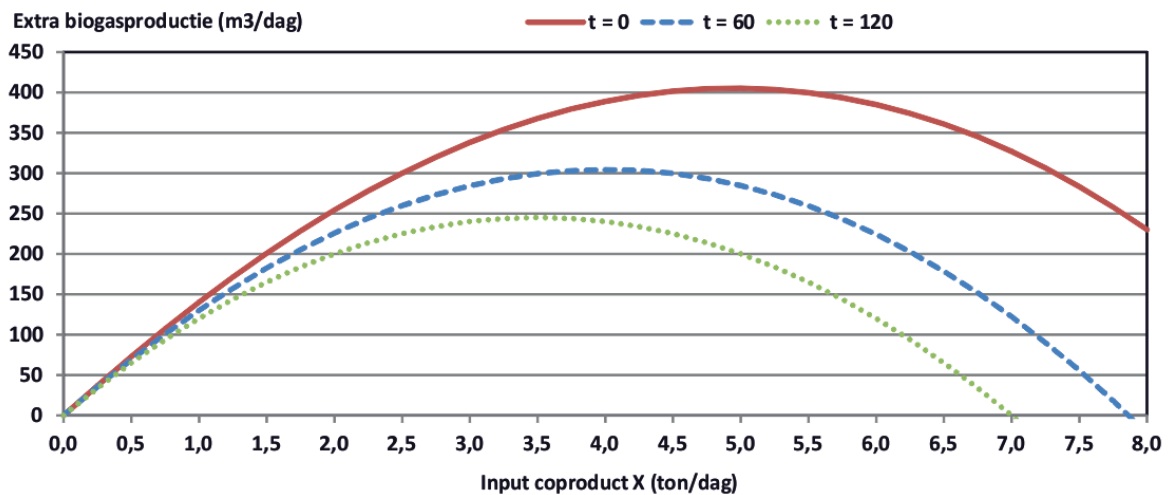


Figuur 4 Illustratieve dosis-response curve van coproduct X bij twee biogasinstallaties.

In figuur 4 wordt illustratief de response (=reactie) van de micro-organismen op de input (=actie) van een eiwitrijk coproduct X weergegeven bij twee verschillende biogasinstallaties A en B. Biogasinstallatie A voert coproducten met lage eiwitgehalten (weinig stikstof) waardoor het ammoniumgehalte in de vergister laag is. Daarentegen voert biogasinstallatie B verschillende coproducten met een hoog eiwitgehalte waardoor het ammoniumgehalte relatief hoog is, maar nog niet toxisch begint te worden. Als in biogasinstallatie A het eiwitrijke coproduct X gevoerd gaat worden, dan neemt de biogasproductie toe. Ook bij biogasinstallatie B neemt de biogasproductie toe, maar veel minder dan bij A, omdat er al veel eiwit wordt gevoerd terwijl dit bij A niet het geval is. Hierdoor is bij biogasinstallatie B de maximale extra biogasproductie al bij een lage hoeveelheid van coproduct X bereikt omdat het ammoniumgehalte te hoog wordt en toxische verschijnselen optreden (oftewel teveel eiwit is een slechte actie wat zich laat zien in een lage extra biogasproductie). Bij biogasinstallatie A wordt juist een goede reactie op de biogasproductie gezien doordat relatief weinig eiwit wordt gevoerd, waardoor pas bij een grote hoeveelheid X de maximale extra biogasproductie wordt bereikt. Uit de dosis-response-curves blijkt dat bij biogasinstallatie A een maximale extra biogasproductie van ruim 400 m³ wordt behaald bij een input van 5,0 ton X, terwijl bij biogasinstallatie B een maximale extra biogasproductie van ruim 200 m³ wordt behaald bij een input van 2,5 ton X.

Biogasproductie van een coproduct varieert in de tijd

De samenstelling en het aanbod van coproducten zijn niet constant, maar variëren in de tijd. Deze variatie wordt veroorzaakt door o.a. wisselende teelt- en marktomstandigheden. Zo beïnvloeden de bodem- en weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen de uiteindelijke samenstelling en volume van een gewas. Ook na de oogst in de opslag verandert de samenstelling van een gewas langzaam door optredende biologische afbraakprocessen. Bij coproducten die als bijproduct afkomstig zijn van de voedselverwerkende industrie is de samenstelling niet constant gedurende het jaar en over de jaren heen kan de samenstelling ook veranderen als gevolg van aanpassingen in het verwerkingsproces van de fabriek. Als gevolg van veranderingen in de samenstelling (o.a. organische stof gehalte) verandert ook de biogasproductie van een coproduct in de loop van de tijd. Echter de biogasproductie van een coproduct verandert ook doordat andere coproducten van samenstelling veranderen, waardoor de interactie tussen de coproducten verandert. Deze veranderingen in biogasproductie kunnen zowel in positieve als in negatieve zin gebeuren. Door veranderingen in samenstelling van coproducten in de tijd zal ook de biogasproductie van een gelijkblijvend rantsoen in de loop van de tijd veranderen. Tevens zorgen wisselende markt- en teeltomstandigheden voor variatie in prijzen van organische producten, waardoor de hoeveelheden van de coproducten in de input aangepast zullen worden aan de veranderde marktomstandigheden wat dus de interactie tussen verschillende coproducten zal beïnvloeden en daarmee ook de biogasproductie van een coproduct.

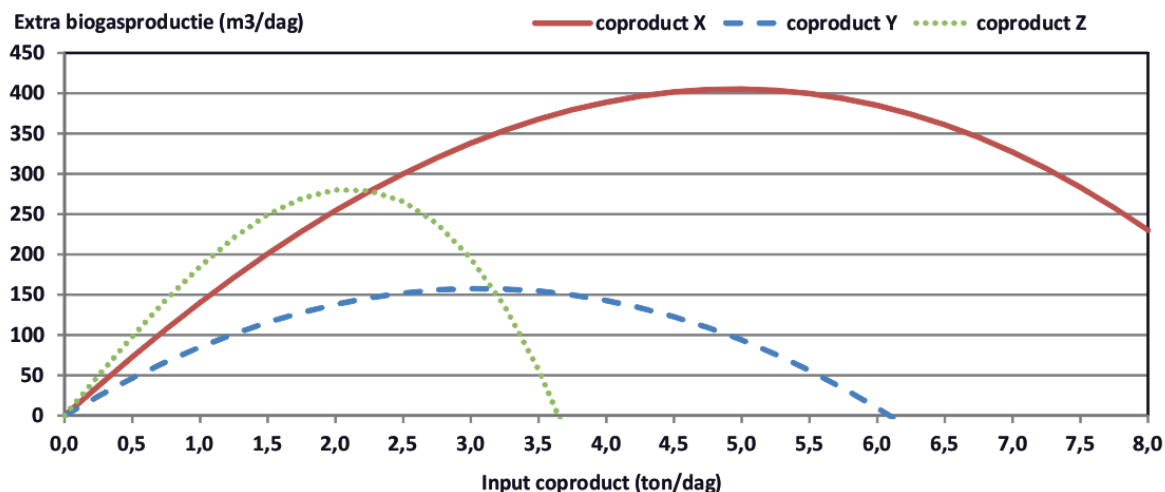


Figuur 5 Illustratieve dosis-response curve van coproduct op drie tijdstippen.

Ter illustratie wordt in figuur 5 de response (=reactie) van de micro-organismen op de input (=actie) van een coproduct X weergegeven op drie verschillende tijdstippen. Op tijdstip t=0 dagen ligt de maximale extra biogasproductie bij 5,0 ton. In de loop van de tijd verschuift dit optimum door aanpassingen in het rantsoen naar een optimum van 4,0 ton op tijdstip t=60 dagen. En als gevolg van veranderingen in samenstelling van het coproduct verschuift het optimum naar 3,5 ton op dag t=120. In deze illustratie wordt een dalende trend van de biogasproductie geschetst, maar er kan natuurlijk ook sprake zijn van een stijgende trend of van een gelijkblijvende trend in biogasproductie in de loop van de tijd.

Biogasproductie verschilt tussen coproducten

Verskillende coproducten (bijv. aardappelresten, graanresten) hebben elk een andere dosis-response curve oftewel geven een andere hoeveelheid biogas bij een verhoging van de input. Dit wordt veroorzaakt door een verschil in samenstelling tussen coproducten, zoals bijvoorbeeld een verschil in organische stof gehalte, ammoniumgehalte, suikergehalte, gehalte aan vluchtige vetzuren, etc. Hierdoor verschilt de optimale input van elk coproduct.

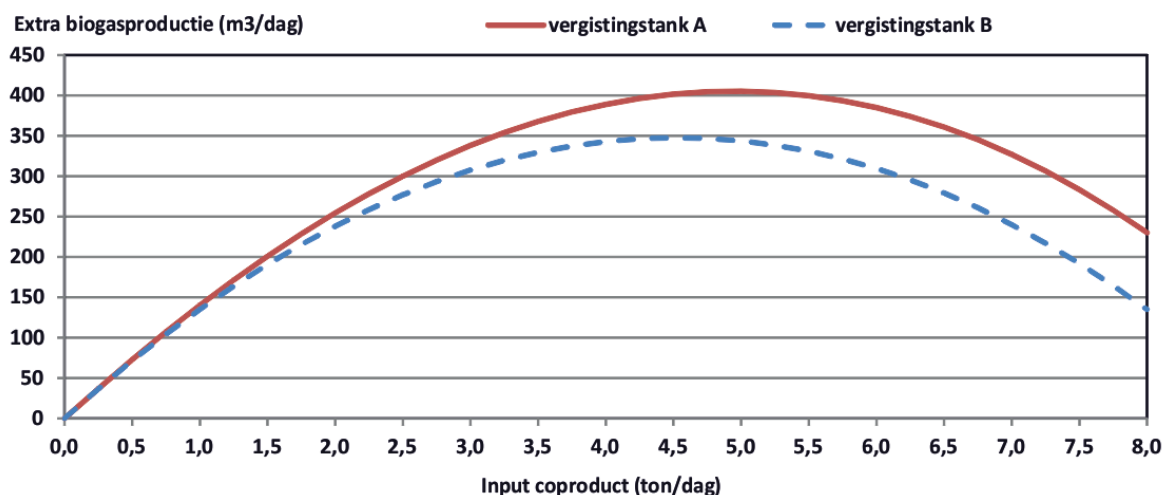


Figuur 6 Illustratieve dosis-response curve van drie verschillende coproducten.

Als voorbeeld zijn de biogasproducties van drie verschillende coproducten (X, Y en Z) weergegeven in figuur 6. Voor coproduct X geldt een maximale extra biogasproductie van ruim 400 m³ bij een input van 5,0 ton. Voor coproduct Y geldt een maximale extra biogasproductie van ruim 150 m³ bij een input van 3,0 ton, terwijl voor coproduct Z een maximale extra biogasproductie geldt van 280 m³ bij een input van 2,0 ton.

Biogasproductie kan verschillen tussen vergistingstanks

Ondanks dat op papier dezelfde rantsoenen worden gevoerd aan vergistingstanks van een biogasinstallatie kunnen er toch verschillen optreden in de biogasproducties tussen vergistingstanks. Deze verschillen kunnen een grond hebben in allerlei oorzaken zoals bijvoorbeeld een ander historisch gebruik (bijv. navergister die hoofdvergister is geworden), storingen in apparatuur van een bepaalde vergistingstank (o.a. kapotte mixer), onnauwkeurigheden/slijtage in doseersystemen waardoor de ene reactor net wat meer input krijgt dan de andere. Al deze oorzaken zijn van invloed op de samenstelling en het aantal micro-organismen in een bepaalde vergistingstank en daarmee op de omzetting van de organische stof in biogas.

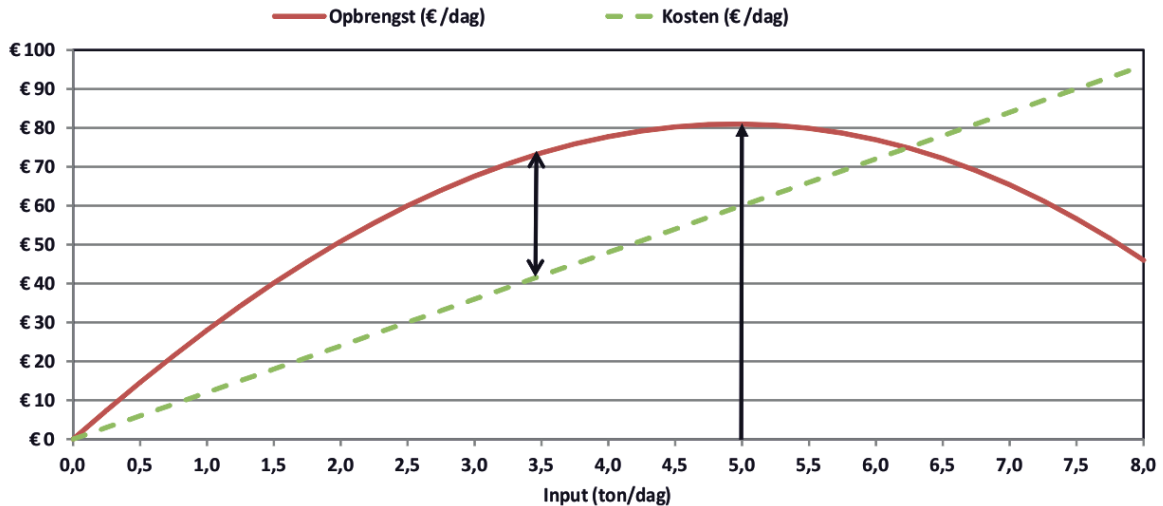


Figuur 7 Illustratieve dosis-response curve van een coproduct in twee verschillende reactoren.

Ter illustratie zijn in figuur 7 de response-curve van een coproduct weergegeven in twee verschillende vergistingstanks. Bij vergistingstank A wordt bij een input van 5,0 ton de maximale extra biogasproductie van ruim 400 m³ behaald, terwijl bij vergistingstank B de maximale extra biogasproductie van bijna 350 m³ wordt bereikt bij een input van 4,5 ton.

2.2.2 Bepaling van het maximale voersaldo

Men kan ervoor kiezen om die hoeveelheid van een coproduct te voeren die ook de maximale extra hoeveelheid biogasproductie geeft. Dit betekent echter niet dat deze input ook direct de economisch optimale hoeveelheid is, omdat de meeste coproducten geld kosten (aanschafkosten en afvoerkosten van het digestaat dat resteert na vergisting van het coproduct). Door de wet van de afnemende meeropbrengst geeft niet elke extra ton coproduct dezelfde extra hoeveelheid biogasproductie, want naarmate er meer wordt gevoerd zal de extra biogasproductie die wordt geproduceerd per toegevoegde extra ton coproduct afnemen. Echter de aankoopkosten van een coproduct zijn voor elke ton coproduct hetzelfde. Voor een economisch optimaal resultaat zal dus elke ton die extra gevoerd wordt zoveel extra omzet dienen worden genereerd dat de extra kosten van die ene ton worden vergoed. Door de input te optimaliseren op maximaal voersaldo (=opbrengsten - voerkosten) kan worden gestuurd op een maximaal economisch resultaat. In figuur 8 wordt dit principe geïllustreerd.



Figuur 8 Illustratieve dosis-response curve en kosten van het coproduct voor bepaling van de economische optimale hoeveelheid input.

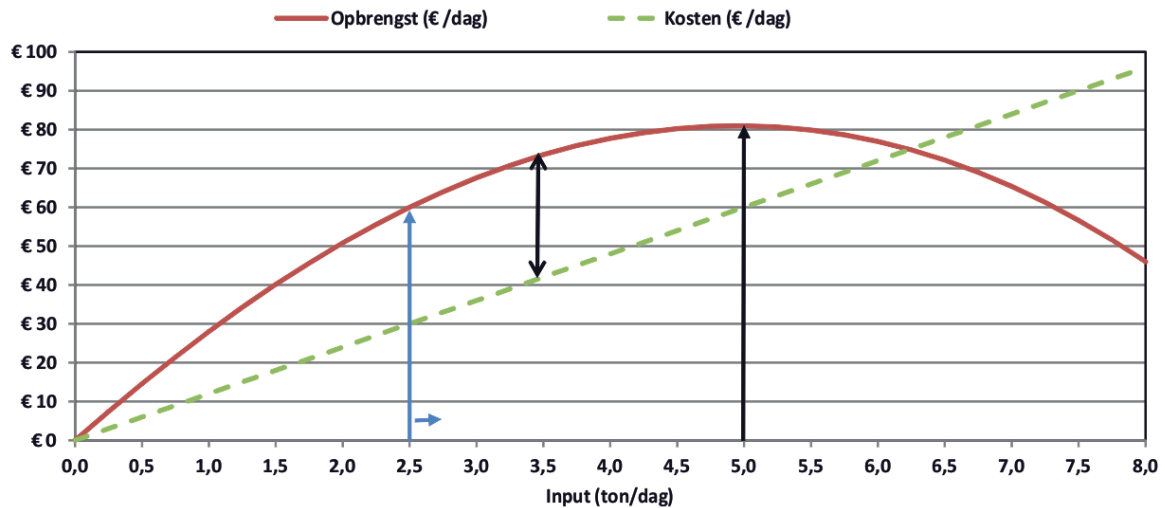
Figuur 8 laat zien dat de maximale extra biogasproductie wordt bereikt bij een input van 5,0 ton coproduct X. Dit levert een extra opbrengst van €80 op en geeft tegelijkertijd €60 aan kosten waardoor een voersaldo resteert van €20 per dag. Het economisch optimale voersaldo ligt in dit voorbeeld bij 3,5 ton. Er wordt een weliswaar een lagere opbrengst van €74 per dag gerealiseerd, maar ook de voerkosten zijn lager met €42 per dag, wat netto resulteert in een hoger voersaldo van €32 per dag. Oftewel een verhoging van input van 3,5 ton naar 5,0 ton geeft een omzetstijging van €6 per dag maar ook een kostenstijging van €18 per dag wat daardoor leidt tot een nettoverlies van €12 per dag voor de extra input van 1,5 ton.

2.2.3 Dagelijkse operationele keuze voor aanpassing van de input

Bij de dagelijkse operationele keuze van aanpassingen in de input naar een biogasinstallatie draait het uiteindelijk alleen maar om één vraag: Moet ik de input van een coproduct verhogen, gelijk houden of verlagen? Aangezien het om een biologisch proces gaat zal de aanpassing plaatsvinden in kleine stappen, zodat de micro-organismen zich kunnen aanpassen aan de veranderde input. Dus voor een operator is het alleen interessant om te weten hoe de huidige input zich verhoudt tot de optimale input die de maximale biogasproductie (of maximaal voersaldo) geeft:

- Als de huidige input lager is dan de optimale input, dan zal de input verhoogd moeten worden.
- Als de input gelijk is aan de optimale input, dan kan de input gelijk blijven.
- Als de huidige input hoger is dan de optimale input, dan zal de input verlaagd moeten worden.

Dit wordt geïllustreerd aan de hand van figuur 9.



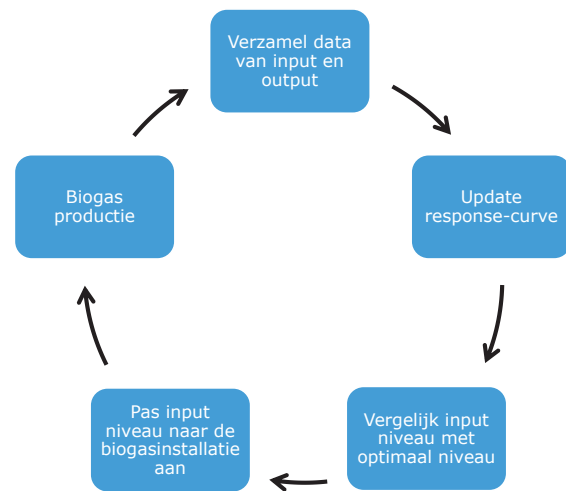
Figuur 9 Illustratieve vergelijking tussen huidige input niveau en optimale input niveau.

In figuur 9 is de huidige situatie van een input van 2,5 ton weergegeven door de blauwe pijl. De optimale input voor een maximale biogasproductie ligt bij 5,0 ton en de optimale input voor een maximaal voersaldo ligt bij 3,5 ton. Om zowel de biogasproductie als het voersaldo te verhogen dient de input te worden verhoogd.

2.2.4 Routine van Dynamisch Vergisten in de praktijk

Bij toepassing van Dynamisch Vergisten in de praktijk worden de gegevens over de gevoerde hoeveelheden mest en coproducten en biogasproductie dagelijks vastgelegd in een database. Deze database wordt gebruikt om de dosis-response-curve te bepalen. Dit is een dagelijks terugkerend proces wat als volgt loopt:

- 1) Verzamel de data van de input die de afgelopen dag is gevoerd en de biogasproductie van de afgelopen dag en voeg deze toe aan de database met de historische gegevens van de input en biogasproductie.
- 2) Update de dosis response curve op basis van de bijgewerkte database.
- 3) Uit de nieuwe response-curve wordt het optimale niveau van de input bepaald welke wordt vergeleken met het huidige inputniveau.
- 4) Pas het inputniveau naar de vergister in de richting van het optimale inputniveau aan.
- 5) Het aangepaste inputniveau leidt tot een verandering in de biogasproductie wat nieuwe informatie verschaft over de relatie tussen de input en biogasproductie en deze nieuwe data wordt vervolgens in stap 1 weer verzameld.

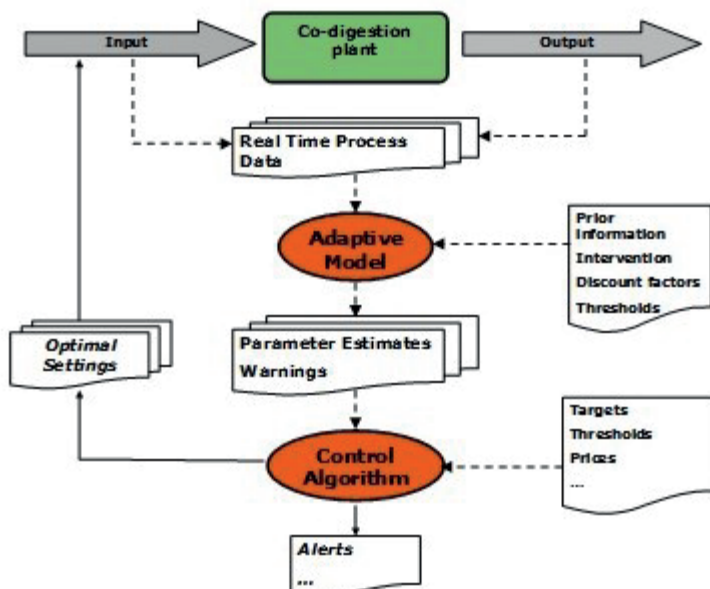


Figuur 10 Schematische weergave van de dagelijkse routine van Dynamisch Vergisten.

Deze stappen zijn schematisch weergegeven in figuur 10 en worden bij een praktijktoepassing van Dynamisch Vergisten elke dag doorlopen. In plaats van biogasproductie als output-data kan men ook de elektriciteitsproductie als output-data gebruiken.

