



De ECOFERM Kringloopboerderij in de praktijk

Maart 2016

De ECOFERM

Kringloopboerderij in de praktijk

Dit rapport is opgesteld door:

K. Kroes

S. Huurman en Ch. de Visser, ACRRES

G. Hemke, Hemke Nutriconsult

J. van Liere

N. van den Top

Projectleiding en eindredactie:

J. de Wilt (Innovatie Agro & Natuur)

Dit rapport is opgesteld in het kader van het project 'ECOFERM'.

Innovatie Agro & Natuur – netwerkorganisatie voor grensverleggende vernieuwingen
(voorheen InnovatieNetwerk)

Postbus 19197

3501 DD Utrecht

tel.: 070 378 5653

internet: www.innovatieagroennatuur.nl

Innovatie Agro & Natuur is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken (cluster binnen de directie Agro- en Natuurkennis).

ISBN: 978 – 90 – 5059 – 528 – 5

Overname van tekstdelen is toegestaan, mits met bronvermelding.

Rapportnr. 16.2.338, Utrecht, maart 2016

Inhoudsopgave

Samenvatting **I**

1. Beschrijving stromen Kringloopboerderij **17**

1.1	Inleiding	17
1.2	Berekening van stromen op het bedrijf	19
1.3	Elektriciteitsverbruik	27
1.4	Tot slot	30

2. Teelt en oogst van eendenkroos **33**

2.1	Methodiek	33
2.2	Model parameters	34
2.3	Resultaten en teeltvaringen 2015	35
2.4	Vergelijking meetdata en het groeiemodel	41
2.5	Discussie model en daadwerkelijke oogst	42
2.6	Aanbevelingen voor een best practice	45
2.7	Aanbevelingen voor onderzoek	48
2.8	Bronnen	49

3. De waarde van eendenkroos als veevoer **51**

3.1	Plan van aanpak	51
3.2	Resultaten	53
3.3	Rantsoenberekeningen ECOFERM	59
3.4	Referenties	62

4. Vergelijking ECOFERM met gangbaar bedrijf **65**

4.1	Inleiding	65
4.2	Uitgangspunten	65
4.3	Vergelijking bedrijven	74
4.4	Kosten en besparingen	80
4.5	Referenties	84

5. Slotbeschouwing en conclusies **87**

Bijlage 1: Verslag kroosteelt 2014	91
Bijlage 2: Lijst met gebruikte afkortingen	101
Bijlage 3: Bepaling eiwit- en energiewaarde kroos	105
Summary	113

Samenvatting

Jan de Wilt

De veehouderij produceert naast vlees, melk en eieren ook reststromen mest, urine, warmte, waterdamp, ammoniak, methaan en CO₂. Deze stoffen worden niet – of niet optimaal – benut, wat in economisch en ecologisch opzicht een verlies betekent. Daarom is InnovatieNetwerk¹ enkele jaren geleden gestart met de ontwikkeling van ECOFERM, de kringloopboerderij.

Bij ECOFERM worden afvalproducten van de intensieve veehouderij (mest, ammoniak, methaan, CO₂ en warmte) gebruikt voor de productie van algen, kroos, biogas, elektriciteit, warmte en schoon water. Kroos en algen zijn planten die snel groeien, continu te oogsten zijn en bovendien eiwitrijk. Door deze eigenschappen zijn ze bij uitstek geschikt voor de benutting van reststromen uit veehouderijsectoren met weinig grond (zoals de varkens- en kalverhouderij). Een eerste beschrijving van het concept is in 2011 uitgebracht. In dat jaar zijn ook de eerste contacten gelegd met rosékalverhouder Kroes uit Uddel, die vergevorderde ideeën had voor het sluiten van kringlopen op zijn bedrijf. In 2014 en 2015 zijn ervaringen opgedaan met de verschillende onderdelen van ECOFERM, zoals de mestbehandeling, de vergisting, de kroosteelt en de benutting hiervan als veevoer. Dit rapport beschrijft de resultaten.

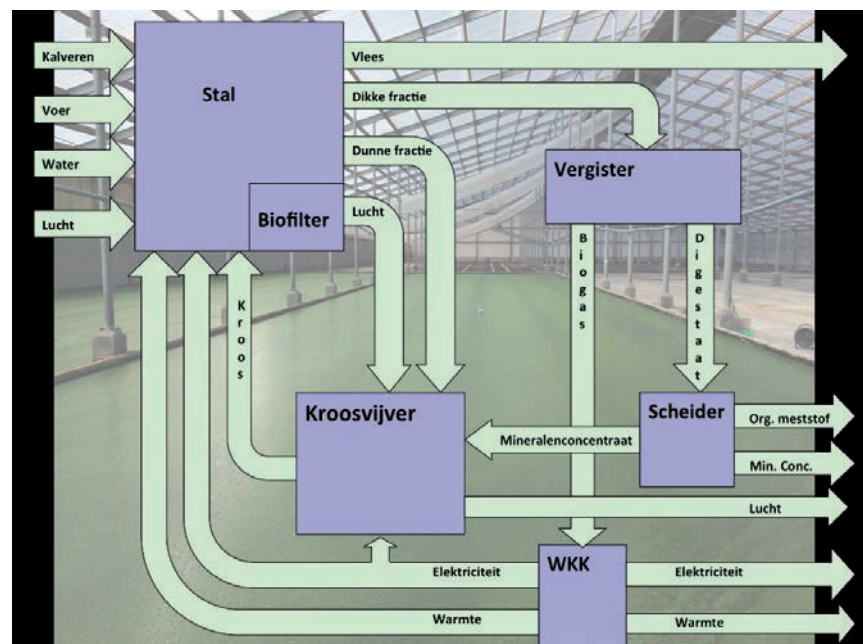
Hoofdstuk 1 geeft de verschillende stromen in de ECOFERM-kringloopboerderij weer. Het gaat om een bedrijf met 3.600 rosévleeskalveren. In 2013 is een nieuwe stal bij de bestaande boerderij gebouwd waarbij de urine en de vaste mest worden gescheiden onder de roosters, zodat er minder ammoniak vrijkomt. De dikke fractie gaat naar een vergistingsinstallatie. De stikstofrijke en fosforarme urine wordt deels op het land uitgereden en deels gebruikt als voeding voor het kroos, dat wordt gekweekt in een bassin op de stal. Ook de

¹ *InnovatieNetwerk heet sinds medio 2015 Innovatie Agro & Natuur.*

vochtige, warme en CO₂-rijke stallucht gaat naar de kas. De ammoniak in deze lucht wordt verwijderd door een biologische luchtwasser met houtsnippers die tussen de stal en de kas is geplaatst. Na vergisting wordt de mest gescheiden in een dikke en dunne fractie (digestaat). De dikke fractie wordt uitgereden over het land. De dunne fractie wordt na scheiding in een pers eveneens gebruikt als meststof voor het eendenkroos. Het kroos wordt aan de kalveren gevoerd. Zo is de kringloop rond.

Eendenkroos heeft stikstof (N) en fosfor (P) nodig om te groeien, en haalt dat uit de dunne fractie. Zo kan een deel van de mineralen en andere restproducten (CO₂, water, warmte) binnen het bedrijf opnieuw worden benut. Het eendenkroos is bovendien een eiwitrijk veevoer dat (geïmporteerd) krachtvoer (soja) uitspaart. De vergisting van de dikke fractie levert biogas, dat via verbranding in een WKK-installatie wordt omgezet in warmte en elektriciteit. De elektriciteit wordt op het eigen bedrijf gebruikt en geleverd aan het net; de warmte wordt opgeslagen in een warmwatertank en gaat vervolgens naar een naastgelegen kalverbedrijf. De verschillende stromen zijn in het stroomdiagram hieronder weergegeven.

Figuur 1: Stroomdiagram van het ECOFERM kringloopsysteem: ingaande en uitgaande stromen en intern hergebruik.



Mestbehandeling

Op het kalverbedrijf zijn bestaande stallen aanwezig voor 2.000 kalveren. Drijfmest wordt hier onder de dieren opgeslagen. In de nieuwe stal met 1.600 dieren wordt de urine van de overige mest gescheiden door middel van een mestschuif in combinatie met een hellende putvloer. Het scheidingspercentage ligt rond de 50/50 (v/v) voor feces en urine. Het betreft jaarlijks 4.789 ton urine (met enige fecesbesmetting). In mestmonsters uit de afgelopen jaren varieerden de gehalten van 2,5-4,5 g/kg N en 0,5-1 g/kg P₂O₅ in de urine. Deze fosfaatarme en stikstof- en kalirijke fractie wordt op het eigen gras- en maïsland gebruikt en naar naburige akkerbouwers afgevoerd. De drijfmest plus de feces geven tezamen 16.761 ton/jaar mest met een ds-gehalte van 12,8%. In werkelijkheid is dit iets minder omdat een deel van de mest in de stal wordt omgezet in CH₄ en NH₃. Voor de nieuwe stal zijn de verliezen laag vanwege de

directe scheiding en verwijdering van mest en urine. Voor de oude stallen zijn de verliezen groter.

De drijfmest uit de oude stal plus de feces uit de nieuwe stal gaan gezamenlijk naar de monovergister. De samenstelling van het digestaat komt in de praktijk uit op 6-7 g/kg N en 2,5-3 g/kg P₂O₅. De opbrengsten aan biogas lagen tussen 30 en 40 m³ per ton.

Het digestaat werd gescheiden middels een schroefpers of centrifuge in een dikke fractie (3.244 ton per jaar) met 28% ds en een dunne fractie (12.846 ton per jaar) met 5% ds. De dikke fractie werd deels ingedroogd met de restwarmte uit de gasturbines. Middels de afzet van het gedroogde product voor exportdoeleinden kan aan de verplichte mestverwerking (35% van het fosfaatoverschot in 2016) worden voldaan.

De dunne fractie is mede gebruikt als voedingsmedium voor de algen. In 2015 zijn diverse testen verricht om de dunne fractie thermisch of mechanisch (middels membraandestillatie of ultrafiltratie) te scheiden in een gepasteuriseerd ammoniakwater (die als schoon voedingsmedium voor kroosteelt kan dienen) en een gepasteuriseerd dik deel (een stroop) die door drogen nog verder kan worden ingedikt en verkocht. Deze testen zijn mede mogelijk gemaakt door de provincie Gelderland. Uit de testen bleek dat het technisch mogelijk is om de dunne fractie met behulp van restwarmte verder te scheiden. Echter, de scheidingsinstallatie is nog erg storingsgevoelig en behoeft verdere ontwikkeling voordat deze marktrijp is. De leveranciers werken aan een robuuster systeem. De dunne fractie is daarom nog rechtstreeks op het land gebracht.

Energieproductie

De verliezen van NH₃ en CH₄ in de stal door uitscheiding en door organische vergisting op vloeren en roosters bedroegen globaal 87 ton/jaar mest, met 37 ton/jaar CH₄ en 24 ton/jaar NH₃. Er waren geregeld storingen in de vergister, als gevolg van vastgelopen pompen, onvoldoende biologische stabiliteit en pieken in de zwavelconcentratie. De vergisters hebben lange tijd op circa 60% capaciteit gedraaid om voldoende verblijftijd te garanderen. Gaandeweg 2015 is de capaciteit langzaam opgevoerd, tot circa 70% begin 2016. De totale elektriciteitsproductie uit biogas komt uit op 400.000 kWh per jaar.

Bij de verbranding van het biogas in de WKK wordt niet alleen elektriciteit geproduceerd, maar komt ook warmte vrij. De warmte uit de uitlaatgassen (300 °C) wordt teruggewonnen en via een warmtenet naar een naburige kalverhouderij getransporteerd. Hier is dagelijks een grote hoeveelheid water van 85 °C nodig om de aanwezige witvleeskalveren van warme kalvermelk te voorzien. Door deze extra benutting stijgt het totaalrendement van de turbines naar circa 82%.

De kalveren produceren verder een aanzienlijke hoeveelheid warmte. Dit wordt becijferd op 43,8 MJ per kalf per dag (rekening houdend met een gemiddelde grootte van de kalveren) op basis van 507 W per dier. Deze hoeveelheid warmte kan gebruikt worden voor verwarming van de lucht in de kas.

Elektriciteitsverbruik

Tegenover de eigen productie van elektriciteit staat ook een aanzienlijk eigen verbruik. Er staan 27 ventilatoren opgesteld met in totaal 46 kW, die bij 8.400 draaiuren per jaar 390.000 kWh verbruiken. Door de frequentieregeling is dit in werkelijkheid zo'n 20% lager.

De ventilatoren verbruiken veel energie om de lucht via het biobed van natte houtsnippers in de kas te brengen. Om de ammoniakemissie op een andere manier omlaag te brengen en zo het elektriciteitsverbruik te verminderen, is in 2015 geëxperimenteerd met ionisatie via koolstofborstels. Dit bleek wel de concentratie van (fijn)stof substantieel te reduceren, maar de ammoniakconcentratie liep nauwelijks terug. Behalve de ventilatoren gebruiken ook andere apparaten elektriciteit. Het gaat dan vooral om de mestschuiven, de vergister en WKK, en de pompen in de kroosvijver (zie onderstaande tabel 1).

Tabel 1: Jaarlijks verbruik van elektriciteit voor verschillende toepassingen.

	Draaiuren per jaar	Verbruik (kWh/jaar)
Ventilatie	8.400	312.000
Mestscheiding	7.500	20.700
Vergister en powerunit	8.400	40.000
Eendenkroosproductie	2.500	2.500
Totaal eigen verbruik boerderij		375.200

Met een jaarlijkse elektriciteitsproductie van 400.000 kWh uit de vergisting is het ECOFERM-bedrijf dus volledig zelfvoorzienend, en kan nog circa 7% van de elektriciteit worden teruggeleverd aan het net.

CO₂-productie

De productie van CO₂ door de 3.500 kalveren bedraagt 6.494 ton/jaar. Een hectare eendenkroos met een productie van 25 ton kroos per jaar kan ruim 30 ton CO₂ per jaar opnemen. Er wordt 29 ton/ha/jaar aan zuurstof geproduceerd. Daarmee is slechts een klein deel van de CO₂ benutbaar in de kroosteelt.

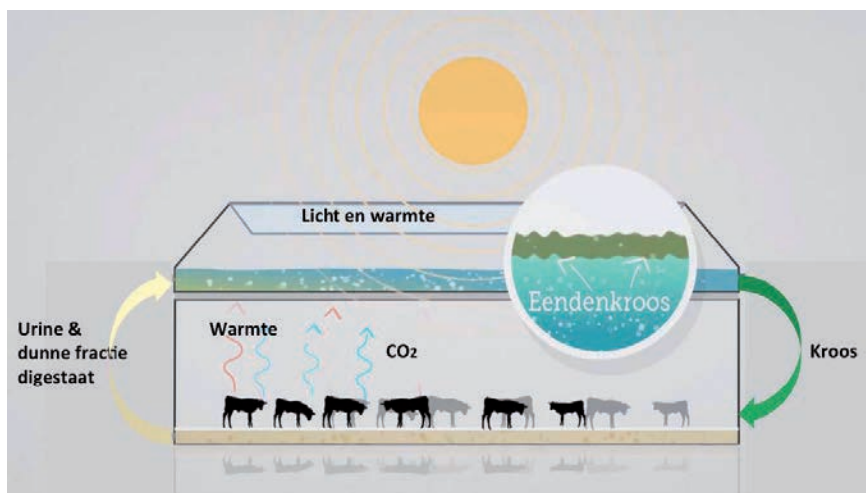
Kringlopen in beeld

Samengevat zien de kringlopen op de ECOFERM-boerderij er als volgt uit. Er wordt door het verwijderen van de dagverse mest en de vergisting van de vaste fractie een reductie van 80% op methaanvorming behaald in de nieuwe stal. Daarmee is de reductie op bedrijfsniveau circa 35%. Ammoniakvorming wordt door mestscheiding onder de roosters met 50% verminderd in de nieuwe stal, en daarna nog voor 70% uit de lucht verwijderd. In de nieuwe stal is er dus een reductie van de ammoniakuitstoot van 85%. De mestvergister voorziet in 107% van de eigen elektriciteitsbehoefte en produceert daarbij benutbare warmte die extern wordt benut. Daarnaast worden de dierwarmte en CO₂ voor een klein deel benut om de groei van eendenkroos te bevorderen. Dit is in 2015 zeer beperkt geweest, vanwege het beperkte oppervlak eendenkroos, maar dit kan nog worden verbeterd bij een groter kroosareaal.

Door een combinatie van wijzigende factoren (voeraanpassing, warmteverliezen van de dieren door andere leeftijden en weersomstandigheden, ventilatieregime en functioneren van vergister) kunnen de resultaten nog worden verbeterd.

Kroosteelt

De ervaringen met kroosteelt worden beschreven in Hoofdstuk 2. In 2014 is gestart met de eendenkroosteelt op de zolder van de nieuwe kalverstal. Deze zolder is een kas van circa 4400 m², die boven de kalverstal met 1.600 dieren is gebouwd. Het dak is grotendeels uitgevoerd in transparante polycarbonaat dakplaten. De warmte van de kalveren straalt uit naar de betonnen zoldervloer (=stalplafond), waardoor er sprake is van directe vloerverwarming. Daarnaast wordt (een deel van) de ventilatielucht van de kalveren over de zolder geleid, nadat deze in een biobed van ammoniak en stof is ontdaan. Het CO₂-gehalte op de zolder wordt daarmee sterk verhoogd. De urine van de kalveren en dunne fractie van het digestaat uit de mestvergister bevatten de nutriënten die nodig zijn voor de teelt. Dit wordt verdund met schoon bronwater om de juiste concentratie mineralen te krijgen. Restwarmte van de WKK wordt gebruikt voor de warmwatervoorziening van het eigen bedrijf en van de burens, en is dus niet beschikbaar voor de kroosteelt. Een vereenvoudigde weergave van de opzet is te zien in onderstaande figuur 2.



Figuur 2: Schema van de stal en de kas met de stromen van mest, urine en kroos als veevoer.

In het eerste jaar vond de teelt plaats in kleine bassins (50 m²) gemaakt van landbouwplastic. Op basis van de kleinschalige experimenten zijn diverse aanpassingen gedaan in het teeltsysteem. Daarmee is de basis gelegd voor de kroosteelt in 2015. De belangrijkste aanpassingen zijn het actief toevoegen van zuurstof in het water, de betere pH-sturing, de nevelkoeling en het toevoegen van huminezuur als mineralenbuffer. De ervaringen zijn uitgebreid vastgelegd in het verslag 'Kroosteelt 2014' (zie *Bijlage 1*).

In 2015 was de kroosteelt goed onder controle. In de tweede helft van februari was de eerste groei zichtbaar en vanaf maart is er eendenkroos geoogst. Het eendenkroos is tot november dagvers gevoerd aan de kalveren door opname in het gemengde rantsoen. Er zijn in deze periode frequent data verzameld van de teeltomstandigheden en de eendenkroosopbrengst. Een eendenkroosgroeimodel is ontwikkeld en met deze data gevalideerd. Voor de ontwikkeling van dit model

ontving WUR-student Niek van den Top in 2015 de Shell scriptieprijs.

Groefactoren

De groei van eendenkroos wordt bepaald door vijf factoren: de fotoperiode, de watertemperatuur tussen de wortels van het kroos, de pH van het water, en ten slotte het stikstof- en fosfaatgehalte. Beide laatste factoren waren niet limiterend in de ECOFERM.

Vanaf het begin van het groeiseizoen zijn de volgende parameters continu gemeten: lichthoeveelheid PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], lucht- en watertemperatuur [$^{\circ}\text{C}$], CO_2 -concentratie [ppm] en de relatieve luchtvochtigheid [%]. Bovendien zijn de volgende parameters handmatig gemeten: EC-waarde, pH, O_2 -gehalte van het water, DS-gehalte en vers gewicht geoogst eendenkroos.

Licht

Uit het groeimodel van Van der Top blijkt dat 13 uur lichtverzadiging per dag de hoogste groei geeft en dat te weinig lichtinstraling de groei sterk kan beperken. In de ECOFERM-kas is maximaal 12 uur lichtverzadiging gemeten. Dit betekent dus dat deze belangrijke groefactor steeds suboptimaal was. Vanwege welstandseisen is een deel van het dakoppervlak niet transparant uitgevoerd. Daardoor is er schaduwwerking van spanten, gordingen en zijwanden. Dit heeft grote consequenties voor de kroosproductie.

Temperatuur

De watertemperatuur is gemeten in de wortel- en bladzone van het kroos. Daarnaast is de luchttemperatuur boven het wateroppervlak gemeten. Uit het groeimodel blijkt dat een watertemperatuur van 20 tot 30 $^{\circ}\text{C}$ de beste groei geeft, met 26 $^{\circ}\text{C}$ als de meest optimale temperatuur. Bij temperaturen van meer dan 35 $^{\circ}\text{C}$ kan het kroos snel afsterven. Omdat de kroosvijver bovenop de kalverstal is gesitueerd, is er voortdurend vloerverwarming door de dierwarmte. De ventilatie-lucht uit de kalverstal (bevochtigd en dus afgekoeld in het biobed) werd op de zolder geblazen om voor voldoende luchtverversing te zorgen. Daarmee werd koele lucht aangevoerd en warme lucht afgevoerd.

De watertemperatuur kon van circa april tot oktober boven de 20 $^{\circ}\text{C}$ gehouden worden zonder verder bij te verwarmen. Tijdens de warmste maanden (juni en juli) liep de watertemperatuur soms hoog op. Daarom is er een nevelinstallatie boven de kroosvijver gemonteerd, die ingeschakeld werd als de luchttemperatuur 37 $^{\circ}\text{C}$ bereikte. Zo was het mogelijk om de watertemperatuur op maximaal 35 $^{\circ}\text{C}$ te houden.

Bemesting

Om de bemesting van het kroos te monitoren, zijn regelmatig de pH- en de EC-waarde van het water gemeten. De pH-waarde verschaft informatie over de zuurwaarde. De Electric Conductivity (EC-waarde) geeft op basis van de geleidbaarheid van het water, de totale hoeveelheid opgeloste meststoffen aan. Als doelwaarde is gekozen voor een pH tussen de 6-7 voor een optimale oplosbaarheid van de nutriënten en een onbelemmerde groei van het kroos. Tijdens de start van de krooskweek

is ook huminezuur toegevoegd. Dit geeft een bufferende werking doordat het mineralen bindt, zodat een lichte onbalans in mineralen-aanbod kan worden opgevangen. Met deze middelen is de pH meestal probleemloos binnen de optimale range gebleven. Af en toe is met een verzurende meststof (salpeterzuur/fosforzuur) bijgestuurd.

Voor de EC-waarde is als doel gekozen voor 1-1,5 mS/cm. Als basis voor de bemesting is gebruik gemaakt van dunne fractie van het digestaat, vanwege de gunstige N/P-verhouding voor de groei van het kroos. Maandelijks werd op basis van de uitslag van de maandelijkse gietwateranalyse bijgestuurd met dunne fractie, losse kunstmeststoffen en sporenelementen.

CO₂-gehalte en luchtvochtigheid

Door een gedeelte van de ventilatielucht uit de onderliggende stal over de vijver te blazen, werd de CO₂-concentratie tussen de 1.500 en 2.000 ppm gehouden. Daarmee was deze parameter niet limiterend voor de kroosteelt (de concentratie in de atmosfeer is circa 400 ppm). De relatieve luchtvochtigheid (gemeten op 25 cm boven het wateroppervlak) schommelde meestal tussen 60 en 80%.

Zuurstofgehalte in de vijver

Stilstaand water kan snel zuurstofloos worden, met name als zich er organische deeltjes in bevinden. Daarnaast kan er minder zuurstof in water oplossen als de temperatuur stijgt (thermodynamisch principe). Bij gebruik van de dunne fractie, afgescheiden uit het digestaat als bemesting wordt er telkens een klein beetje organische stof toegevoegd aan het water. De afbraak hiervan kost zuurstof, en dit moet gecompenseerd worden door zuurstof toe te voegen in het water. Door anaerobe omstandigheden in het water worden allerlei giftige verbindingen gevormd, zoals nitriet en sulfiet (Schuurman, 2014). Dit kan leiden tot een flinke reductie van de groei en tot een crash van de teelt, waarbij er dood rottend kroos op het water drijft en flinke algengroei plaatsvindt. Tijdens het voorjaar 2015 bleek het zuurstofgehalte van het water onvoldoende te zijn. Dit is verholpen door een extra dompelpomp en bellenbeluchters te plaatsen, die zorgden voor voldoende zuurstof in de kroosvijver. Ook een sproeier en roerder brachten veel zuurstof in het water. Na een kleine dip in de productie was het oppervlak snel weer bedekt met fris kroos.

Kroosdichtheid en oogst

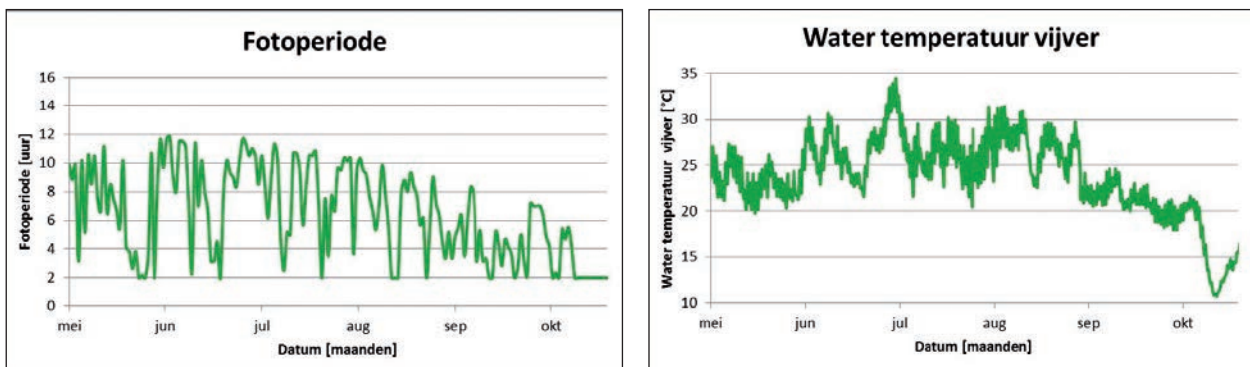
Tijdens het groeiseizoen is gestreefd naar een optimale kroosdichtheid op de vijver van 400-1.000 gram vers gewicht/m². Dit verschilt per kroossoort. Op plaatsen waar het kroos stapelt, kan tot wel 2.000 gram vers/m² drijven. Vuistregel is dat voor een optimale benutting van het inkomende zonlicht, het gehele oppervlak bedekt moet zijn. Stapeling van kroos moet echter worden vermeden, om afsterving te voorkomen.

In de praktijk is meestal geoogst op het moment dat het kroos op enkele plaatsen begon te stapelen. Oogsten is tot augustus 2015 gedaan met een schepnet. Daarna is het oogsten gemechaniseerd door middel van een langzaam draaiende zeefband. Dit bleek goed te werken. De timing van de oogst is eenvoudig te realiseren door met sensoren de bladgroendichtheid te bepalen en bij een bepaalde band-

breedte de oogst te starten/stoppen. Door het kroos na de oogst nog enkele uren op de vloer of op een rooster te laten uitlekken, werd het aanhangende water zoveel mogelijk verwijderd. Het geogste kroos is dagvers door het rantsoen van de kalveren gemengd. Het aandeel droge stof is bepaald met behulp van een infrarooddroger bij 105 °C. Dit varieerde van circa 5 tot 7% van het verse gewicht.

Resultaten

Er is in 2015 in totaal 14.430 kg vers eendenkroos geogst. Dit komt neer op 11.480 kg DS per ha. Omdat de andere groeifactoren (CO₂, nutriënten en pH) niet limiterend zijn, zijn alleen metingen verricht aan de duur en intensiteit van de zoninstraling (vlak boven het kroos) en de watertemperatuur (vlak onder het kroos). Gedurende de maanden mei tot en met oktober zijn de watertemperatuur en de zoninstraling continu gemeten. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande figuur 3.



Figuur 3: Gemeten fotoperiode en watertemperatuur van de kroosvijver voor de maanden mei tot en met oktober 2015. De optima voor de fotoperiode en watertemperatuur zijn respectievelijk 13 [uur] en 26 [°C].

Uit bovenstaande figuur 3 blijkt dat de fotoperiode nooit boven het verzadigingsniveau van 13 uur is gekomen. Dit betekent dat licht een beperkende factor is geweest. Verder is te zien dat het water in de vijver gedurende de zomermaanden effectief is gekoeld door middel van de vernevelingsinstallatie. Hierdoor is afsterving van het eendenkroos door oververhitting voorkomen.

In de periode van zuurstofgebrek in mei en juni 2015 is de dominante kroossoort in de vijver onder invloed van de hoge temperaturen veranderd van Lemna Minor naar Spirodela sp. In de literatuur is niet veel bekend over het effect van zuurstofgebrek bij verschillende eendenkroossoorten. Wel komt hieruit naar voren dat Spirodela sp. beter bestand is tegen extreme temperaturen.

Homogeniteit kroosdek

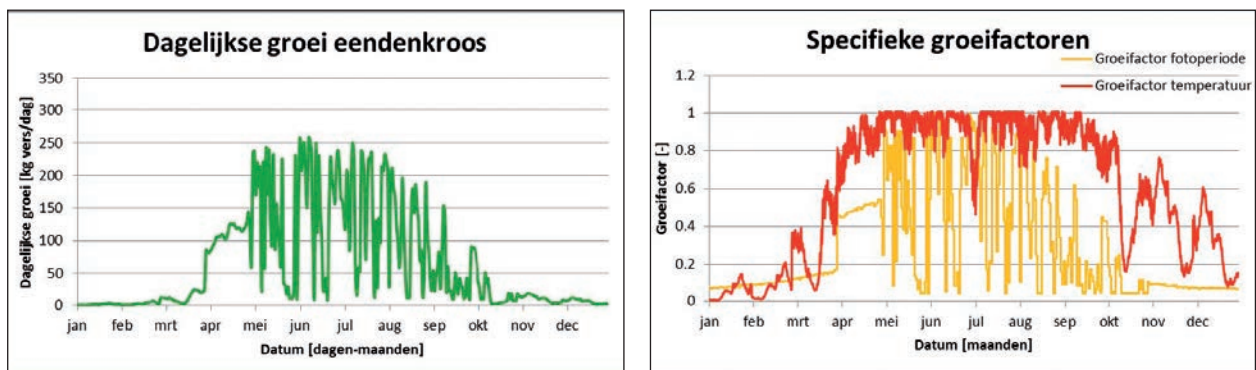
Uit metingen bleek dat de verdeling van het eendenkroos over het vijveroppervlak niet homogeen was (met een gemiddelde kroosdichtheid van 350 g vers/m² en een standaarddeviatie van 50 g vers m²). Het ontwerp van de vijver is dus niet optimaal – zo hoopt het kroos zich op voor de bochten in de vijver en wordt het kroos dicht bij de pompen uit elkaar getrokken door de stroming. De ongelijke verdeling van het kroos over de vijver maakt het ook moeilijk om het juiste oogsttijdstip te bepalen.

Modelberekeningen

De continu gemeten watertemperatuur in en lichtintensiteit rond de

eendenkroosvijver in Uddel, zijn de belangrijkste inputvariabelen voor het dynamisch groeiemodel van eendenkroos (Van den Top, 2014). Het model komt op basis van metingen van deze groeifactoren uit op een productie van 23.160 kg vers kroos. Dit resulteert omgerekend in een drogestofopbrengst van 18.420 kg/DS/ha. Dit terwijl in 2015 een daadwerkelijke opbrengst is gerealiseerd van 11.480 kg DS/ha. Kortom, de eendenkroosproductie in het model ligt 60% hoger dan de daadwerkelijke productie. Factoren die daarbij een rol spelen, zijn de zomerdip in productie, de niet-homogene verdeling van het kroos over de vijver en de wijze waarop de variërende zoninstraling is meegenomen in de berekeningen. Voor een nadere onderbouwing, zie Hoofdstuk 2. Dit betekent dat er mogelijkheden zijn om door verbeterd management, een hogere productie te realiseren.

Daarnaast zijn er ook specifieke groeifactoren die ertoe hebben geleid dat de groei van het kroos gedurende 2015 niet optimaal was (zie onderstaande figuur 4).



De uitkomsten van het model en de praktijkmetingen laten zien dat in de maanden januari, februari, maart, oktober, november en december, de groei van eendenkroos stagneert. Deze stagnatie wordt vooral veroorzaakt door het tekort aan licht. De figuur laat ook zien dat in de maanden november en december, de watertemperatuur nog relatief hoog ligt. Dit resulteert echter niet in meer groei. Dit komt omdat in het late najaar, (de korte periode van daglicht met een lage lichtintensiteit de groei van eendenkroos limiteert.

Lessen

Na een jaar van intensief meten en managen van de eendenkroosteelt, zijn er veel inzichten opgedaan over hoe eendenkroosteelt eruit moet zien. De meest noodzakelijke aanpassing van het huidige teeltsysteem is het verbeteren van de belichting van het eendenkroos. De fotoperiode, en dus de hoeveelheid licht die beschikbaar is voor het eendenkroos, is sterk limiterend. De lichtdoorlaatbaarheid van het polycarbonaatdak is 76%, terwijl dit bij de nieuwste kasdekken rond de 90% ligt. Verder overschaduwde de dichte nok van de huidige constructie, een significant oppervlakte van het kroosdek. Door de keuze van een ander kasdek en een andere dakconstructie, kan de lichtopbrengst van 70% naar 90% worden verhoogd.

Een andere optie is het toevoegen van een lichtbron. Het model geeft aan dat onder ideale lichtomstandigheden en zonder dat andere groeifactoren beperkend zijn, de eendenkroosproductie kan oplopen tot

Figuur 4: Dagelijkse groei van eendenkroos en de waarde van de specifieke groeifactoren licht en temperatuur in 2015. Een groeifactor is limiterend bij een waarde <1.

50.000 kg DS. ha⁻¹. Of het toevoegen van kunstmatige verlichting economisch verantwoord is, hangt af van de waarde van het eendenkroos.

Daarnaast zijn ook de waterverversing en de bemesting voor verbetering vatbaar. De vijver had dode hoeken waar vrijwel geen stroming was en er ook weinig kroos groeide. Afronding van de hoeken kan dit probleem elimineren. Ook toepassing van een langzaam draaiend schoepenrad over de gehele breedte geeft een homogener stroming, en daarmee een betere uniformiteit in de kroosdichtheid.

De kroosdichtheid kan worden bepaald met behulp van reflectie- of bladgroenmetingen. Een oogstmachine gekoppeld aan deze parameters en het model kan dan bepalen hoeveel kroos geoogst moet worden om de optimale kroosdichtheid te waarborgen. Ten slotte is het ook mogelijk om de bemesting verder te optimaliseren. Een betere scheiding van het digestaat of het gebruik van zeer schone urine vermindert de aanvoer van organische stof, zodat er minder zuurstof in het water dient te worden gepompt. De nutriëntentoevoer moet geautomatiseerd plaatsvinden, zoals in de glastuinbouw. Dit zorgt voor minder schommelingen in de nutriëntenconcentratie.

***Best practice* kroosteelt op basis van ervaringen bij ECOFERM**

- Watertemperatuur 26 °C
 - Range 20-30 °C geeft hoge groei
 - Verwarming met dierwarmte
 - Nevelkoeling bij hoge temperaturen
- 13 uur lichtverzadiging per dag
 - Maximale lichttransmissie kasdek of buitenteelt voor directe zoninstraling
 - Belichten
- Volledig en homogeen bedekt wateroppervlak
 - 400-100 gram/m² afhankelijk van kroossoort
 - Schoepenrad voor homogene stroming
 - Geen dode hoeken
 - Automatische oogst op basis van bladgroendichtheid
 - Uitschakelen windinvloeden
- Zuurstofrijk teeltwater
 - Geen organische vervuiling
 - Beluchting op basis van DO %
- Optimale bemesting op basis van digestaat
 - Geen organische vervuiling
 - EC 1-1,5
 - pH 6-7
 - Bijsturen op basis van gewasopname
 - Homogene verdeling d.m.v. substraatunit
- CO₂-gehalte verhogen
 - Effect tot 1500 ppm

Onderzoek kroosteelt

Om flinke stappen te zetten in het verder optimaliseren van de kroosteelt en de inpassing in de bedrijfsvoering, is nader onderzoek nodig.

Het gaat daarbij om:

- Het effect van lichtintensiteit op de groei van eendenkroos;
- Het effect van oogstmanagement op de dichtheid en homogeniteit van het kroosdek;
- De mogelijkheden van veredeling van eendenkroos;
- De technische en economische haalbaarheid van een praktisch hanteerbaar teeltsysteem;
- Integratie van het ECOFERM-concept in de agrarische bedrijfsvoering.

Kroos als veevoer

Wat zijn de eigenschappen van het geteelde kroos als veevoer en hoe past dit in het rantsoen van rosé vleeskalveren? Dat is het onderwerp van Hoofdstuk 3. In september 2015 zijn monsters verse kroos genomen en ingevroren. Twee monsters zijn aangeboden aan Nutricontrol te Veghel voor analyses van de chemische samenstelling. Een verzamelmonster is aangeboden aan ILVO te Gent voor de analyse van de karakteristieken van de afbraak van kroos in de pens en de in vitro-verteerbaarheid van de energiecomponenten. Daarbij is de volledige samenstelling geanalyseerd: droge stof, ruw eiwit, ruw vet, ruwe celstof, ruw as, NDF en suiker. Tevens zijn mineralen geanalyseerd, de patronen voor vetzuren en aminozuren, alsmede enkele kenmerken die van belang zijn voor de voedselveiligheid

Vanwege de mogelijke risico's voor voedselveiligheid die bij algen in combinatie met gebruik van mestmineralen zijn beschreven (Van Liere et al, 2011), is een brede risicoanalyse opgesteld. Een eerste beoordeling van mogelijke risico's is gedaan aan de hand van inschattingen van experts.

Risico	Uitslag
Prionen en BSE	Aangenomen mag worden dat dit niet meer aan de orde is, omdat al enkele jaren geen nieuwe BSE-gevallen zijn opgetreden in Nederland en omdat BSE alleen bij oudere dieren voorkomt.
Virussen	Zolang het materiaal op eigen bedrijf blijft, heeft dit geen hoge prioriteit.
Hormonen	Dit risico is er ook niet omdat er geen hormonen toegepast worden.
Dioxine	Kan een risico zijn door toevoeging hulpstoffen en onjuiste droging.
Blauwalgen	Vorming van deze giftige soorten kan optreden in stilstaand water. Zolang de kroosvijver in beweging is, zal er geen gevaar zijn.
Resten diergeneesmiddelen	Dit risico lijkt niet hoog in dit scenario, zolang sprake is van normaal medicijngebruik.
Miltvuur	Laag risico, omdat deze ziekte niet voorkomt op het bedrijf. Wel wordt erop gewezen om te letten op dode ratten/muizen in mest.

De gehalten aan zware metalen liggen onder de detectiegrens, met uitzondering van het arseengehalte in een van de twee monsters. Maar ook dat resultaat ligt onder de norm voor GMP+. In geen van de monsters is Salmonella aangetroffen. Wel bleek het niveau entero-

bacteriën aan de hoge kant, zonder dat sprake is van een overschrijding van de grenzen.

Van alle verteerde voer in herkauwers wordt gemiddeld 70% in de pens afgebroken. Bacteriën produceren met name vluchtige vetzuren en microbieel eiwit, die in de pens c.q. de dunne darm worden verteerd, en voor de stofwisseling en voor de aanmaak van vlees en vet beschikbaar komen. Belangrijke nutriëntkenmerken voor groeiende herkauwers zijn de netto beschikbare energie (VEVI), darm verteerbaar eiwit (DVE), onbestendig eiwit (OEB), en fermenteerbare organische stof (FOS). Neutral detergent fiber (NDF) is belangrijk voor stabiliteit in de pens.

De variatie in de drie onderzochte monsters was aanleiding om voor rantsoenberekeningen een gemiddelde aan te houden voor kroos. De optimalisatie is uitgevoerd met een beperkt aantal nutriënten en een beperkt aantal grondstoffen.

De kroosmonsters bleken laag in drogestof gehalte. De onderzochte kroosmonsters bevatten meer eiwit en as in vergelijking met de literatuurgegevens voor kroos. De variatie binnen de monsters is ook beduidend. De gehalten aan NDF zijn lager. In vergelijking met vers gras bevat kroos twee keer meer eiwit in DS. Gras blijkt hoger in NDF. Vanwege het hoge stikstofgehalte in kroos, verdient het mogelijk aanbeveling om het gehalte nitraat te laten analyseren.

De aminozurenpatronen komen redelijk goed overeen met de verwachte gehalten uit de literatuur. Het aminozurenpatroon van kroos is vergelijkbaar met dat van vers gras, met uitzondering van het lage methionine-gehalte in krooseiwit. Niet uit te sluiten is dat dit komt door een tekort aan zwavel in het voedingsmedium, hoewel de wateranalyses in de kroosvijver hier niet op wijzen.

De vetzuren in kroos bestaan net als die van gras voor meer dan 60% uit linoleenzuur. Dit essentiële omega 3-vetzuur wordt echter voor meer dan 90% in de pens gehydrogeneerd. Het zal daarom in beperkte mate kunnen bijdragen aan een verrijking van vlees met omega 3. Linoleenzuur kan in de pens bijdragen aan een verlaging van methaanproductie en na omzettingen tot CLA² bijdragen aan efficiëntere vleesaanzet.

² CLA = *Conjugated Linoleic Acid*.

Kroos bevat vergeleken met vers gras, hoge gehalten aan calcium, fosfor en natrium. Een hoog fosforgehalte maakt het mogelijk om andere grondstoffen met lage fosforgehalten toe te passen. Omdat het gehalte van natrium en kalium hoog is, vraagt de elektrolytenbalans aandacht indien men tot hogere rantsoenaandelen wenst te gaan.

Van de sporenelementen is ijzer van speciaal belang voor kalveren. Om te voorkomen dat witveeskalveren een te rode vleeskleur krijgen, is het van belang om het ijzergehalte in het voer te matigen. Het hoge ijzergehalte in kroos maakt dat kroos niet geschikt is voor witveeskalveren.

Voor vleesvee wordt VEVl gebruikt als maat voor netto benutbare energie. Om kalveren snel en efficiënt te laten groeien, is een hoog VEVl-gehalte per kg DS van belang. VEVl-gehalten in kroos zijn

lager door het hogere gehalte van de anorganische stof (as). Het lage VEVI-gehalte in kroos maakt dat de inzetbaarheid beperkter wordt.

Krooseiwit is hoog in darm verteerbaar eiwit (DVE) en onbestendig eiwit (OEB). Een al te hoge OEB van het totaal rantsoen is nadelig voor de energiebenutting en gezondheid.

Van de nutriëntkosten in het rantsoen bestaat 65-70% uit kosten voor VEVI en voor 20 – 25% uit kosten voor darm verteerbare eiwitten. Vergeleken met vers gras, is het VEVI-gehalte in kroos beduidend lager, en is dus ook de voederwaarde van kroos lager. Dat komt voor een belangrijk deel door het hogere as-gehalte. Aan de andere kant is het RE- en DVE-gehalte hoger, waardoor eendenkroos in totaal op een vergelijkbare voederwaarde uitkomt in vergelijking met vers gras, en op een hogere voederwaarde dan kuilgras.