2.3 Implementatie methodiek van Dynamisch Vergisten

Voor de bepaling van de actuele invloed van de hoeveelheid input (mest en coproducten) op de hoeveelheid output (biogas) is een adaptief (zelflerend) model gebruikt. Dit adaptieve model is gebaseerd op Bayesiaanse analyse van tijdreeksen, dat bij uitstek geschikt is om de dynamische relatie 'input - output' in het complexe vergistingsproces te modelleren en te 'vangen' in geschatte parameters. Dit zogenaamde 'dynamisch lineair model' levert telkens een nieuwe set van parameters op, afhankelijk van de frequentie waarmee er nieuwe gegevens aan de gegevensreeks worden toegevoegd. Afhankelijk van het optimalisatiecriterium kan met behulp van de geschatte parameters een advies voor de hoeveelheid input voor de eerstvolgende dagen worden berekend. Het advies wordt berekend met behulp van een rekensystematiek voor optimalisatie (het 'controle algoritme'). Het adaptieve model kan in theorie in elke mate van detail van de inputstroom worden gebouwd. Een model met weinig detail bijvoorbeeld voorspelt voor het eerstvolgende meetmoment de respons op de totale inputstroom, terwijl een gedetailleerd model de respons op verandering in ieder individueel product in de inputstroom voorspelt (bij het laatstgenoemde model kan als het ware aan meerdere 'knoppen' tegelijk worden gedraaid). De methodiek van Dynamisch Vergisten bestaat dus uit twee delen, nl. het adaptieve model dat dagelijks de response curve berekent en het controle algoritme dat dagelijks de optimale instellingen berekent. In figuur 11 staat schematisch weergegeven hoe beide onderdelen worden voorzien van informatie en welke informatie ze genereren.



Figuur 11 Schematische weergave van de methodiek van Dynamisch Vergisten.

Uitleg bij figuur 11:

- Input:** De stroom van producten, die per tijdseenheid de covergistinginstallatie ingaat,
- Output:** De stroom van geproduceerd biogas (of elektriciteit),
- Real Time Process Data:** De (proces)gegevens van input en output, bijv. dagelijkse update van de database,
- Adaptive Model:** Model die de gegevensserie omzet in geschatte parameters, die van dag tot dag kunnen verschillen,
- Parameter Estimates:** Geschatte parameters die de input-output relatie dagelijks beschrijven,
- Warnings:** Waarschuwing door het adaptieve model, wanneer een nieuwe dagwaarneming niet consistent (in lijn) met de voorgaande procesgegevens is. Het adaptieve model maakt onderscheid tussen potentiële uitbijters en andere verstoringen.
- Control Algorithm:** Het controle algoritme berekent optimale niveaus van input per inputstroom, afhankelijk van het optimalisatiecriterium.

Optimal settings:	Optimale hoeveelheden van de stuurbare componenten, in dit onderzoek de hoeveelheid input van de verschillende groepen van coproducten. Dit is de basis voor het inputadvies voor de eerstvolgende dag(en).
Prior information:	Voorkennis over de parameters op tijdstip 0, dus op het moment dat er wordt begonnen met het vastleggen van procesgegevens. Dit is gebaseerd op generieke kennis.
Intervention:	Ingreep in het reguliere systeem door wijziging van de parameterwaarden en op basis van aanvullende informatie. Indien sprake is van verstoring van het proces, zoals potentiële uitbijters en andere verstoringen, treedt automatische interventie in werking. Deze interventie leidt er toe dat het model sneller leert (via grotere aanpassingen van de geschatte parameters) om in te spelen op de eventueel veranderde situatie.
Discount factors:	Dit zijn vaste instellingen voor het adaptieve model, waarmee de aanpassingssnelheid van de parameterschattingen wordt gereguleerd.
Thresholds:	Grenswaarden binnen het adaptieve model voor het onderkennen van potentiële uitbijters en andere verstoringen. Indien sprake is van bovengrenzen aan input- of output-stromen, dan kunnen deze randvoorwaarden aan het controlealgoritme worden opgelegd.
Targets:	Doelstellingen, bijvoorbeeld maximale biogasgasproductie of maximaal voersaldo.
Prices:	Prijzen per meeteenheid van input- outputstroom. Omdat deze veranderen in de tijd, worden deze dagelijks bijgesteld.
Alerts:	Te ondernemen actie in geval van onregelmatigheden.

Adaptief Model

Het algemene adaptieve model is beschreven als:

Observatie vergelijking	$G_t = F_t \beta_t + v_t$	$v_t \sim (0, V_t)$
Systeem vergelijking	$\beta_t = M_t \beta_{t-1} + \omega_t$	$\omega_t \sim (0, W_t)$

De biogasproductie G_t op dag t is afhankelijk van de coproduct input, de regressievector X_t . Deze relatie wordt weergegeven in de observatie vergelijking. In deze notatie is F_t de matrix met regressievectoren (aantal kolommen is afhankelijk van het aantal groepen coproduct), en inclusief de eenheidsvector voor modellering van het intercept. β_t is de vector met parameterschattingen op tijdstip t . De waarnemingsfout van de biogasproductie op tijdstip t is normaal verdeeld: $v_t \sim (0, V_t)$. Er staat V_t in het voorgaande, omdat de variantie van de waarnemingsfout ook kan wijzigen in de tijd.

De wijze waarop de parameterschattingen zich in de tijd ontwikkelen is weergegeven in de systeem vergelijking. Het verloop van de parameters (immers de parameterschattingen kunnen zich in dit model wijzigen in de tijd) is stochastisch, waarbij de variatie (adaptie of innovatie) in de tijd wordt bepaald door de grootte van de systeemvariantie W_t . M_t is de matrix van bekende coëfficiënten (discountfactoren) welke de systeemevolucie van de toestandsvectoren β_t in de tijd definiëren. Met de discountfactoren wordt vooraf bepaald wat het relatieve belang van informatie uit het verleden t.o.v. een nieuwe waarneming (het heden) is. Het instellen van de mate van geheugen van het adaptieve model vergt kennis van het vergistingsproces.

Bij de omzetting van coproducten in biogas geldt de wet van afnemende meeropbrengst. Bij hoge niveaus van input neemt door de vaste volume inhoud van de vergister de verblijftijd van het coproduct af. Hierdoor zal de meerwaarde van extra input afnemen, naarmate het inputniveau hoger wordt. Dit kan worden weergegeven door een kwadratische response van de biogasproductie op de input. De response van de biogasproductie G_t van een enkel coproduct X (of een groep coproducten X) wordt weergegeven door de volgende vergelijking:

$$G_t = \beta_{0,t} + \beta_{1,t}X_t + \beta_{2,t}X_t^2$$

Met de individuele dynamische parameters:

$\beta_{0,t}$ = intercept of basisniveau (m^3/dag), d.w.z. de productie zonder coproduct

$\beta_{1,t}$ = lineair effect van de input van coproduct X ($\text{m}^3/\text{kg}/\text{dag}$)

$\beta_{2,t}$ = kwadratische effect van de input van coproduct X ($\text{m}^3/\text{kg}^2/\text{dag}$)

Dit type van relatie is geïmplementeerd in de regressiematrix van het adaptieve model en daardoor kunnen de parameter $\beta_{0,t}$, $\beta_{1,t}$ en $\beta_{2,t}$ variëren in de tijd. De vergelijking kan worden uitgebreid naar meerdere coproducten (X_1, X_2, \dots) via de volgende vergelijking:

$$G_t = \beta_{0,t} + \beta_{1,t}X_{1,t} + \beta_{2,t}X_{1,t}^2 + \beta_{3,t}X_{2,t} + \beta_{4,t}X_{2,t}^2 + \beta_{5,t}X_{1,t}X_{2,t} + \dots$$

Met de individuele dynamische parameters:

$\beta_{0,t}$ = intercept of basisniveau (m^3/dag), d.w.z. de productie zonder coproduct

$\beta_{1,t}$ = lineair effect van de input van coproduct X_1 ($\text{m}^3/\text{kg}/\text{dag}$)

$\beta_{2,t}$ = kwadratische effect van de input van coproduct X_1 ($\text{m}^3/\text{kg}^2/\text{dag}$)

$\beta_{3,t}$ = lineair effect van de input van coproduct X_2 ($\text{m}^3/\text{kg}/\text{dag}$)

$\beta_{4,t}$ = kwadratische effect van de input van coproduct X_2 ($\text{m}^3/\text{kg}^2/\text{dag}$)

$\beta_{5,t}$ = interactie effect tussen de input van de coproducten X_1 en X_2 ($\text{m}^3/\text{kg}/\text{dag}$)

De parameter schattingen worden verkregen door een Bayesiaanse analyse van tijdreeksen (West en Harrison, 1997) bestaande uit de dagelijkse metingen van de input en de biogasproductie.

Kenmerkend voor deze methode is telkens de cyclus van het verwerkingsproces van iedere nieuwe waarneming, in dit geval de dagelijkse input en de nieuwe biogas-dagproductie.

Voordat er überhaupt waarnemingen zijn (de fase van opstart) moet het proces op gang gebracht worden met informatie. Hiervoor is kennis van het vergistingsproces belangrijk. De voorinformatie (we noemen dit priors, oftewel informatie vooraf) die nodig is om te beginnen betreft:

- De verwachte relatie tussen input en output (zoals wordt weergegeven in de observatievergelijking). In het geval van één enkel coproduct (of groep van coproducten) wordt er een prior gegeven voor het intercept ($\beta_{0,t} = 0$), lineaire effect ($\beta_{1,t} = 0$), en het kwadratische effect ($\beta_{2,t} = 0$),

$$\beta_{.,0} = \begin{pmatrix} \beta_{0,t} = 0 \\ \beta_{1,t} = 0 \\ \beta_{2,t} = 0 \\ \vdots \end{pmatrix}$$

- De verwachte observatievariantie (incl. covarianties tussen parameters) en systeemvariantie. Met deze priors wordt de onzekerheid van de bovengenoemde priors aangeduid.

$$C_o = \begin{pmatrix} \text{var}(\beta_{0,t} = 0) & & & \\ \text{cov}(\beta_0, \beta_{1,t} = 0) & \text{var}(\beta_{1,t} = 0) & & \\ \text{cov}(\beta_0, \beta_{2,t} = 0) & \text{cov}(\beta_0, \beta_{2,t} = 0) & \text{var}(\beta_{2,t} = 0) & \\ & & & \ddots \end{pmatrix}$$

Vervolgens volgt er na iedere waarneming een update van deze priors (die we dan posterior noemen, oftewel informatie achteraf). Dit proces verloopt recursief, oftewel steeds terugkerend. Langzaam maar zeker ebt de invloed van de priors op de parameterschattingen weg en vormen de waarnemingen steeds meer de enige oorzaak van de parameterschattingen en de geschatte varianties.

Door de geschatte varianties kan voor iedere eerstvolgende waarneming en verwachting een betrouwbaarheidsinterval worden berekend. Wanneer een nieuwe waarneming buiten het betrouwbaarheidsinterval komt (we gebruiken de zogenaamde Bayes' factor H_t met grenswaarde $\tau = 0,15$), dan past het dus niet meer bij de voorspelling en wordt de waarneming beschouwd als uitbijter. Dit heeft als gevolg dat deze informatie niet wordt gebruikt voor de reguliere update van de parameters. Wat er echter wel gebeurt is dat de onzekerheid (of variantie) van de parameters wordt vergroot, zodat het model zich bij een nieuwe (eerstvolgende) waarneming sneller aanpast aan een eventueel veranderde situatie. Dit laatste noemen we automatische interventie.

Naast een plotselinge grote afwijking, bestaat de mogelijkheid dat er geleidelijk een afwijking t.o.v. de verwachting ontstaat. Dit wordt dan gesignaleerd door de cumulatieve Bayes' factor L_t en de periodelengte l_t . Wanneer $L_t \leq \tau$ of $l_t \geq 4$ wordt deze situatie herkend. De afwijkende waarnemingen worden dan niet buiten beschouwing gelaten, maar de onzekerheden van de parameters worden dan wel vergroot.

Kortom, voor het verkrijgen van goede parameterschattingen wordt met instellingen gewerkt voor respectievelijk de priors, de discountfactoren en de monitoring criteria die de automatische interventie reguleren:

- Priors
De priors zijn de eerste gebruikte initiële schattingen voor de parameters in het adaptieve model.
- Discountfactoren
Met de discountfactoren (waarde tussen 0 en 1) wordt geregeld hoeveel historische informatie wordt gebruikt, oftewel de waarden in de matrix M_t . Hoge waarden betekent dat meer historische informatie wordt gebruikt in de gegevensserie en in normale situaties zijn de discount factoren dan ook vrij hoog. Echter in situaties met een verstoord proces (bijv. na een potentiële uitbijter in de gegevensserie) wordt automatisch met een lagere discountfactor gewerkt. Deze discountfactor wordt de exceptionele discountfactor genoemd. Hierdoor kan het model de eerstvolgende geschatte parameters sneller aanpassen en hiermee inspelen op een mogelijk nieuwe situatie. Naast discountfactoren voor parameters zijn er ook discountfactoren voor de variantieschattingen. De discountfactoren worden als volgt weergegeven:

Δ_{V_n} = Normale discountfactor voor variantie

Δ_{V_e} = Exceptionele discountfactor voor variantie

Δ_n = Normale discountfactor voor parameters

Δ_e = Exceptionele discountfactor voor parameters

- Monitoring criteria
Monitoring is bedoeld om te besluiten of nieuwe informatie dient te worden gebruikt. Wanneer nieuwe procesgegevens (van een bepaalde dag) niet passen bij de bijbehorende voorspelling dan kunnen deze gegevens foutief zijn of de specifieke daginformatie is misschien een uitbijter. Soms past een serie van opeenvolgende dagwaarnemingen ook minder goed bij de voorspelling. In dat geval bouwt de kwalificatie voor een afwijking, de zogenaamde Bayes-factor zich langzaam op. Deze informatie kan ook worden omgezet naar alerts voor de procesoperator.

Control Algoritme

Het controle algoritme berekent de optimale instellingen voor de input van de coproducten. Als optimalisatiecriterium kan gekozen worden voor 'actuele maximale biogasproductie' of voor 'actuele maximale voersaldo (= omzet uit biogasproductie minus voerkosten)'. Het optimalisatiecriterium 'actuele maximale biogasproductie' uit coproduct X, waarbij het optimum berekend kan worden uit de parameterschatting voor het lineaire effect $\beta_{1,t}$ en het kwadratische effect $\beta_{2,t}$ is (in de situatie van sturing op één coproduct) is:

$$Y_{max_t}: X_t = \frac{-\beta_{1,t}}{2\beta_{2,t}}$$

De omzet uit de biogasproductie hangt af de biogasprijs (α_g) welke bepaald wordt door elektriciteitsprijs (of groen gas prijs) en de biogassamenstelling (eventueel aangevuld met de warmteprijs indien de benutte warmte een financiële waarde heeft). De voerkosten hangen af van de prijs van de coproducten en de rantsoensamenstelling. Het theoretisch economisch optimum is dus afhankelijk van de prijs van biogas (α_g) en de aankoopprijs van het coproduct (α_x). Het optimalisatiecriterium 'actuele maximale voersaldo' uit coproduct X is:

$$Y_{opt_t} : X_t = \frac{\alpha_g - \alpha_x \cdot \beta_{1,t}}{2\beta_{2,t} \cdot \alpha_g}$$

De berekende optimale instellingen kunnen niet zonder vertraging gevolgd worden, omdat anders te grote veranderingen zouden plaatsvinden die het vergistingsproces kunnen verstoren. Het economisch optimale inputniveau kan namelijk sterk stijgen bij een plotselinge sterke verlaging van de dagprijs van een coproduct. Een directe verhoging van dagelijkse input kan dan te groot zijn waardoor de organische stof belasting te hoog wordt voor de micro-organismen om te kunnen verwerken. Veranderingen in de input worden daarom geleidelijk gedaan via een bepaalde stapgrootte (verhoging of verlaging) per dag.

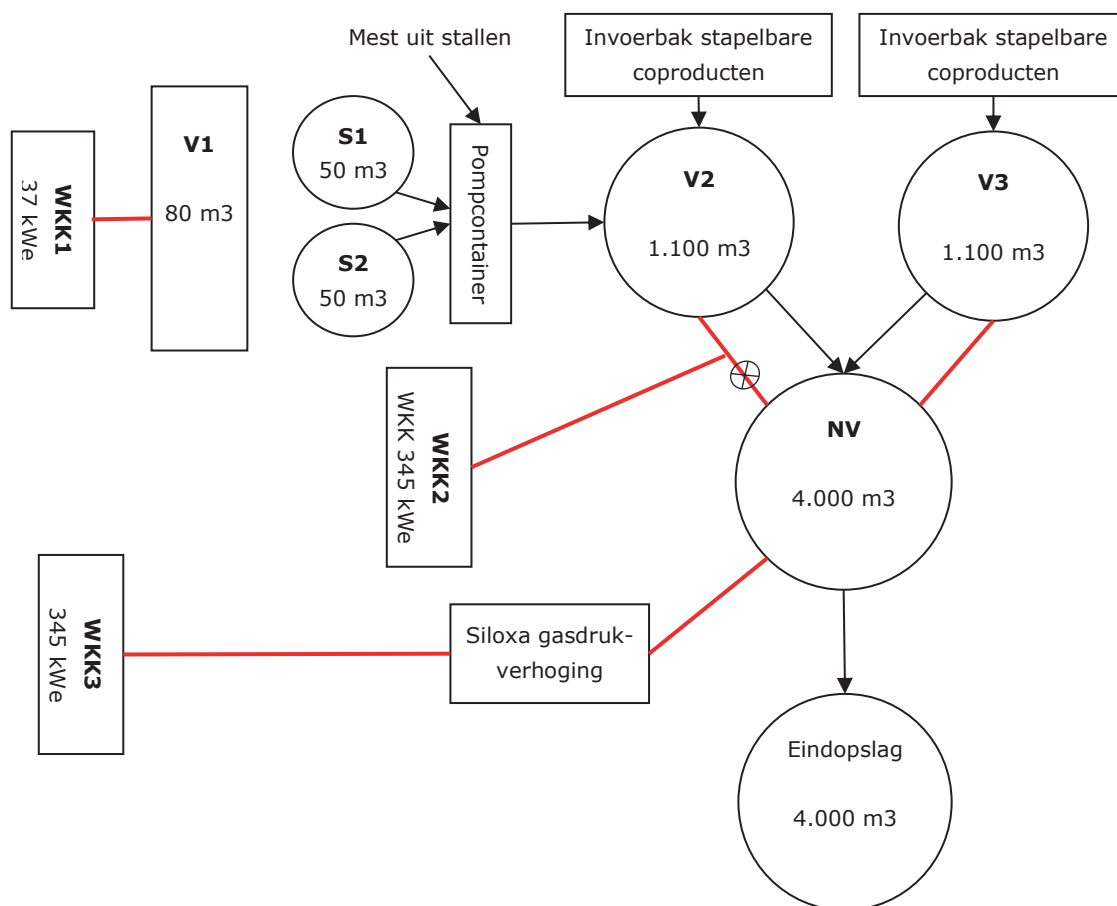
3 Onderzoeksopzet

Er zijn proeven uitgevoerd met de biogasinstallatie op Dairy Campus en een biogasinstallatie op een melkveebedrijf in de praktijk. In dit hoofdstuk worden beide biogasinstallaties beschreven, welke onderzoeksmethoden zijn gehanteerd, welke waarnemingen zijn gedaan en hoe Dynamisch Vergisten is toegepast bij beide biogasinstallaties.

3.1 Materiaal en Methode

3.1.1 Biogasinstallatie Dairy Campus

De biogasinstallatie op Dairy Campus bestond uit meerdere vergistingstanks en meerdere WKK-installaties. Vergister V1 en de WKK-installatie (WKK1) waren operationeel sinds 2001. In 2008 is de biogasinstallatie bedrijfsmatig uitgebreid met twee extra vergistingstanks (V2 en V3), een navergister (NV), een eindopslag en twee extra WKK-installaties (WKK2 en WKK3), waarbij WKK3 op afstand in een woonwijk is gezet i.v.m. warmtelevering aan woonhuizen in deze wijk (zie figuur 12).



Figuur 12 Schematische weergave van de biogasinstallatie op Nij Bosma Zathe.

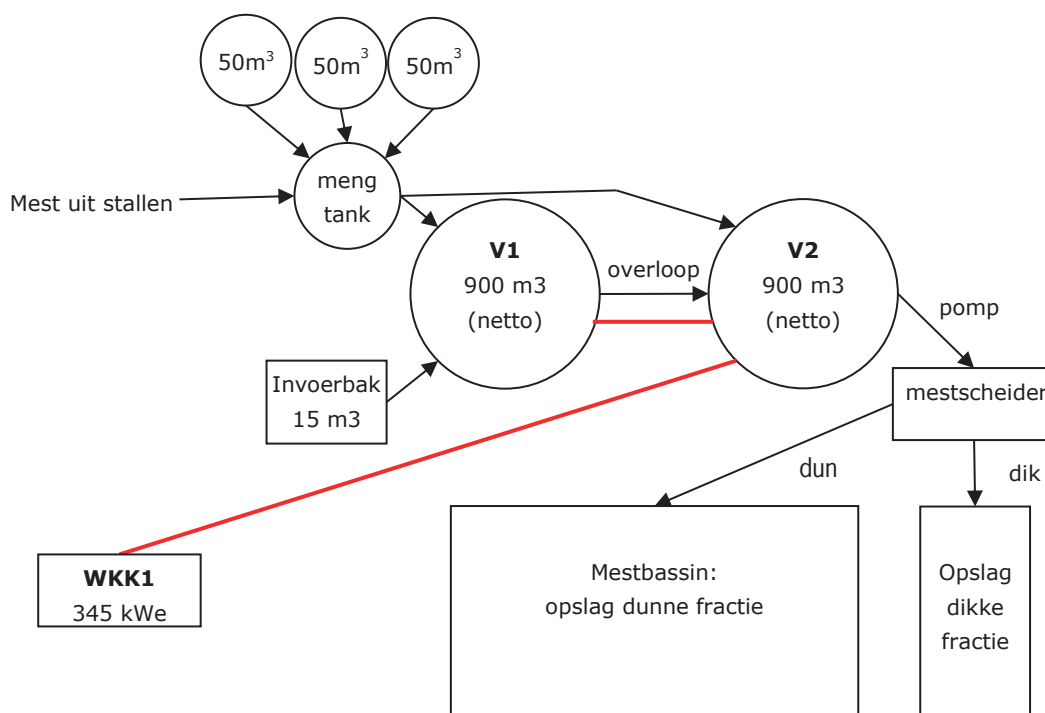
Voor deze studie is gebruik gemaakt van vergister V2 en WKK2 (MAN, 345 kWe), waarbij V2 als biogasleverancier diende voor WKK2. De biogasleiding van V2 naar WKK2 was in principe afgesloten van de rest van de biogasinstallatie. Echter door het openzetten van een klep in de biogasleiding was het mogelijk om een open leidingen systeem te creëren tussen de vergisters V2 en V3 en de navergister NV waardoor het biogas van de verschillende vergistingstanks vermengd werd en naar zowel WKK2 als WKK3 toe kon gaan. Als de klep openstond, dan was geen directe relatie meer te leggen tussen de input en biogasproductie van vergister V2, waardoor de data van de dagen dat de

klep openstond niet bruikbaar waren voor de methodiek van Dynamisch Vergisten en daarom buiten beschouwing werden gelaten. De dagen en tijdstippen waarop de klep openstond werd bijgehouden. De vergisters hadden een over- en onderdrukventiel om te zorgen dat bij een te hoge overdruk biogas kon worden afgelaten naar de buitenlucht of bij een te hoge onderdruk buitenlucht naar de biogasopslag kon worden toegevoerd ter voorkoming van scheuring van het flexibele membraan dak.