Door het opnemen van kroos in het voederrantsoen, daalt het gebruik van gras en soja in het rantsoen. Dit is gunstig voor de kosten van het rantsoen. Het gemiddelde ds-gehalte in het voer is wel een aandachtspunt. Om te zorgen voor voldoende energie tegenover het eiwitrijke kroos, wordt in rantsoenen met kroos wat meer suikerbietenpulp toegepast. Indien het kroos aan varkens (met name zeugen) zou worden gevoerd, is toevoeging van extra zetmeel niet nodig, waardoor het financiële voordeel van kroosvoeding bij deze sector groter is.

Economie

Op basis van de metingen verricht op het ECOFERM-bedrijf in Uddel en de ervaringen die tijdens het project zijn opgedaan, is een rekenmodel gemaakt waarmee de effecten doorgerekend zijn voor een virtueel bedrijf met 1.200 roséveleskalveren. Dit wordt beschreven in Hoofdstuk 4.

Op het ECOFERM-bedrijf is ervoor gekozen om 3 ha grasland te vervangen door eendenkroos. Om te kunnen profiteren van de warmteproductie en de CO₂-productie van de kalveren, is aangenomen dat het kroos in tunnelkassen wordt geteeld. Dit lijkt de goedkoopste optie om kroos als bedekte teelt te produceren, wat nodig is om optimaal te profiteren van warmte en CO₂ van de kalveren. De tunnelkassen hebben als bijkomend voordeel dat de wind geen vat heeft op het kroos, zodat het volledige wateroppervlak ook productief kan zijn. Een belangrijk nadeel van het gebruik van kassen zijn de investeringskosten. De mestproducten worden optimaal ingezet voor hergebruik van mineralen in de ruwvoederteelten, inclusief eendenkroos.

De diverse aspecten van de hierboven genoemde fictieve bedrijven zijn uitgewerkt, en de effecten van bedrijfsmaatregelen op de bedrijfsvoering zijn doorgerekend. Het gaat dan om de effecten op rantsoen, productie van eendenkroos, mineralen en mest, landbouwareaal en energie en broeikasgasemissies. Ook is een economische vergelijking opgenomen.

Bij de berekeningen is er gemakshalve van uitgegaan dat de productie van eendenkroos plaatsvindt gedurende zes maanden van het jaar, en dat de andere helft van het jaar geen kroos beschikbaar is (in werke-

lijkheid wordt er in het voor- en najaar nog enkele maanden een lagere productie gerealiseerd).

Via de scheiding van de mest in verschillende fracties, wordt in ECOFERM op de mestafzetkosten bespaard. Dit is een gevolg van een groter volume aan dierlijke mestproducten dat binnen het ECOFERM-bedrijf kan worden benut. Door de grote stikstofbehoefte van kroos, kan een beduidend grotere hoeveelheid stikstof – en daarmee urine dan wel dunne fractie – worden toegepast dan met maïs of gras het geval is. Naast het voordeel op basis van mestafzet, is er bij de toepassing van ECOFERM ook een bescheiden voordeel te boeken op kunstmestkosten.

Voor kroos zijn nog geen gebruiksnormen vastgesteld, en dit is in verband met de teelt in gesloten vijvers ook niet nodig. Nitraatuitspoeling is in deze teelt immers niet mogelijk. Kroos met een productie van 25 ton drogestof per ha en 43% ruw eiwit, heeft een grote behoefte aan stikstof en fosfaat. Het gewas kan tot wel vijfmaal meer fosfaat en tienmaal meer stikstof per hectare opnemen dan maïs. Bij een significant areaal is dat gunstig voor de recirculatie op het eigen bedrijf.

De voordelen van het ECOFERM-concept liggen ook in vermeden CO₂-emissies die tot waarde gebracht kunnen worden bij een functionerend ETS (Emission Trading System). Op het ECOFERM-bedrijf wordt op drie fronten een vermindering van de emissie van broeikasgassen behaald: door de geproduceerde duurzame elektriciteit, de benutting van de warmte en de vermeden broeikasgasemissies (methaan). Bij de huidige prijzen van CO₂-emissierechten zet dit echter niet veel zoden aan de dijk.

Door het toepassen van kroos in het rantsoen, kan enige besparing in de voerkosten worden bereikt. Bij het berekenen van de voederkwaliteit van kroos is uitgegaan van het vers (en dus nat) vervoederen van het product. Dit beperkt het aandeel kroos in het rantsoen. Verwacht mag worden dat door enige droging meer kroos kan worden toegepast, zodat ook de besparingen op de kosten van het rantsoen groter zijn. Uiteraard staan daar de kosten voor droging tegenover. Daarnaast zal een stijging van de sojaprijs een positief effect hebben op de besparingen met ECOFERM rantsoen.

De kosten voor aanleg van het teeltsysteem en het energieverbruik, zijn op dit moment te hoog om de ECOFERM economisch te laten renderen. Dit geldt ook voor de teelt van kroos in plastic tunnelkassen.

Hierbij moet worden aangetekend dat de grootschalige productie van eendenkroos geen gangbare techniek is. De kosten kunnen aanzienlijk worden verlaagd indien meer ontwikkelingskracht op de technologie gezet zou kunnen worden. Daarnaast zou het telen van eendenkroos in verouderde afgeschreven tuinbouwkassen, die niet meer geschikt zijn voor groenteproductie, een geheel ander beeld kunnen geven. Ook zou voor eendenkroos een andere, meer hoogwaardige markt in zicht kunnen komen als verse groente (waterlinzen) of als eiwitconcentraat

voor de food industrie. De teelt en markt van eendenkroos staan immers nog in de kinderschoenen.

Omdat in het ECOFERM-concept een flink aantal maatschappelijke doelen worden behaald – vermindering van mesttransport/minder voer- en mineralenimport/minder landgebruik in de tropen, waardoor minder vernietiging van regenwoud/sterke stijging van eiwitproductie per hectare (tot 10x hoger dan bij sojateelt)/circulaire bedrijfsvoering – verdient het overweging om voor duurzame Nederlandse eiwitproductie een vergelijkbaar stimuleringsbeleid te voeren als voor duurzame energie. Daarmee zou het verschil tussen kosten en opbrengsten tijdelijk te overbruggen zijn, totdat het teeltsysteem tot volle wasdom is gekomen.

Er zijn ook andere manieren om valorisatie te realiseren voor de CO₂ en warmte die de kalveren produceren. Gedacht kan worden aan de koppeling met een tuinbouwkas. De berekeningen wijzen uit dat de CO₂-emissies dan aanzienlijk verlaagd kunnen worden. Een volledige benutting van de warmte van de dieren, blijkt een compensatie van liefst 71-88% van de totale footprint van kalfsvlees op te leveren. Wellicht kunnen dan ook de nutriënten deels in de kas worden benut om de mestafzetkosten te beperken. Deze veelbelovende combinatie verdient het om nader te worden onderzocht.

Referenties

- Liere, J. van, G. Boosten, L. van Dijk, G. Hemke & A. Verschoor, 2011. *ECOFERM De kringloopboerderij*. InnovatieNetwerk, Utrecht. Rapport nr. 11.2.248, ISBN 978-90-5059-432-5
- Top, N. Van den, 2014. *Dynamic modelling of duckweed production on the first ECOFERM closed-cycle farm for rosé calves*. Bachelorthesis Biosystems Engineering. Wageningen University. Code YEi-80324.
- Smits, M.J.W. en V.G.M. Linderhof, 2015. *Circulaire economie in de landbouw – Een overzicht van concrete voorbeelden in Nederland*. WUR-publicatie nr. 486784.

I.

Beschrijving stromen

Kringloopboerderij

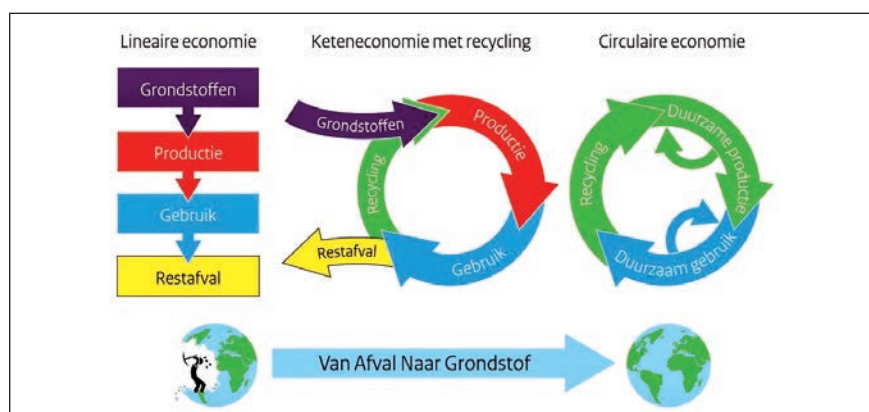
Kees Kroes en Co van Liere

I.1

Inleiding

De veehouderij produceert naast vlees, melk en eieren ook reststromen mest, urine, warmte, waterdamp, ammoniak en CO₂. Deze stoffen worden niet of niet optimaal benut, wat in economisch en ecologisch opzicht een verlies betekent. Daarom is Innovatie Agro & Natuur enkele jaren geleden gestart met de ontwikkeling van ECOFERM, de kringloopboerderij.

Bij ECOFERM worden afvalproducten van de intensieve veehouderij (mest, ammoniak, methaan, CO₂ en warmte) gebruikt voor de productie van algen, kroos, biogas, elektriciteit, warmte en schoon water. Kroos en algen zijn planten die snel groeien, continu te oogsten zijn en bovendien eiwitrijk. Door deze eigenschappen lijken ze bij uitstek geschikt voor de omzetting van reststromen uit de intensieve



Figuur 5: Ontwikkelingsfasen van afval naar grondstof (Bron: Ministerie van I&M, 2014).

veehouderij naar nuttige producten. Daarmee ontstaat een kringloop-bedrijf, waar minstens een deel van de restproducten wordt gerecycled. Dit is een belangrijke stap op weg naar een circulaire economie.

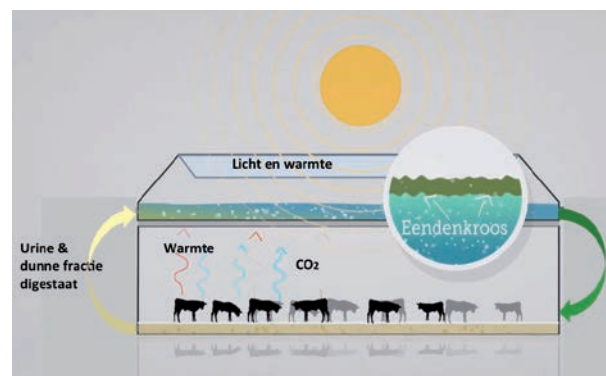
Een eerste beschrijving van het concept is in 2011 uitgebracht. In dat jaar zijn ook de eerste contacten gelegd met rosékalverhouder Kroes uit Uddel, die vergevorderde ideeën had voor het sluiten van kringlopen op zijn bedrijf.

De ECOFERM-kringloopboerderij is een kalverbedrijf met ruim 3.600 roséveleskalveren. Er is in 2013 een nieuwe stal bij de bestaande boerderij gebouwd voor 1.600 dieren waarbij:

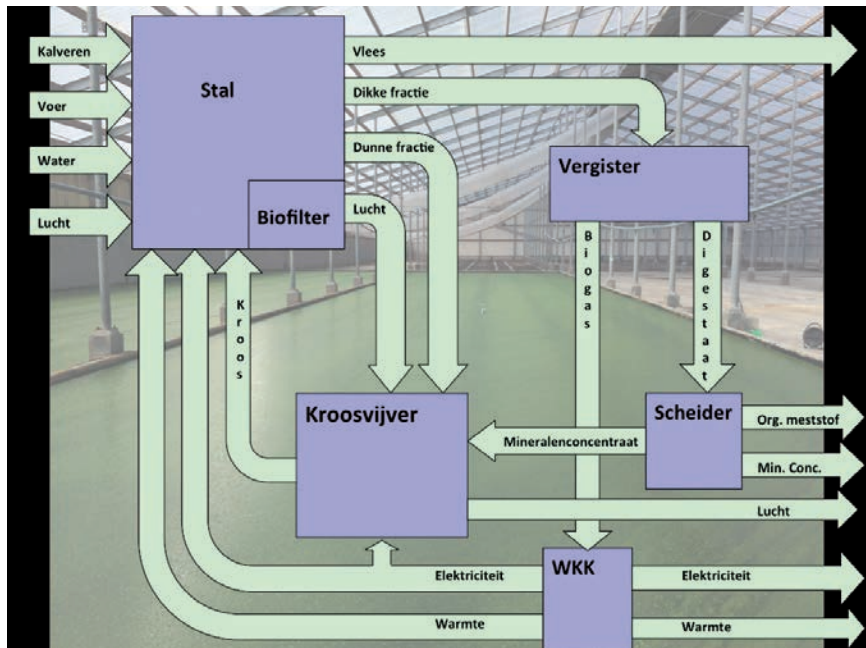
- De dikke fractie van de mest en de urine zoveel mogelijk gescheiden opgevangen worden onder de roosters, waardoor minder ammoniak vrijkomt.
- Boven de stal met kalveren een etage is gebouwd met een kas waarin een bassin van circa 4.000 m² voor de productie van eendenkroos is geconstrueerd.

Figuur 6 toont een luchtfoto van het bedrijf. De grote stal rechts op de foto is de nieuwe stal met kroosteelt en mestscheiding bij de bron. Figuur 7 geeft schematisch inzicht in de stromen en activiteiten op het bedrijf.

Figuur 6: Schema van de stal en de kas met de stromen van mest, urine en kroos als veevoer.



De dikke fractie van de 1.600 kalveren wordt gemengd met drijfmest van de overige 2.000 kalveren op het bedrijf, en gaat daarna naar een vergistingsinstallatie. De N-rijke en P-arme urine wordt zoveel mogelijk op het land uitgereden. De afgassen van de kalveren (CO₂, NH₃, waterdamp) gaan door een biologische luchtwasser met houtsnippers ter verlaging van het NH₃-gehalte. De vochtige, warme CO₂-rijke lucht gaat vervolgens naar de kas en stimuleert daar de productie van eendenkroos. Na het vergisten wordt de mest opnieuw gescheiden in een dikke en dunne fractie (digestaat). Binnen de normen van de mestwetgeving worden deze producten toegepast op het beschikbare land of elders afgezet. De dunne fractie is geschikt als meststof voor de teelt van eendenkroos. Eendenkroos heeft stikstof en fosfor nodig om te groeien en haalt dat uit de dunne fractie. Zo kan een deel van de mineralen en andere restproducten (CO₂, water, warmte) binnen het bedrijf opnieuw worden benut. Het eendenkroos is bovendien eiwitrijk veevoer dat andere eiwitbronnen kan vervangen (gras, soja). De vergisting van de dikke fractie levert gas op dat wordt verbrand en omgezet in warmte en elektriciteit. De elektriciteit wordt op het eigen bedrijf gebruikt en geleverd aan het net. De warmte wordt opgeslagen in een warmwatertank en gaat vervolgens naar een naastgelegen kalverbedrijf. De verschillende stromen zijn in het schema hieronder (figuur 7) weergegeven.



Figuur 7: Stroomdiagram van het ECOFERM kringloopstelsel: ingaande en uitgaande stromen en intern hergebruik.

1.2 Berekening van stromen op het bedrijf

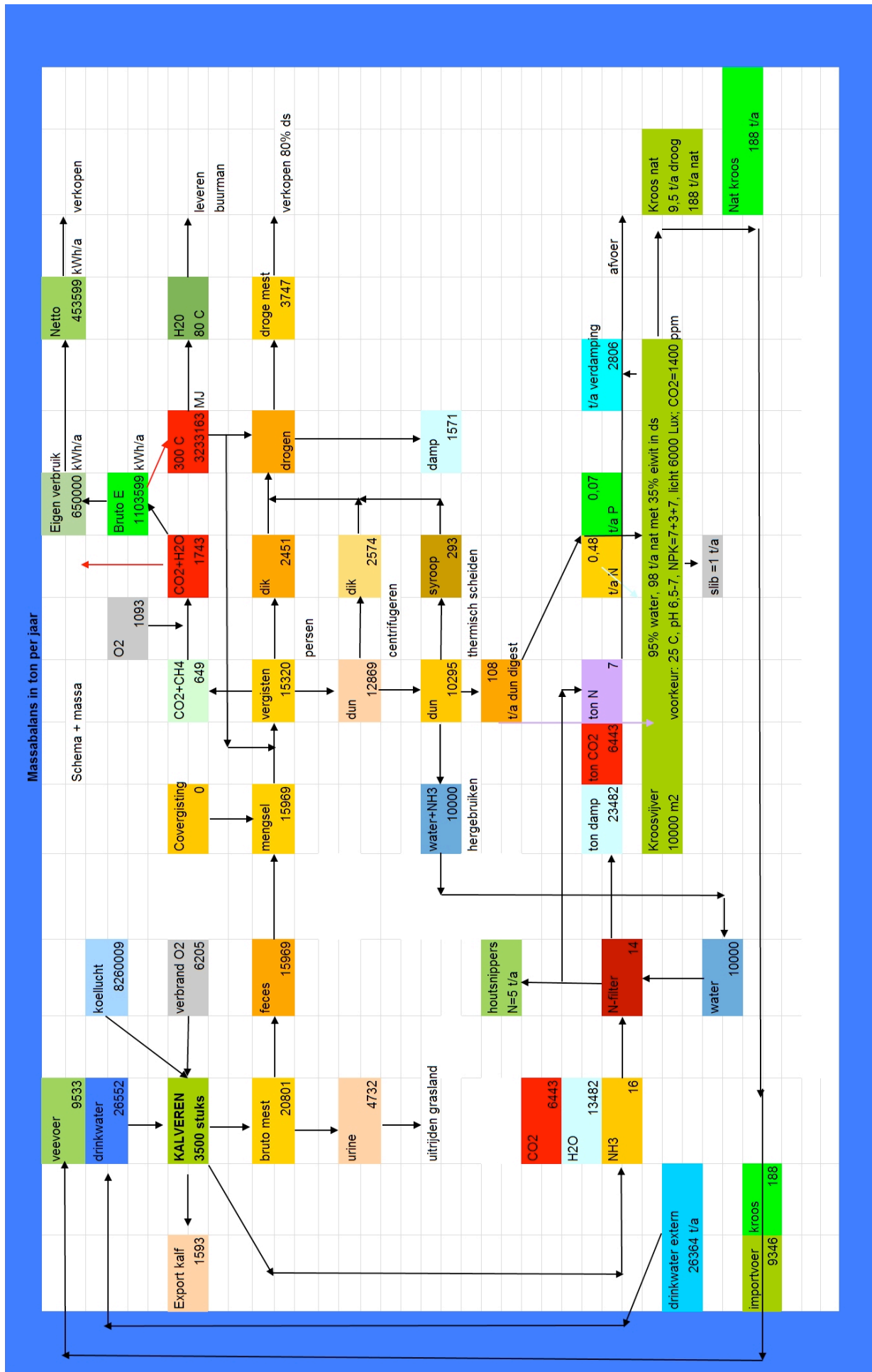
Dit hoofdstuk kwantificeert de diverse stromen op de boerderij aan de hand van metingen en berekeningen op het kringloopbedrijf (Figuur 8). De berekeningen zijn een benadering van de dagelijkse werkelijkheid op de boerderij. Het is de bedoeling om een zo nauwkeurig mogelijke analyse te geven van de boerderij, met een maximale afwijking van 20%.

1.2.1 Dieren

De kalveren worden aangekocht op een leeftijd van 10-12 weken. Het aantal kalveren op het bedrijf bedraagt maximaal 3.652 dieren met een doorlooptijd van 8 maanden. Daarna is er gemiddeld 2 weken leegstand, waarbij de stal wordt ontsmet. Het netto aantal dieren per jaar is dus $(351/365) \cdot 3.652$; dit is afgerond 3.500. Dit is de basis voor de berekeningen.

1.2.2 Voeding

Het voer van de kalveren bestaat uit een mix van grondstoffen. Berekend is een calorische waarde van 12,1 MJ/kg op basis van 68% droge stof. Dit komt veevoerkundig overeen met een gangbaar rantsoen met een benutbare energie-inhoud van 1.050-1.100 VEVI per kg droge stof. Meer informatie over de rantsoensamenstelling en de inpassing van verschillende voeders vindt u in Hoofdstuk 3 en 4 van dit rapport.

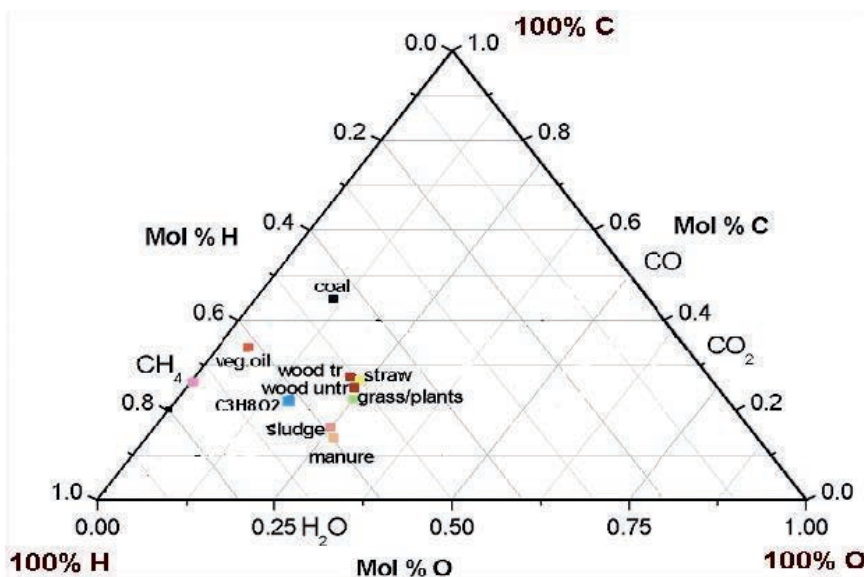


Figuur 8: Voorbeeld resultaten massabalansberekening ECOFERM-bedrijf.