De geproduceerde rundveemest uit de melkveestal kwam terecht in een aparte mestput onder de stal. In deze mestput was een mixer aanwezig om voor een homogene meststroom naar de biogasinstallatie te zorgen. Vanuit deze put werd de rundveemest via een pomp in de pompcontainer rechtstreeks naar de vergistingstanks gepompt. De biogasinstallatie beschikte over twee opslagtanks van 50 m³ voor de opslag van vloeibare coproducten (S1 en S2). De vloeibare coproducten werden ook via de pomp in de pompcontainer rechtstreeks naar de vergistingstanks gepompt. Tevens was het mogelijk om met de pompcontainer digestaat uit vergisters V2 en V3, navergister NV en eindopslag te halen en naar keuze over te pompen naar vergisters V2 en V3, navergister NV of eindopslag. De pomp in de pompcontainer was voorzien van een doorstroommeter (Siemens SITRANS FM MAGFLO sensor met een MAG 5000 Transmitter) voor volumemeting van de vloeibare stromen die naar de vergistingstanks werden gepompt. De droge coproducten (o.a. snijmaïs en gras) werden opgeslagen in sleufsilos. De droge coproducten werden m.b.v. een shovel in de invoerbakken (Trioliet, inhoud 20 m³) van vergistingstanks V2 en V3 gebracht. De invoerbakken stonden op weegcellen met een beeldscherm voor weergave van het gewicht in de invoerbak en hadden twee verticale vijzels voor menging, zodat alle droge producten als één mengsel aan vergister V2 of V3 werden gevoerd. Vergister V2 was een geïsoleerde betonnen, volledig geroerde vergister met twee roerwerken: een biobull lange-as roerwerk en een dompelmixer. Het biogas werd opgevangen onder een flexibel membraan dak. Het biogas werd afgevoerd naar de twee WKK-installaties (MAN, 2x 345 kWe) welke voorzien waren van een biogasmeter (iMeter, type IMTM-Q250 din pn16) voor het meten van de hoeveelheid biogas die door de WKK werd verbruikt en een methaanmeter (Dräger Polytron, type IR Ex) voor de meting van het methaangehalte in het biogas. Het digestaat werd via een overloop afgevoerd naar de navergister NV. Het besturingssysteem van de biogasinstallatie was afkomstig van Wilee Techniek BV. In 2009 was de temperatuur in vergister V2 ingesteld op 40°C en in 2010 werd de ingestelde temperatuur door de operator op 26 februari 2010 verhoogd naar 42°C.

3.1.2 Biogasinstallatie praktijkbedrijf

De biogasinstallatie was gesitueerd op een melkveebedrijf en bestond uit twee vergistingstanks (V1 en V2) en één WKK-installatie (MAN, 345 kWe) (zie figuur 13).



Figuur 13 Schematische weergave van de biogasinstallatie op het melkvee praktijkbedrijf.

Voor het onderzoek werd de gehele biogasinstallatie gebruikt. De geproduceerde rundveemest op het melkveebedrijf werd vanuit de stallen naar de mengtank gepompt. De mengtank stond op weegcellen. De biogasinstallatie beschikte over drie opslagtanks van 50 m³ voor de opslag van vloeibare coproducten. De vloeibare coproducten werden ook naar de mengtank gepompt. In de mengtank werden de vloeibare coproducten en mest met elkaar opgemengd en vervolgens naar de vergistingstanks gepompt. In het verleden zijn wel stapelbare coproducten gevoerd, maar ten tijde van het onderzoek werd vanwege arbeidsbesparing geen droge coproducten aangevoerd en werd alleen een kleine hoeveelheid voerresten als droog coproduct gevoerd. De invoerbak stond op weegcellen. Beide vergistingstanks waren geïsoleerde betonnen, volledig geroerde vergisters. Het biogas werd opgevangen onder een flexibel membraan dak. De temperatuur in beide vergisters was ingesteld op 38°C. Het biogas werd afgevoerd naar een WKK-installatie (MAN, 345 kWe). De WKK-installatie draaide op een vast ingesteld vermogen en werd s'ochtends handmatig gestart en werd s'avonds laat bij de laatste controleronde weer handmatig uitgezet als de WKK-installatie nog niet vanzelf was uitgegaan met als doel om zo een groot mogelijk deel van de elektriciteitsproductie tegen het hoge teruglevertarief te kunnen leveren. Het digestaat werd via een overloop afgevoerd naar een vijzelpers waar het digestaat werd gescheiden in een dunne en dikke fractie, waarna de dunne fractie werd opgeslagen in een mestbassin en de dikke fractie op een mestplaat werd opgeslagen.

3.2 Methoden

Dairy Campus

Het besturingssysteem van de biogasinstallatie had niet de mogelijkheid om tijdens het vullen van de invoerbak met droge coproducten het toegevoegde gewicht van de verschillende coproducten apart op te slaan in een databestand. Daarom werd elke keer dat de invoerbak werd gevuld de toegevoegde hoeveelheden droge coproducten in kilogrammen per coproduct opgeschreven. Wekelijks werden deze data overgezet in een Excel-bestand voor verdere verwerking. De invoerbak werd regelmatig geijkt door een bekend gewicht op de invoerbak te zetten. Het vullen van de invoerbak met de gewenste hoeveelheden was een kwestie van ervaring, waardoor na een leerperiode men op Dairy Campus in staat was om de hoeveelheden droge coproducten nauwkeurig te doseren en de afwijking op de geadviseerde hoeveelheden droge coproducten klein bleef. De hoeveelheid mest, vloeibare coproducten en digestaat die naar vergister V2 werd gepompt werd gemeten in liters door de doorstroommeter (Siemens SITRANS FM MAGFLO sensor met een MAG 5000 Transmitter) en dagelijks vastgelegd door het data-acquisitiesysteem van het Wilee-besturingssysteem. In het data-acquisitiesysteem werd ook de temperatuur in de vergister, gasdruk in de biogasopslag van de vergister en de aanvoertemperatuur van de verwarming in de vergister vastgelegd. Van deze gegevens werd wekelijks een kopie gemaakt en in een Excel-bestand gezet voor verdere verwerking. In het data-acquisitiesysteem van het motormanagementsysteem van WKK2 werden naast parameters van de WKK-installatie ook het biogasverbruik (in m³), het methaangehalte van het biogas (in %), de elektriciteitsproductie (in kWh) en de draaiuren van de WKK vastgelegd. Van deze gegevens werd wekelijks een kopie gemaakt en in een Excel-bestand gezet voor verdere verwerking. In een logboek werden overige relevante zaken van de biogasinstallatie bijgehouden wat o.a. betrof:

- Ontsnappen van biogas door o.a. storingen en/of overproductie (via overdrukklep),
- Of de gasklep van V2 naar V3 en de navergister openstond,
- Onderhoud, storingen en reparaties,
- Aangevoerde hoeveelheden coproducten met bijbehorende prijzen.

Elke maandagochtend werden de bijgehouden gegevens aangeleverd voor verdere verwerking en analyse met Dynamisch Vergisten. Maandagmiddag werd de analyse uitgevoerd en werd een overzicht opgeleverd met de hoeveelheden producten die per dag in de periode van dinsdag tot en met maandag geadviseerd werden om te voeren. De optimalisatie vond dus op wekelijkse basis plaats, omdat Dynamisch Vergisten nog niet als standalone applicatie automatisch kon draaien en omdat het praktisch ook niet haalbaar was om elke dag de nieuwe gegevens aan te leveren en analyseren.

Gedurende het eerste anderhalf jaar van bedrijfsvoering van vergister V2 werd wekelijks een monster uit vergister V2 genomen en ingestuurd voor analyse door een commercieel laboratorium (Dumea), waarna werd overgeschakeld op een tweewekelijks schema. Incidenteel werd ook geanalyseerd op het

gehalte aan vluchtige vetzuren. Door Dairy Campus werd tegelijk met de monsternamen voor Dumea een aanvullend monster genomen uit vergister V2 voor een droge stof bepaling met een drogestofmeter (Ehret, type TK/L 4878). In tabel 1 staan de parameters weergegeven waarop werd geanalyseerd met de bijbehorende streefwaarden van Dumea. De streefwaarden van Dumea zijn gebruikt om te beoordelen of het vergistingsproces goed verliep tijdens de perioden dat Dynamisch Vergisten werd toegepast en zijn dus een vorm van evaluatie of Dynamisch Vergisten het vergistingsproces positief of negatief beïnvloed.

Tabel 1

Analyse parameters van de digestaat monsters met de bijbehorende streefwaarden volgens Dumea.

Parameter	Streefwaarde
Totaal vetzuren (FOS)	< 10.000 mg/l
Buffercapaciteit (TAC) (in mg/l)	> 12.000 mg/l
FOS/TAC-verhouding	< 0,50
pH-waarde	7,5 – 8,2
Geleidbaarheid (EC)	15 – 35 mS/cm
Ammonium ¹⁾	< 4,0 g/l
Azijnzuur	< 2 g/kg
Propionzuur	< 0,5 g/kg
Iso-boterzuur	< 0,05 g/kg
N-boterzuur	< 0,05 g/kg
Iso-valeriaanzuur	< 0,05 g/kg
Valeriaanzuur	< 0,05 g/kg
Drogestof	< 11%

1) Alleen geanalyseerd op het praktijkbedrijf

Praktijkbedrijf

In het besturingssysteem van de biogasinstallatie werden de gedoseerde hoeveelheden naar de mengtank en invoerbak bijgehouden. Ook werd daarin de temperatuur van de vergisters bijgehouden. Wekelijks werden deze data overgezet in een Excel-bestand tezamen met de actuele prijzen van de coproducten en de dagelijks gevoerde hoeveelheden voerresten. Ook werd in het Excel-bestand de elektriciteitsproductie en draaiuren van de WKK-installatie opgenomen. Tevens werden bijzonderheden vermeld zoals storingen, onderhoud, etc.

Elke zondagavond of maandagochtend werd het Excel-bestand met de gegevens aangeleverd voor de analyse met Dynamisch Vergisten. Maandag werd de analyse uitgevoerd en werd een overzicht opgeleverd van de hoeveelheden coproducten die per dag in de periode van dinsdag t/m maandag geadviseerd werden om te voeren. De optimalisatie vond dus plaats op wekelijkse basis, omdat Dynamisch Vergisten nog niet als standalone applicatie automatisch kon draaien en omdat het tevens praktisch niet haalbaar was om elke dag de nieuwe gegevens aan te leveren en analyseren.

Op drie momenten tijdens de adviesperiode zijn monsters van het digestaat uit de vergisters geanalyseerd door Dumea (zie tabel 1). De streefwaarden van Dumea zijn gebruikt om te beoordelen of het vergistingsproces goed verliep tijdens de periode dat Dynamisch Vergisten werd toegepast en zijn dus een vorm van evaluatie of Dynamisch Vergisten het vergistingsproces positief of negatief beïnvloed.

3.3 Aanpak Dynamisch Vergisten

3.3.1 Dairy Campus

Adaptief Model

In het onderzoek op Dairy Campus is gekozen voor een prototype van het adaptieve model waarmee de invloed van de totale hoeveelheid vloeibare coproducten (L) en de totale hoeveelheid droge coproducten (D) op de biogasproductie (G) los van elkaar konden worden geschat. Het adaptieve model bestond uit het volgende dynamisch lineaire model:

$$G_t = \beta_{0,t} + \beta_{1,t}L_t + \beta_{2,t}L_t^2 + \beta_{3,t}D_t + \beta_{4,t}D_t^2 + v_t \quad v_t \sim N(0, V_t)$$

$$\beta_{.,t} = M_t \beta_{.,t-1} + \omega_t \quad \omega_t \sim N(0, U_t)$$

De parameter schattingen werden verkregen door een Bayesiaanse analyse van tijdreeksen (West and Harrison, 1997) bestaande uit dagelijkse metingen van de biogasproductie G_t in relatie tot:

- de totale input aan vloeibare coproducten L_t (3-daags gemiddelde)
- de totale input aan droge coproducten D_t (3-daags gemiddelde)

Voor het verkrijgen van goede parameterschattingen werd met de volgende instellingen gewerkt voor respectievelijk de priors, de discountfactoren en de monitoring criteria die automatische interventie reguleren.

Priors

De gebruikte priors, waarbij $\beta_{.,0}$ de prior voor de parameters is en C_0 de prior voor de variantie covariantiematrix weergeeft, waren voor de eerste adviesperiode:

$$\beta_{.,0} = \begin{pmatrix} 1700 \\ 0.19 \\ -2.5 \cdot 10^{-6} \\ 0.208 \\ -1.65 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix}$$

$$C_0 = \begin{pmatrix} 60000 & & & & & \\ -7.44 & 0.0029 & & & & \\ -0.004 & -1.2 \cdot 10^{-5} & 9.6000 \cdot 10^{-8} & & & \\ -0.4000 & -1.6 \cdot 10^{-4} & 0 & 3.9000 \cdot 10^{-4} & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.25 \cdot 10^{-10} & \end{pmatrix}$$

De gebruikte priors $\beta_{.,0}$ en C_0 waren voor de tweede adviesperiode:

$$\beta_{.,0} = \begin{pmatrix} 1246 \\ 0.2059 \\ -4.789 \cdot 10^{-5} \\ 0.2942 \\ -2.268 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}$$

$$C_0 = \begin{pmatrix} 591256 & & & & & \\ -189.1 & 0.2443 & & & & \\ -0.04034 & -5.807 \cdot 10^{-5} & 1.5234 \cdot 10^{-8} & & & \\ -52.89 & -1.135 \cdot 10^{-2} & -1.968 \cdot 10^{-6} & 2.59 \cdot 10^{-2} & & \\ 3.271 \cdot 10^{-3} & -9.897 \cdot 10^{-7} & -1.4261 \cdot 10^{-10} & -2.151 \cdot 10^{-6} & 2.0884 \cdot 10^{-10} & \end{pmatrix}$$

Discountfactoren

De gebruikte normale en exceptionele discountfactoren voor de parameters en de variantieschattingen zijn:

$$\begin{aligned}\Delta_{v_n} &= 0.95 && \text{Normaal voor variantie} \\ \Delta_{v_e} &= 0.80 && \text{Exceptioneel voor variantie} \\ \Delta_n &= \begin{pmatrix} 0.95 \\ 0.9775 \end{pmatrix} && \text{Normaal voor parameters} \\ \Delta_e &= \begin{pmatrix} 0.80 \\ 0.90 \end{pmatrix} && \text{Exceptioneel voor parameters}\end{aligned}$$

Monitoring criteria

Als monitoring criteria is gewerkt met een scale inflation factor van 3, een drempelwaarde voor de Bayes-factor van 0.15 en een drempel voor run lengte (bij groeiende afwijking) van 3.

Controle algoritme

Het controle algoritme berekende de optimale instellingen voor de totale input aan vloeibare en totale input aan droge coproducten. In deze studie is wekelijks geadviseerd op basis van het optimalisatiecriterium 'actuele maximale biogasproductie'. Het optimalisatiecriterium was:

$$G_{max_t}(Liquid): L_t = \frac{-\beta_{1,t}}{2\beta_{2,t}}$$

$$G_{max_t}(Dry): D_t = \frac{-\beta_{3,t}}{2\beta_{4,t}}$$

De berekende optimale instellingen zijn niet blind gevolgd, omdat anders te grote veranderingen zouden plaatsvinden die het vergistingsproces konden verstoren. Veranderingen in de input zijn daarom geleidelijk gebeurd; de gehanteerde stapgrootte (verhoging of verlaging) per dag was doorgaans 50 kg per coproduct-groep (vast of vloeibaar).

3.3.2 Praktijkbedrijf

Adaptief Model

In het onderzoek op het praktijkbedrijf is bij aanvang van de onderzoeksperiode gekozen voor een prototype van het adaptieve model waarmee de invloed van de totale hoeveelheid Ecofrit (L) op de elektriciteitsproductie (E) konden worden geschat. Het adaptieve model bestond uit het volgende dynamisch lineaire model:

$$\begin{aligned}E_t &= \beta_{0,t} + \beta_{1,t}L_t + \beta_{2,t}L_t^2 + v_t && v_t \sim N(0, V_t) \\ \beta_{.,t} &= \beta_{.,t-1} + \omega_t && \omega_t \sim N(0, U_t)\end{aligned}$$

De parameter schattingen zijn verkregen door een Bayesiaanse analyse van tijdreeksen (West and Harrison, 1997) bestaande uit dagelijkse metingen van de elektriciteitsproductie E_t in relatie tot de totale input aan Ecofrit L_t (9-daags gemiddelde).

Voor het verkrijgen van goede parameterschattingen is met de volgende instellingen gewerkt voor respectievelijk de priors, de discountfactoren en de monitoring criteria die automatische interventie reguleren.

Priors

De gebruikte priors, waarbij $\beta_{.,0}$ de prior voor de parameters weergeeft en C_0 de prior voor de variantie covariantiematrix, zijn:

$$\beta_{.,0} = \begin{pmatrix} 500 \\ 0.359 \\ 4.789 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix}$$
$$C_0 = \begin{pmatrix} 100500 & & \\ -18.1 & 0.4443 & \\ 0.04034 & -5.807 \cdot 10^{-5} & 1.5234 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Discountfactoren

De gebruikte normale en exceptionele discountfactoren voor de parameters en de variantieschattingen zijn:

$\Delta_{v_n} = 0.90$	Normaal voor variantie
$\Delta_{v_e} = 0.80$	Exceptioneel voor variantie
$\Delta_n = \begin{pmatrix} 0.98 \\ 0.99 \end{pmatrix}$	Normaal voor parameters
$\Delta_e = \begin{pmatrix} 0.80 \\ 0.90 \end{pmatrix}$	Exceptioneel voor parameters

Monitoring criteria

Als monitoring criteria is gewerkt met een scale inflation factor van 3, een drempelwaarde voor de Bayes-factor van 0.15 en een drempel voor run lengte (bij groeiende afwijking) van 3.

Controle algoritme

Het controle algoritme berekende de optimale instellingen voor de totale input aan Ecofrit. In deze studie is wekelijks geadviseerd op basis van het optimalisatiecriterium 'actuele maximale elektriciteitsproductie'. Het optimalisatiecriterium was:

$$E_{max_t}(Ecofrit): L_t = \frac{-\beta_{1,t}}{2\beta_{2,t}}$$

De berekende optimale instellingen zijn niet blind gevolgd, omdat anders te grote veranderingen zouden plaatsvinden die het vergistingsproces konden verstoren. Daarom werd geadviseerd om veranderingen in de input geleidelijk uit te voeren; de gehanteerde stapgrootte (verhoging of verlaging) per dag was doorgaans 100 kg per coproduct.

Alternatief en experimenteel model

Tijdens het onderzoek is een prototype van het adaptieve model ontwikkeld waarmee de invloed van de totale hoeveelheid Ecofrit en de totale hoeveelheid Lecithine op de elektriciteitsproductie apart van elkaar konden worden geschat. In bijlage 3 staat het adaptieve model en control algoritme voor dit alternatieve model weergegeven.

Daarnaast is een experimenteel prototype van het adaptieve model ontwikkeld waarmee de invloed van de verdeling van de hoeveelheid vloeibare input (=Ecofrit + Lecithine + rundveedrijfmest) over vergisters V1 en V2 op elektriciteitsproductie konden worden geschat. In bijlage 4 staat het adaptieve model en control algoritme voor dit experimentele model weergegeven.

3.4 Evaluatie van Dynamisch Vergisten

Voor een methodiek als Dynamisch Vergisten is het uitvoeren van 'behandeling-controle' proef onder praktijkomstandigheden een uitermate lastige opgave waardoor aantonen ('bewijzen') van de werking van de methodiek van Dynamisch Vergisten beperkt wordt tot een kwalitatieve beoordeling. Op basis van een aantal (subjectieve) criteria is de methodiek van Dynamisch Vergisten geëvalueerd. De geformuleerde beoordelingscriteria voor de evaluatie van Dynamisch Vergisten waren:

- 1) Analyseresultaten van de monsters uit de vergister
 - Wat is het beeld van de geanalyseerde parameters van de monsters?
 - Zijn de parameters binnen de streefwaarden ('veilige range') die het laboratorium hanteert gebleven of niet?
 - En is er een verklaring voor de situaties waarin dat niet gebeurd is?
- 2) Vroegtijdige signalering van het model
 - Waren er situaties waarin problemen zijn geweest die zich pas later openbaarde, maar waarbij Dynamisch Vergisten al eerder was begonnen met bijsturing van de input? Denk hierbij aan bijvoorbeeld aan een slecht functionerende mixer of een groeiende bezinklaag waardoor de optimale input langzaam aan steeds lager komt te liggen.
 - Waren er situaties waarin het gevoerde rantsoen volgens Dynamisch Vergisten al op het optimum van de maximale biogasproductie zat, terwijl volgens de richtlijnen van biogasproductie een hogere biogasproductie mogelijk zou zijn of dat de vergisterruimte nog voldoende ruimte had om de input te verhogen (verblijftijd aan de hoge kant) waarbij de analyses van het digestaat uit de vergister geen afwijkende waarden vertoont. Deze situatie duidt erop dat de kwaliteit van het rantsoen onvoldoende is en/of samenstelling niet goed is of dat er mogelijk een grote bezinklaag is ontstaan onderin de vergister.
- 3) Verhoging van de input tegen het advies van Dynamisch Vergisten in
 - Zijn er situaties geweest dat de input is verhoogd, maar waarbij de optimale input voor de maximale biogasproductie op een lager niveau lag?
 - Leverde deze inputverhoging extra biogasproductie op of niet?
- 4) Vergelijking met het voeren o.b.v. normatieve waarden voor de biogasproductie
 - Was de biogasproductie tijdens de adviesperiode lager of hoger dan normatieve biogasproductie?
- 5) Verbetering van de economische resultaten
 - Een vergister afwisselend perioden voeren met Dynamisch Vergisten met voeren op normen is een alternatieve methode (liefst met dezelfde coproducten in het rantsoen bij twee opeenvolgende perioden) om verbetering in economische resultaten te bepalen. Zijn de economische resultaten beter tijdens de periode dat gevoerd is met behulp van Dynamisch vergisten?
- 6) Optimaliseren op maximaal voersaldo
 - Aantonen of de responsecurven (zoals met de huidige modelinstellingen worden geschat) ook bruikbaar zijn voor advisering t.b.v. maximale voersaldo. Echter hieraan is in dit onderzoek niet toegekomen. Omdat de situatie van het vorige punt ook nooit is bereikt, heeft de aanscherping van het model t.b.v. economische advisering niet kunnen plaatsvinden.