1.2.3 Energieberekening

De gecompliceerde voersamenstelling laat zich moeilijk exact berekenen. Vandaar dat gekozen is voor een vereenvoudigde benadering waarbij de gemiddelde samenstelling van de elementen C, H en O is opgenomen in een ternair diagram (zie Figuur 9) als $C_3H_8O_2$. Dit diagram laat zien dat de diverse grondstoffen qua molaire verhouding tussen C, H en O dicht bij elkaar liggen, en dat $C_3H_8O_2$ de gemiddelde samenstelling benadert.

Deze samenstelling laat zich eenvoudig oxideren tot CO_2 en H_2O ($C_3H_8O_2 + 4O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$) en laat zich scheiden in de monovergister in de goede verhouding CH_4 en CO_2 ($C_3H_8O_2 = 2CH_4 + CO_2$). Voor de "vleesproductie" kan worden geschreven $C_3H_8O_2 + 3H_2O = C_3H_5OH + 4H_2O$, waarbij de groei wordt nagebootst op basis van voer met 3 eenheden water, wat een glycerolverbinding geeft met water. Uiteraard is kalfsvlees geen glycerol, maar deze vereenvoudigde reactie lijkt op de manier waarop vlees wordt gevormd uit glycogene energie in het darmstelsel. Het eindproduct van deze vereenvoudigde reactie heeft 55% water, en dat benadert het percentage water in kalfsvlees.



Figuur 9: Ternair diagram met diverse organische grondstoffen. Te zien is dat $C_3H_8O_2$ de gemiddelde samenstelling in atoomverhouding benadert.

1.2.4 Groei en mest

De kalveren groeien van een startgewicht van 110 kg naar 400 kg, met circa 1.300 gram groei per dag. Hoewel de groei van de kalveren centraal staat, gaat het merendeel van de voeding naar het op gang houden van de stofwisseling van de dieren: 60% van de energie wordt gebruikt voor warmte, arbeid en leven, 23% wordt uitgescheiden via de mest en 17% gaat naar de groei. Daartoe eten de 3.500 kalveren op het bedrijf gezamenlijk 27,2 ton voer per dag en drinken ze 75,8 ton water per dag. Per jaar is dit respectievelijk 9.533 ton voer en 26.552 ton water. In de berekening zijn de kalveren onderverdeeld in vijf

gewichtsklassen van elk 700 dieren, zodat verschillen tussen jonge en oudere dieren zichtbaar wordt (zie Tabel 2). Er wordt volgens de berekening 20.801 ton mest geproduceerd. Dat is 5,95 ton mest per kalverplaats per jaar.

Aantal kalveren	Gewicht (kg/stuk)	Drinken (ton/jaar)	Voer (ton/jaar)	Urine (ton/jaar)	Vaste mest (ton/jaar)	Totale mestproductie (ton/jaar)
700	139	2.895	1.165	2.056	466	2.522
700	197	4.103	1.536	2.853	475	3.328
700	255	5.310	1.907	3.711	487	4.198
700	313	6.518	2.277	4.570	417	4.987
700	371	7.726	2.648	5.428	338	5.766
3.500	255	26.552	9.533	18.618	2.183	20.801

Tabel 2: Onderverdeling van de kalveren in vijf gewichtsklassen van 700 dieren met bijbehorende (berekende) parameters.

1.2.5 Metabole warmte

Een dier houdt zich in leven door een fors deel van zijn voer om te zetten in metabole warmte. Hij doet dit door te ademen en daarbij zuurstof via zijn longen op te nemen voor de verbranding. Hierbij komen de verbrandingsgassen CO₂ en H₂O vrij en verlaten het dier. Dit proces is vergelijkbaar met de werking van een zuigermotor en kan via formules voor verdamping, straling en convection worden beschreven. Door de verbranding ontstaan warmteverliezen, die als volgt zijn weer te geven:

$$\text{Stralingswarmte: } Q/t = k \cdot A \cdot (T_{\text{warm}} - T_{\text{koud}}) / d \quad [1]$$

$$\text{Convectieverlies: } Q/t = e \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_{\text{warm}}^4 - T_{\text{koud}}^4) \quad [2]$$

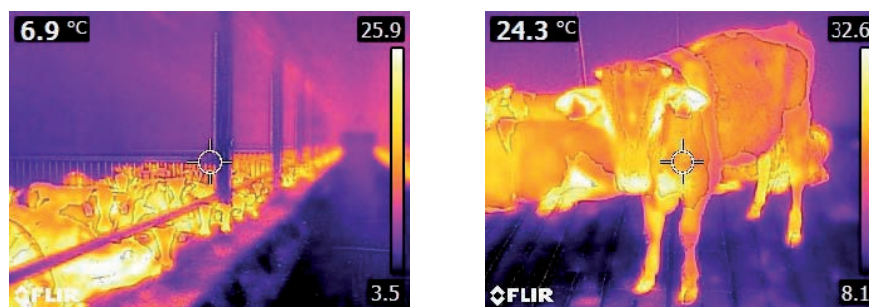
$$\text{Verdampingswarmte: } Q/t = (m \cdot L) / t \quad [3]$$

Het oppervlak per dier in de vijf gewichtscategorieën staat in de onderstaande Tabel 3 aangegeven, evenals de verdampings-, stralings- en convectiewarmte in Watt bij een omgevingstemperatuur van 20 °C. Dit totale warmteverlies (gemiddeld 507 Watt bij 20 °C voor de vijf categorieën) moet door voer worden aangevuld. De kleinste dieren hebben het kleinste oppervlak (166 dm²) en de laagste verliezen (275 Watt). De grootste dieren hebben het grootste oppervlak (444 dm²) en de hoogste verliezen (739 Watt). Bij een lagere omgevingstemperatuur (bijvoorbeeld 10 °C) zijn de warmteverliezen duidelijk groter dan bij 20 °C (als voorbeeld: 856 Watt bij 10 °C versus 740 Watt bij 20 °C). De dieren zullen bij lagere temperaturen in de winter dus meer moeten eten om warm te blijven.

Aantal kalveren	Dieroppervlak (dm ²)	Verdamping (Watt)	Straling (Watt)	Convectie (Watt)	Totaal (Watt)
700	166	80,9	178,7	15,1	274,7
700	236	121,4	253,3	21,4	396,1
700	305	141,6	327,9	27,7	497,2
700	375	188,8	402,5	34,0	625,3
700	444	222,6	477,0	40,3	739,9
Gemiddeld					506,6

In Figuur 10 zijn infraroodopnames (gemaakt met een FLIR E5 warmtebeeldcamera) van de kalveren in de stal te zien. De buitentemperatuur tijdens de opname was 0 °C. Duidelijk is dat de dieren veel warmte uitstralen, en daarmee hun omgeving verwarmen. De tussenwanden van de afdelingen in de stal hadden onder deze omstandigheden een temperatuur van 15 °C.

Tabel 3: Berekende warmteverliezen van de kalveren per gewichtscategorie.



Figuur 10: Infraroodopnames van de kalveren in de stal (januari 2016). Het getal linksboven geeft de oppervlaktetemperatuur weer van de stip in het midden. De kleurenbalk rechts geeft de temperatuurrange in de betreffende opname aan, met rechtsboven de maximum temperatuur en rechtsonder de minimum temperatuur.

Voor alle kalveren geldt dat het **totale warmteverlies** per jaar (in MJ), gedeeld door de calorische waarde van het veevoer, het totaal aan opgenomen voer weergeeft dat nodig is om de lichaamstemperatuur op peil te houden. Deze hoeveelheid bedraagt bij de calorische waarde van 12,1 MJ/kg voer 4.430 ton voer/jaar.

1.2.6 Andere arbeid


Het gaat bij de 3.652 kalveren dus om 4.430 ton voer per jaar voor het warm houden van de dieren. Alleen het warmteverlies in ruste is al 46% van de calorische waarde van het ingenomen voer. Behalve het lichaam warm houden, is er energie nodig voor de bewegingen van de dieren, zoals het eten, het liggen en opstaan. Daarnaast is er energie nodig voor het uitscheiden van de mest en voor het groeien. Tabel 4 is een weergave van wat er van het voer overblijft voor de groei. Er is van de aangeboden 9.533 ton/jaar voer 4.430 ton nodig voor warmte, 1.283 ton voor arbeid, 44 ton voor opwarmen van het drinkwater/voer, waarmee er in totaal 5.757 ton voer per jaar voor warmteproductie wordt gebruikt. De onverteerde voerrestanten in de mest nemen 2.183 ton voer per jaar op, zodat slechts 1.593 ton voer per jaar werkelijk beschikbaar is voor groei van de dieren.

Aantal kalveren	Metabole warmte (ton/jaar)	Arbeid/beweging (ton/jaar)	Opwarmen water/voer (ton/jaar)	Totaal warmte (ton/jaar)	Onverteerd in mest (ton/jaar)	Resterend voor groei (ton/jaar)
700	480	40	5	526	466	174
700	693	115	7	814	475	246
700	869	223	9	1.101	487	319
700	1.093	365	11	1.469	417	391
700	1.294	540	13	1.847	338	464
Totaal voor 3500 kalveren	4.430	1.283	44	5.757	2.183	1.593

Tabel 4: Voer nodig voor verschillende functies.

1.2.7 Uitlaatgassen

Het voer wordt geoxideerd door zuurstof dat via de longen van het dier aangevoerd wordt, en daaruit ontstaan CO₂ en H₂O. De jaarlijkse 9.533 ton voer maakt met 6.205 ton zuurstof uit de lucht (verkregen uit in totaal 29.549 ton verbrandingslucht) 6.494 ton CO₂ en 6.773 ton H₂O. De hoeveelheid waterdamp in de stal wordt afhankelijk van de luchtvochtigheid van de koellucht nog aanmerkelijk groter en verdubbelt vrijwel in dit voorbeeld omdat de hoeveelheid koellucht 6.703 ton waterdamp bevat. Het totale overzichtsplaatje ziet er dan uit als in Tabel 5:

Ingaande stroom	Hoeveelheid (ton/jaar)	3.500 kalveren	Uitgaande stroom	Hoeveelheid (ton/jaar)
Vochtig voer	9.533		Ventilatie-lucht	698.5968
Drinkwater	26.552		CO ₂	6.494
Verbrandingslucht	29.549		Waterdamp	6.773
Koellucht	698.2654		Methaan	37
			Ammoniak	24
			Mest	20.694
		Warmte: 44.596.577 (MJ/jaar)	Vlees	1.593

Tabel 5: Massabalans voor een bedrijf met 3.500 kalveren.

Op het ECOFERM-bedrijf wordt de methaanvorming in de nieuwe stal grotendeels (naar schatting 80%) voorkomen door dagverse mestverwijdering richting mestvergister. De warmte van de dieren is gebruikt om de groei van eendenkroos te stimuleren. Daarnaast is er minder ammoniak ontstaan door de primaire mestscheiding en is circa 70% van de ammoniak uit ventilatielucht afgevangen (herbruikbaar als kunstmestvervanger). Er wordt een groter deel van de stikstof en fosfaat uit de mest op het eigen bedrijf geplaatst. Dit is voor het modelbedrijf in Hoofdstuk 4 verder uitgewerkt.

1.2.8 CO₂-productie en -opname

De hoeveelheid CO₂ uit de adem van de dieren bedraagt 6.443 ton/jaar. Omgerekend is dit 998 ppm. De ingaande koellucht heeft normaal circa 365 ppm, maar uit metingen rondom de stallen blijkt dat de uitlaatlucht (boven de stal) van de 3.500 dieren en de gasturbinen, de omgevingslucht ook bij de inlaat van de stal (op maaiveldniveau) met CO₂ bezwangeren. Het CO₂-gehalte buiten de stallen bedroeg bij metingen in 2014 circa 450 tot 545 ppm, afhankelijk van windsnelheid en windrichting. Nemen we het gemiddelde getal (496 ppm), dan is de berekende hoeveelheid CO₂ in de ventilatielucht in totaal 998 + 496 = 1.494 ppm. Als de hoeveelheid lucht afhankelijk van de temperatuur in de stal wordt verlaagd of verhoogd, kan het CO₂-percentage nog aanzienlijk dalen of stijgen. De stallucht wordt met ventilatoren uit de stal gezogen en deels over de krooszolder geblazen. De gemeten waarden in 2015 op de krooszolder variëren van 1.500-2.100 ppm, wat overeenkomt met de berekende waarden. Het lijkt er dus op dat het rekenmodel een goede inschatting van de CO₂-productie geeft (6.494 ton/jaar). Een hectare eendenkroos met 25 t/ha/a kan ruim 30 ton CO₂ per jaar opnemen. Er wordt 29 ton/ha/a aan zuurstof geproduceerd. Daarmee is slechts een klein deel van de CO₂ benutbaar in de kroosteelt.

1.2.9 Koellucht en NH₃

De hoeveelheid koellucht voor 3.652 kalveren is enorm. Afhankelijk van de delta-T over de stal, varieert deze van 277.000 m³ per uur bij een delta-T van 20 °C tot 736.000 m³ per uur bij een delta-T van 7 °C. Bij een delta-T van 7 °C over de stal (opgave zomerperiode Kroes) gaat het om 8.260.000 ton lucht per jaar. Bij een delta-T van 7 °C zorgt de warmte van de dieren (53.620.000 MJ/jaar = 6.653.000 kJ/uur) voor 942.000 kg lucht per uur. Bij een soortelijk gewicht van 1,28 kg/m³ is het luchtdebiet dus 736.659 m³ per uur. In de stal betekent dit een luchtsnelheid van 70 m/uur (=0,02 m/sec).

1.2.10 Mestbehandeling

Op het kalverbedrijf zijn bestaande stallen aanwezig, waar drijfmest onder de dieren wordt opgeslagen. De nieuwe stal met 1.600 dieren scheidt de urine van de overige mest door middel van een mestschuif in combinatie met een hellende putvloer. Het scheidingspercentage ligt rond de 50/50 voor feces en urine. Het betreft 4.789 ton urine met fecesbesmetting per jaar. Op basis van mestmonsters uit de afgelopen jaren, variëren de gehalten van 0,7-1 g/kg P₂O₅ en 3-4,5 g/kg N in de urine bij circa 3-4% organische stof. De gehalten variëren afhankelijk van rantsoen, leeftijd en management. Deze fosfaatarme en stikstof- en kaliumrijke urine wordt op het eigen gras- en maïsland gebruikt en naar naburige akkerbouwers afgevoerd. De drijfmest plus

de feces geven samen 16.761 ton/jaar mest met een ds-gehalte van 12,8%. In werkelijkheid is dit iets minder omdat een deel van de mest zich in de stal omzet in CH_4 , CO_2 en NH_3 . De verliezen van NH_3 en CH_4 in de bestaande stallen door uitscheiding en door organische vergisting op vloeren en roosters, bedragen globaal 87 ton mest/jaar, met 37 ton CH_4 /jaar en 24 ton NH_3 /jaar. Voor de nieuwe stal zijn de verliezen laag vanwege de directe scheiding van urine en vaste mest en de dagverse mestverwijdering en afvoer van de laatste fractie richting vergister. De inschatting is dat er 80% minder CH_4 en 50% minder NH_3 ontstaat. In de praktijk is tot 30% extra biogas uit verse mest gehaald in vergelijking met oude mest uit de bestaande stallen.

De drijfmest uit de oude stal plus feces uit de nieuwe stal gaan gezamenlijk naar de monovergister. De samenstelling van het digestaat komt in de praktijk op circa 6-7 g/kg N en 2,5-3 g/kg P_2O_5 , en dat komt overeen met de resultaten van de spreadsheetberekening. Afhankelijk van de versheid van de vergiste mest, komt er minimaal 30 m³ biogas per ton mest beschikbaar, maar als de afvoer van de mest naar de vergister snel gaat, kan dat oplopen tot ruim 39 m³ per ton.

Het digestaat wordt gescheiden in 3.244 ton dikke fractie met 28% ds en een dunne fractie (12.846 ton) met 5% drogestof middels een schroefpers of centrifuge. De dikke fractie kan deels tot circa 60% drogestof worden ingedroogd met de overgebleven restwarmte uit de gasturbines. Met de afzet van het gedroogde product (circa 1.500 ton) voor exportdoeleinden kan aan de verplichte mestverwerking (35% van het fosfaatoverschot in de regio Oost in 2016) worden voldaan. De dunne fractie wordt afgevoerd naar naburige akkerbouwers.

In 2015 zijn diverse testen verricht om de dunne fractie thermisch of mechanisch (met membraandestillatie of ultrafiltratie) te scheiden in een gepasteuriseerd ammoniakwater (dat als schoon voedingsmedium voor kroosteelt kan dienen) en een gepasteuriseerd dik deel (een stroop) die door drogen nog verder kan worden ingedikt en verkocht. Deze testen zijn mede mogelijk gemaakt door de provincie Gelderland in het kader van het BICON-programma. Uit de testen blijkt dat het technisch mogelijk is om de dunne fractie met behulp van restwarmte verder te scheiden doordat het water door een membraan wordt gedreven. Maar de scheidingsinstallatie is nog erg storingsgevoelig en behoeft verdere ontwikkeling voordat deze marktrijp is. De leveranciers werken aan een robuuster systeem. De dunne fractie wordt nu daarom nog rechtstreeks op het land gebracht.

1.2.11 Gasproductie en elektriciteitsopwekking

Met 40% omzetting van de hoeveelheid organische stof, wordt in de spreadsheet 649 ton $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$ omgezet in twee delen CH_4 en één deel CO_2 . Met het molecuulgewicht van 76 voor $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$ betekent dit $2 \cdot (16/76) \cdot 649 = 273$ ton CH_4 die $(273 \cdot 1.000 \cdot 22,4) / 16 = 382.677$ m³

CH₄ oplevert. De verbrandingswaarde van methaan bij standaarddruk en -temperatuur is 35,8 MJ/m³, zodat voor verbranding in de gasturbines 13.699.844 MJ beschikbaar is. De gasturbines hebben een elektrisch rendement van 29% bij vollast, zodat de elektriciteitsopbrengst maximaal $0,29 \cdot 13.699.844 \cdot 0,277 = 1.103.599$ kWh bedraagt. De twee Capstone C65 turbines hebben een totaalvermogen van 130 kW, wat betekent dat ze bij volledige vergistingscapaciteit $1.103.599/130=8.489$ uur per jaar draaien. Het aantal draaiuren van de gasturbines is hoog te noemen met $8.489/8.760 \cdot 100=96,9\%$ van de tijd. De turbines hebben in werkelijkheid regelmatig onderhoud nodig, en er zijn soms ook storingen in het systeem, waardoor het aantal draaiuren lager uitkomt. In de jaren 2014 en 2015 zijn er nog geregeld storingen geweest in de vergisting. Dit kan gaan om vastgelopen pompen, onvoldoende biologische stabiliteit en pieken in de zwavelconcentratie. De vergister heeft lange tijd op circa 60% capaciteit gedraaid om voldoende verblijftijd van de mest in de vergister te garanderen. Er is in 2015 netto circa 400.000 kWh elektriciteit met behulp van de vergister geproduceerd. Gaandeweg 2015 is de capaciteit langzaam opgevoerd tot circa 70% begin 2016. Verdere verhoging van de capaciteit kan bereikt worden door een kleine hoeveelheid co-vergistingsproducten naast mest te gebruiken, maar dit is niet altijd economisch aantrekkelijk.

Naast de elektriciteitsproductie wordt ook de restwarmte nuttig gebruikt. De warmte uit de uitlaatgassen (300 °C) wordt teruggewonnen en via een warmtenet naar de woonhuizen en een naburige kalverhouderij gebracht. Hier is dagelijks een grote hoeveelheid water van 85 °C nodig om de aanwezige witvleeskalveren van warme kalvermelk te kunnen voorzien. Door deze extra benutting stijgt het totaalrendement van de turbines tot circa 82%. Thermodynamisch is het rendement per definitie 100%, maar de laagwaardige warmte bij omgevingstemperatuur is zelden goed benutbaar. In dit geval echter levert de stralingswarmte via een open verbinding in het gebouw, de warmte aan de zolder waar het kroos groeit. Op deze manier kan ook de zeer laagwaardige warmte toch nog zinnig worden benut.

1.3 Elektriciteitsverbruik

1.3.1 Ventilatiegegevens

De kalveren hebben in de groeifase 1,5 m² hokruimte tot hun beschikking en in de afmestfase 1,8-2 m². Door de aanwezigheid van de voergang is er voor de ventilatie gerekend met 3 m² per kalf. Voor de ventilatie zijn er in de 5 van de 7 stallen ventilatoren aanwezig: 8 Stienen SGS-92T-D4S ventilatoren met 2,2 kW voor de nieuwe stal met biobed, een stal met 4 hoge druk Multifan 92 ventilatoren HD6D92-6PP-28 van 1,75 kW per 224 kalveren, en een stal met 8 Multifan 92 ventilatoren van 1,75 kW. Deze 3 stallen worden gefilterd door het biobed. Daarnaast zijn er twee stallen met elk 2 Multifan

ventilatoren HD6E92 van 0,76 kW per 224 kalveren. En twee stallen op het bedrijf hebben nog natuurlijke ventilatie. Voor de boerderij wordt berekend dat 27 ventilatoren met in totaal 46 kW opgesteld staan die bij 8.400 draaiuren per jaar 390.000 kWh verbruiken. Door de frequentieregeling is dit in werkelijkheid zo'n 20% lager.

1.3.2 Invloed van de seizoenen

Aangenomen wordt dat in het voorjaar, de zomer en de herfst, de buitentemperatuur 10-15 °C is en dat door de warmte van de dieren de temperatuur aan het eind van de stal maximaal 7 °C hoger is (17-22 °C). Het gemiddeld warmteverlies van de kalveren bij 20 °C is eerder al berekend op 507 Watt (507 J/sec). Onder deze condities is de vereiste luchtdebiet als boven omschreven. In de winter is de gemiddelde buitentemperatuur beduidend lager (2 °C), en om de eindtemperatuur op 20 °C te brengen, moet het luchtdebiet lager zijn. De kalveren geven bij gemiddeld 10 °C omgevingstemperatuur 589 Watt warmte af. Om de stal 18 °C in luchttemperatuur te laten stijgen, zou de ventilatie 334.256 m³ per uur moeten zijn (zie Tabel 6). De ventilatoren kunnen dan op deelcapaciteit draaien, waardoor het energieverbruik op het bedrijf flink daalt. Het CO₂-gehalte in de stallucht stijgt daardoor wel aanzienlijk.

Tabel 6: Ventilatiegegevens voor 3.500 kalveren bij ventilatie met een delta-T van 18 K.

$Q = C_p \cdot M \cdot \Delta T$		
C _p = 1 kJ/kg K	1	kJ/kg K
delta-T	18	K
Q	62.419.449	MJ/jaar
Q=	7.701.253	kJ/uur
Massa lucht	427.847	kg/uur
Soortelijk gewicht lucht	1,28	kg/m ³
Luchtdebiet	334.256	m ³ /uur
Staloppervlak	10.500	m ²
Luchtsnelheid	31,8	m/uur
Luchtsnelheid	0,009	m/sec
Lucht/jaar	3.747.943	ton/jaar
NH ₃ /jaar	24	ton/jaar
NH ₃ -concentratie	6,4	ppm

1.3.3 Energiebesparing middels ionisatie van de stallucht

De stallen worden geventileerd om een goede luchtkwaliteit in de stal te kunnen handhaven. In de zomer wordt vooral geventileerd om warmte of vocht af te voeren, maar in de koudere periodes kan de ventilatie lager worden ingesteld, waarmee elektriciteit kan worden bespaard en er minder warmteverliezen bij de kalveren zijn. Op dat moment wordt de luchtkwaliteit (geur/stof/ammoniak) bepalend voor de minimale hoeveelheid benodigde ventilatie.

In 2015 is een afdeling in de nieuwe stal (200 kalveren) voorzien van ionisatie met koolstofborstels om de ventilatiebehoefte te beperken, en daarmee het energieverbruik door het biobed omlaag te brengen. Uit metingen in oktober 2015 blijkt dat toepassing van ionisatie de concentratie van (fijn)stof reduceert. De concentratie ammoniak blijkt echter slechts beperkt te veranderen. Er is in het afzuigkanaal een stijging van de ammoniakconcentratie van 16% gemeten na uitschakeling van de ionisatie. Aangezien de (fijn)stofconcentraties in kalverenstallen relatief laag zijn (en dus niet limiterend voor luchtkwaliteit/geen aanleiding om meer te ventileren) maar ammoniakconcentraties relatief hoog, is het energiebesparend effect van ionisatie voor kalverhouders beperkt.

1.3.4 Andere stroomverbruikers

Behalve de ventilatoren gebruiken ook andere apparaten elektriciteit. Het gaat dan om het bewegen van de mestschuiven, de vergister en powerunit, de pompen en andere zaken die samenhangen met de kroosproductie. Het verbruik van de mestscheider wordt geschat op 1 kWh per ton mest; de vergister en powerunit (microturbines met compressor) op 10% van het opgewekte vermogen. De kroosproductie was nog gering in 2014, maar is in 2015 flink toegenomen (zie Hoofdstuk 2). Onderstaande Tabel 7 geeft een inschatting van de energieverbruiken in 2015.

	Draaiuren per jaar	Verbruik (kWh/jaar)
Ventilatie	8.400	312.000
Mestscheiding	7.500	20.700
Vergister en powerunit	8.400	40.000
Eendenkroosproductie	2.500	2.500
Totaal eigen verbruik boerderij		375.200

Tabel 7: Elektriciteitsverbruik voor 3.500 kalveren in de praktijk.

Met de elektriciteitsproductie van 400.000 kWh uit de vergisting, is het ECOFERM-bedrijf dus volledig zelfvoorzienend en kan nog circa 7% van de elektriciteit worden teruggeleverd aan het net.

1.4

Tot slot

Dit hoofdstuk geeft een indicatie van wat er zich op de kringloopboerderij afspeelt. Van de uitgaande stromen in Tabel 5 wordt op de kringloopboerderij een reductie van 80% op methaanvorming behaald in de nieuwe stal. Daarmee is de reductie op bedrijfsniveau circa 35%. Ammoniakvorming wordt door aangepast mestmanagement met 50% verminderd in de nieuwe stal, en daarna nog voor 70% uit de lucht verwijderd. De nieuwe stal heeft dus een reductie van de ammoniakuitstoot van 85%. De mestvergister voorziet in 107% van de eigen elektriciteitsbehoefte en produceert daarbij benutbare warmte die extern wordt gebruikt. Daarnaast worden de dierwarmte en CO₂ voor een klein deel benut om de groei van eendenkroos te bevorderen. Dit is in 2015 zeer beperkt geweest vanwege het beperkte oppervlak eendenkroos; bij een groter areaal kroos kan meer dierwarmte en CO₂ worden hergebruikt.

Door een combinatie van wijzigende factoren (voeraanpassing, warmteverliezen van de dieren door andere leeftijden en weersomstandigheden, ventilatieregime en functioneren vergister) kunnen de resultaten veranderen. Dit hoofdstuk geeft echter wel een indicatie van de processen die zich afspelen op het bedrijf en brengt de stromen kwantitatief in kaart. Dit biedt kansen om daar (op termijn) optimaal gebruik van te maken.

2.

Teelt en oogst van eendenkroos

Kees Kroes en Niek van den Top

Dit hoofdstuk beschrijft de teeltervaringen met eendenkroos op de krooszolder boven de kalveren. Deze ervaringen worden vergeleken met de uitkomsten van een dynamisch eendenkroosmodel van Van den Top (2014). Door middel van een aantal scenario's wordt zichtbaar wat de potentie is van de teelt van eendenkroos en waar nog verbeteringen mogelijk zijn om te komen tot een *best practice* kroosteelt. Tot slot worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

2.1

Methodiek

In 2014 is gestart met de eendenkroosteelt op de zolder van de nieuwe kalverstal. Deze zolder is voorzien van een kas van circa 4.400 m², die boven de kalverstal met 1.600 dieren is gebouwd. Het dak van de kas is grotendeels uitgevoerd in transparante polycarbonaat dakplaten. De warmte van de kalveren straalt uit naar de betonnen zoldervloer (=stalplafond), waardoor er sprake is van directe vloerverwarming. Daarnaast wordt (een deel van) de ventilatielucht van de kalveren over de zolder geleid, nadat deze in een biobed van ammoniak en stof is ontdaan. Het CO₂-gehalte op de zolder wordt daarmee sterk verhoogd. De dunne fractie van het digestaat uit de mestvergister bevat de nutriënten die nodig zijn voor de teelt. Dit wordt verdund met schoon bronwater om de juiste concentratie mineralen te krijgen. Restwarmte van de microturbines wordt elders benut en is dus niet beschikbaar voor de kroosteelt. Een vereenvoudigde weergave van de opzet is te zien in Hoofdstuk 1 (Figuur 7).

De teelt vond in 2014 plaats in de kas boven de stal in kleine bassins (50 m²) gemaakt van landbouwplastic. Er zijn op basis van de ervaringen en metingen, diverse aanpassingen gedaan in het teeltsysteem. Daarmee is de basis gelegd voor de kroosteelt in 2015. De belangrijk-

ste aanpassingen zijn het actief toevoegen van zuurstof in het water, betere pH-sturing, nevelkoeling en toevoegen van huminezuur als mineralenbuffer. De ervaringen zijn uitgebreid vastgelegd in het verslag “Kroosteelt 2014” in Bijlage 1. Er is in september 2014 een nieuw bassin gemaakt op de zolder met behulp van betonnen wandjes van 35 cm hoog. Hierdoor ontstond een kroosvijver van 880 m² met een waterdiepte van circa 25 cm. In de vijver zijn een beluchtingspomp en een dompelpomp geplaatst voor zuurstoftoediening, en op circa twee meter hoogte zijn 4 lijnen met nevelsproeiers geplaatst. De krooscultuur (mix van Lemna en Spirodela, verzameld uit een sloot) is in het najaar van 2014 in deze nieuwe opzet geënt en heeft hierin overwinterd. In de tweede helft van februari werd de eerste groei zichtbaar en vanaf maart 2015 is er eendenkroos geoogst. Het eendenkroos is telkens dagvers gevoederd aan de kalveren door opname in het gemengde rantsoen.

In 2015 is met het telen en oogsten van eendenkroos in deze opzet gewerkt van maart tot november. Er zijn frequent data verzameld van de teeltomstandigheden en de eendenkroosopbrengst. Met deze data zijn de technische resultaten van het afgelopen jaar geanalyseerd. Er is een eendenkroosgroeimodel ontwikkeld dat met deze data is gevalideerd.

Dit hoofdstuk beschrijft de gebruikte parameters en de toegepaste methodiek voor de uitgevoerde modelsimulaties op basis van de metingen in 2015.

2.2 Model parameters

De groei van eendenkroos wordt bepaald door vijf groeifactoren. Ten eerste de fotoperiode: dit is het aantal zonuren per dag waarin de lichtintensiteit van de zonnestraling boven de verzadigingsgrens ligt van 342 [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$] (Lasfar et al., 2007). De zonnestraling is gemeten door een LP PAR 01 sensor in de kas op 1 meter hoogte boven het kroos. De tweede groeifactor is de watertemperatuur tussen de wortels van het kroos. Deze temperatuur is gemeten met een TEP-102M, Pt1000 sensor, waarbij de sensor op de worteldiepte van het kroos is geplaatst. De volgende groeifactor is de pH van het water. De pH is door buffers constant gehouden op een niveau van 6, en daarom in het model ook als vaste waarde beschouwd. De laatste twee groeifactoren zijn het stikstof- en fosfaatgehalte [mg/L]. De stikstof- en fosfaatconcentratie in het water zijn geen gevoelige modelparameters, en zijn daarom niet continu gemeten (Van den Top, 2014). Het model neemt aan dat de nutriëntenconcentraties geen limiterende factoren zijn. De omschrijvingen van de bovengenoemde groeifactoren gelden voor het resterende deel van dit rapport.

Naast groeifactoren maakt het model ook gebruik van constante parameters. Deze zijn weergegeven in Tabel 8.

Parameter	Waarde	Eenheid	Beschrijving
T_op	26	[°C]	Optimale temperatuur voor eendenkroos
pH_op	6.2	[-]	Optimale pH voor eendenkroos
E_op	13	[uur]	Optimale fotoperiode
min_per	2	[uur]	Minimale fotoperiode
I_max	342	[$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$]	Verzadigingslichtintensiteit
I_extra	2	[uur]	Extra fotoperiode per dag
K_p	0.31	[mg/L]	Verzadigingsconstante voor fosfaat
K_ip	101	[mg/L]	Maximale concentratie constante voor fosfaat
K_n	0.95	[mg/L]	Verzadigingsconstante voor stikstof
K_in	604	[mg/L]	Maximale concentratie constante voor stikstof
C_p	5	[mg/L]	Fosfaatconcentratie (stabiel)
C_n	10	[mg/L]	Stikstofconcentratie (stabiel)
D_0	30	[g DS/m ²]	Begin dichtheid kroosdek
D_1	88.5	[g DS/m ²]	Bovenlimiet dichtheid kroosdek
D_oogst	45	[g DS/m ²]	Oogstdichtheid kroosdek
rdroogver	0.07	[-]	Ratio tussen vers en droog gewicht
Oppvijver	880	[m ²]	Oppervlakte eendenkroosvijver

Tabel 8: Relevante modelparameters, toegepast tijdens simulaties.

Voor de simulaties van het dynamische eendenkroosmodel (Van den Top, 2014) zijn ook data nodig van de groeiomstandigheden van de kas. Gedurende de maanden mei tot en met oktober zijn de groeiomstandigheden continu in kaart gebracht. Voor het model zijn de fotoperiode en de watertemperatuur relevant. In de maanden november tot april zijn deze data niet verzameld. De fotoperiode- en watertemperatuurdata zijn gebaseerd op de zonnestralingsdata uit Van den Top (2014) en temperatuurdata van weerstation Haaksbergen (Haaksbergen, 2015). Hierdoor weerspiegelen de data niet de exacte groeiomstandigheden, maar wel de trend van het jaar 2015.

2.3 Resultaten en teeltoervaringen 2015

Deze paragraaf beschrijft de resultaten en de teeltoervaringen van de eendenkroosteelt in 2015. Er is veel informatie beschikbaar over het theoretisch groeipotentieel van eendenkroos, maar praktijkervaringen onder Nederlandse omstandigheden zijn nauwelijks gedocumenteerd. Vanaf het begin van het groeiseizoen zijn de volgende parameters continu gemeten: lichthoeveelheid PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], lucht- en watertemperatuur [°C], CO₂-concentratie [ppm] en de relatieve luchtvochtigheid [%]. De volgende parameters zijn handmatig gemeten gedu-

rende het groeiseizoen: EC-waarde, pH, O₂-gehalte van het water, DS-gehalte en vers gewicht geogst eendenkroos.

Hieronder wordt per parameter besproken welke doelwaarden gehanteerd zijn en welke maatregelen er zijn genomen om deze waarden te bereiken.

2.3.1 Lichtintensiteit

De lichtintensiteit is tijdens het groeiseizoen gemeten met een PAR sensor. Deze meet de hoeveelheid licht die de plant kan benutten voor fotosynthese. De gemeten eenheid is $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. In het teeltjaar is niet gewerkt met kunstmatige belichting. De lichtinstraling is daarmee direct afhankelijk van de hoeveelheid zonlicht en de gebouwweigenschappen (demping door polycarbonaat, schaduw van dakconstructie en zijwanden). Tijdens de warme maanden juni en juli is een deel van het teeltoppervlak afgeschermd met landbouwfolie (zie Figuur 11). Dit is echter niet gedaan om de lichtintensiteit te beperken, maar om oververhitting van het kroos te voorkomen. Uit het groeimodel blijkt dat 13 uur lichtverzadiging per dag de hoogste groei geeft en dat te weinig lichtinstraling de groei sterk kan beperken (Lasfar et al., 2007). In Figuur 2.6 is te zien dat dit aantal uren niet bereikt is (er is maximaal 12 uur lichtverzadiging gemeten). Het aantal uren licht per dag wordt onder meer beperkt door een suboptimaal gebouw. Vanwege welstandseisen is een deel van het dakoppervlak niet transparant uitgevoerd. Daarnaast is er schaduwwerking van spanten, gordingen en zijwanden (zie Figuur 11).

Figuur 11: Schaduwzeil en verneveling in warme zomermaanden.



2.3.2 Temperatuur

De watertemperatuur is gemeten in [°C] in de bovenste centimeters van het teeltwater. Dit is de wortel- en bladzone van het kroos. Daarnaast is de luchttemperatuur boven het wateroppervlak gemeten. Uit het groeimodel blijkt dat een watertemperatuur van 20 tot 30 [°C] de beste groei geeft, met het optimum op 26 [°C] (Lasfar et al., 2007).

Bij temperaturen van meer dan 35 [°C] kan het kroos snel afsterven, waarbij in de praktijk waargenomen is dat een soort uit het geslacht *Spirodela* (een eendenkroos) zich beter handhaaft bij hogere temperaturen.

Omdat de kroosvijver bovenop de kalverstal is gelegen, is er gedurende het hele jaar sprake van vloerverwarming door de dierwarmte. Meting met een warmtebeeldcamera in januari 2016 gaf bij een buitentemperatuur van 3 [°C], een staltemperatuur (tussenmuren) van 14 [°C] en een zoldervloertemperatuur van 12,5 [°C]. Deze verwarming vanaf onderen zorgt er in combinatie met de warmte-instraling van de zon voor dat de watertemperatuur van circa april tot oktober boven de 20 [°C] gehouden kon worden zonder verder bij te verwarmen (zie Figuur 16).

Tijdens de warmste maanden (juni en juli) kan de watertemperatuur te hoog oplopen door de instraling van warmte via zonlicht. Om dit te voorkomen, is er een nevelinstallatie boven de kroosvijver gemonteerd, die door een thermostaat ingeschakeld werd als de luchttemperatuur hoger dan 37 °C werd. Deze temperatuur komt in de praktijk overeen met een watertemperatuur van 33-35 °C. De nevelinstallatie vernevelt maximaal 3,6 m³ water per uur. Het meeste hiervan verdampt in de lucht (waardoor de temperatuur daalt), maar een deel regent neer in de vijver, waardoor het waterniveau te hoog wordt bij langdurig nevelen. Daarom is na enkele dagen de continue verneveling veranderd in een intervalverneveling. Hierbij werd telkens 30 seconden geneveld, waarna er 2 minuten niet werd geneveld. Met deze instelling steeg de temperatuur met 1-2 °C maar was het nog steeds mogelijk om de watertemperatuur op maximaal 35 °C te houden. Deze vernevelinstallatie werd gevoed met schoon bronwater op een druk van 2-3 bar. Daarnaast is er bij hoge buitentemperaturen een kwart van het teeltoppervlak beschaduwed door middel van landbouwplastic. De praktische uitvoering van deze beide maatregelen is te zien in voorgaande Figuur 11.

Ten slotte is ook de ventilatielucht uit de kalverstal (bevochtigd en dus afgekoeld in het biobed) op de zolder geblazen om voor voldoende luchtverversing te zorgen. Daarmee werd koele lucht aangevoerd en warme lucht afgevoerd.

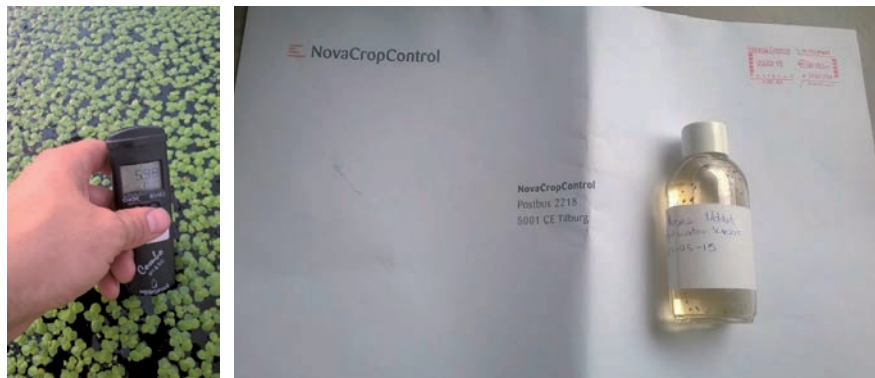
Samen hebben deze maatregelen de watertemperatuur het gehele jaar beneden de kritische grens van 35 [°C] gehouden (zie Figuur 2.6). In 2014 steeg zonder deze maatregelen, de luchttemperatuur tot 47°C en de watertemperatuur tot ruim 40 [°C]. Het maximale verkoelend effect van verneveling hangt af van de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Als deze bekend zijn, is in een Mollier diagram af te lezen tot welke temperatuur er gekoeld kan worden. In 2015 is door de maatregelen de temperatuur een groot deel van de tijd zelfs onder 30 °C gebleven, waardoor de kroosgroei gestimuleerd is.

2.3.3 Bemesting

Met betrekking tot de bemesting van het kroos zijn geregeld de EC-waarde en pH van het water gemeten. De EC-waarde geeft op basis van de geleidbaarheid van het water, de totale hoeveelheid opgeloste meststoffen aan, terwijl de pH-meter informatie verschaft over de zuurwaarde. Als doelwaarde is gekozen voor een pH tussen de 6-7. Dit komt overeen met een lichtzure tot neutrale toestand van het water. Bij pH-waarden hoger dan 7 kunnen problemen ontstaan met oplosbaarheid van onder andere fosfaat, en kunnen te hoge ammoniakconcentraties in het water (door verschuiving van het ammonium-ammoniakevenwicht) ontstaan. Dit kan de groei van het kroos belemmeren. Te lage pH-waardes kunnen de opname van andere nutriënten belemmeren (Schuurman, 2015). Tijdens de start van de krooskweek is ook huminezuur toegevoegd. Dit geeft een bufferende werking doordat het mineralen bindt, zodat lichte onbalans in mineralenaanbod wordt opgevangen. Met deze middelen is de pH meestal probleemloos binnen de optimale range gebleven. Af en toe is met een verzurende meststof (salpeterzuur/fosforzuur) bijgestuurd.

Voor de EC-waarde (Electric Conductivity/totale hoeveelheid zouten in het water) is als doel gekozen voor 1-1,5 mS/cm. Als basis voor de bemesting is gebruik gemaakt van dunne fractie van het digestaat. Op basis van de stikstof/fosfaatverhouding is dit een meststof waarmee een groot deel van de nutriëntenbehoefte ingevuld kan worden. Eens per maand is een monster uit de kroosvijver onderworpen aan een gietwateranalyse waarin de macronutriënten en sporenelementen onderzocht zijn (zie Figuur 12). Op basis van de uitslag is bijgestuurd met dunne fractie, losse kunstmeststoffen en sporen.

*Figuur 12: Links: EC/pH-meting.
Rechts: een watermonster voor analyse.*



2.3.4 CO₂-concentratie en de relatieve luchtvochtigheid

Uit de literatuur blijkt een significante productiestijging bij een hogere CO₂-concentratie (Landolt and Kandeler, 1987). Dit effect vlakt echter af bij hogere concentraties. Vanaf 1.500 [ppm] wordt geen positief effect meer waargenomen (Landolt and Kandeler, 1987). Door een gedeelte van de ventilatielucht uit de onderliggende stal over de vijver te blazen, kan de CO₂-concentratie tussen de 1.500 en 2.000 [ppm]

gehouden worden. Daarmee is deze parameter niet limiterend voor de kroosteelt (de concentratie in de atmosfeer is circa 400 [ppm]).