-
- 7) Verhoging van de input tegen het advies van Dynamisch Vergisten in
 - Zijn er situaties geweest dat de input is verhoogd, maar waarbij de optimale input voor de maximale biogasproductie op een lager niveau lag?
 - Leverde deze inputverhoging extra biogasproductie op of niet?
 - 8) Vergelijking met het voeren o.b.v. normatieve waarden voor de biogasproductie
 - Was de biogasproductie tijdens de adviesperiode lager of hoger dan normatieve biogasproductie?
 - 9) Verbetering van de economische resultaten
 - Een vergister afwisselend perioden voeren met Dynamisch Vergisten met voeren op normen is een alternatieve methode (liefst met dezelfde coproducten in het rantsoen bij twee opeenvolgende perioden) om verbetering in economische resultaten te bepalen. Zijn de economische resultaten beter tijdens de periode dat gevoerd is met behulp van Dynamisch vergisten?
 - 10) Optimaliseren op maximaal voersaldo
 - Aantonen of de responsecurven (zoals met de huidige modelinstellingen worden geschat) ook bruikbaar zijn voor advisering t.b.v. maximale voersaldo. Echter hieraan is in dit onderzoek niet toegekomen. Omdat de situatie van het vorige punt ook nooit is bereikt, heeft de aanscherping van het model t.b.v. economische advisering niet kunnen plaatsvinden.

4 Resultaten

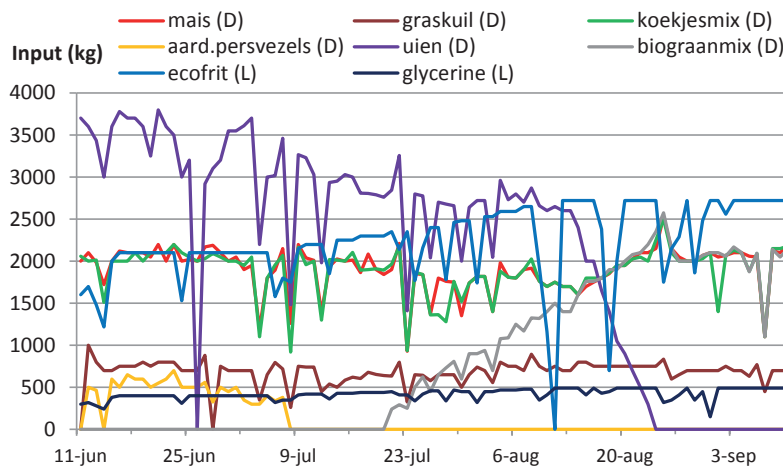
In paragraaf 4.1 worden de resultaten van het onderzoek op Dairy Campus behandeld en in paragraaf 4.2 de resultaten op het praktijkbedrijf. In paragraaf 4.3 wordt vervolgens de behaalde resultaten met Dynamisch Vergisten geëvalueerd.

4.1 Dairy Campus

In de periode van 1 januari 2009 tot en met 31 december 2010 is wekelijks de datareeks met informatie over de input naar vergister V2 en het biogasverbruik van WKK2 bijgewerkt. Deze datareeks werd gebruikt voor de optimalisatie van de input met Dynamisch Vergisten. Vanwege technische problemen traden er regelmatig storingen (o.a. WKK-installatie, droge stof doseerder, mestpomp, siloxa gasdrukverhoging) op in de biogasinstallatie. Daarnaast werd vergister V3 begin januari 2009 opgestart en eind januari 2009 werd het biogas afkomstig van V3 ook door WKK2 gebruikt tot begin juni toen de WKK-installatie WKK3 op Techum operationeel was. Halverwege juni 2009 is de gasklep dichtgezet tussen vergister V2 en V3-NV waardoor WKK2 volledig op het biogas van vergister V2 ging draaien. Vanaf dat moment was het mogelijk om de input naar vergister V2 direct te relateren aan het biogasverbruik van WKK2 en werd gestart met het onderzoek.

Eerste adviesperiode: juni - september '09

Vanaf halverwege juni 2009 is Dynamisch Vergisten gaan draaien als operationele tool voor de advisering tot begin september 2009 toen de gasklep tussen V2 en V3-NV weer voor langere tijd werd opengezet en de relatie tussen input en biogasproductie niet meer te leggen was. In de periode voor half juni is wel met een model gewerkt waarin zowel de input naar V2 als V3 werd meegenomen voor een voorlopige analyse van de response van de biogasproductie op de input van de coproducten en om zo alvast te kunnen anticiperen op de situatie waarin beide vergisters ontkoppeld waren. In figuur 14 staan de hoeveelheden van de droge coproducten (D) die in de invoerbak zijn gegaan en de vloeibare coproducten (L) die naar vergister V2 is gepompt tijdens de eerste adviesperiode.



Figuur 14 Hoeveelheden van gevoerde coproducten aan de biogasinstallatie op Dairy Campus in de periode van 11 juni tot en met 11 september 2009.

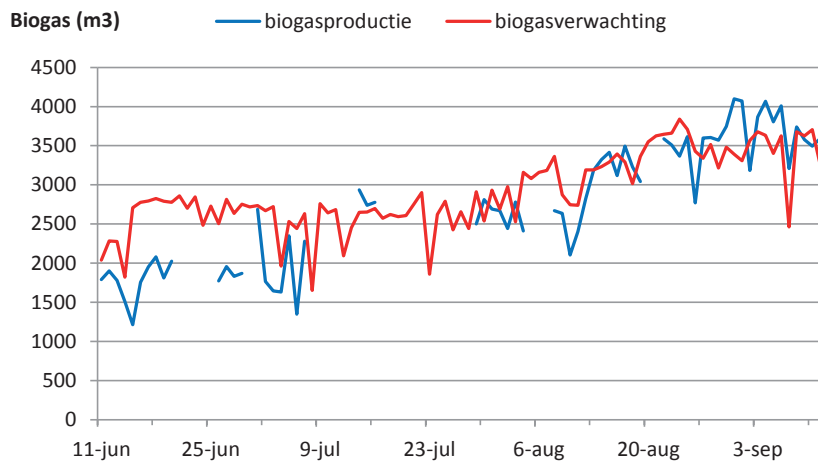
Toelichting op de resultaten in figuur 14:

- De input van droge coproducten in de invoerbak is niet gelijk aan de input van droge coproducten naar vergister V2 toe. De invoerbak bevatte meestal nog een resthoeveelheid van circa 1 à 2 ton. Deze resthoeveelheid werd aangehouden om te zorgen dat als door omstandigheden de invoerbak later werd bijgevuld, het voeren van de droge coproducten wel doorging. De invoer van droge coproducten betrof dus een mengsel van de rest hoeveelheid met de bijgevulde hoeveelheid.

De input aan rundveedrijfmest en vaste stromest zijn niet weergegeven in figuur 14. De hoeveelheid rundveedrijfmest stond bij aanvang van de adviesperiode standaard ingesteld op 11.500 kg per dag en vanaf eind juli op 11.000 kg per dag. Vaste stromest is alleen in de

- maanden juni en juli gevoerd waarbij de hoeveelheid in de eerste helft lag op circa 650 kg per dag en in de tweede helft op circa 475 kg per dag.
- Op de volgende dagen zijn voerbeurten van droge coproducten gemist door storingen aan de installatie: 4/7, 8/7, 12/7, 23/7, 26/7, 30/7 en 3/8.
- Op de volgende dagen zijn voerbeurten van vloeibare coproducten gemist door storingen aan de installatie: 24/6, 6-8/7, 12/7, 24/7, 28/7, 1/8, 9/8, 25/8 en 29/8.
- Op 26 juni zijn geen uien toegevoegd aan de invoerbak, omdat de uien op waren en nog geen nieuwe vracht was geleverd. En op 28 juni is geen graskuil toegevoegd aan de invoerbak.
- Op 11 augustus is geen Ecofrit gevoerd, omdat de Ecofrit op was en nog geen nieuwe vracht was geleverd. Ook op 18 augustus is minder Ecofrit gevoerd, doordat de Ecofrit op was.

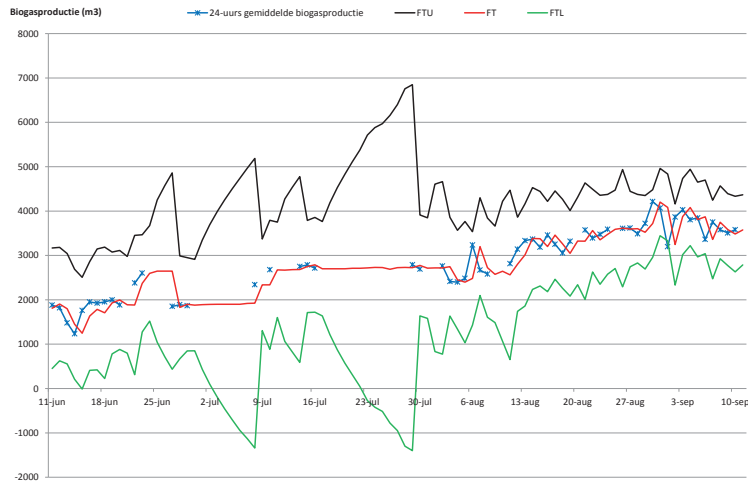
Op basis van de gevoerde hoeveelheden coproducten en normatieve waarden voor de biogasopbrengsten van de coproducten kan berekend worden welke biogasproductie verwacht zou worden op basis van het gevoerde rantsoen. In bijlage 1 staan de normatieve waarden weergegeven zoals die door Dairy Campus ten tijde van het onderzoek werden gebruikt. In figuur 15 is de berekende verwachte biogasproductie vergeleken met de gerealiseerde biogasproductie waarbij de dagen waarin de gasklep tussen V2 en V3 openstond zijn weggelaten.



Figuur 15 *Berekende verwachte biogasproductie en gerealiseerde biogasproductie van vergister V2 in de periode van 11 juni tot en met 11 september 2009, exclusief dagen dat de gasklep tussen V2 en V3 openstond.*

De figuur laat zien dat in het begin de gerealiseerde biogasproductie duidelijk onder de verwachting lag. Gedurende de periode van advisering o.b.v. Dynamisch Vergisten veranderde het beeld geleidelijk van een lagere gerealiseerde naar op-de-norm-productie naar een gerealiseerde biogasproductie die gelijk of boven de verwachte biogasproductie lag.

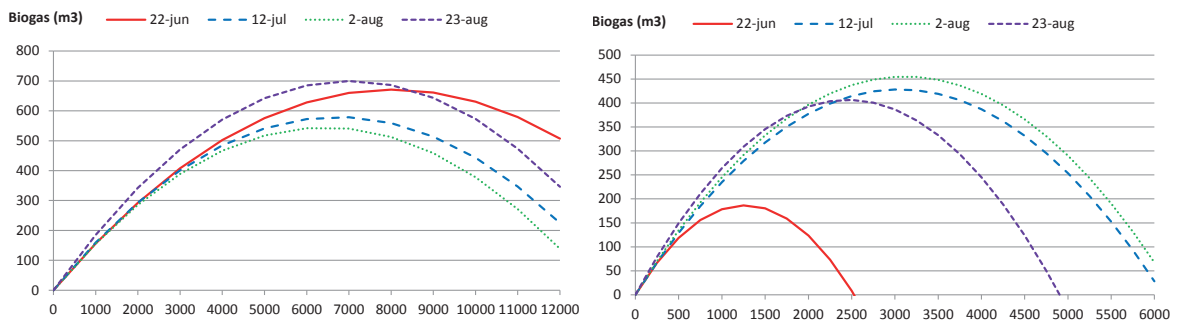
In figuur 16 zijn de waarnemingen en voorspelling van de biogasproductie van vergister V2 met het 90%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven.



Figuur 16 Gerealiseerde biogasproductie (24-uurs-gemiddelde, blauwe lijn), voorspelde biogasproductie (rode lijn FT) met het 90% betrouwbaarheidsinterval (zwarte lijn FTU en groene lijn FTL) van de eerste adviesperiode op Dairy Campus.

In juli is het relatief vaak voor gekomen dat de gasklep tijdelijk werd opengezet tussen V2 en V3-NV waardoor waarnemingen missen en het betrouwbaarheidsinterval groter werd en de onzekerheid over de voorspelling van biogasproductie toenam wat te zien is aan het groter wordende betrouwbaarheidsinterval in die periode.

In figuur 17 staan de response-curves van de droge en vloeibare input op respectievelijk 12 juni, 12 juli, 2 en 23 augustus 2009 weergegeven, welke een beeld schetsen van de reactie van de micro-organismen in de vorm van de biogasproductie op de veranderde input.



Figuur 17 Verwachte biogasproductie response-curve op droge (links) en vloeibare (rechts) input op 22 juni, 12 juli, 2 en 23 augustus 2009.

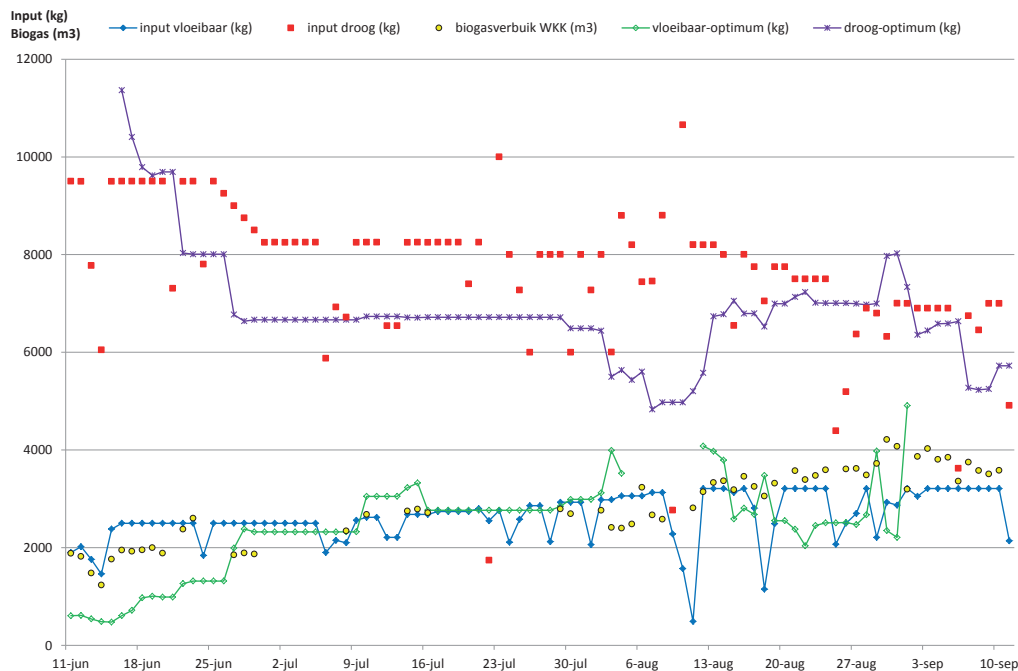
Figuur 17 laat voor de droge coproducten een licht veranderlijke response curve zien, terwijl de response-curve van de vloeibare coproducten grotere verschuivingen laat zien.

- Op 22 juni lag voor de droge coproducten de optimale input op 8.030 kg, terwijl de werkelijke input 9.500 kg was. Voor de vloeibare coproducten was de optimale input 1.260 kg, terwijl de werkelijke input 2.500 kg was. Op basis van deze response-curve zou zowel de input aan droge als aan vloeibare coproducten verlaagd dienen te worden. Het advies werd beperkt tot alleen een verlaging van de droge input, waarbij een hogere biogasproductie verwacht mocht worden. Dit leek echter gevoelsmatig tegenstrijdig te zijn omdat een lagere input juist een hogere biogasproductie zou opleveren. Daarom riep het advies om de droge input te verlagen de nodige weerstand op om de input ook daadwerkelijk te verlagen. Maar tegen het einde van juni werd de input toch stapsgewijs verlaagd naar een input van 8.250 kg. De verlaging van de droge input eind juni gaf een lichte verhoging in biogasproductie te zien, terwijl de input aan droge coproducten was verlaagd en de input aan vloeibare coproducten gelijk was gebleven. Echter de biogasproductie bleef nog wel achter bij de verwachting en de WKK-installatie draaide ook nog niet vollast.
- Op 12 juli lag voor de droge coproducten de optimale input op 6.730 kg, terwijl de werkelijke input 6.545 kg was. Voor de vloeibare coproducten lag het optimum op 3.050 kg, terwijl de werkelijke input 2.210 kg was. Echter op deze dag waren twee doseringen gemist waardoor de

werkelijke input lager lag dan de ingestelde waarde van respectievelijk 8.250 kg en 2.620 kg. Op basis van deze response-curves zou de droge input verlaagd dienen te worden en de vloeibare input verhoogd dienen te worden. Echter vanuit Dairy Campus was men bezig om te kijken naar opties om het rantsoen voor de biogasinstallatie aan te passen om zo een hogere biogasproductie te realiseren. Aangezien de aardappelpersvezels bijna op waren en het tevens een vrij duur coproduct betrof werd besloten om te stoppen met de aardappelpersvezels. Ook werd besloten om het aandeel uien af te bouwen en biogranmix als nieuw coproduct te gaan voeren. Aangezien glycerine een relatief hoge kostprijs had wilde men niet meer glycerine gaan voeren en werd het aandeel Ecofrit in de input aan vloeibare coproducten langzaam opgehoogd. Door deze wijzigingen in rantsoensamenstelling werd er afgeweken van het advies op basis van de response-curves. De input aan droge coproducten werd met 250 kg verlaagd naar 8.000 kg en de vloeibare input werd verhoogd door het aandeel Ecofrit te verhogen. De veranderingen in rantsoensamenstelling werden stapsgewijs doorgevoerd.

- De response-curves van 2 augustus gaven voor de droge input een optimum van 6.440 kg, terwijl de werkelijke input op 8.000 kg lag. Voor de vloeibare coproducten lag het optimum op 3.120 kg, terwijl de werkelijke input op 2.980 kg lag. Op basis hiervan werd besloten om alleen het advies voor de vloeibare coproducten op te volgen en de vloeibare input stapsgewijs te verhogen. De response-curves van 23 augustus gaven voor de droge input een optimum van 7.010 kg, terwijl de werkelijke input op 7.500 kg lag. Voor de vloeibare coproducten lag het optimum op 2.450 kg, terwijl de werkelijke input op 3.210 kg lag. Op basis hiervan werd geadviseerd om de droge coproducten stapsgewijs te verlagen. Voor de vloeibare coproducten werd geadviseerd om afwisselend 3.200 en 2.800 kg te voeren omdat zo een betere response geschat kon worden dan in het geval van zowel de droge als vloeibare coproducten te verlagen. Dit advies werd opgevolgd.

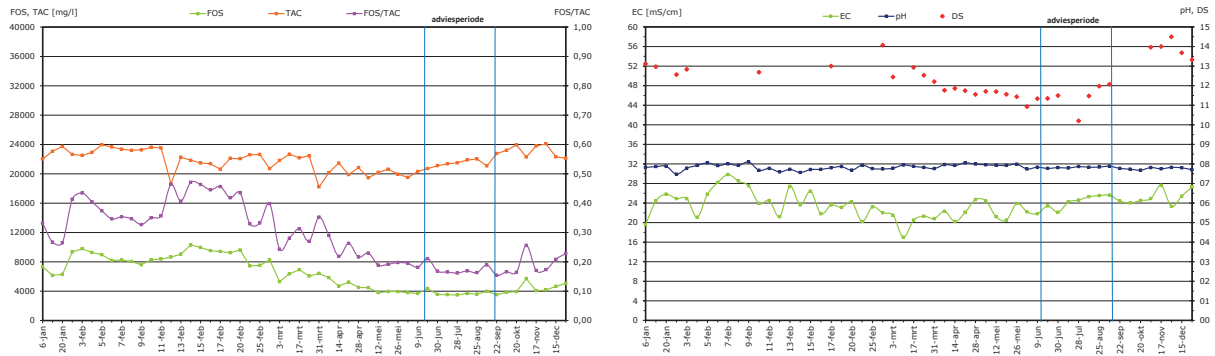
In figuur 18 staan de werkelijke gevoerde en de berekende optimale hoeveelheden vloeibare en droge coproducten over de gehele eerste onderzoeksperiode weergegeven.



Figuur 18 Werkelijke droge en vloeibare input, de droge en vloeibare input met de verwachte maximale biogasproductie en de gerealiseerde biogasproductie tijdens de eerste adviesperiode op Dairy Campus.

Figuur 18 laat zien dat de input aan droge coproducten in de eerste helft van de onderzoeksperiode te hoog was. In de tweede helft van de onderzoeksperiode komt de input aan droge coproducten rond de optimale input te liggen waarbij de maximale biogasproductie verwacht kon worden. De uitschieters in de hoeveelheid droge coproducten op 23 juli en 10 augustus zijn veroorzaakt doordat op deze dagen extra is ingevoerd omdat de dag ervoor veel minder droge coproducten waren gevoerd. Voor de vloeibare coproducten was in het begin de input aan de hoge kant, maar doordat de optimale input in juni toenam kwam de vloeibare input rond het optimum te liggen. Om vollast te kunnen draaien had de WKK circa 4.000 m³ biogas per dag nodig wat ook de productie aan het eind van de eerste adviesperiode was. Aan het eind van de adviesperiode bleek dat fine-tuning in de instellingen van de

WKK nodig was om zo de WKK pas op een later moment te laten terugschakelen naar deellast en eerder te opschakelen naar vollast en/of het vermogen op deellast te verhogen. Doordat de WKK maar twee standen (vollast of deellast op een vooraf ingesteld vermogen) kende ging er biogas door de overdruk verloren omdat het deellastvermogen minder biogas verbruikte dan er werd geproduceerd. In figuur 19 staan de in 2009 geanalyseerde gehalten van de monsters uit vergister V2 weergegeven en in bijlage 2 de individuele vetzuuranalyses.



Figuur 19 Totaal vetzuren gehalte (FOS), buffercapaciteit (TAC) en FOS/TAC-verhouding (links) en geleidbaarheid (EC), zuurtegraad (pH) en drogestofgehalte (DS) (rechts) van vergister V2 op Dairy Campus in 2009.

In het begin van 2009 was het totaal vetzuurgehalte aan de hoge kant, maar bleef nog wel onder de streefwaarde van 10.000 mg/l. De buffercapaciteit was op twee afwijkende waarden na vrij constant tussen 20.000 – 24.000 mg/l. Door het verhoogde FOS-gehalte begin 2009 was ook de FOS/TAC-verhouding aan de hoge kant, maar bleef wel onder de streefwaarde van 0,50. De EC-waarde schommelde begin 2009, terwijl de pH vrij constant bleef. Het drogestofgehalte was begin 2009 ook aan de hoge kant met circa 13%. Tijdens de adviesperiode bleven alle parameters vrij constant en waren er geen noemenswaardige uitschieters. Alleen het drogestofgehalte lag met circa 11,5% tijdens de adviesperiode wat hoger dan de streefwaarde van 11%. De overige parameters lagen tijdens de adviesperiode allemaal binnen de streefwaarden.