De relatieve luchtvochtigheid is niet actief beïnvloed tijdens de teelt. Gedurende de nachten koelt het af en kan de relatieve luchtvochtigheid oplopen tot 100%, waarbij er waterdamp condenseert tegen het dak en druppels in de vijver vallen. Gedurende de dag is de relatieve luchtvochtigheid weer lager, met name als de temperatuur omhoog gaat op zonnige dagen. Meestal schommelde de relatieve luchtvochtigheid (gemeten op 25 [cm] boven het wateroppervlak tussen 60 en 80%.

2.3.5 Zuurstofgehalte in de vijver

Stilstaand water kan snel zuurstofloos worden, met name als zich er organische deeltjes in bevinden. Daarnaast kan er minder zuurstof in water oplossen als de temperatuur stijgt (thermodynamisch principe). Bij gebruik van dunnefractiedigestaat als bemesting wordt er telkens een klein beetje organische stof toegevoegd aan het water. De afbraak hiervan kost zuurstof, en dit moet gecompenseerd worden door zuurstof toe te voegen in het water. Tijdens het voorjaar 2015 bleek het zuurstofgehalte van het water onvoldoende te zijn. Door de anaerobe omstandigheden in het water worden allerlei giftige verbindingen gevormd, zoals nitriet en sulfiet (Schoorman, 2015). Dit geeft een flinke reductie van de groei en resulteert zonder maatregelen in een crash van de teelt, waarbij er dood rottend kroos op het water drijft en flinke algengroei kan plaatsvinden (zie Figuur 13).



Figuur 13: Links: dood rottend kroos door anaerobe omstandigheden. Rechts: de gebruikte zuurstofmeter bij de teelt in Uddel.

Plaatsing van een extra dompelpomp en bellenbeluchters zorgde voor voldoende zuurstof in de kroosvijver. Ook een sproeier of roerwerk kan veel zuurstof in het water brengen. Binnen twee weken was het oppervlak weer bedekt met fris kroos. Het zuurstofgehalte werd gemeten met een DO (Dissolved Oxygen)-meter. De waarden kunnen fluctueren afhankelijk van de omstandigheden en het tijdstip op de dag, maar uit de ervaring blijkt dat er geen problemen zijn als het DO minimaal enkele procenten van de maximale opnamecapaciteit is. In onderstaande tabel staan de zuurstofmetingen. Tijdens de eerste meting (<1%) was er sprake van afstervend kroos.

Tabel 9: Meetwaarden zuurstofgehalte in de kroosvijver.

Datum	percentage zuurstof
9-6-2015	<1%
1-7-2015	25%
11-7-2015	74%
24-7-2015	53%
31-7-2015	42%
7-8-2015	54%
21-8-2015	50%
7-9-2015	73%
25-9-2015	85%
3-10-2015	77%

2.3.6 Kroosdichtheid en oogst

Tijdens het groeiseizoen is gestreefd naar een optimale kroosdichtheid op de vijver. Vanuit de literatuur zijn waarden van 400-1.000 gram vers/m² bekend (Frédéric et al., 2006). Dit verschilt per kroossoort en komt overeen met de gemeten waarden. Op plaatsen waar het kroos stapelt, kan tot wel 2.000 gram vers/m² drijven. Vuistregel is dat het gehele oppervlak bedekt moet zijn, zodat alle inkomend zonlicht wordt benut. Stapeling van kroos moet echter vermeden worden, om afsterving te voorkomen. In de praktijk is meestal geogst op het moment dat het kroos op enkele plaatsen begon te stapelen. Oogsten is tot augustus gedaan met een schepnet. In augustus is het oogsten gemechaniseerd door middel van een langzaam draaiende zeefband (zie Figuur 14). Deze bleek goed in staat om het kroos te oogsten. Automatisering van de oogst is eenvoudig te realiseren door met sensoren de bladgroendichtheid te bepalen en bij een bepaalde bandbreedte de oogst te starten/stoppen.



Figuur 14: Links en midden: oogst van eendenkroos met een eenvoudige zeefband. Rechts: de kroosdichtheid na oogsten.

Het geogste kroos is dagvers door het rantsoen van de kalveren gemengd. Het aandeel droge stof is bepaald met behulp van een infra-roodrooster bij 105 °C (zie Figuur 15). Dit varieerde van circa 5 tot 7% van het versgewicht. Door het kroos na de oogst nog enkele uren op

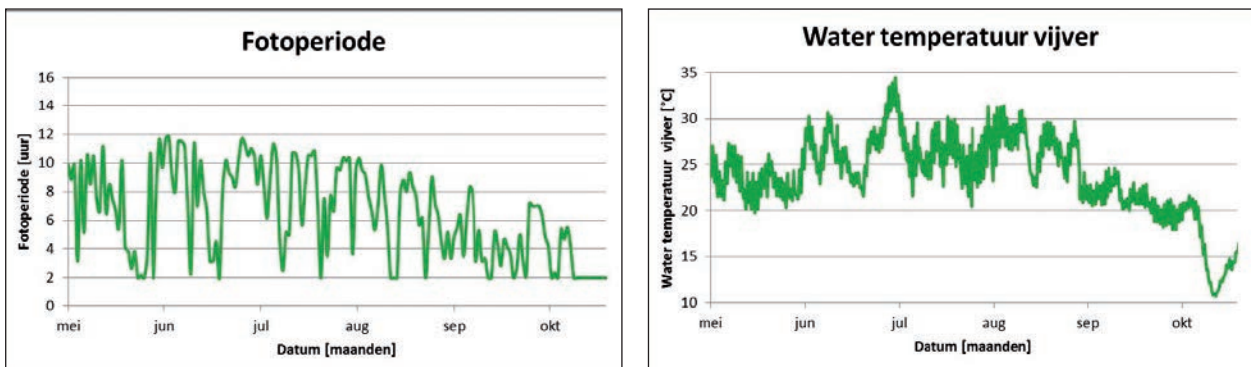
de vloer of op een rooster te laten uitlekken, wordt het aanhangende water zoveel mogelijk verwijderd.



Figuur 15: Drogestofbepaling en voederverwerking kroos.

2.4 Vergelijking meetdata en het groeimodel

Er is in 2015 in totaal 14.430 [kg vers] eendenkroos geoogst. Per hectare in droge stof komt dit neer op 11.480 [kg DS. ha⁻¹]. De belangrijkste groeifactoren zijn de watertemperatuur [°C] vlak onder het kroos en het aantal verzadigde zonuren vlak boven het kroos. Gedurende de maanden mei tot en met oktober zijn de watertemperatuur en de zinstraling continu gemeten. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 16.

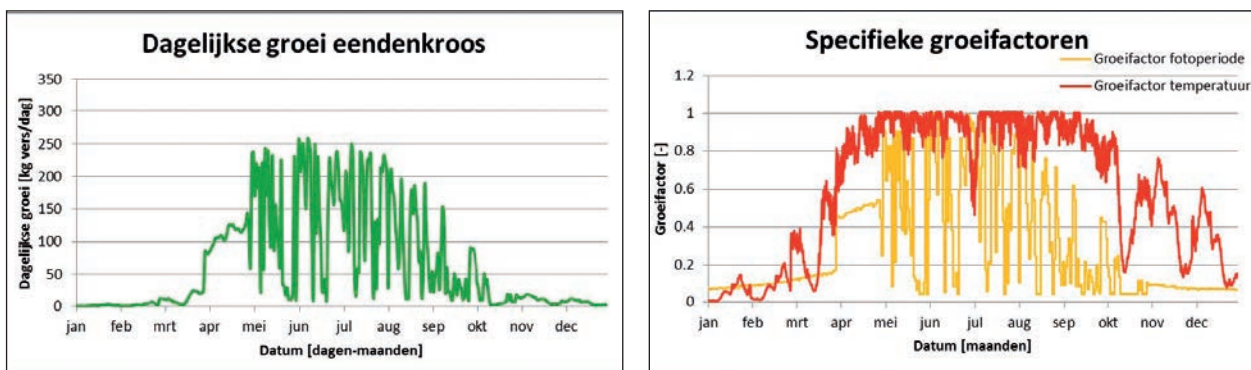


Het gemeten zonlicht kan gecategoriseerd worden in twee groepen: licht boven de verzadigingsintensiteit van 342 [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] (Lasfar et al., 2007) en licht onder de verzadigingsintensiteit. Omdat het licht onder de verzadigingsintensiteit wel resulteert in groei maar niet meetelt voor de fotoperiode, is er voor de fotoperiode een minimum van 2 uur gehanteerd. Verder blijkt uit Figuur 2.6 dat de fotoperiode nooit boven het verzadigingsniveau van 13 uur (Lasfar et al., 2007) is gekomen. Dit betekent dat straling een beperkende factor is geweest in 2015. De watertemperatuur was in mindere mate beperkend. Het water in de vijver is gedurende de zomermaanden gekoeld door middel van de vernevelingsinstallatie. Hierdoor is afsterving van het eendenkroos door oververhitting voorkomen.

Figuur 16: Gemeten fotoperiode en watertemperatuur van de kroosvijver voor de maanden mei tot en met oktober in 2015. De optima voor de fotoperiode en watertemperatuur zijn respectievelijk 13 [uur] en 26 [°C].

De continu gemeten watertemperatuur in en lichtintensiteit rond de eendenkroosvijver in Uddel, zijn de belangrijkste inputvariabelen voor het dynamisch groeimodel van eendenkroos (Van den Top, 2014). Op grond van deze data is het model gevalideerd. In het model zijn de groeifactoren lichtintensiteit $< 342 \text{ } [\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}]$ en het O_2 -gehalte van het water niet verwerkt. Deze paragraaf beschrijft de uitkomsten van het model op grond van de gemeten groeiomstandigheden van het afgelopen jaar.

Het model simuleert een jaarlijkse groei van eendenkroos van 23.160 kg vers in de kroosvijver in Uddel. Dit resulteert in een drogestofopbrengst van 18.420 kg drogestof per ha, terwijl in 2015 een daadwerkelijke opbrengst is gerealiseerd van 11.480 kg drogestof per ha. Kortom, de eendenkroosproductie in het model ligt 60% hoger dan de daadwerkelijke productie. Figuur 17 toont de dagelijkse groei en de limiterende groeifactoren gedurende een jaar.



Figuur 17: Dagelijkse groei eendenkroos visualiseert het groeiseizoen van eendenkroos. De analyse van de specifieke groeifactoren geeft een beeld van de limiterende factoren gedurende een jaar. Een groeifactor is limiterend bij een waarde < 1 .

De uitkomsten van het model en de praktijkmetingen laten zien dat de groei van eendenkroos stagneert in de maanden januari, februari, maart, oktober, november en december. Deze stagnatie wordt vooral veroorzaakt door het tekort aan straling. De groeifactor watertemperatuur laat duidelijk zien dat in de maanden november en december, de temperatuur nog relatief hoog ligt door het warme weer. Maar dit resulteert niet in meer groei, omdat in het late najaar de korte fotoperiode per dag met lage lichtintensiteit, de groei van eendenkroos limiteert.

2.5 Discussie model en daadwerkelijke oogst

De daadwerkelijke eendenkroosproductie van het afgelopen seizoen was 11.500 kg drogestof per ha. De simulatie van het model heeft 18.500 kg drogestof per ha als resultaat. Hoe is dit verschil te verklaren? In deze paragraaf willen we de belangrijkste factoren bespreken.

2.5.1 O₂-gehalte water

Een belangrijke reden voor het verschil tussen het model en de werkelijke groei is toe te rekenen aan de maanden mei en juni. De daadwerkelijke groei van eendenkroos werd belemmerd en stopte uiteindelijk abrupt door het gebrek aan O₂ in het water. Daardoor is in de maanden mei en juni weinig kroos geoogst. Als we naar Figuur 17 kijken, zien we dat het model de hoogste groei geeft in de maanden mei, juni en juli. Als in deze maanden het O₂-gehalte in het water optimaal was geweest, was het verschil met het model zeer vermoedelijk significant kleiner geweest. Het zuurstofgebrek is opgelost door pompen, beluchting en sproeiers in de vijver te plaatsen.

2.5.2 Verandering dominante eendenkroossoort

In de periode van zuurstofgebrek in mei en juni is de dominante kroossoort in de vijver onder invloed van de hoge temperaturen veranderd van Lemna Minor naar Spirodela sp. In de literatuur is niet veel bekend over het effect van zuurstofgebrek bij verschillende eendenkroossoorten. Wel komt hierin naar voren dat Spirodela sp. beter bestand zijn tegen extreme temperaturen dan Lemna sp. (Landolt and Kandeler, 1987). Dit kan betekenen dat Spirodela sp. een sterkere eendenkroos is. Het eendenkroosmodel is gebaseerd op eendenkroossoort Lemna Minor. De kroossoorten Spirodela sp. en Lemna Minor verschillen van elkaar in bepaalde eigenschappen. Zo is Spirodela sp. een grootbladig kroos en is de dichtheid van Spirodela lager dan die van Lemna Minor. Omdat we niet precies weten in welke opzichten beide soorten verder verschillen, is het model moeilijker te valideren.

2.5.3 Dichtheid kroosdek

In 2015 is op twee momenten de kroosdichtheid gemeten op verschillende plekken in de vijver (zie Figuur 18). Uit deze metingen bleek dat



Figuur 18: Kroosdichtheidsmeting met een frame van 1 [m²] en een schepnet.

de eendenkroosverdeling op de vijver niet homogeen was (met een gemiddelde kroosdichtheid van 350 g vers/m² en een standaarddeviatie van 50 g vers/m²). Het ontwerp van de vijver is dus niet optimaal; pompelpompen zorgen voor verschil in kroosdektheid. Het kroos hoopt zich op in de bochten van de vijver en wordt dichtbij de pompen uit elkaar getrokken. Deze variatie heeft tot gevolg dat de optimale kroosdichtheid niet in de gehele vijver bereikt kan worden, waardoor het kroos niet optimaal kan groeien. Hierdoor ontstaat een verschil in uitkomst tussen het model en de werkelijkheid, omdat het model wel uitgaat van een homogeen kroosdek.

2.5.4 Oogstmanagement

De ongelijke verdeling van het kroosdek heeft ook invloed op het oogstmanagement van het eendenkroos. Het moment van oogsten en de hoeveelheid te oogsten kroos kunnen worden gebaseerd op de groeiomstandigheden in de kas en de kroosdichtheid. Wanneer het kroos niet homogeen verdeeld is, kan het juiste moment van oogsten niet goed worden bepaald en moet het oogstmanagement door menselijk inzicht worden aangestuurd. Dit suboptimale oogstmanagement draagt ook bij aan het verschil tussen het model en de gemeten oogst. Ten slotte heeft dit oogstmanagement ook invloed op de modelvalidatie, omdat het geoogste kroos niet overeenkwam met de hoeveelheid kroos die op een bepaalde dag gegroeid was. Een oogst van bijvoorbeeld 200 kg vers/dag hoeft niet overeen te komen met de groei van die dag. In de aanbevelingen zal hier nog verder op worden ingegaan.

2.5.5 Kunstmatige klimaatdata

Een andere factor zijn de toegepaste data voor het model. Het datalogersysteem heeft alleen de maanden mei tot en met november gemeten. Om een jaarrondberekening te doen, waren data van het hele jaar nodig. Voor de resterende maanden zijn daarom “kunstmatige” data gecreëerd. Deze data zijn gebaseerd op het SEL-jaar (standaard Nederlands klimaat) en weerdata van weerstation Haaksbergen. Hierdoor kunnen verschillen ontstaan tussen de daadwerkelijke oogst en de oogst volgens het model. Dit verschil is echter beperkt omdat het de wintermaanden betreft, waarin nagenoeg geen eendenkroos groeide.

2.5.6 Nutriëntensamenstelling

Het toevoegen van nutriënten aan de eendenkroosvijver werd gestuurd op grond van de EC-waarde en de pH van het water. De EC-waarde is een waarde voor de totale hoeveelheid ionen in het water. Het model neemt aan dat de beschikbaarheid van nutriënten in het water geen limiterende factor is voor het kroos. De hoeveelheid beschikbare nutriënten voor het eendenkroos was in werkelijkheid niet constant en kan

ook bijdragen aan het verschil tussen model en werkelijkheid. We verwachten echter dat de nutriënten in het water geen grote negatieve invloed hebben gehad. De waarden zijn regelmatig geanalyseerd en de EC- en pH-waarde zijn redelijk binnen de marges gebleven gedurende het jaar.

2.6

Aanbevelingen voor een *best practice*

Na een jaar van intensief meten en managen van de eendenkroosteelt, is er veel geleerd en veel inzicht opgedaan over hoe eendenkroosteelt er in de toekomst uit moet zien. Veel parameters zijn effectief beheerst, maar voor een aantal zijn nog verbeteringen mogelijk. Deze paragraaf beschrijft een aantal aanpassingen voor het huidige teeltsysteem en geeft enkele aanbevelingen voor een *best practice*.

2.6.1

Licht

De belangrijkste aanpassing voor het huidige teeltsysteem is het verbeteren van de belichting van eendenkroos. Uit het model komt overduidelijk naar voren dat de fotoperiode, en dus de hoeveelheid licht die beschikbaar is voor het eendenkroos, limiterend is (zie Figuur 2.7). Het model is gebruikt om twee scenario's door te rekenen waarin de belichting van het kroos is verbeterd om zodoende een theoretisch maximale opbrengst te bereiken.

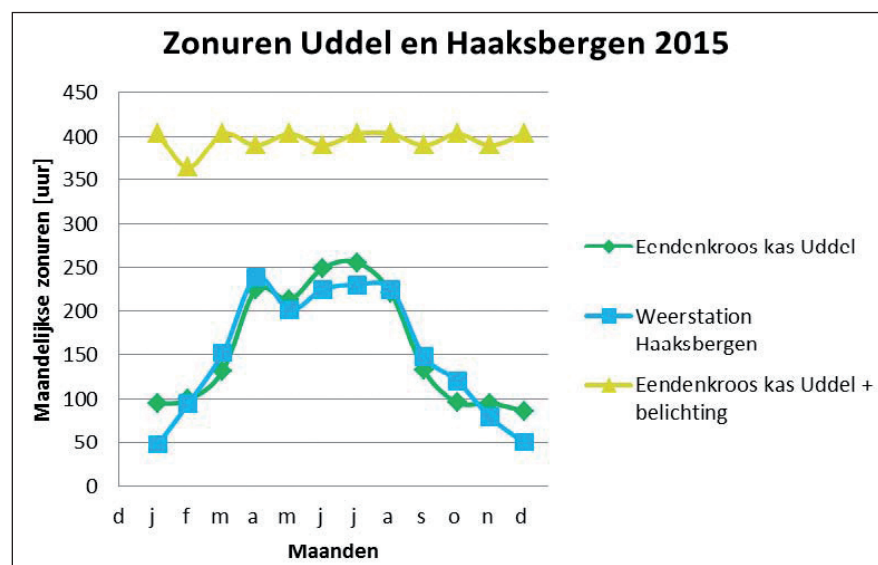
In scenario 1 is de constructie verbeterd door de dakbedekking meer lichtdoorlatend te maken en door het schaduw effect van de constructie van de kas te minimaliseren. De kas is bedekt met polycarbonaat platen. De lichtdoorlaatbaarheid van het polycarbonaat dak is 76%. Verder overschaduwde de dichte nok van de huidige constructie een significant oppervlakte van het kroosdek. We nemen aan dat het kroosdek gedurende de dag gemiddeld 10% overschaduwde is door de constructie. Dit resulteert erin dat van het totaal inkomend zonlicht, ongeveer 70% het eendenkroos bereikt. Met de nieuwste kasbedekkingen kan echter een PAR-transmissie gerealiseerd worden van rond de 90% (AVAG, 2015).

$$\left(\frac{90-70}{70} * 100\right) = 28\% \left(\frac{90-70}{70} * 100\right) = 28\% \quad [4]$$

Kortom, een verbeterd teeltsysteem heeft de potentie om meer licht beschikbaar te stellen voor eendenkroos. In het model is dit doorgetrokken naar 28% meer zonuren per dag. Dit scenario levert een potentiële productie van 31.500 kg vers op, wat resulteert in een drogestofproductie van 25.000 kg DS per ha. Dit is 6.500 kg per ha meer dan het model berekent op basis van de gemeten stralingsgegevens in Uddel.

Scenario 2 betreft het toevoegen van een lichtbron in plaats van het verbeteren van de lichttransmissie. Uit de data van het afgelopen jaar is gebleken dat op geen enkele dag de fotoperiode het optimum van 13 uur heeft bereikt. Het aantal zonuren in 2015 is weergegeven in Figuur 19. De rode lijn geeft het aantal zonuren aan, gemeten door het weerstation in Haaksbergen. De groene lijn geeft het aantal zonuren aan, gemeten boven de eendenkroosvijver. De zonuren (directe straling) in de eendenkrooskas, vanaf mei tot en met november, zijn gemeten in de kas zelf. Het aantal zonuren van de resterende maanden zijn afgeleid van het SEL-jaar en de weerdata van het weerstation Haaksbergen. Door het toevoegen van lampen in de kas, kan de fotoperiode per dag gedurende een heel jaar verlengd worden naar een optimum van 13 uur. In de praktijk zal het optimaliseren van de fotoperiode in een kas ook afhangen van andere limiterende groeifactoren, zoals watertemperatuur. De financiële consequenties van kunstmatige belichting zijn niet ingecalculeerd.

Figuur 19: Aantal (verzadigde) zonuren in de eendenkrooskas en weerstation Haaksbergen in 2015. De figuur geeft het daadwerkelijke aantal zonuren weer en het aantal zonuren na het toevoegen van extra verlichting.