In tabel 2 staan de gemiddelde input over zeven dagen naar V2 weergegeven aan het begin, midden en einde van de eerste adviesperiode, en in tabel 3 staan de technische en financiële resultaten.

Tabel 2

Gemiddelde input (in kg) tijdens 7 dagen in drie verschillende perioden tijdens de eerste adviesperiode met de aankooprijzen van de gevoerde producten.

Rantsoen	prijs/ton	half juni	eind juli/begin aug.	begin sept.
Maïs	€ 32	2027	1694	2076
Graskuil	€ 0	743	656	707
Koekjesmix	€ 113	1959	1706	1967
Aard.persvezels	€ 25	493	0	0
Uien	€ 0	3519	2535	0
Biograanmix	€ 80	0	847	2072
Ecofrit	€ 19	1960	2401	2697
Glycerine	€ 125	374	437	441
Rundveedrijfmest	€ 0	10607	10857	11000
<u>Vaste stromest</u>	<u>€ 0</u>	<u>650</u>	<u>139</u>	<u>0</u>
Totale input/dag		22331	21273	20961

Tabel 3

Technische en financiële resultaten over een periode van zeven dagen op drie verschillende momenten in de eerste adviesperiode op Dairy Campus.

Parameter	half juni	eind juli - begin aug.	begin sept.
Verblijftijd (dgn)	50	52	52
DS-belasting (kgds/m ³ .dag)	4.06	4.51	4.87
Biogasverwachting (m ³)	2642	2820	3515
Biogasproductie (m ³)	1764	2616	3872
Elektriciteitsproductie (kWh)	3072	4992	7102
Voerkosten per m ³ biogas	€ 0,217	€ 0,159	€ 0,145
Voerkosten per kWh	€ 0,125	€ 0,083	€ 0,079
Voerkosten/dag	€ 383	€ 415	€ 561
Omzet/dag	€ 522	€ 849	€ 1207
Voersaldo/dag	€ 140	€ 434	€ 646

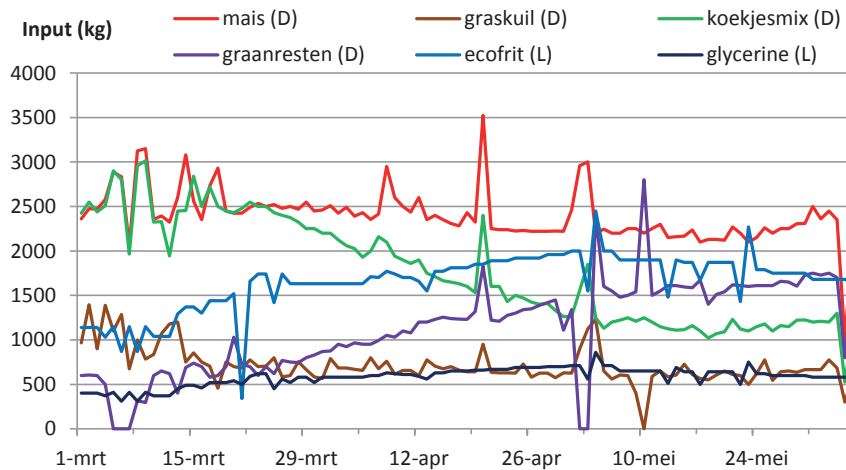
Uit de technische en financiële resultaten blijkt dat bij aanvang van de advisering de biogasproductie ruim 30% onder de verwachting lag wat zorgde voor hoge voerkosten per kuub biogas. De omzet was nog wel hoger dan de voerkosten waardoor een positief voersaldo (=omzet min voerkosten) overbleef. Halverwege de onderzoeksperiode was de biogasproductie met bijna 50% toegenomen en kwam in de buurt van de verwachte biogasproductie te liggen. Door de toegenomen biogasproductie en minimale stijging in voerkosten daalde de voerkosten per kuub biogas met bijna 27%. En door de hogere biogasproductie was de omzet met meer dan 60% gestegen waardoor het voersaldo verdriedubbelde. Aan het eind van de adviesperiode lag de biogasproductie 10% boven de verwachte biogasproductie. Hoewel de totale input was afgenomen waren de totale voerkosten wel toegenomen doordat de coproducten gemiddeld een hogere prijs hadden. Ondanks de hogere voerkosten daalde de voerkosten per kuub biogas nog eens met 8% vanwege de goede biogasproductie die werd behaald. De biogasproductie was met bijna 50% verder gestegen wat resulteerde in een verdere omzetsijging van 42%. Aan het eind van de adviesperiode was de biogasproductie met 120% gestegen ten opzichte van het begin van de adviesperiode en het voersaldo met 361% gestegen.

Tussenperiode

Na de eerste adviesperiode volgde een periode met veel technische storingen aan de biogasinstallatie. In december 2009 en eerste helft van januari 2010 kon de relatie tussen input en biogasproductie niet goed worden gelegd en kon er niet betrouwbaar worden geadviseerd. De vergister leverde eind januari een hoeveelheid biogas die correspondeerde met de input aan coproducten naar inzicht van de bedrijfsleider van de biogasinstallatie. Na een periode van storingen aan het invoersysteem van de droge coproducten (begin februari) en aan de mestpomp (half februari), waarbij telkens een aantal dagen de invoerbak of mestpomp niet kon worden gebruikt, was de biogasproductie eind februari weer op een nagenoeg vergelijkbaar niveau van biogasproductie beland (tussen 2200 en 2800 m³ biogas per dag).

Tweede adviesperiode: maart – juni '10

Begin maart 2010 werd weer verder gegaan met advisering op basis van de methodiek van Dynamisch Vergisten tot en met 5 juni, waarna de gasklep tussen V2 en V3-NV opnieuw veelvuldig werd open- en dichtgezet en i.c.m. technische storingen die zich voordeden aan de biogasinstallatie viel de relatie tussen input van V2 en de biogasproductie van V2 niet meer goed te leggen in de tweede helft van 2010. In figuur 20 staan de hoeveelheden van de droge coproducten (D) die in de invoerbak zijn gegaan en de hoeveelheid vloeibare coproducten (L) die naar vergister V2 is gepompt tijdens de eerste adviesperiode.

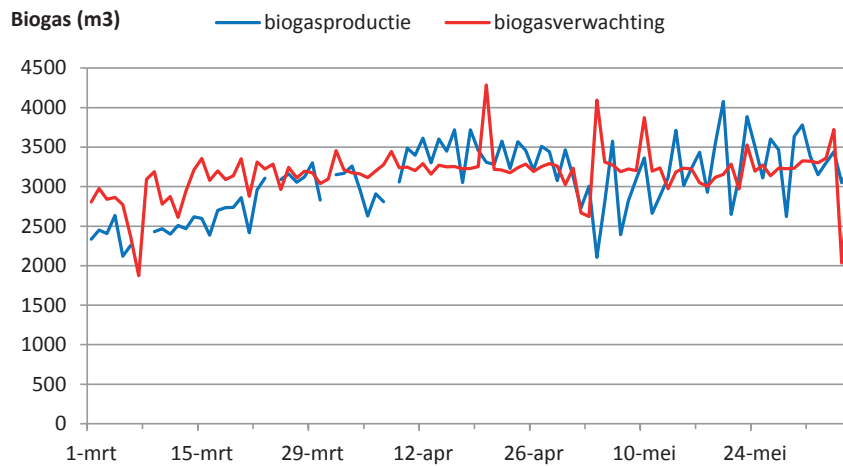


Figuur 20 Hoeveelheden van gevoerde coproducten aan de biogasinstallatie op Dairy Campus in de periode van 1 maart tot en met 5 juni 2010.

Toelichting op de resultaten in figuur 20:

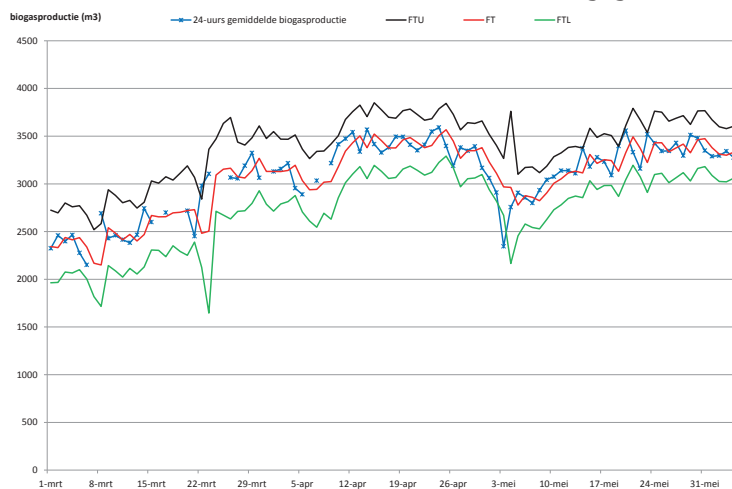
- De input van droge coproducten in de invoerbak is niet gelijk aan de input van droge coproducten naar vergister V2 toe. De invoerbak bevatte meestal nog een resthoeveelheid van circa 1 à 2 ton. Deze resthoeveelheid werd aangehouden om te zorgen dat als door omstandigheden de invoerbak later werd bijgevuld het voeren van de droge coproducten wel doorging. De invoer van droge coproducten betrof dus een mengsel van de rest hoeveelheid met de bijgevoerde hoeveelheid.
- De input aan rundveedrijfmest en vaste stromest zijn niet weergegeven in figuur 20. De hoeveelheid rundveedrijfmest stond standaard ingesteld op 11.000 kg per dag. Vanaf 8 maart werd vaste stromest gevoerd aan vergister V2 waarbij de gemiddelde hoeveelheid op circa 600 kg per dag lag.
- De graanresten waren vanaf 5 maart voor een periode van 3 dagen op en vanaf 1 mei wederom op voor een periode van 3 dagen wat door leveringsproblemen bij de leverancier werd veroorzaakt.
- De tijdelijk verhoogde input aan mais begin mei was bedoeld om het tijdelijk wegvallen van de graanresten te compenseren.
- Ecofrit was op 21 maart op voordat een nieuwe vracht was geleverd.
- Op 13 april is een voerbeurt van vloeibare coproducten gemist door een storing.
- De piek in droge coproducten op 20 april werd veroorzaakt doordat de voorraad aan droge coproducten in de voormengbunker werd verhoogd, zodat de voormengbunker niet leeg zou komen mocht het een keer voorkomen dat de voormengbunker later werd gevuld.
- De tijdelijk verhoogde input aan graanresten op 10 mei was bedoeld om het gemis aan input van graskuil te compenseren.
- Op 4 juni heeft zich een storing voorgedaan bij de invoerbak van de droge coproducten waardoor op deze dag minder droge coproducten zijn gevoerd.

In figuur 21 is de berekende verwachte biogasproductie vergeleken met de gerealiseerde biogasproductie waarbij de dagen waarin de gasklep openstond zijn weggelaten.



Figuur 21 Berekende verwachte biogasproductie en gerealiseerde biogasproductie van vergister V2 in de periode van 1 maart tot en met 31 mei 2010, exclusief de dagen dat de gasklep tussen V2 en V3 openstond.

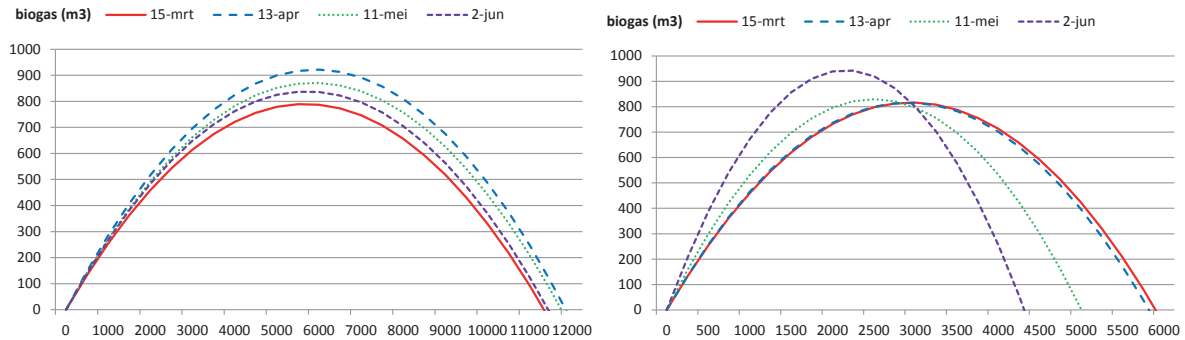
Figuur 21 laat zien dat in maart de gerealiseerde biogasproductie nog duidelijk onder de verwachting lag. Gedurende de periode van advisering o.b.v. Dynamisch Vergisten veranderde het beeld geleidelijk van een biogasproductie die lager lag dan de verwachting naar een biogasproductie die gelijk of boven de verwachte biogasproductie lag. Tevens nam de biogasproductie toe van circa 2500 m³/dag naar circa 3500 m³/dag. De terugval in biogasproductie begin mei had te maken met het feit dat de graanresten vanaf 1 mei voor periode van drie dagen op was met als gevolg een forse terugval in biogasproductie. Ondanks de relatief kortstondige periode van het niet voeren van graanresten bleek dat de biogasproductie voor langere tijd verlaagd was voordat de biogasproductie eind mei weer op het oude niveau zat. De Dynamisch Vergisten tool heeft in deze periode geen problemen met de advisering gehad. In figuur 22 zijn de waarnemingen en de voorspelling van de biogasproductie van vergister V2 tezamen met het 90%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven.



Figuur 22 Gerealiseerde biogasproductie (24 uren-gemiddelde, blauwe lijn), voorspelde biogasproductie (rode lijn FT) met het 90% betrouwbaarheidsinterval (zwarte lijn FTU en groene lijn FTL) van de tweede adviesperiode op Dairy Campus.

De voorspelde biogasproductie kon de waargenomen biogasproductie over de gehele adviesperiode goed volgen. Een enkele keer is het voorgekomen dat de gasklep tijdelijk werd opengezet tussen V2 en V3-NV waardoor waarnemingen missen en het betrouwbaarheidsinterval wat toeneemt. De forse terugval in biogasproductie begin mei kon het Dynamisch Vergisten model vrij goed bijhouden, net zoals de toename in biogasproductie die daarna volgde.

In figuur 23 staan de response-curves van de droge en vloeibare coproducten op respectievelijk 15 maart, 13 april, 11 mei en 2 juni 2010 weergegeven, welke een beeld schetsen van de reactie van de micro-organismen in de vorm van de biogasproductie op de veranderde input.

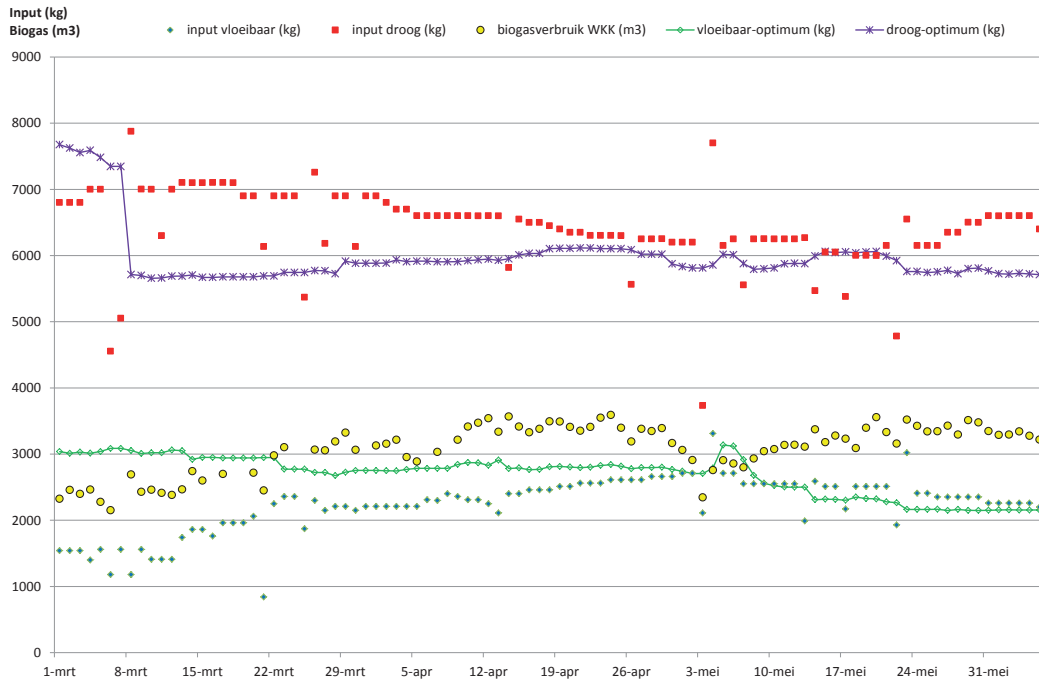


Figuur 23 Verwachte biogasproductie response-curve op droge (links) en vloeibare (rechts) coproducten op 15 maart, 13 april, 11 mei en 2 juni 2010.

Figuur 23 laat voor de droge coproducten een vrij constante response curve zien, terwijl de response-curve van de vloeibare coproducten in de loop van de tijd langzaam verschuift.

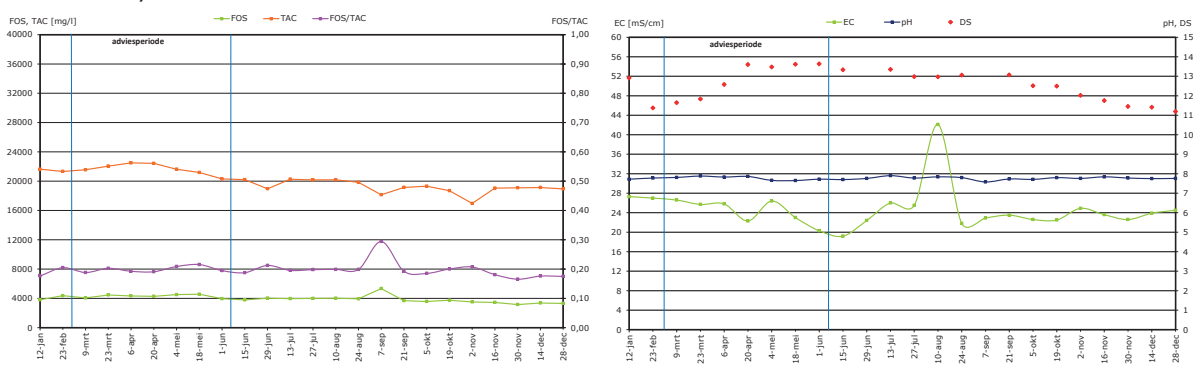
- Op 15 maart lag voor de droge coproducten de optimale input op 5.670 kg, terwijl de werkelijke input 7.100 kg was. Voor de vloeibare coproducten lag het optimum op 2.950 kg, terwijl de werkelijke input 1.860 kg was. Op basis van deze response-curve werd daarom geadviseerd om de droge input stapsgewijs te verlagen en de vloeibare input stapsgewijs te verhogen. Dit advies werd opgevolgd en een week later lag de input aan droge coproducten op 6.900 kg en de vloeibare coproducten op 2.260 kg.
- Op 13 april zijn de response-curves wat verschoven t.o.v. 15 maart. Voor de droge input lag het optimum op 5.930 kg en was de werkelijke input 6.600 kg, terwijl voor de vloeibare input het optimum lag op 2.910 kg lag en de werkelijke input 2.110 kg was, maar deze was lager dan de ingestelde waarde van 2.350 kg vanwege een storing. Het advies luidde dan ook om de droge input dagelijks met 50 kg te verlagen en de vloeibare input dagelijks met 50 kg te verhogen. Het advies werd opgevolgd en een week later lag de input aan droge coproducten op 6.350 kg en de vloeibare coproducten op 2.510 kg.
- Op 11 mei was de response-curve voor de vloeibare input duidelijk verschoven t.o.v. de eerdere response-curves, terwijl de response-curve voor de droge input lichtelijk was verschoven. Voor de droge input lag het optimum op 5.875 kg en was de werkelijke input 6.250 kg, terwijl de voor de vloeibare input het optimum lag op 2.500 kg lag en de werkelijke input 2.550 kg was. Op basis van deze response-curves werd geadviseerd op de droge input dagelijks met 50 kg te verlagen en de vloeibare input in één keer te verlagen naar 2.500 kg. Het advies werd opgevolgd en een week later lag de input aan droge coproducten op 6.000 kg en de vloeibare coproducten op 2.510 kg.
- Op 2 juni was de response-curve voor de vloeibare input ook weer duidelijk verschoven t.o.v. 11 mei, terwijl de response-curve voor de droge input maar lichtelijk was verschoven. Voor de droge input lag het optimum op 5.720 kg en was de werkelijke input 6.600 kg, terwijl voor de vloeibare input het optimum lag op 2.160 kg lag en de werkelijke input 2.260 kg was. Hierop werd geadviseerd om de droge input dagelijks met 50 à 100 kg te verlagen en de vloeibare input te verlagen naar een niveau van 2.200 kg. Het advies werd opgevolgd en een week later lag de input aan droge coproducten op 6.200 kg en de vloeibare coproducten op 2.200 kg.

Figuur 24 wordt verschaft inzicht in de wijze waarop de tool de doses input van coproducten heeft bijgestuurd. Het zelflerende karakter van de tool wordt hier goed gedemonstreerd.



Figuur 24 Werkelijke droge en vloeibare input, de droge en vloeibare input met de verwachte maximale biogasproductie en de gerealiseerde biogasproductie tijdens de tweede adviesperiode op Dairy Campus.

Na een periode van leren paste het Dynamisch Vergisten model begin maart de parameters van de responscurve aan. Dit leverde een advies op voor een lagere dosering van de droge input en een hogere dosering van de vloeibare input. Een langzame aanpassing van de droge input en verhoging van de vloeibare input leidde tot een verhoging van de biogasproductie. De terugval in biogasproductie begin mei had te maken met het opraken van graanresten door leveringsproblemen bij de leverancier. Nadat de graanresten weer geleverd waren begon de biogasproductie weer te stijgen. Hierna blijft de vloeibare input vrij goed op het optimale niveau liggen, maar de droge input daarentegen werd weer verhoogd en kwam daardoor verder van het optimale niveau te liggen. Deze toename van de droge input vanaf de laatste week mei gaf geen zichtbaar effect op biogasproductie te zien, wat op basis van de response-curve ook de verwachting was. In figuur 25 staan de in 2010 geanalyseerde gehalten van de monsters uit vergister V2 weergegeven en in bijlage 2 de individuele vetzuuranalyses.