Het resultaat van het optimaliseren van de fotoperiode is uitzonderlijk. Onder ideale lichtomstandigheden kan de eendenkroosproductie oplopen tot 60.000 kg vers op 880 m², wat resulteert in een berekende drogestof-productie van 50.000 kg per ha. In dit scenario is alleen de temperatuur van het water nog een limiterende factor. Omdat het model bij (suboptimale) praktijkomstandigheid een overschatting tot 60% gaf, dient deze 50 ton per ha als een zeer ruwe schatting van het maximale productiepotentieel te worden beschouwd. Of het toevoegen van kunstmatige verlichting een economisch verantwoorde keuze is, hangt af van de marktwaarde van eendenkroos.

Voor beide scenario's geldt dat de resultaten gebaseerd zijn op theorie, waarbij aangenomen is dat alle andere groeiomstandigheden optimaal zijn, met uitzondering van de watertemperatuur. Praktijkomstandigheden zouden moeten uitwijzen of de genoemde getallen daadwerkelijk haalbaar zijn.

2.6.2 Overige factoren

Naast de grote verbeteringen die mogelijk zijn door het optimaliseren van de lichtevoelheid, zijn er nog enkele aanpassingen mogelijk om de productie per m² te vergroten. De vijver in Uddel was rechthoekig. Daardoor ontstonden er dode hoeken waar vrijwel geen stroming was en weinig kroos groeide. Afronding van de hoeken kan dit probleem elimineren en ervoor zorgen dat overal voldoende waterverversing is. Het rond laten stromen van het water is in Uddel gedaan met een pomp. Vervanging van de pomp door een langzaam draaiend schoepenrad over de gehele breedte geeft een homogener stroming, en daarmee een betere uniformiteit in de kroosdichtheid.

Ten slotte is het mogelijk om de bemesting nog verder te optimaliseren. Een betere scheiding van het digestaat of het gebruik van zeer schone urine kan de aanvoer van organische stof verminderen, resulterend in een lagere zuurstofbehoefte. In 2015 is de bemesting handmatig gedaan, wat kan leiden tot (tijdelijke) uiteenlopende concentraties in verschillende delen van de vijver. De nutriëntentoevoer kan geautomatiseerd worden met een substraatunit zoals veel toegepast in de glastuinbouw. Dit zorgt voor minder schommelingen in de nutriëntconcentratie. Kortom, door dode hoeken te voorkomen en de doorstroom te verbeteren én door de toevoer van nutriënten te automatise-

***Best practice* kroosteelt op basis van ervaringen bij ECOFERM**

- Watertemperatuur 26 °C
 - Range 20-30 °C geeft hoge groei
 - Verwarming met dierwarmte
 - Nevelkoeling bij hoge temperaturen
- 13 uur lichtverzadiging per dag
 - Maximale lichttransmissie kasdek of buitenteelt voor directe zoninstraling
 - Belichten
- Volledig en homogeen bedekt wateroppervlak
 - 400-100 gram/m² afhankelijk van kroossoort
 - Schoepenrad voor homogene stroming
 - Geen dode hoeken
 - Automatische oogst op basis van bladgroendichtheid
 - Uitschakelen windinvloeden
- Zuurstofrijk teeltwater
 - Geen organische vervuiling
 - Beluchting op basis van DO %
- Optimale bemesting op basis van digestaat
 - Geen organische vervuiling
 - EC 1-1,5
 - pH 6-7
 - Bijsturen op basis van gewasopname
 - Homogene verdeling d.m.v. substraatunit
- CO₂-gehalte verhogen
 - Effect tot 1500 ppm

ren, kunnen de teeltomstandigheden in de eendenkrooskas verder verbeterd worden.

Samenvattend, voor een *best practice* zal een eendenkroosteeltsysteem een lichtdoorlaatbaarheid moeten hebben van 90% of hoger, eventueel aangevuld met kunstlicht (LED-verlichting). Daarnaast moet in de best practice het vijverontwerp een goede doorstroom van het water bevorderen door het vermijden van dode hoeken en het gebruik van een groot schoepenrad voor het creëren van een egale stroming. Naast inrichting, moeten in een best practice groeiomstandigheden zoals straling, lucht- en watertemperatuur, kroosdektheid (door reflectie- of bladgroenmetingen), zuurstofgehalte en nutriëntenconcentraties, continu gemeten worden.

Met behulp van deze data kan weer inzicht verkregen worden in de groei van eendenkroos. Daarnaast kan met behulp van deze data en een groeiomstandighedenmodel, het oogst-, bemestings- en klimaatmanagement worden geautomatiseerd. Hiervoor kunnen moderne technieken uit de glastuinbouw worden gebruikt.

2.7 Aanbevelingen voor onderzoek

Naast praktische aanbevelingen om de eendenkroosproductie te optimaliseren, bestaat ook de behoefte aan onderzoek om de eendenkroosteelt meer inzichtelijk te maken.

Ten eerste moet het effect van lichtintensiteit op de groei van eendenkroos onderzocht worden. Het huidige model gaat uit van verzadigde zonuren als maat voor de zonne-energie. Onder laboratoriumomstandigheden is dit een logische methode aangezien de lichtintensiteit van kunstlicht constant is. Maar onder natuurlijke omstandigheden komen veel zonuren voor met een lichtintensiteit onder de verzadigingsintensiteit van $342 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Het model houdt hiermee rekening door een minimale fotoperiode van 2 uur per dag te hanteren, zodat bij een bewolkte dag met veel indirecte straling toch een geringe groei berekend wordt. Deze methode is echter niet toereikend, en daarom is er behoefte om het naast het effect van lichtduur, ook het effect van lichtintensiteit mee te nemen.

Ten tweede moet het effect van oogstmanagement op de dichtheid en homogeniteit van het kroosdek verder worden onderzocht als een vervolg op de studie van Frédéric et al (2006). Hierbij is het belangrijk om na te gaan of het oogstmanagement gekoppeld kan worden aan het groeiomstandighedenmodel, met als resultaat een optimale koppeling van oogst en dichtheid van de kroosmat. Door middel van bladgroen- of reflectie-metingen kan de eendenkroosdichtheid continu gemonitord worden. Daarnaast kan een studie worden uitgevoerd om een optimaal teeltsysteem te creëren waarmee een homogene kroosdichtheid bereikt kan worden.

Ten derde is er nog maar weinig onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van de veredeling van eendenkroos. Voor veel traditionele landbouwgewassen is de productiviteit flink gestegen door jarenlange veredeling. Succesvolle toepassing hiervan bij eendenkroos maakt het gewas zeer waarschijnlijk productiever.

Ten vierde moet onderzoek worden gedaan naar de haalbaarheid van een betaalbaar en praktisch hanteerbaar teeltsysteem.

Ten slotte moet onderzoek gedaan worden naar verdere toepassingsmogelijkheden om het ECOFERM-concept verder te integreren in de agrarische sector, waarmee een gesloten kringloop nog meer gerealiseerd kan worden. Met het uiteindelijke doel om alle product- en energiestromen die op het bedrijf ontstaan nuttig te hergebruiken. Een van de belangrijkste, deels onbenutte stromen is de warmte die de kalveren produceren. Ongeveer 20% van de energie die door kalveren wordt opgenomen, wordt gebruikt voor groei. De warmte die de kalveren uitstralen (circa 60%) verdwijnt grotendeels naar de buitenlucht. Ook kan gekeken worden naar de toepassingsmogelijkheid van een warmtepomp.

2.8 Bronnen

- AVAG. 2015. *Kassenbouw. Platform toeleveranciers glastuinbouw*. Beschikbaar via: <http://www.avag.nl/page/58/kassenbouw>. Geraadpleegd op 29-01-2016.
- Frédéric, M., L. Samir, M. Louise, and A. Abdelkrim, 2006. *Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (Lemna minor) growth under controlled eutrophication*. *Water Research* 40(15):2901-2910.
- Haaksbergen, W. 2015. Januari 2015. Beschikbaar via: <http://www.weerstationhaaksbergen.nl/weather/index.php/Maandelijks-2015/januari-2015.html>. Geraadpleegd op december 2015.
- Landolt, E., and R. Kandeler, 1987. *Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae)(vol. 4). The family of Lemnaceae-a monographic study* 2:211-234.
- Lasfar, S., F. Monette, L. Millette, and A. Azzouz, 2007. *Intrinsic growth rate: A new approach to evaluate the effects of temperature, photoperiod and phosphorus–nitrogen concentrations on duckweed growth under controlled eutrophication*. *Water Research* 41(11):2333-2340.
- Schuurman, T., 2015. *Persoonlijke mededeling*. Interviewer Kroes, K.
- van den Top, N., 2014. *Dynamic modelling of duckweed production on the first ECOFERM closed-cycle farm for rosé calves*.

3.

De waarde van eendenkroos als veevoer

Gert Hemke

3.1 Plan van aanpak

In het najaar van 2015 zijn monsters verse kroos genomen in Uddel, en vervolgens ingevroren. Twee van deze monsters zijn aangeboden aan Nutricontrol te Veghel voor analyses van de chemische samenstelling (hierna te noemen Nutriconsult 1 en 2) en een verzamelmonster is aangeboden aan het ILVO (Instituut voor Landbouw en Visserij Onderzoek) te Gent voor de analyse van de pensafbraakkenmerken en de in vitro-verteerbaarheid van de energie van kroos.

Van al het verteerde voer in herkauwers wordt gemiddeld 70% in de pens afgebroken. Bacteriën produceren met name vluchtige vetzuren en microbieel eiwit, die in de pens c.q. de dunne darm worden verteerd en voor de stofwisseling en de aanmaak van vlees beschikbaar komen. Belangrijke nutriëntkenmerken voor groeiende herkauwers zijn de netto beschikbare energie (VEVI), Darm Verteerbaar Eiwit (DVE), Onbestendig Eiwit Balans (OEB), darmverteerbaar lysine (DVLYS), darmverteerbaar methionine (DVMET) en Fermenteerbare Organische Stof (FOS). Neutral Detergent Fiber (NDF) is belangrijk voor de stabiliteit in de pens van de dieren. Een lijst met afkortingen is opgenomen in bijlage 2.

Van het kroos is de volledige samenstelling geanalyseerd: drogestof, ruw eiwit, ruw vet, ruwe celstof, ruwe as, NDF en suiker. Tevens zijn de gehaltes aan mineralen geanalyseerd, de patronen voor vetzuren en aminozuren, alsmede enkele kenmerken die van belang zijn voor de voedselveiligheid.

Door het ILVO te Gent werden afbraakkaracteristieken in de pens bepaald met gebruik van het protocol van het Nederlandse Centraal Veevoeder Bureau (CVB) voor in sacco analyses. De incubatie is uitgevoerd met drie lacterende koeien op een standaardrantsoen met maïskuil, graskuil en krachtvoer. Nylon zakjes met 1,7 g DS kroos per zakje werden in de pens gehangen. De incubatieduur was 3,8, 24,5 en 336 uur. Na incubatie werden de nylon zakjes meteen in ijswater gedompeld om de microbiële activiteit te stoppen. Enkele zakjes met vers kroos werden gewassen zonder voorafgaande pensincubatie. Na het vriesdrogen van de inhoud van de zakjes werden residuen op relevante kenmerken geanalyseerd.

Uit de resultaten zijn de volgende afbraakkaracteristieken afgeleid: Uitwasbare fractie (W). Dit is vastgesteld door het wassen van nylon zakjes met kroos zonder incubatie.

De oplosbare fractie (S) van eiwit. Dit is vastgesteld na het schudden van kroos in leidingwater gedurende 30 minuten.

De fractie kleine deeltjes, berekend als W-S.

De niet-afbreekbare fractie (U) als residu na 336 uren incubatie.

De potentieel afbreekbare fractie (D), berekend als $100 - W - U$.

De afbraaksnelheid kD door het bepalen van afbraakdata met de formule: $D(t) = W + D \times (1 - e^{-kDxt})$. Hiermee wordt de afbraak in % per uur berekend.

De darmverteerbaarheid van pensbestendig eiwit (DVBE) is berekend als $((BRE - U) / BRE) \times 100$.

De DVE en OEB zijn berekend met de CVB-systemen van zowel 1994 als 2007. In de resultaten zijn alleen de gegevens uit het model 2007 weergegeven.

De verteerbaarheid van organische stof is bepaald middels een in vitro-incubatie met cellulase, zoals beschreven door De Boever et al in 1999. Middels regressieformules is hieruit de VEVI afgeleid. Voor referenties en aanvullende informatie, zie Bijlage 3.

De analyses door Nutricontrol zijn uitgevoerd middels gecertificeerde analysemethodes.

3.2 Resultaten

3.2.1 Voedselveiligheid

Vanwege de mogelijke risico's voor voedselveiligheid die bij algen in combinatie met het gebruik van mest en mineralen zijn beschreven (Van Liere et al, 2011), is een brede risicoanalyse opgesteld. De resultaten hiervan zijn opgenomen in Tabel 10.

Risico	Uitslag
Prionen en BSE	Aangenomen mag worden dat dit niet meer aan de orde is, omdat al enkele jaren geen nieuwe BSE-gevallen zijn opgetreden in Nederland en omdat BSE alleen bij oudere dieren voorkomt.
Virussen	Zolang het materiaal op het eigen bedrijf blijft, heeft dit geen hoge prioriteit.
Hormonen	Dit risico is er ook niet, omdat er geen hormonen toegepast worden.
Dioxine	Kan een risico zijn door toevoeging hulpstoffen en onjuiste droging.
Blauwalgen	Vorming van deze giftige soorten kan optreden in stilstaand water. Zolang de kroosvijver in beweging is, zal er geen gevaar zijn.
Resten diergeneesmiddelen	Dat risico lijkt niet hoog in dit scenario, zolang er sprake is van normaal medicijngebruik.
Miltvuur	Laag risico, omdat deze ziekte niet voorkomt op het bedrijf. Wel wordt erop gewezen om te letten op dode ratten/muizen in de mest.

Door Nutricontrol zijn enkele aanvullende risicokenmerken in verse eendenkroos bepaald (zie Tabel 11): de bacteriële veiligheid voor wat betreft entero's, salmonella en coli, en de gehalten zware metalen zoals arseen, cadmium, lood en kwik.

Tabel 10: Risicoanalyse vervoeding vers kroos.

Metaal	Eenheid	Nutriconsult 1	Nutriconsult 2
Arseen	mg/kg	< 0,05	0,057
Cadmium	mg/kg	< 0,01	< 0,01
Kwik	mg/kg	< 0,01	< 0,01
Lood	mg/kg	< 0,1	< 0,01
Salmonella	In 25 gram	Niet aanwezig	Niet aanwezig
Entero's	KVE/g	9000	8500

Tabel 11: Resultaten van voedselveiligheidsanalyses op twee monsters kroos.

De gehalten aan zware metalen liggen onder de detectiegrens, met uitzondering van het arseengehalte in een van de twee monsters. Maar ook dat resultaat ligt onder de norm voor GMP+. In geen van beide monsters is Salmonella aangetroffen. Wel is het niveau entero's aan de hoge kant, zonder dat sprake is van een overschrijding van de grenzen.

3.2.2 Chemische samenstelling

De resultaten van de analyse van de chemische samenstelling zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12: Chemische samenstelling van onderzochte monsters kroos in g/kg product.

	Nutriconsult 1	Nutriconsult 2	ILVO
DS	52	63	48
Ruw eiwit	26,3	28,8	19
Ruw as	7	7	7,9
Ruw vet			2,1
Ruwe celstof			4,7
NDF			10,4
Suiker			0,3

De monsters kroos bleken laag in DS. Het DS-gehalte in het monster dat is geanalyseerd door ILVO was lager dan dat van de beide Nutriconsult-monsters. De gehalten worden in de rest van het rapport uitgedrukt per kg DS, en daarbij vergeleken met kuilgras, maïskuil, vers gras en literatuurgegevens voor kroos.

De onderzochte monsters kroos bevatten meer eiwit en as in vergelijking met de literatuurgegevens voor kroos. De variatie binnen de monsters is ook beduidend. De gehalten aan NDF zijn lager. In vergelijking met vers gras, bevat kroos twee keer meer eiwit in DS. Gras blijkt hoger in NDF, zo laat Tabel 13 zien.

Vanwege het hoge stikstofgehalte in kroos verdient het mogelijk aanbeveling om het gehalte nitraat te laten analyseren. Voor ruwvoerders houdt men een bovengrens aan van 5 g/kg DS. Het gevaar van een overmaat bestaat uit de mogelijke vorming van nitriet. Door de binding van nitriet aan hemoglobine kan minder zuurstof worden getransporteerd.

Tabel 13: Chemische samenstelling (g per kg DS) van kroos en enkele referentiegrondstoffen.

Kenmerk	Nutriconsult 1	Nutriconsult 2	ILVO	Literatuur kroos	Vers gras	Gras-kuil	Maïskuil
DS	52	63	48	-	163	486	301
Ruw eiwit	506	457	396	320	227	189	79
Ruw as	135	111	164	120	106	110	46
Ruw vet			44	50	44	40	25
Ruwe celstof			98	100	228	259	190
NDF	288	222	216	370	449	499	390
Suiker			6				

3.2.3 Aminozurenpatronen

De aminozurenpatronen worden uitgedrukt in grammen per 100 gram eiwit. In Tabel 14 zijn de gehalten van een aantal essentiële aminozuren opgenomen van zowel eendenkroos als enkele referentiegrondstoffen. Voor herkauwers zijn met name de aminozuren lysine en methionine van groot belang.

In Tabel 14 zijn ook gehalten van aminozuren vermeld van krooseiwit-isolaat. Dat is een product verkregen door raffinage van kroos. Dit bestaat voor een belangrijk deel uit zogenoemd rubisco-eiwit.

Aminozuur	Nutriconsult 1	Nutriconsult 2	Literatuur kroos	Kroos-eiwit-isolaat	Vers gras	Gras-kuil	Mais-kuil
Arginine	4,9	4,5	4,5	7,7	4,4	2,5	1,8
Lysine	4,9	4,5	4,9	8,0	4,0	3,3	2,1
Methionine	0,4	0,3	0,9	2,7	1,5	1,2	1,4
Threonine	3,8	3,5	3,4	5,7	3,8	3,4	3,0
Valine	4,9	4,9	4,3	7,4	5,0	4,9	4,3

Het aminozuurpatroon van kroos kwam redelijk goed overeen met de gehalten zoals die in de literatuur gevonden kunnen worden. Een uitzondering is methionine. Methionine is een van de twee zwavelhoudende aminozuren (de andere is cysteïne). Dat gehalte is in de monsters van de ECOFERM-boerderij veel lager dan die in de literatuur wordt aangegeven. Dit verschil zou kunnen wijzen op een tekort aan zwavel in het medium waarop kroos groeit, maar dit is niet gebleken uit de wateranalyses. De oorzaak van het lage methioninegehalte dient nader te worden onderzocht. Het aminozurenpatroon van kroos is vergelijkbaar met dat van vers gras, met uitzondering van het lage methioninegehalte in krooseiwit. In ander onderzoek bleek dat kroos-eiwit-isolaat bijzonder hoog is in lysine.

Tabel 14: Gehaltes van enkele essentiële aminozuren in g per 100 gram eiwit in kroos en referentieproducten.

3.2.4 Vetzurenpatronen

De vetzuurpatronen van eendenkroos zijn geanalyseerd middels een afwijkende analysemethode. Normaal vindt extractie plaats met een zurehydrolysestap. Maar daarbij kunnen onverzadigde vetten worden gehydrogeneerd in het lab. Daarom is hier een afwijkende methode gebruikt. Na alkalische extractie en methylering zijn de vetzuren direct in het product gemeten. Een nadeel van deze methode is dat bij de lage DS-gehalten en producten met een beperkte hoeveelheid vet, zoals kroos, enkele vetzuren onder de detectiegrens vallen. De gehalten van de belangrijkste vetzuren zijn vermeld in Tabel 15.

	Eenheid	Nutriconsult 1	Nutriconsult 2	Vers gras	Kuil-gras	Maïs-Kuil
Vet	g/kg DS			43	43	
Elueerbaar vet	g/kg DS	52	46	28	30	24
Verzadigd vetzuur	% elueerbaar ¹ vet	37	35	19	28	26
Enkelvoudig onverzadigd	% elueerbaar vet	3,7	3,4	5	8	17
Meervoudig onverzadigd	% elueerbaar vet	59,3	62,1	76	64	57
Linoleenzuur	% elueerbaar vet	51,9	55,2	65	45	8

Tabel 15: Resultaten van vetzuurpatronen uitgedrukt als % van de vetzuren.

¹ Elueerbaar vet is een maat om aan te geven hoe hoog het totaalgehalte aan vetzuren bedraagt. Dat ligt altijd beduidend lager dan het ruuvetgehalte.

Het vet van kroos bestaat voor een belangrijk deel uit linoleenzuur. Dat bestaat immers niet alleen uit vetzuren, maar ook uit glyceride en andere vetoplosbare stoffen. Vers gras, maïskuil en graskuil bevatten per kg DS minder elueerbaar vet in vergelijking met kroos-DS. Door inkuilen van gras wordt het vet minder onverzadigd en daalt het aandeel linoleenzuur. Maïskuil bevat meer linolzuur en minder linoleenzuur. Onverzadigd vet kan de methaanproductie in de pens van het rund verminderen. In de pens wordt meer dan 90% van de vetzuren gehydrogeneerd. Het verrijken van karkassen met essentieel linoleenzuur is hierdoor lastiger. Wel kan uit onverzadigd vet meer CLA ontstaan in de pens, en dat kan resulteren in iets meer vleesgroei, een betere energiebenutting en een betere gezondheid.

3.2.5 Mineralengehaltes

Van de mineralen zijn calcium en fosfor belangrijk voor de botten en de stofwisseling. Voor een goede vertering en benutting van calcium en fosfor, is het belangrijk dat de verhouding in de voeding in balans is. Die balans is voor rosékalveren optimaal met een verhouding Ca:P van 1,5-1,6.