Figuur 25 Totaal vetzuren gehalte (FOS), Buffercapaciteit (TAC) en FOS/TAC-verhouding (links) en geleidbaarheid (EC), zuurtegraad (pH) en drogestofgehalte (DS) (rechts) van vergister V2 op Dairy Campus in 2010.

Gedurende 2010 waren de geanalyseerde paramaters over het algemeen vrij constant en binnen de streefwaarden, op twee uitschieters en het drogestofgehalte na. De verhoging in het totaal vetzuurgehalte op 7 september is naar alle waarschijnlijkheid een gevolg van een verhoging van de input door de operator om het methaangehalte in vergister V2 te verbeteren. Eind augustus daalde het methaangehalte richting de 50% en de operator wilde voorkomen dat het methaangehalte verder zou zakken en daarom werd de input fors verhoogd. Ondanks de lage betrouwbaarheid door het

veelvuldig openstaan van de gasklep, werd Dynamisch Vergisten nog wel op de achtergrond gedraaid ter ondersteuning van de bedrijfsvoering. Op dat moment gaf het Dynamisch Vergisten model aan dat de input juist niet verhoogd moest worden. Het verlaagde methaangehalte was mogelijk een gevolg van een onbedoelde temperatuurstijging in de vergister, want de temperatuur lag in juli/augustus 1 á 2 graden boven de setpoint. Het methaangehalte nam pas toe toen de temperatuur weer daalde naar het ingestelde setpoint. Een duidelijke verklaring voor de uitschieter van het EC-gehalte op 10 augustus was er niet. Het drogestofgehalte nam tijdens de adviesperiode van circa 11,5% toe naar circa 13,5% wat duidelijk boven de streefwaarde van 11% was en bleef voor het grootste deel van 2010 op circa 13,5% staan en daalde op het einde van 2010 richting een niveau van 11%. Het verhoogde drogestofgehalte had echter geen zichtbaar negatief effect op de biogasproductie tijdens de adviesperiode.

In tabel 4 staan de gemiddelde input over zeven dagen weergegeven aan het begin, midden en einde van de tweede adviesperiode, en in tabel 5 staan de technische en financiële resultaten.

Tabel 4

Gemiddelde input (in kg) tijdens 7 dagen in drie verschillende perioden tijdens de tweede adviesperiode met de aankoop prijs van de gevoerde producten op Dairy Campus.

Rantsoen	prijs/ton	half maart	eind april	eind mei
Maïs	€ 30	2654	2223	2296
Graskuil	€ 0	842	627	654
Koekjesmix	€ 105	2487	1399	1176
Graanresten	€ 84	619	1337	1659
Ecofrit	€ 22	1321	1937	1746
Glycerine	€ 103	471	694	600
Rundveedrijfmest	€ -	11004	10826	11000
<u>Vaste stromest</u>	<u>€ -</u>	<u>587</u>	<u>626</u>	<u>641</u>
Totale input/dag		19986	19670	19773

Tabel 5

Technische en financiële resultaten over een periode van zeven dagen op drie verschillende momenten in de tweede adviesperiode op Dairy Campus.

Parameter	half maart	eind april	eind mei
Verblijftijd (dagen)	55	56	56
DS-belasting (kgds/m ³ .dag)	4.59	4.44	4.65
Biogasverwachting (m ³)	3070	3220	3250
Biogasproductie (m ³)	2572	3389	3371
Elektriciteitsproductie (kWh)	4373	5840	5527
Voerkosten per m ³ biogas	€ 0,183	€ 0,130	€ 0,128
Voerkosten per kWh	€ 0,108	€ 0,075	€ 0,078
Voerkosten/dag	€ 470	€ 440	€ 432
Omzet/dag	€ 743	€ 993	€ 940
Voersaldo/dag	€ 273	€ 553	€ 508

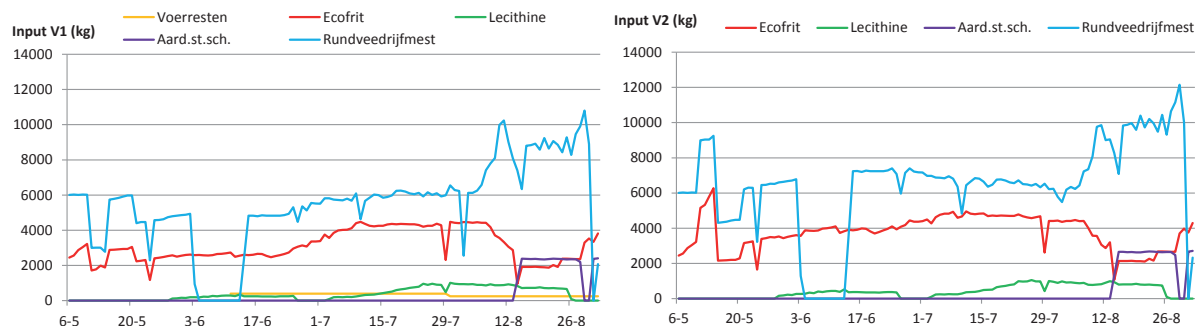
Uit de resultaten blijkt dat tijdens aanvang van de advisering de biogasproductie ruim 14% onder de verwachting lag wat zorgde voor hoge voerkosten per kuub biogas. De omzet lag nog wel ruim boven de voerkosten waardoor een positief voersaldo (=omzet min voerkosten) overbleef. Halverwege de adviesperiode was de biogasproductie met 32% toegenomen en lag 5% boven de verwachte biogasproductie. Door de toegenomen biogasproductie en een afname in voerkosten zijn de voerkosten per kuub biogas in deze periode met 29% gedaald. En door de hogere biogasproductie is de omzet met meer dan 30% gestegen waardoor het voersaldo verdubbeld werd. Aan het eind van de adviesperiode lag de biogasproductie op een vergelijkbaar niveau: 31% hoger dan bij aanvang en 4% boven de verwachte biogasproductie. Door verschuiving in de rantsoensamenstelling waren de voerkosten per kuub biogas iets gedaald. Ondanks een vergelijkbare biogasproductie was de omzet

gedaald omdat de WKK minder kWh's had geproduceerd doordat meer draaiuren in deellast waren gedraaid. Door de lagere omzet was het voersaldo met 8% gedaald, maar lag nog wel 86% hoger dan aan het begin van de adviesperiode.

4.2 Praktijkbedrijf

De biogasinstallatie was in het voorjaar van 2012 opnieuw opgestart. In de periode van 14 april 2012 tot en met 1 september 2012 is wekelijks de datareeks met informatie over de input naar de biogasinstallatie en de elektriciteitsproductie van de WKK-installatie bijgewerkt. Deze datareeks werd gebruikt voor de berekening door Dynamisch Vergisten van het advies voor de input van de komende week. In april kampte de weeginrichting van de invoerbak met technische problemen welke begin mei waren opgelost. Vanaf dat moment was het mogelijk om de input naar de vergisters V1 en V2 direct te relateren aan de elektriciteitsproductie van de WKK-installatie. Vanaf halverwege mei 2012 is Dynamisch Vergisten gaan draaien als operationele tool voor de advisering tot en met 1 september 2012.

In figuur 26 staan de hoeveelheden van de gevoerde droge en vloeibare coproducten weergegeven tijdens de periode van advisering van 6 mei t/m 1 september 2012.



Figuur 26 Hoeveelheden van gevoerde coproducten aan de biogasinstallatie op het praktijkbedrijf in de periode van 6 mei tot en met 1 september 2012.

Bij figuur 26 zijn de volgende opmerkingen te plaatsen:

- Eind april had vergister V1 last van schuimvorming. De analyseresultaten van 9 mei van vergister V1 (zie tabel 6) laten zien dat de verhouding FOS/TAC-verhouding te hoog was ($>0,50$) en dat het propionzuur aanzienlijk hoger lag dan het azijnzuur gehalte. Dit duidde erop dat vergister V1 overbelast werd waarop de operator tijdelijk een deel van de input van V1 naar V2 verschoof voor een periode van vier dagen. De overbelasting was waarschijnlijk veroorzaakt door de technische problemen met de weeginrichting van de invoerbak in april.
- Begin juni was er een storing aan de mestpomp waardoor ruim een week geen mest is gevoerd.
- Eind juni was de Lecithine op waardoor een week geen Lecithine is gevoerd.
- In de loop van augustus werd door de leverancier minder Ecofrit geleverd vanwege krapte in het aanbod van Ecofrit door een verminderde productie in de zomermaanden. Hierdoor moest de input aan Ecofrit worden verlaagd. Vanwege de verminderde input aan Ecofrit is de operator van de biogasinstallatie aardappelstoomschillen gaan voeren en werd de input aan rundveedrijfmest verhoogd.

In tabel 6 staan de analyseresultaten van de monsters die uit de vergister op het praktijkbedrijf zijn genomen tijdens de adviesperiode.

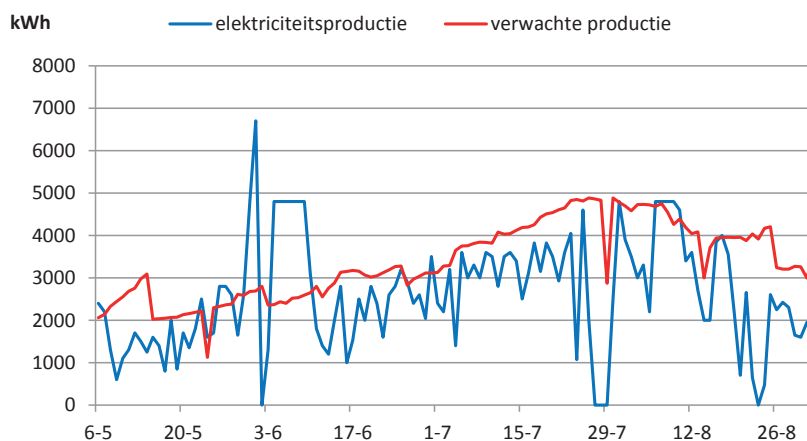
Tabel 6

Analysesresultaten van de digestaat monsters op het praktijkbedrijf tijdens de adviesperiode

Parameter		9-mei-12		21-mei-12		7-juli-12	
		V1	V1	V2	V1	V2	
Droge stof	%	12,2	12,4	7,7	8,9	8,0	
Organische stof	%	8,5	8,6	4,6	5,4	4,6	
Totaal vetzuren (FOS)	g/l	11,30	6,55	3,94	2,67	3,06	
Buffercapaciteit (TAC)	g/l	13,62	8,20	12,03	14,28	14,08	
FOS/TAC	-	0,83	0,80	0,33	0,19	0,22	
pH	-	7,4	7,6	8,0	8,2	8,2	
EC	mS/cm	15,7	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	
Ammonium	g/l	1,76	1,23	1,43	1,81	1,78	
Azijnzuur	g/l	0,69	0,70	0,31	0,29	0,42	
Propionzuur	g/l	4,10	3,08	1,81	0,12	0,12	
Iso-boterzuur	g/l	0,45	0,05	<0,01	<0,01	0,01	
N-boterzuur	g/l	1,20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
Iso-valeriaanzuur	g/l	0,41	0,27	<0,01	0,08	0,08	
Valeriaanzuur	g/l	0,49	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	
Capronzuur	g/l	0,11	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	

n.g. = niet gemeten

Op basis van de gevoerde hoeveelheden coproducten en normatieve waarden voor de biogasopbrengsten van coproducten is berekend welke biogasproductie verwacht werd op basis van het gevoerde rantsoen. In bijlage 1 staan de normatieve waarden voor de biogasproductie weergegeven zoals die door het praktijkbedrijf ten tijde van het onderzoek werden gebruikt. Aangezien de biogasproductie niet werd gemeten werd uitgegaan van een normatief elektrisch rendement van 1,8 kWh per m³ biogas voor de WKK-installatie. Echter het elektrisch rendement is afhankelijk van de WKK in deellast of vollast draait en wat het methaangehalte van het biogas is. Maar het geeft wel een indicatief beeld van de installatie onder of boven verwachting draaide. In figuur 27 is de berekende verwachte elektriciteitsproductie vergeleken met de gerealiseerde elektriciteitsproductie.

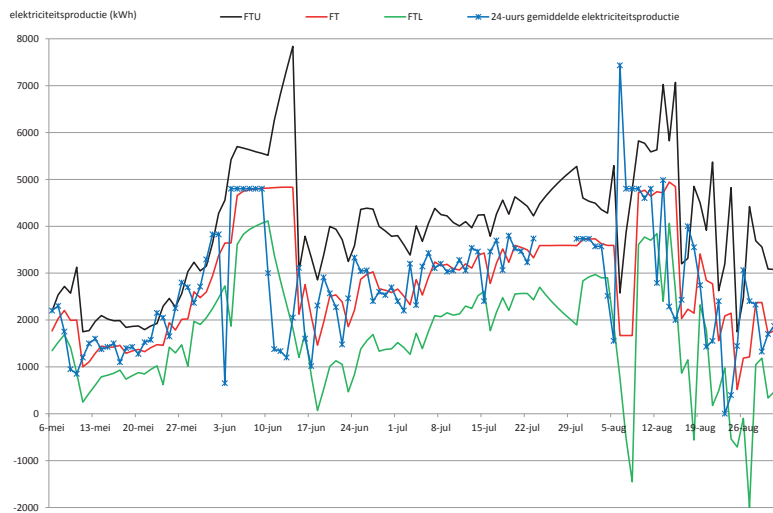


Figuur 27 Berekende verwachte elektriciteitsproductie en gerealiseerde elektriciteitsproductie van de biogasinstallatie op het praktijkbedrijf in de periode van 6 mei tot en met 2

Figuur 27 laat zien dat begin mei de gerealiseerde elektriciteitsproductie duidelijk onder de verwachting lag. Dit zal mede het gevolg zijn geweest van de overbelasting van vergister V1 eind april en begin mei. Ook de analysesresultaten van 21 mei (zie tabel 6) laten zien dat vergister V1 nog een te hoog FOS/TAC-verhouding had en dat het gehalte aan propionzuur nog boven het gehalte aan azijnzuur lag wat duidt op een nog verstoord vergistingsproces als gevolg van de eerdere overbelasting. Op 21 mei lag bij vergister V2 de FOS/TAC-verhouding weliswaar nog onder de 0,50 maar lag het gehalte aan propionzuur wel boven het gehalte aan azijnzuur wat aangaf dat bij vergister V2 het vergistingsproces ook suboptimaal verliep. Hierna volgde een korte periode waar de elektriciteitsproductie op het verwachte productieniveau lag waarna voor een korte periode de elektriciteitsproductie sterk steeg en aanzienlijk boven de verwachte productie lag. Deze kortstondige

hoge elektriciteitsproductie is waarschijnlijk veroorzaakt door de overbelasting van de vergisters in mei waarbij een vetzuur ophoping heeft plaatsgevonden welke begin juni uiteindelijk is omgezet in biogas wat voor een tijdelijk hoge elektriciteitsproductie zorgde. Hierna daalde de elektriciteitsproductie weer tot onder de verwachte productie en bleef daarna ook steeds onder de verwachte productie liggen. De oorzaak hiervan kan liggen in dat het aangenomen elektrisch rendement van 1,8 kWh per m³ biogas te hoog was ingeschat gezien het feit dat de WKK steeds in deellast draaide. Eind juli was er een week met verschillende technische problemen met de WKK-installatie waardoor er geen elektriciteitsproductie was. In de tweede helft van augustus daalde de elektriciteitsproductie weer aanzienlijk onder de verwachting wat waarschijnlijk is veroorzaakt door de afname van de input aan Ecofrit wat de operator wilde opvangen met een sterke verhoging van de rundveemest in combinatie met het starten van het voeren van een forse gift aan aardappelstoomschillen. Ook bleek in deze periode het methaangehalte te zijn gedaald tot onder de 50% waardoor de WKK-installatie problemen had met opstarten.

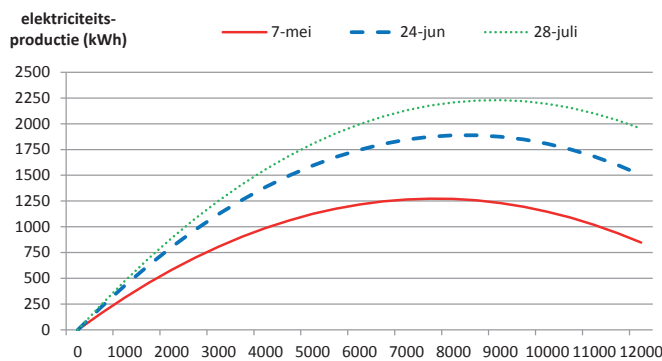
In figuur 28 zijn de waarnemingen en de voorspelling van de elektriciteitsproductie van de biogasinstallatie tezamen met het 90%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven.



Figuur 28 *Gerealiseerde elektriciteitsproductie (24-uurs-gemiddelde, blauwe lijn), voorspelde elektriciteitsproductie (rode lijn) met het 90% betrouwbaarheidsinterval (zwarte en groene lijn).*

Doordat de WKK-installatie handmatig werd gestart en niet automatisch op basis van de hoeveelheid biogas in de gasopslag vertoonde de elektriciteitsproductie een soort 'zaagpatroon'. De voorspelde elektriciteitsproductie lag na de opstartperiode en de tijdelijke piek in elektriciteitsproductie vrij goed in het gemiddelde van de zaagpatroon. Echter aan het eind van de onderzoeksperiode kan de voorspelde elektriciteitsproductie het minder goed bijhouden door de toegenomen variatie in dagelijkse elektriciteitsproductie wat veroorzaakt zal zijn door de grote veranderingen in de hoeveelheid en samenstelling van de input aan het eind van de adviesperiode.

In figuur 29 staat de response-curve van Ecofrit op respectievelijk 7 mei, 24 juni en 28 juli 2012 weergegeven, welke een beeld schetsen van de reactie van de micro-organismen in de vorm van de elektriciteitsproductie op de veranderde input.

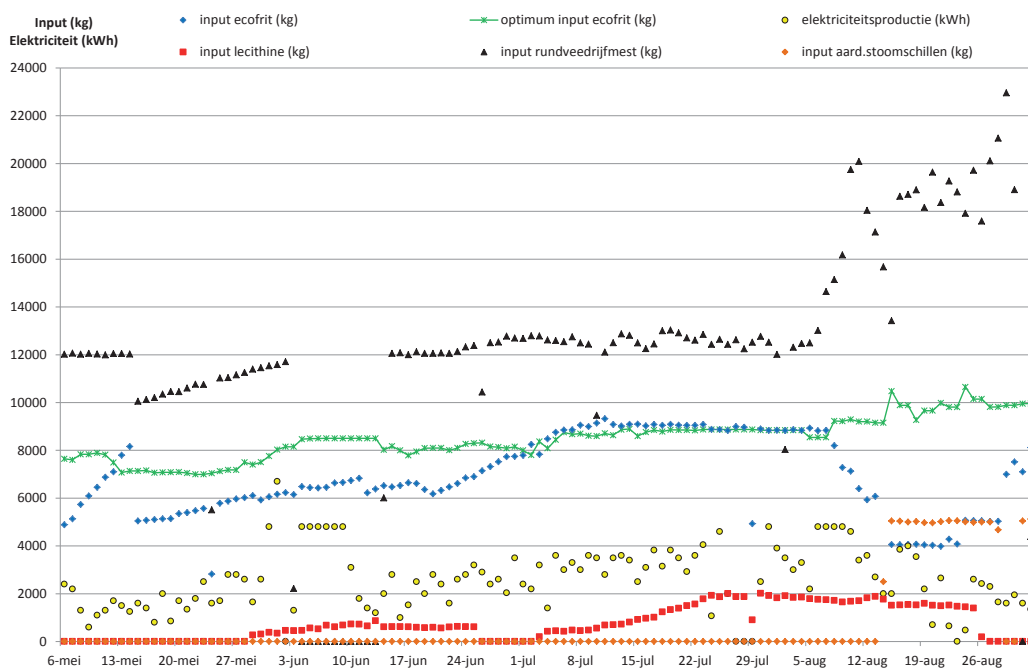


Figuur 29 *Verwachte elektriciteitsproductie response-curve op de input aan Ecofrit op 7 mei, 24 juni en 28 juli 2012.*

Figuur 29 laat voor Ecofrit in de loop van de tijd een toename in de response van de elektriciteitsproductie op de input aan Ecofrit zien.

- Op 7 mei lag de optimum input aan Ecofrit op 7.600 kg, terwijl actuele input 5.128 kg was. Op basis van deze response-curve lag dus de actuele input aan Ecofrit lager dan het optimum en werd geadviseerd om de input aan Ecofrit te verhogen. Dat advies werd opgevolgd.
- Op 24 juni liet Ecofrit een verbeterde response zien en lag de optimum input aan Ecofrit op 8.265 kg. Aangezien de actuele input aan Ecofrit op 6.845 kg lag werd geadviseerd om de input aan Ecofrit te verhogen. Dat advies werd opgevolgd.
- Op 28 juli was de response verder toegenomen tot een optimum van 8.870 kg Ecofrit. Doordat de actuele input op 8.967 kg lag, werd geadviseerd om de input aan Ecofrit niet te veranderen en op 8.900 kg Ecofrit te houden. Dit advies werd opgevolgd.

In figuur 30 staan de werkelijke gevoerde en de berekende optimale hoeveelheden aan Ecofrit over de gehele adviesperiode weergegeven. Tevens zijn de elektriciteitsproductie, en de gevoerde hoeveelheden rundveedrijfmest en overige coproducten weergegeven in de figuur.



Figuur 30 Werkelijke en optimale input aan Ecofrit, de gerealiseerde elektriciteitsproductie en de input aan rundveedrijfmest en overige coproducten.

Bij aanvang bleek de toename in Ecofrit te groot te zijn, omdat de analyseresultaten van 9 mei (zie tabel 6) lieten zien dat het vergistingsproces verstoord was. Hierdoor werd de input aan rundveedrijfmest en Ecofrit teruggenomen en gedurende de maand mei langzaam opgebouwd wat resulteerde in een langzame stijging in elektriciteitsproductie. Eind mei is langzaam gestart met het voeren van Lecithine. Door een storing aan de mestpomp begin juni werd ruim een week geen rundveedrijfmest gevoerd wat waarschijnlijk de oorzaak van de terugval in elektriciteitsproductie in de eerste helft van juni was. In de loop van juni werd de input aan Ecofrit verder verhoogd totdat de input op het optimum lag. In deze periode nam de elektriciteitsproductie ook toe, maar dat gaf een vertekend beeld doordat eind juni de Lecithine op was waardoor een week geen Lecithine werd gevoerd. Begin juli werd weer gestart met het voeren van Lecithine en werd de hoeveelheid langzaam opgebouwd.

In tabel 6 staan de gemiddelde input over zeven dagen weergegeven aan het begin, midden en einde van de adviesperiode op het praktijkbedrijf, en in tabel 7 staan de technische en financiële resultaten.

Tabel 6

Gemiddelde input tijdens 7 dagen in vier verschillende perioden tijdens de adviesperiode op het praktijkbedrijf en de aankoopprijs van de gevoerde producten.

Rantsoen	prijs/ton	begin mei	eind juni	begin aug.	eind aug.
Voerresten	€ -	0	400	250	250
Ecofrit	€ 25	6038	6524	8756	5966
Lecithine	€ 105	0	601	1803	228
Aard.stoomschillen	€ 12,50	0	0	0	3528
<u>Rundveedrijfmest</u>	<u>€ -</u>	<u>12035</u>	<u>12158</u>	<u>12587</u>	<u>17194</u>
Totale input/dag		18072	19683	23397	27166

Tabel 7

Technische en financiële resultaten over een periode van zeven dagen in vier verschillende perioden tijdens de adviesperiode op het praktijkbedrijf.

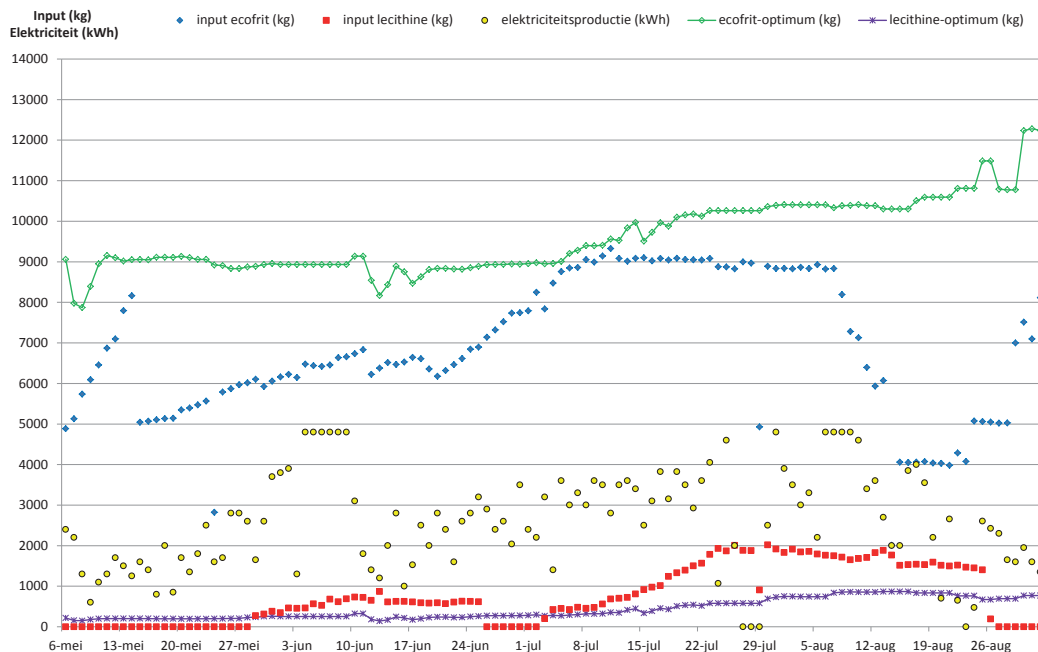
Parameter	begin mei	eind juni	begin aug.	eind aug.
Verblijftijd (dagen)	100	93	78	74
Droge stof belasting (kg ds/m3.dag)	1.44	1.76	2.40	2.07
Verwachte productie (kWh)	2422	3139	4679	3341
Elektriciteitsproductie (kWh)	1514	2486	3771	2111
Voerkosten per kWh	€ 0,100	€ 0,091	€ 0,108	€ 0,103
Voerkosten per dag	€ 151	€ 226	€ 408	€ 217
Omzet per dag	€ 233	€ 383	€ 581	€ 325
Voersaldo per dag	€ 82	€ 157	€ 173	€ 108

Uit de technische en financiële resultaten blijkt dat tijdens de aanvang van de advisering de elektriciteitsproductie ruim 37% onder de verwachting lag wat zorgde voor hoge voerkosten per kWh. De omzet lag nog wel boven de voerkosten waardoor een positief voersaldo (=omzet min voerkosten) overbleef. Eind juni was de elektriciteitsproductie met 64% toegenomen en lag 20% onder de verwachting. De voerkosten waren weliswaar toegenomen, maar doordat de omzet harder was gestegen was het voersaldo bijna verdubbeld. Begin augustus was de elektriciteitsproductie verder toegenomen met 52% en lag 149% hoger dan bij aanvang, maar lag nog wel 19% onder de verwachting. Door de toegenomen elektriciteitsproductie was de omzet ook sterk gestegen, maar ook de voerkosten waren ook sterk gestegen waardoor het voersaldo maar met €16 per dag was toegenomen wat 110% hoger lag dan bij aanvang. Door de verminderde levering van Ecofrit en sterk veranderde input is eind augustus de elektriciteitsproductie met 44% afgenomen. Ondanks dat ook de voerkosten sterk waren gedaald was het voersaldo toch met 37% gedaald.

Na afloop van de adviesperiode zijn de ervaringen over Dynamisch Vergisten met de operator uitgewisseld. Volgens de operator gaf Dynamisch Vergisten een goed voorspelbare elektriciteitsproductie. Het maakt patronen/trends zichtbaar over hoe coproducten het doen. Ook gaf de operator aan dat Dynamisch Vergisten overbelasting van de vergister voorkomt, want na eerste opstartperiode waren er geen gevallen van schuimvorming meer voorgekomen wat in het voorgaande jaar met bij een vergelijkbaar rantsoen van Ecofrit en Lecithine maar met een hogere input wel was voorgekomen. Nadelen waren volgens de operator dat plotselinge wisselingen van grondstoffen een lastig punt voor Dynamisch Vergisten was, waardoor een snelle omschakeling van het ene op het andere coproduct niet mogelijk was. Onzekerheid over leveringen van coproducten en laat informeren over leveringskortingen door leveranciers spelen hierbij ook een rol. Ook waren er bij de operator nog vraagtekens in welke mate Dynamisch Vergisten kan omgaan met wisselende kwaliteit van coproducten en de invloed van slijtage van onderdelen van de biogasinstallatie op de meetgegevens. De financiële meerwaarde van Dynamisch Vergisten lagen volgens de operator vooral op het vlak van arbeidsbesparing door het gemak van de tool doordat je de hoeveelheden van het advies makkelijk kan doorvoeren in de besturing en het voorkomen van faalkosten.

Alternatief model

In juli werd naast het adviesmodel ook een alternatief model (zie paragraaf 3.4 en bijlage 3) ontwikkeld waarin zowel Ecofrit als Lecithine werden geoptimaliseerd. Eind juli werd het alternatieve model naast het adviesmodel gedraaid, maar de betrouwbaarheid van het alternatieve model liet nog te wensen over waarschijnlijk als gevolg van te weinig datagegevens van Lecithine en de stilstand van de WKK-installatie eind juli. In figuur 31 staan de werkelijke gevoerde en de berekende optimale hoeveelheden aan Ecofrit en Lecithine over de gehele adviesperiode van het alternatieve model weergegeven. Tevens is de elektriciteitsproductie in de figuur opgenomen.

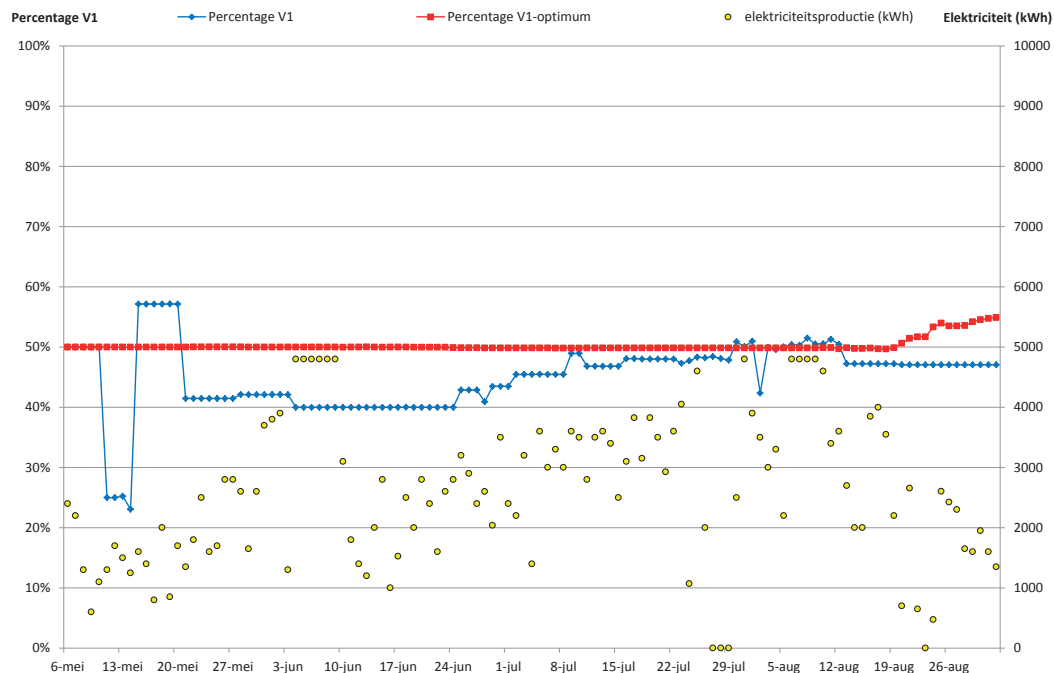


Figuur 31 Resultaten van het alternatieve model: werkelijke en optimale input aan Ecofrit en Lecithine en de gerealiseerde elektriciteitsproductie.

Figuur 31 geeft de indicatie dat de input aan Lecithine te hoog was en dat de optimum input van Ecofrit wat hoger zou liggen dan het gebruikte adviesmodel aangaf. Ondanks dat de betrouwbaarheid van het alternatieve model nog niet goed was werd wel duidelijk uit zowel de resultaten van het adviesmodel als het alternatieve model dat met een input van circa 9 à 10 ton Ecofrit en 1 à 2 ton Lecithine de optimale input werd bereikt onder de huidige omstandigheden. Aangezien de WKK-installatie nog niet op vollast draaide en met de beschikbare vergistingsruimte een hogere productie mogelijk moest zijn betekende dat er een ergens beperking zat die weggenomen moest worden om tot een hogere productie te kunnen komen. Mogelijke beperkingen konden zijn dat de rantsoensamenstelling niet optimaal was en/of dat de verdeling over vergisters V1 en V2 anders moest worden. Vlak na deze constatering kwam de mededeling van de leverancier van Ecofrit dat in de komende weken minder Ecofrit geleverd ging worden als gevolg van een verminderde productie tijdens de zomermaanden. Hierdoor kon niet meer de optimale hoeveelheid Ecofrit worden gevoerd wat inhield dat het rantsoen sowieso aangepast diende worden. Hierop is de operator op zoek gegaan naar alternatieve coproducten en een nieuwe rantsoensamenstelling wat resulteerde in de introductie van aardappelstoomschillen en een verhoging van de input aan rundveedrijfmest. Door de grote omschakeling in rantsoensamenstelling en de problemen met het lage methaangehalte van minder dan 50% waardoor de WKK-installatie minder uren draaide was niet meer mogelijk om met het adviesmodel een betrouwbaar advies te geven en werd de advisering stopgezet.

Experimenteel model

In plaats van optimalisatie op de totale hoeveelheden Ecofrit en Lecithine is in een experimenteel model gekeken of optimalisatie van de verdeling van de hoeveelheid vloeibare input (=Ecofrit + Lecithine + rundveedrijfmest) over de vergisters V1 en V2 mogelijk was. In figuur 32 staan de uitkomsten van het experimentele model weergegeven in de vorm van het percentage van de totale hoeveelheid vloeibare input die naar V1 is gegaan, het optimale percentage voor V1 tezamen met de gerealiseerde elektriciteitsproductie.



Figuur 32 Resultaten van het experimenteel model: percentage van de totale hoeveelheid vloeibare input naar V1, het optimale percentage voor V1 en de gerealiseerde electriciteitsproductie.

Figuur 32 laat zien dat begin mei de hoeveelheid naar V1 tijdelijk is verminderd i.v.m. een verstoord vergistingsproces in vergister V1. Aangezien het om een experimenteel model gaat dienen de resultaten als indicatief te worden beschouwd. Verder was er in de eerste helft van de adviesperiode weinig variatie in het percentage dat naar V1 ging waardoor het experimenteel model weinig leermomenten had en het optimale percentage niet wijzigde. In juli en begin augustus was een grotere variatie te zien en eind juli lag het percentage van de vloeibare input wat naar V1 ging op het optimum. In de tweede helft van augustus veranderde het optimale percentage pas naar een waarde van meer dan 50%. Het experimentele model laat met name zien dat naast optimalisatie op specifieke coproducten het ook mogelijk is om de te optimaliseren op de verdeling van input over vergisters heen.

4.3 Evaluatie Dynamisch Vergisten

Op basis van de geformuleerde beoordelingscriteria is een kwalitatieve evaluatie van de prestaties van Dynamisch Vergisten tijdens de adviesperioden bij de biogasinstallaties gemaakt:

Analyseresultaten van het digestaat

Tijdens de eerste adviesperiode op Dairy Campus was het beeld van de geanalyseerde parameters vrij constant, alleen het drogestofgehalte vertoonde een wat grotere variatie. Op het drogestofgehalte na, bleven alle parameters binnen de streefwaarden tijdens de adviesperiode. Echter het drogestofgehalte lag buiten de eerste adviesperiode op minimaal hetzelfde niveau of hoger als tijdens de adviesperiode. Tijdens de tweede adviesperiode op Dairy Campus waren de geanalyseerde paramaters opnieuw vrij constant op het drogestofgehalte na, welke tijdens de adviesperiode steeg van 11,5% naar circa 13,5%. Ook tijdens de tweede adviesperiode bleven de geanalyseerde parameters binnen de streefwaarden, op het drogestofgehalte na. Hoewel het drogestofgehalte boven de streefwaarde lag tijdens beide adviesperioden werden er geen zichtbare negatieve gevolgen voor de biogasproductie geconstateerd, maar juist een toename in biogasproductie tijdens de adviesperioden. Een mogelijke oorzaak voor het hogere drogestofgehalte kan liggen in de relatieve korte verblijftijd in de vergister V2 van 50 à 55 dagen. Wordt de navergister meegerekend in de verblijftijd dan verdubbelt de verblijftijd tot meer dan 100 dagen. Op het praktijkbedrijf is een beperkt aantal monsters geanalyseerd. Aan het begin van de adviesperiode lagen de parameters boven de streefwaarden, wat een gevolg zal geweest

van de overbelasting van vergister voorafgaand aan de adviesperiode. Halverwege de adviesperiode lagen de geanalyseerde parameters wel binnen de streefwaarden.

Het beeld van de geanalyseerde parameters op Dairy Campus was tijdens de beide adviesperiodes dat ze, op het drogestofgehalte na, binnen de streefwaarden bleven en vrij constant waren. Daarbij was het beeld dat de uitslagen minimaal gelijkwaardig of beter waren dan de uitslagen van buiten de adviesperiodes. Bij het praktijkbedrijf werd het beeld van de analyseparameters beter tijdens de adviesperiode. Op basis van de resultaten van de geanalyseerde parameters kan gesteld worden dat Dynamisch Vergisten in ieder geval geen negatief effect heeft gehad op het vergistingsproces en minimaal gelijkwaardig of beter waren dan de resultaten van buiten de adviesperiodes om.

Vroegtijdige signalering van het model

Tijdens de adviesperiodes op Dairy Campus zijn er geen situaties bij vergister V2 geweest waarbij het Dynamisch Vergisten al eerder adviseerde om de input aan te passen voordat zich een probleem openbaarde. Bij het praktijkbedrijf werd in de tweede helft van de adviesperiode vroegtijdig gesignaleerd dat het met het gevoerde rantsoen niet de gewenste energieproductie kon worden gehaald. Uit de resultaten van Dynamisch Vergisten kwam naar voren dat met een input van circa 9 à 10 ton Ecofrit en 1 à 2 ton Lecithine de maximale elektriciteitsproductie zou worden gehaald, maar dat was niet voldoende om de WKK-installatie op vollast te laten draaien of zelfs maar 24-uur continu op deellast. Op basis van de beschikbare vergistingsruimte zou een hogere productie mogelijk moeten zijn. De gangbare praktijk is om in dergelijke gevallen het rantsoen te verhogen om een hogere elektriciteitsproductie te halen. Dit had de operator het voorgaande jaar ook gedaan en dat leidde toen bij een vergelijkbaar rantsoen van Ecofrit en Lecithine, maar met een hogere input, tot gevallen van schuimvorming. Deze ervaringen van de operator geven aan dat het advies Dynamisch Vergisten juist was. Aangezien Dynamisch Vergisten een operationele tool is die input optimaliseert op de maximale biogasproductie onder de gegeven omstandigheden betekende dat er ergens beperking zat die weggenomen moest worden om tot een hogere elektriciteitsproductie te kunnen komen. De signalering van Dynamisch Vergisten bestond er in dit geval uit dat onder de huidige omstandigheden de maximale biogasproductie werd behaald en als men naar een hogere elektriciteitsproductie wilde dat er dan een randvoorwaarde aangepast diende te worden. In dit geval kon het zijn dat de randvoorwaarde om alleen Ecofrit en Lecithine te voeren een beperking vormde en dus samenstelling van het rantsoen veranderd diende te worden. Een andere beperking kon zijn dat de verdeling over vergisters V1 en V2 aangepast diende te worden.

Verhoging van de input tegen het advies van Dynamisch Vergisten in

Op het eind van de tweede adviesperiode op Dairy Campus werd de droge input verhoogd en kwam daardoor verder van de optimale input te liggen. In de periode van 15 t/m 21 mei lag de droge input 1,5% onder het advies, terwijl in de periode 29 mei t/m 4 juni de droge input 14,2% hoger lag dan het advies. In tabel 8 zijn deze twee perioden met elkaar vergeleken.

Tabel 8

Vergelijking tussen de twee perioden aan het einde van de tweede adviesperiode waarin de droge input werd verhoogd tegen het advies van Dynamisch Vergisten in.

Rantsoen	15/5–21/5	29/5–4/6		Verskil
Droge input (kg)	5950	6573	623	10,5%
Advies droge input (kg)	6045	5755	-290	-4,8%
Vloeibare input (kg)	2461	2286	-175	-7,1%
Advies vloeibare input (kg)	2317	2154	-163	-7,0%
Biogasverwachting droge input (m ³ /ton)	344	333	-11	-3,2%
Biogasverwachting vloeibare input (m ³ /ton)	326	328	2	0,6%
Biogasverwachting per dag (m ³)	2849	2895	46	1,6%
Biogasproductie per dag (m ³)	3295	3364	69	2,1%

De droge input was weliswaar met 623 kg toegenomen, maar circa 2/3 was het gevolg van toename in de hoeveelheid vaste stromest. Doordat het aandeel stromest was toegenomen is de verwachte biogasproductie per ton droge input afgenomen. Door de lagere verwachte biogasproductie per ton droge input en de afname in vloeibare input is, ondanks de 10,5% verhoging in hoeveelheid van droge

input, de biogasverwachting maar met 1,6% toegenomen. De werkelijke biogasproductie steeg met 2,1% ook nauwelijks en gesteld kan worden dat dergelijke kleine veranderingen binnen onnauwkeurigheidsmarges vallen. Kortom door uitsplitsing en analyse van de cijfers blijkt dat de verhoging in droge input ook tot verwachte verhoging in biogasproductie heeft geleid. Op basis van dit resultaat kan niet gesteld worden dat Dynamisch Vergisten niet heeft gewerkt, want daarvoor had de droge input qua samenstelling en aandeel gelijk moeten blijven. Dynamisch Vergisten optimaliseerde dagelijks onder de gegeven omstandigheden zowel de droge als de vloeibare input. Dus als de droge input verandert zal dat een interactie hebben op de vloeibare input. Het is dus mogelijk dat als gevolg van de verandering in de droge input het advies voor de vloeibare input naar beneden is aangepast. Daarbij is het probleem dat niet na te gaan is wat de biogasproductie zou zijn geweest als er wel volgens het advies was gevoerd.

Vergelijking met het voeren o.b.v. normatieve waarden voor de biogasproductie

De normen voor de biogasproductie zijn behulpzaam bij het berekenen van een verwachte biogasproductie en om te vergelijken met de werkelijke biogasproductie om te zien of de verwachte biogasproductie wordt gehaald of niet. Maar deze normen geven niet aan wat coproducten in bepaalde combinaties doen en ook niet bij suboptimale situaties (bijv. verstoringen door tijdelijke haperende input, verhoogde temperatuur van de vergister, matige kwaliteit van drijfmest, etc.). Als de verwachte biogasproductie niet wordt gehaald, zoals het geval was aan het begin van beide adviesperioden op Dairy Campus, dan kan dat verschillende oorzaken hebben: o.a. de samenstelling van het rantsoen is verkeerd, het vergistingsproces is overbelast door een te hoge input of de kwaliteit van de coproducten is te slecht door bijvoorbeeld een te laag drogestofgehalte dan waarvan uit is gegaan. Laat men regelmatig analyses uitvoeren op het digestaat dat kan worden nagegaan of de oorzaak ligt in een verstoord vergistingsproces of niet. Bij aanvang van beide adviesperioden vertoonden de uitslagen van het digestaat geen afwijkende waarden en lagen binnen de streefwaarden. De traditionele strategie in zo'n situatie met te weinig biogas en wel goede analyseresultaten is om de input te verhogen. Dat was ook het geval op Dairy Campus. Echter de resultaten van Dynamisch Vergisten lieten zien dat bij aanvang van beide adviesperioden de droge input te hoog was, terwijl de vloeibare input te laag was. Dit gaf een richtlijn voor de bijsturing van de inputstromen. Dus in plaats van de gehele inputstroom te verhogen werd de droge input juist verlaagd terwijl de vloeibare input juist verhoogd werd. Vermoedelijk bestond de input uit een niet goed uitgebalanceerd voerrantsoen voor de micro-organismen (rantsoen was suboptimaal) en door een aanpassing van de verhouding droog-vloeibaar werd een beter gebalanceerd voerrantsoen verkregen wat resulteerde in een hogere biogasproductie. Dynamisch Vergisten geeft dus een duidelijke richtlijn voor de bijsturing in de input om zo te kunnen optimaliseren op maximale biogasproductie.

Verbetering van de economische resultaten

Een vergelijking tussen de economische resultaten bij wel/niet sturen op basis van Dynamisch Vergisten was zowel voor de eerste als de tweede adviesperiode op Dairy Campus niet mogelijk. Voorafgaand aan de eerste adviesperiode zat vergister V3 nog in de opstartfase waardoor vergister V2 niet los van V3 kon worden geanalyseerd en na de eerste adviesperiode kampte de biogasinstallatie met veel technische problemen. In de maand voorafgaand aan de tweede adviesperiode kampte de biogasinstallatie regelmatig met storingen aan de invoerbak of mestpomp, terwijl na de adviesperiode regelmatig de gasklep tussen V2 en V3-NV open stond en er technische storingen waren waardoor een goede vergelijking ook niet mogelijk was. Ook op het praktijkbedrijf was geen goede vergelijking mogelijk, omdat in de periode voorafgaande aan de adviesperiode de biogasinstallatie opnieuw werd opgestart en aan het eind van de adviesperiode bleek dat met alleen Ecofrit en Lecithine niet voldoende biogas kon worden geproduceerd wat in combinatie met de beperking in leveringshoeveelheid van Ecofrit leidde tot een flinke wijziging in rantsoensamenstelling. Echter op basis van de economische resultaten tijdens de adviesperioden is wel gebleken dat het voersaldo gedurende de adviesperiode steeds is toegenomen. Maar zonder goede 'nul-meting' kan niet gesteld worden dat hetzelfde resultaat ook niet zonder Dynamisch Vergisten zou zijn behaald.

Optimaliseren op maximaal voersaldo

Het laten zien of de responsecurven (zoals met de huidige modelinstellingen kan worden geschat) ook bruikbaar was voor advisering t.b.v. maximalisatie van het voersaldo kon in dit onderzoek niet worden uitgevoerd. De aanscherping van het model t.b.v. economische advisering blijft daarom een onderzoeksvraag voor vervolgonderzoek.

5 Discussie

Robuustheid van het prototype

Het huidige prototype sluit weliswaar goed aan bij de praktische toepassing van covergisting, maar de uitgevoerde testen zijn nog geen test op robuustheid van het systeem in allerlei mogelijke situaties in de praktijk. In de periode van echte praktijktesten komen nieuwe aspecten aan de orde zoals:

- Methodiek van omgaan met tijdelijke storingen van de input
Door een storing neemt de input tijdelijk onbedoeld af. Met welke methode kan het Dynamisch Vergisten model op een goede manier rekening houden met storingen die optreden bij de invoer van coproducten of van groepen coproducten? Moeten dagen waarbij een storing zorgde voor een lagere input van coproducten direct als uitbijter worden aangemerkt of kunnen de data van de dagen toch op een of andere manier worden betrokken in de analyse?
- Compensatie van gemiste voerbeurten
Als voerbeurten worden gemist wat is dan de beste strategie? Kunnen de voerbeurten later op de dag ingehaald worden of kunnen de voerbeurten beter worden overgeslagen? Bij het inhalen van voerbeurten zal rekening moeten worden gehouden met hoe snel de organische stof in een bepaald type coproduct in het vergistingsproces wordt omgezet. Bij zeer snel reagerende coproducten kan het beter zijn om de voerbeurten niet in te halen, terwijl bij heel langzaam reagerende coproducten het wel zinvol kan zijn om de gemiste voerbeurten in te halen. Het draait hierbij om binnen welke tijdspanne het nog verstandig is om een gemiste voerbeurt in te halen en of alle gemiste voerbeurten wel ingehaald dienen te worden.
- Constante verhoudingen van een groep coproducten in het rantsoen
Bij het sturen op een groep coproducten is het van belang dat de verhoudingen van de coproducten in de groep constant gehouden wordt zodat het model de juiste input-output relatie kan leggen. Onduidelijk is in welke mate het mogelijk is om de verhoudingen constant te houden, d.w.z. wat is de marge waarmee Dynamisch Vergisten nog goed mee om kan gaan? En met welk tempo kan je de hoeveelheid een bepaald coproduct in een groep veranderen zodanig dat het model de veranderingen in de input goed kan bijhouden? Aangezien snelle grote veranderingen sowieso ongewenst zijn voor optimaal functioneren van de micro-organismen in het vergistingsproces sluit dit goed aan bij de voorwaarde van Dynamisch Vergisten om veranderingen geleidelijk te laten verlopen. Een interessante richting wat met Dynamisch Vergisten mogelijk bereikt zou kunnen worden is dat het model kan inschatten met welk tempo een verandering kan worden doorgevoerd.
- Eisen aan voorraadbeheer en optimale "maaltijdgrootte"
Om goed gebruik te kunnen maken van de mogelijkheden voor de operationele optimalisatie van de input blijkt een goede strategische langetermijnplanning van het rantsoen en voorraadbeheer een belangrijk aandachtspunt te zijn. Welk voorraadbeheer nodig is zal afhangen van hoe snel het rantsoen aangepast kan worden zonder negatieve consequenties op het vergistingsproces. Verder is nog onduidelijk wat een optimale maaltijdgrootte is bij gebruik van Dynamisch Vergisten.
- Duur van middeling van het inputniveau
In dit onderzoek is het coproduct-inputniveau berekend als een 3-daags (Dairy Campus) resp. 9 daags (praktijkbedrijf) gemiddelde. Dit heeft invloed op de steilheid van de responscurve. Ten aanzien van advisering t.b.v. maximale biogasproductie heeft dit geen invloed. Zodra wordt overgestapt op advisering t.b.v. maximale voersaldo heeft dit wel invloed. Onderzoek naar de keuze van de periode van middeling is nog niet helemaal af. Mogelijk dat er ook onderscheid dient te worden gemaakt bij de duur van middeling tussen langzaam en snel reagerende coproducten.

Kwaliteit van de dataverzameling

Het gebruik van Dynamisch Vergisten stelt eisen aan een goede dataverzameling van de input en output, want door onbetrouwbare data wordt de voorspelling minder goed ('junk in – junk out'). Zo wordt biogas die door de overdrukbeveiliging heen gaat niet gemeten terwijl dit wel een output geeft van de coproducten of bij onderhoudswerkzaamheden aan de WKK-installatie wat ook een lager output geeft. De operator dient dan ook alert te zijn om deze voorvallen op te geven in de dataset.

Keuze van outputparameter

Het rendement van de WKK is van invloed op de output aan elektriciteit, want hoe dichter de WKK op vollast kan draaien hoe meer elektriciteit per kuub biogas wordt geproduceerd. Wordt de elektriciteitsproductie als output-parameter gebruikt i.p.v. de biogasproductie dan zit het rendement verwerkt in de output. Immers als er meer biogas wordt geproduceerd dan stijgt de elektriciteitsproductie sterker doordat het omzettingsrendement over al het biogas toeneemt.

Economische meerwaarde van het Dynamisch Input Advies Systeem

Ondanks dat er geen goede economische vergelijking mogelijk was tussen wel/niet sturen op basis van Dynamisch Vergisten is toch getracht om een eerste inschatting te maken van de economische meerwaarde van het Dynamisch Vergisten. Op basis van de resultaten op Dairy Campus bedraagt een voorzichtige inschatting dat de meerwaarde van Dynamisch Vergisten schommelt tussen 25 en 75 euro per dag voor een vergister van 1100 m³ met een 345 kWe WKK-installatie. Hoewel het ontbreekt aan precisie van de economische meerwaarde lijkt er wel genoeg economisch perspectief te zijn voor een dergelijke tool. Aangezien Dynamisch Vergisten als een software programma zal worden toegepast bij een biogasinstallatie, zijn er geen grote investeringen nodig om het software programma operationeel te maken bij een biogasinstallatie mits de input en output al gemeten worden.

Invloed prijs van een coproduct bij optimalisatie op maximaal voersaldo

De economisch optimale input is afhankelijk van de prijs van het coproduct en de afzetkosten van het digestaat wat resteert na vergisting van het coproduct. Bij een positieve prijs ligt het economisch optimum in principe altijd voor de maximale biogasproductie. Als het coproduct gratis wordt geleverd dan is het economisch optimum hetzelfde als de maximale biogasproductie als de afzetkosten niet worden meegerekend. Als de afzetkosten wel worden meegerekend dan zal de economisch optimale input ook lager zijn dan de input voor maximale biogasproductie. Bij een negatieve prijs is het afhankelijk van welke bedrag men toe krijgt waar het optimum ligt en of rekening wordt gehouden met de afzetkosten van het digestaat. Bij een negatieve prijs kan de economisch optimale input hoger liggen dan de input voor maximale biogasproductie doordat inkomsten uit de afname van een coproduct hoger kunnen liggen dan het verlies aan de inkomsten door een lagere biogasproductie.

Analyseresultaten als maatstaf voor een verstoord vergistingsproces

De vermeende angst dat bij advisering ten behoeve van maximale biogasproductie dichterbij de situatie van overbelasting van het vergistingsproces wordt gekomen, lijkt niet te zijn uitgekomen aangezien de analyseresultaten van de monsters uit de vergister daar niet op wezen. Het is mogelijk dat de streefwaarden vooral geschikt zijn voor het opsporen van een duidelijk zichtbaar verstoord vergistingsproces. Een ander punt wat speelt bij agrarische biogasinstallatie is dat mest een groot bufferend vermogen heeft waardoor een suboptimale input niet (direct) zichtbaar wordt in de analyseresultaten en als het ware wordt gemaskeerd. Mogelijk dat Dynamisch Vergisten suboptimale procesomstandigheden beter herkent en daardoor stuurt richting de input die de maximale biogasproductie geeft onder de actuele omstandigheden van een biogasinstallatie.

Hoger drogestofgehalte dan streefwaarde

Het drogestofgehalte lag op Dairy Campus tijdens beide adviesperiode boven de streefwaarde van 11%. Hoewel het drogestofgehalte tijdens de tweede adviesperiode toe nam, is er geen duidelijk verband met Dynamisch Vergisten aangezien het drogestofgehalte gedurende 2009 en 2010 bijna altijd boven de 11% lag. Een daling in het drogestofgehalte zou in de lijn der verwachting liggen. Echter er wordt niet gestuurd op maximale biogasproductie per ton input, maar op maximale biogasproductie uit de totale input aan coproducten. Een hogere input geeft na een bepaalde hoeveelheid een lagere biogasproductie per ton waardoor minder organische stof wordt omgezet. Dit betekent dat het drogestofgehalte niet altijd zal dalen bij toepassing van Dynamisch Vergisten.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Op de basis van de gerealiseerde resultaten bij het optimaliseren van de input op maximale biogasproductie met het prototype van het Dynamisch Input Advies Systeem (Dynamisch Vergisten) zijn de volgende conclusies getrokken:

- 1) De theoretische benadering van het operationeel modelleren van de relatie input aan coproducten en output aan energieproductie door middel van een adaptief model met een Bayesiaanse grondslag is uitvoerbaar gebleken. Het model leverde een schatting op van de respons op de hoeveelheid input aan coproducten. Op Dairy Campus was het model in staat om input aan de droge en vloeibare input apart van elkaar bij te sturen en op het praktijkbedrijf was het model in staat de vloeibare input aan Ecofrit bij te sturen. Bij geleidelijke introductie van nieuwe coproducten kon het model de langzame verandering in rantsoensamenstelling goed bijhouden, maar snelle en grote rantsoenwijzingen kon het model niet bijhouden.
- 2) Bijsturing van de input op basis van informatie van de geschatte parameters leverde het verwachte effect op en zodoende kan het gewenste resultaat in voldoende mate bereikt worden. De energieproductie was bij alle drie adviesperioden toegenomen t.o.v. de productie bij aanvang van de advisering, met 120% en 31% op Dairy Campus en met 149% op het praktijkbedrijf. Het voersaldo was bij alle drie adviesperioden toegenomen t.o.v. het voersaldo bij aanvang, met €496 en €235 per dag op Dairy Campus en met €91 per dag op het praktijkbedrijf.
- 3) De geschatte invloed van coproducten op de biogasproductie varieerde in de tijd. Dit onderschrijft de noodzaak voor een model met voldoende flexibiliteit bij variatie in kwaliteit van de coproducten en variatie in capaciteit van de biomassa in de vergister.
- 4) Het model gaf op het praktijkbedrijf vroegtijdig het signaal af dat de haalbare maximale biogasproductie bij de optimale input van de gevoerde coproducten niet zou leiden tot de gewenste elektriciteitsproductie.

Op basis van de praktijkresultaten wordt geconcludeerd dat het principe van een Dynamisch Input Advies Systeem (Dynamisch Vergisten) voor optimalisatie van de input van een biogasinstallatie op maximale biogasproductie onder praktijkomstandigheden werkt.

6.2 Aanbevelingen

Hoewel de eerste praktijkresultaten van de methodiek van Dynamisch Vergisten veelbelovend zijn, zal er verder gewerkt moeten worden aan de doorontwikkeling ten behoeve van het praktijkrijp maken van de methodiek. Voor vervolgonderzoek liggen de aandachtspunten op de volgende zaken:

- Methodiek voor ontwikkeling van goede priors bij aanvang van de advisering o.b.v. de voorinformatie (historische meetgegevens) van de biogasinstallatie en de coproducten.
- Invloed van verschil in eigenschappen van droge en vloeibare coproducten op de parameterwaarden.
- De wisselwerking tussen coproducten en de basiscomponenten van de input (drijfmest).
- Bepaling van de optimale stapgrootte bij dagelijkse bijsturing en aanpassingen in de rantsoensamenstelling.
- Monitoringsinformatie omzetten in bruikbare "alerts" voor de operator.
- Langere termijn effecten inzichtelijk maken, waarbij ook de strategie rondom storingen dient te worden meegenomen.
- Invloed van de output-parameter (biogasproductie, kWh-productie of methaanproductie) op de response-curves.
- Alternatieve modelformuleringen.

Het verdient de voorkeur om de verdere ontwikkeling van het Dynamisch Advies Input Systeem i.s.m. een bedrijf te doen die de methodiek commercieel wil gaan exploiteren, zodat de ontwikkelde kennis in de praktijk gebruikt kan worden om het rendement van biogasinstallaties te verbeteren.

Literatuur

- Batstone, D.J., J. Keller, I. Angelidaki, S.V. Kalyuzhnyi, S.G. Pavlostathis, A. Rozzi, W.T.M. Sanders, H. Siegrist en V. A. Vavilin. 2002. Anaerobic Digestion Model No. 1. Scientific and Technical Report No. 13. IWA Publishing, London, UK.
- Timmerman, M., J.W. van Riel, I. Bisschops en M.H.A. van Eekert. 2009. Optimaliseren van mestvergisting. Rapport 243. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Timmerman, M., M.H.A. van Eekert, J.W. van Riel en E. Schuman. 2013. Mestvergisting bij korte verblijftijden. Rapport 729. Wageningen UR Livestock Research, Lelystad.
- Peene, A., F. Velghe en I. Wierinck. 2011. Evaluatie van de vergisters in Nederland – Fase I. Organic Waste Systems NV, Gent, België.
- Van den Boom, H. en C. van der Elst. 2013. Toekomst Biogas: Van laagwaardige input naar hoogwaardige output. Rabobank Cijfers & Trends - Thema-update: Biogas. Rabobank, Utrecht.
- Van den Boom, H. 2014. Welke duurzame energie win(d)t? - Een doorkijk naar de ontwikkelingen in Nederland tot 2020. Rabobank Cijfers & Trends - Thema-update: Duurzame Energie. Rabobank, Utrecht.
- Velghe, F. en I. Wierinck. 2013. Evaluatie van de vergisters in Nederland – Fase II. Organic Waste Systems NV, Gent, België.
- West, M. en J. Harrison. 1997. Bayesian Forecasting and Dynamic Models. Springer New York, New York, NY, USA.

Bijlage 1 Biogasopbrengst coproducten

Tabel A Verwachte biogasopbrengsten van coproducten op Dairy Campus

Coproduct	Drogestof	Biogasopbrengst
Rundveedrijfmest	n.g.	24
Maïs	31.7%	181
Graskuil	33.4%	163
Aardappelpersvezels	19.5%	124
Koekjesmix	75.4%	445
Graanresten	76.3%	650
Uien	10.0%	62
Biograanmix	72.5%	500
Ecofrit	25.0%	200
Glycerine	66.0%	700

n.g. = niet gemeten

Tabel B Verwachte biogasopbrengsten van coproducten op het praktijkbedrijf

Coproduct	Drogestof	Biogasopbrengst
Rundveedrijfmest	9%	24
Voerresten	35%	175
Ecofrit	25%	175
Lecithine	50%	400
Glycerine	80%	600

Bijlage 2 Analyseresultaten Dairy Campus

Tabel A Analyseresultaten van vluchtige vetzuren (in g/kg) in vergister V2 Dairy Campus in 2009-2010

Vetzuur	Streefwaarde	13-feb-09	8-sept-09	9-mrt-10
Azijnzuur	< 2 g/kg	3,90	0,32	0,650
Propionzuur	< 0,5 g/kg	0,47	0,02	0,056
Iso-boterzuur	< 0,05 g/kg	0,19	0,006	<0,005
N-boterzuur	< 0,05 g/kg	0,13	0,007	<0,005
Iso-valeriaanzuur	< 0,05 g/kg	0,45	0,009	0,006
Valeriaanzuur	< 0,05 g/kg	0,025	0,011	<0,005

Bijlage 3 Alternatief model praktijkbedrijf

Adaptief Model

Tijdens het onderzoek is een prototype van het adaptieve model ontwikkeld waarmee de invloed van de totale hoeveelheid Ecofrit en de totale hoeveelheid Lecithine op de elektriciteitsproductie apart van elkaar konden worden geschat. Het adaptieve model bestond uit het volgende dynamisch lineaire model:

$$\begin{aligned} E_t &= \beta_{0,t} + \beta_{1,t}L_{1,t} + \beta_{2,t}L_{1,t}^2 + \beta_{3,t}L_{2,t} + \beta_{4,t}L_{2,t}^2 + v_t & v_t &\sim N(0, V_t) \\ \beta_{.,t} &= \beta_{.,t-1} + \omega_t & \omega_t &\sim N(0, U_t) \end{aligned}$$

De parameter schattingen zijn verkregen door een Bayesiaanse analyse voor tijdreeksen (West and Harrison, 1997) bestaande uit dagelijkse metingen van de elektriciteitsproductie E_t in relatie tot de totale input aan Ecofrit $L_{1,t}$ en in relatie tot de totale input aan Lecithine $L_{2,t}$.

Voor het verkrijgen van goede parameterschattingen is met de volgende instellingen gewerkt voor respectievelijk de priors, de monitoring criteria die automatische interventie reguleren en de discountfactoren.

Priors

De gebruikte priors, waarbij $\beta_{.,0}$ de prior voor de parameters weergeeft en C_0 de prior voor de variantie covariantiematrix, zijn:

$$\beta_{.,0} = \begin{pmatrix} 1313.9 \\ 0.061984 \\ -3.65 \cdot 10^{-6} \\ 0.080755 \\ -0.00023 \end{pmatrix}$$
$$C_0 = \begin{pmatrix} 165394 & & & & \\ -29.3616 & 0.007227 & & & \\ -0.001365 & -3.95 \cdot 10^{-7} & 2.38 \cdot 10^{-11} & & \\ -29.3755 & -0.004371 & -1.39 \cdot 10^{-7} & 0.012447 & \\ -4.86 \cdot 10^{-7} & 6.20 \cdot 10^{-11} & -1.37 \cdot 10^{-15} & -7.22 \cdot 10^{-9} & 1.49 \cdot 10^{-11} \end{pmatrix}$$

Discountfactoren

De gebruikte normale en exceptionele discountfactoren voor de parameters en de variantieschattingen zijn:

$$\begin{aligned} \Delta_{V_n} &= 0.90 && \text{Normaal voor variantie} \\ \Delta_{V_e} &= 0.80 && \text{Exceptioneel voor variantie} \\ \Delta_n &= \begin{pmatrix} 0.98 \\ 0.99 \end{pmatrix} && \text{Normaal voor parameters} \\ \Delta_e &= \begin{pmatrix} 0.80 \\ 0.90 \end{pmatrix} && \text{Exceptioneel voor parameters} \end{aligned}$$

Monitoring criteria

Als monitoring criteria is gewerkt met een scale inflation factor van 3, een drempelwaarde voor de Bayes-factor van 0.15 en een drempel voor run lengte (bij groeiende afwijking) van 3.

Controle algoritme

Het controle algoritme berekende de optimale instellingen voor de totale input aan Ecofrit en de totale input aan Lecithine. Het optimalisatiecriterium gebaseerd op de 'actuele maximum haalbare elektriciteitsproductie' was:

$$\begin{aligned} E_{\max_t}(\text{Ecofrit}): L_{1,t} &= \frac{-\beta_{1,t}}{2\beta_{2,t}} \\ E_{\max_t}(\text{Lecithine}): L_{2,t} &= \frac{-\beta_{3,t}}{2\beta_{4,t}} \end{aligned}$$

Bijlage 4 Experimenteel model praktijkbedrijf

Adaptief Model

Tijdens het onderzoek is een experimenteel prototype van het adaptieve model ontwikkeld waarmee de invloed van de verdeling van de hoeveelheid vloeibare input (=Ecofrit + Lecithine + rundveedrijfmest) over vergisters V1 en V2 op elektriciteitsproductie konden worden geschat. Het adaptieve model bestond uit het volgende dynamisch lineaire model:

$$\begin{aligned} E_t &= \beta_{0,t} + \beta_{1,t}P_t + \beta_{2,t}P_t^2 + v_t & v_t &\sim N(0, V_t) \\ \beta_{.,t} &= \beta_{.,t-1} + \omega_t & \omega_t &\sim N(0, U_t) \end{aligned}$$

De parameter schattingen zijn verkregen door een Bayesiaanse analyse voor tijdreeksen (West and Harrison, 1997) bestaande uit dagelijkse metingen van de elektriciteitsproductie E_t in relatie tot het percentage P_t van de totale vloeibare input wat naar vergister V1 ging.

Voor het verkrijgen van goede parameterschattingen is met de volgende instellingen gewerkt voor respectievelijk de priors, de monitoring criteria die automatische interventie reguleren en de discountfactoren.

Priors

De gebruikte priors, waarbij $\beta_{.,0}$ de prior voor de parameters weergeeft en C_0 de prior voor de variantie covariantiematrix, zijn:

$$\beta_{.,0} = \begin{pmatrix} 1452.7 \\ 0.001267 \\ -1000 \end{pmatrix}$$
$$C_0 = \begin{pmatrix} 12610.9 & & \\ -0.0841 & 185.727 & \\ 4.85 \cdot 10^{-8} & -0.00011 & 0.000282 \end{pmatrix}$$

Discountfactoren

De gebruikte normale en exceptionele discountfactoren voor de parameters en de variantieschattingen zijn:

$\Delta_{v_n} = 0.90$	Normaal voor variantie
$\Delta_{v_e} = 0.80$	Exceptioneel voor variantie
$\Delta_n = \begin{pmatrix} 0.90 \\ 0.95 \end{pmatrix}$	Normaal voor parameters
$\Delta_e = \begin{pmatrix} 0.80 \\ 0.90 \end{pmatrix}$	Exceptioneel voor parameters

Monitoring criteria

Als monitoring criteria is gewerkt met een scale inflation factor van 3, een drempelwaarde voor de Bayes-factor van 0.15 en een drempel voor run lengte (bij groeiende afwijking) van 3.

Controle algoritme

Het controle algoritme berekende de optimale instelling voor het percentage van de totale input aan vloeibare coproducten voor vergister V1. Het optimalisatiecriterium gebaseerd op de 'actuele maximum haalbare elektriciteitsproductie' was:

$$E_{max_t}(\text{percentage V1}): P_t = \frac{-\beta_{1,t}}{2\beta_{2,t}} + 0.5$$

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen UR Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 480 10 77
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wageningenUR.nl/livestockresearch

Livestock Research Rapport 897

Wageningen UR Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