De mineralen natrium, kalium en chloor zijn samen met sulfaat belangrijk voor de elektrolytenbalans en het zuurbase-evenwicht. DEB wordt berekend uit Na+K-Cl. Omdat sulfaat en/of zwavel niet zijn geanalyseerd, kunnen we niet de KAV berekenen (= Na+K-Cl-S). Voor goede resultaten bij stieren is een KAV van 350-450 optimaal. Kroos bevat veel kalium en natrium. Bij hoge aandelen kroos in het rantsoen vraag de DEB extra aandacht.

Van de sporenelementen is ijzer van speciaal belang voor kalveren. Om te voorkomen dat witvleeskalveren een te rode vleeskleur krijgen, is het van belang om het ijzergehalte in het voer te matigen. Het hoge ijzergehalte in kroos maakt dat kroos niet geschikt is voor witvleeskalveren.

	Eenheid	Nutriconsult 1	Nutriconsult 2	Vers gras	Gras-kuil	Maïs-kuil
Calcium	g/kg DS	11,9	8,7	5,8	5,0	1,5
Fosfor	g/kg DS	10,7	10,1	4,3	4,2	2,0
Kalium	g/kg DS	30,4	24,9	36,6	34,1	12,0
Magnesium	g/kg DS	2,1	2,2	2,5	2,3	1,2
Natrium	g/kg DS	10	9,8	2,3	2,3	0,2
Chloor	g/kg DS	15,3	14,3	15,0	12,3	2,3
DEB	mgeq/kg DS	1632	1455	614	626	251
IJzer	mg/kg DS	307	301	149	443	120
Koper	mg/kg DS	< 50	< 50	9	8	4
Zink	mg/kg DS	307	365	43	42	38

Mineralgehalten in kroos zijn vergeleken met die van vers gras, fors hoger in calcium, fosfor en natrium (zie Tabel 16). Dat geldt ook voor de gehalten aan sporenelementen. Van kroos is bekend dat het gemakkelijk mineralen opneemt uit het milieu. Het verdient aanbeveling om aandacht te besteden aan zwavel en sulfaat in kroos, en in het groeimedium.

Tabel 16: Resultaten van mineralenanalyses in kroosmonsters.

3.2.6 Verterings- en voederwaardekenmerken

Veevoedkundige kenmerken van kroos die van belang zijn voor de vertering en de voederwaarde zijn samengevat in Tabel 17.

Kenmerk	Eenheid	Nutriconsult 1	Nutriconsult 2	ILVO	Vers gras
NDF	g / kg DS	288	222	216	
N in NDF als % van totaal N	%	13,8	13,9		
Cellulase- verteerbaarheid OS	g / kg DS			83,2	
In vivo-verteerbaarheid OS	g / kg DS			73,4	
VEM	per kg DS			839	1006
VEVI	per kg DS			860	1062
DVE	g / kg DS			130	100
FOS	g / kg DS			456	548
OEB	g / kg DS			214	69

Tabel 17: Verterings- en voederwaardekenmerken van kroos.

De twee belangrijkste rantsoenkenmerken uit Tabel 17 zijn VEVI en DVE. Voor vleesvee wordt VEVI gebruikt en voor melkvee VEM als maat voor netto benutbare energie. Om VEVI te berekenen, is de verteerbaarheid van de organische stof nodig. Een belangrijk deel van de vertering vindt plaats in de pens. Dat resulteert onder meer in de productie van vluchtige vetzuren en bacterieel eiwit. Bacterieel eiwit heeft een gunstig aminozurenpatroon, met veel lysine en methionine. Die aminozuren zijn eerst beperkend voor de vleesgroei. Om de hoeveelheid bacterieel eiwit en darmverteerbaar lysine en darmverteerbaar methionine te berekenen, is het belangrijk om te weten hoeveel organische stof al in de pens wordt verteerd (=FOS). Een hoge OEB geeft aan dat er meer eiwit wordt afgebroken in de pens dan dat er in bacterieel eiwit kan worden vastgelegd. Er zal daardoor ammoniak NH_3 in de pens ontstaan. De overmaat ammoniak wordt opgenomen in het bloed en meestal snel uitgescheiden als ureum. Een overmaat OEB is ongewenst, terwijl een tekort aan OEB zorgt voor een lagere productie van hoogwaardig penseiwit.

De organische stof (OS) is quasi-volledig afbreekbaar in de pens, en dit gebeurt met een snelheid (kD) van 5,5% per uur. Ook het ruw eiwit is bijna volledig afbreekbaar in de pens. De oplosbare eiwitfractie is iets hoger dan de uitwasbare fractie, zodat aangenomen mag worden dat de fractie kleine deeltjes minimaal is. De afbraaksnelheid van het eiwit is vrij hoog, wat resulteert in een matige eiwitbestendigheid.

Nu bevat kroos wel relatief veel lysine per 100 gram krooseiwit, maar een belangrijk deel ervan zal worden afgebroken in de pens. Van alle darm verteerbare aminozuren in kroos zal een groter deel afkomstig zijn van bacterieel eiwit, dat in de pens ontstaat nadat bacteriën organische stof afbreken en bacterieel eiwit produceren.

Van de nutriëntkosten in het rantsoen bestaat 65-70% uit kosten voor VEVI en voor 20-25% uit kosten voor darmverteerbare eiwitten. Vergeleken met vers gras is het VEVI-gehalte in kroos beduidend lager, en daarmee is ook de voederwaarde van kroos lager. Dat komt voor een belangrijk deel door het hogere asgehalte. Aan de andere kant zijn het RE- en DVE-gehalte hoger, waardoor eendenkroos in totaal op een vergelijkbare voederwaarde uitkomt in vergelijking met vers gras, en op een hogere voederwaarde dan kuilgras³.

³ Zie www.voederwaardeprijzen.nl.

3.2.7 Conclusies voederwaarde en inzetbaarheid van kroos

- Het voeren van kalveren met kroos dat geproduceerd is met een voedingsmedium uit mest of digestaat zoals elders beschreven, is veilig.
- De samenstelling van de twee verschillende monsters varieert, maar binnen acceptabele grenzen. De variatie in de samenstelling blijft wel aandacht vragen.
- Kroos heeft een hoog gehalte aan ruw eiwit. Gelet op het aminozurenpatroon kan het zijn dat een deel van het ruw eiwit uit zoge-

noemd NPN (niet-eiwitstikstof of non proteïn nitrogeïn) bestaat.

Dat zou nitraat kunnen zĳjn, en bij een overmaat nitraat kan de vorming van nitriet zorgen voor een geringere zuurstofvoorziening.

- Het lage aandeel methionine is opvallend. Omdat methionine een zwavelhoudend aminozuur is, verdient het aanbeveling om gehalten aan zwavel en sulfaat te controleren.
- Door de hoge gehalten aan natrium en kalium is de elektrolytenbalans verhoogd. Dat kan een negatieve rol spelen bij een hoog aandeel kroos in het rantsoen.
- De vetzuren in kroos bestaan net als die van gras voor meer dan 60% uit linoleenzuur. Dit essentiële omega 3-vetzuur wordt echter voor meer dan 90% in de pens gehydrogeneerd. Het zal daarom in beperkte mate kunnen bijdragen aan een verrijking van vlees met omega 3. Linoleenzuur kan in de pens bijdragen aan een verlaging van methaanproductie, en na omzettingen tot CLA bijdragen aan efficiëntere vleesaanzet.
- VEVI-gehalten in kroos zĳjn lager door het hogere asgehalte. Om kalveren snel en efficiënt te laten groeien, is een hoog VEVI-gehalte per kg DS van belang. Het lage VEVI-gehalte in kroos maakt dat de inzetbaarheid beperkter wordt.
- Kroos bevat vergeleken met vers gras, hoge gehalten aan calcium, fosfor en natrium. Een hoog fosforgehalte maakt het mogelijk om andere grondstoffen met lage fosforgehalten toe te passen. Omdat het natrium- en het kaliumgehalte hoog zĳjn, vraagt de elektrolytenbalans aandacht indien men tot hogere rantsoenaandelen wenst over te gaan.
- Krooseiwit is hoog in DVE en OEB. Een al te hoge OEB van het totaalrantsoen kan nadelig zĳjn voor de energiebenutting en gezondheid.

3.3

Rantsoenberekeningen

ECOFERM

Gelet op de variatie in de drie onderzochte monsters, was er aanleiding om voor rantsoenberekeningen een gemiddelde aan te houden voor kroos. De optimalisatie is uitgevoerd met een beperkt aantal nutriënten en een beperkt aantal grondstoffen. In Tabel 18 zĳjn de belangrijkste kenmerken weergegeven van de grondstoffen die zĳjn meegenomen. De gevolgde methodiek voor de berekening is uitgelegd in Hoofdstuk 4 van dit rapport.

	DS	VEVI	DVE	OEB	DV LYS	DV MET	NDF	P	Zet- meel
Tarwestro	900	336	- 4	- 17	0,7	0,3	745	1,1	0
Kroos vers	52	871	140	236	7,8	1,3	231	10,4	15
Graskuil	470	913	65	63	3,5	1,3	499	4,2	0
Maïskuil	300	950	47	-28	3,1	1,2	390	2,0	304
Soja 60 RC	880	1242	267	213	17,4	4,4	145	7,3	10
Aardappel-snipppers	220	1248	85	- 60	6,2	2,1	75	1,9	695
Raap-schilfers	890	1185	137	152	8,6	3,2	261	11	22
Bietenpulp	900	1014	93	- 62	6,4	2,1	366	0,8	0
Norm voer		> 1050	> 97,5	< 65	> 6,2	> 2,1	> 265	> 5	> 140

Tabel 18: Belangrijke nutriëntkenmerken van grondstoffen en de minimum- en maximumgehalten in een rantsoen voor kalveren vanaf 13 weken leeftijd.

De aangegeven rantsoennormen zijn vrij normaal voor rosékalveren vanaf 13 weken leeftijd. VEV1 (eenheden per kg DS) is iets lager dan normaal (1100), DVE is lager dan normaal (100 g/kg DS), maar dat kan omdat we normen stellen aan darmverteerbare aminozuren: DVLYS en DVMET. OEB is hoger dan normaal. NDF (Neutral Detergent Fiber) is belangrijk om voor voldoende penswerking en pensstabiliteit te zorgen. Zetmeel zorgt voor de voorziening van glycogene stoffen in het bloed. Die stimuleren de groei.

Om kalveren snel en efficiënt te laten groeien – en als jong rundvlees te kunnen verwerken – wordt gestreefd naar een VEV1 van 1.100 eenheden per kg DS. Omdat kroos lager is in VEV1, is hier gekozen voor een iets lagere VEV1-inhoud van 1.050 per kg DS-rantsoen. Normaal is dat ook op te vangen door het toepassen van extra vet. Maar dat is in deze setting minder praktisch. Wel is gekozen voor raapschilfers in plaats van raapschroot. Raapschilfers zijn ook een relatief goede leverancier voor darmverteerbaar methionine (DVMET). Kroos is een goede leverancier voor DVLYS (darmverteerbaar lysine) in het rantsoen. Maar het gehalte aan DVMET in kroos is relatief laag.

Er is een beetje tarwestro opgenomen, om een goede penswerking te bevorderen. Aardappelsnipppers en maïskuil zijn belangrijke bronnen van zetmeel.

Bietenpulp heeft een negatieve OEB, en die is opgenomen om te compenseren voor de hoge OEB in kroos. Een goede streefwaarde voor OEB is 15-40 g/kg DS.

Tabel 19 toont de prijzen voor producten die zijn gehanteerd bij het rantsoen.

Product	€/ton DS
Tarwestro	110
Kroos vers	250
Graskuil	150
Maïskuil	165
Soja 60 RC	370
Aardappelsnippers	200
Raapschilfers	280
Bietenpulp	195

Tabel 19: Prijzen voor producten in € per ton DS ten behoeve van rantsoenberekeningen.

Voor maïskuil en kroos zijn fictieve of indicatieve prijzen meegenomen, omdat ze op het bedrijf zelf geteeld worden. Voor de overige prijzen zijn recente marktprijzen gehanteerd.

In de rantsoenberekeningen is onderscheid gemaakt tussen zomer- en winterrantsoenen (zie Tabel 20), en tussen simulaties met kroosteelt in kassen en kroosteelt buiten. De uitgangspunten voor nutriënten per kg DS-rantsoen zijn gelijk.

Omdat kroos alleen in de zomermaanden beschikbaar is en door het hoge vochtgehalte niet kan worden geconserveerd, is voor de bedrijfs-simulatie uitgegaan van kroosgebruik in de zomer. Bij kassenteelt is de productie van kroos hoger. Het rekenmodel gaat ervan uit dat alle voer dat op eigen bedrijf wordt geproduceerd, ook op datzelfde bedrijf wordt geconsumeerd. De hoeveelheden kroos per kg DS in het rantsoen zijn afgeleid van de te verwachten kroosopbrengsten, het aantal kalveren en de DS-opname per kalf.

	Standaard	ECOFERM	
		Kassenteelt kroos	Buitenteelt kroos
Tarwestro	45	45	45
Kroos vers	0	29	10
Graskuil	311	234	284
Maïskuil	51	51	51
Soja 60 RC	81	57	72
Aardappel- snippers	226	223	225
Raapschilfers	176	190	181
Bietenpulp	110	171	132

Tabel 20.1: Rantsoenoptimalisaties voor verschillende scenario's. In de bovenste helft staan de aandelen in grammen per kg DS, en in de onderste helft de gehalten aan belangrijke nutriënten.

Behoefte	Norm Waarde	Standaard Bedrijf	ECOFERM ¹		Eenheid
			Kroos in kassen	Kroos buiten	
DVE	100	98	98-98	98-98	g per kg ds
OEB	15	41	32-41	38-41	g per kg ds
DVlys	6.0	6.3	6.4-6.3	6.3-6.3	g per kg ds
DVmeth	2.3	2.1	2.1-2.1	2.1-2.1	g per kg ds
NDF	300	324	305-324	317-324	g per kg ds
P	5.0	4.5	4.5-4.5	4.5-4.5	g per kg ds
Zetmeel	170	177	174-177	176-177	g per kg ds
VEVI	1100	1050	1050-1050	1050-1050	eenheden per kg ds
Droge stof	6	6	6	6	kg per kalf per dag

Tabel 20.2: Gerealiseerde voeder-normen.

¹ Het linkergetal in de kolommen geeft de zomerwaarde aan (met eendenkroos in het voer) en het rechtergetal de winterwaarde (zonder kroos in het voer).

De OEB-gehalten zijn op de ECOFERM-bedrijven vergelijkbaar met die op het standaard bedrijf. De gerealiseerde VEVI-cijfers zijn gelijk. Enig tarwestro is opgenomen om zeker te zijn van de benodigde structuur in de pens. Eendenkroos blijkt vooral gras en soja te vervangen in het rantsoen. Het gemiddelde drogestofgehalte in het voer is wel een aandachtspunt (zie Hoofdstuk 4). Om te zorgen voor voldoende energie tegenover het eiwitrijke kroos, wordt in rantsoenen met kroos wat meer suikerbietenpulp toegepast.

3.4 Referenties

- De Boever J.L., B.G. Cottyn, D.L. De Brabander, J.M. Vanacker, Ch.V. Boucqué, 1999. Equations to predict digestibility and energy value of grass silages, maize silages, grass hays, compound feeds and raw materials for cattle. Nutr. Abstr. Rev. 69, 835-850.
- Liere, J., G. Boosten, L. van Dijk, G. Hemke & A. Verschoor, 2011. ECOFERM! De kringloopboederij. InnovatieNetwerk, Utrecht. Rapportnr. 11.2.248, ISBN 978-90-5059-432-5.

4.

Vergelijking ECOFERM met gangbaar bedrijf

*Chris de Visser, Kees Kroes &
Sander Huurman*

4.1 Inleiding

Op basis van de metingen verricht op het ECOFERM-bedrijf in Uddel en de ervaringen die tijdens het project zijn opgedaan, is een rekenmodel gemaakt waarmee de effecten doorgerekend zijn voor een virtuele kalverhouderij. De metingen en ervaringen hebben uiteindelijk hun weerslag gevonden in de waarde van parameters. Met het rekenmodel zijn een referentiebedrijf en een ECOFERM-bedrijf beschreven, en vervolgens zijn berekeningen uitgevoerd waarvan de resultaten in dit hoofdstuk zijn opgenomen. Het betreft met name verschilberekeningen om beide bedrijven te vergelijken, zowel wat betreft stromen (mineralen, energie, water) als qua financiën (kosten). Ten slotte is ook gekeken naar de vermeden broeikasgasemissies die samenhangen met de keuzes in het ECOFERM-bedrijf.

4.2 Uitgangspunten

4.2.1 ECOFERM- en referentiebedrijf

Om het effect van het ECOFERM concept te illustreren (zowel kwalitatief als kwantitatief) is uitgegaan van een referentie rosékalverbedrijf en is de ECOFERM-variant hiervan aangepast met circulaire technologieën.

Het referentiebedrijf is als volgt gedefinieerd:

- Aantal kalverplaatsen: 1.200 plaatsen met 1,5 ronde per jaar.
- Grasland: 3 ha.
- Maïsland: 12 ha.
- Afzet mest via VVO (Vervangende Verwerkingsovereenkomst).

Het ECOFERM-bedrijf is als volgt gedefinieerd:

- Aantal kalverplaatsen: 1.200 plaatsen met 1,5 ronde per jaar.
- Maïsland: 12 ha.
- Eendenkroos: 3 ha.
- Scheiding kalvermest bij de bron in vaste mest en urine.
- Vergisting van de vaste mest, en daarmee productie van warmte en elektriciteit.
- Scheiding van digestaat in vochtige dikke fractie en dunne fractie.
- Afzet vochtige dikke fractie en dunne fractie op de markt.

In het ECOFERM-bedrijf wordt door de kalveren geproduceerde CO₂ en warmte gebruikt bij de productie van eendenkroos. De mestproducten worden optimaal ingezet voor hergebruik van mineralen in de ruwvoederteelten, inclusief eendenkroos.

In de volgende paragrafen worden diverse aspecten van de hierboven genoemde fictieve bedrijven uitgewerkt en wordt aangegeven welke effect dit heeft op de bedrijfsvoering. Het gaat dan om de effecten op rantsoen, productie van eendenkroos, mineralen en mest, landbouwareaal en energie en broeikasgasemissie. De effecten op deze aspecten worden vervolgens in een samenvatting bij elkaar gebracht.

Figuur 20: Zijaanzicht van de ECOFERM stal met de transparante dakplaten van de kas.



4.2.2 Rantsoen

In de bedrijven worden rosékalveren binnengebracht met een gewicht van 100 kg. Deze dieren verlaten het bedrijf met een gewicht van 350 kg. Bij het berekenen van het rantsoen is uitgegaan van een beperkt aantal, veelgebruikte voedermiddelen in de kalverhouderij:

- Gehakseld tarwestro,
- Graskuil,
- Maïskuil,
- Sojaschroot,

- Aardappelsnippers,
- Raapzaadschilvers,
- Suikerbietenperspulp.

Voor het ECOFERM-bedrijf komt daar nog eendenkroos bij dat op eigen bedrijf geproduceerd wordt. Omdat eendenkroos niet bewaard kan worden en direct vervoerd moet worden, is ervan uitgegaan dat dit materiaal alleen vervoerd kan worden als er productie is. Bij de berekeningen is er gemakshalve van uitgegaan dat de productie van eendenkroos plaatsvindt gedurende zes maanden van het jaar, en dat de andere helft van het jaar geen kroos beschikbaar is (in werkelijkheid wordt er in het voor- en najaar nog enkele maanden een lagere productie gerealiseerd). In de berekeningen van het voerrantsoen is voor beide scenario's de mogelijkheid opengelaten om het gehele jaar door eendenkroos aan te kopen tegen een bepaalde prijs (zie Tabel 21). Daarbij wordt dan uitgegaan van de theoretische mogelijkheid dat dit product jaarrond op de markt beschikbaar zou zijn.

Om een rantsoenberekening te kunnen maken, is van bovenstaande voedermiddelen een serie kengetallen nodig (zie Tabel 21 en Tabel 22). De getallen zijn ontleend aan getallen op de volgende websites:

- www.vestjens.co.uk (stro),
- www.forfarmersdml.nl/enkelvoudige-voeders (meerdere voedermiddelen),
- www.feedipedia.org (meerdere voedermiddelen).

Voerproduct	Prijs (per ton drogestof)	Ruw eiwit (kg/ton ds ⁴)	DVE ¹	Zetmeel (kg ton ds ⁴)	Drogestof (kg per ton product)	VEVI ²	OEB ³
Gehakseld tarwestro	€ 110	44	-4.0	0	90%	336	-17
Kroos vers	€ 250 ⁵	430	140.0	15	5.2%	871	236
Graskuil (jr gem)	€ 150	192	65.0	0	47%	913	63
Maïskuil 280- 320 Ds	€ 165	75	47.0	304	30%	950	-28
Soja 60 RC, 460 RE	€ 370	460	267.0	10	88%	1242	213
Aardappelsnippers vers	€ 200	84	85.0	695	22%	1248	-60
Raapzaadschilvers	€ 280	362	137.0	22	89%	1185	152
Suikerbietenperspulp	€ 195	88	93.0	0	90%	1014	-62

Tabel 21: Gebruikte voerproducten, prijs en gebaltes ruw eiwit, DVE, zetmeel, drogestof, VEVI en OEB.

¹ DVE = Darm Verteerbaar Eiwit (kg per ton drogestof).

² VEVI = voedereenheid vleesvee intensief (verhoudingsgetal per kg drogestof).

³ OEB = Onbestendig Eiwit Balans (kg per ton droge stof).

⁴ ds = drogestof.

⁵ Prijs afgeleid van sojaprijs op basis van eiwitgehalte. Prijs wordt gehanteerd bij eventuele aankoop van vers kroos.

Voerproduct	DVlys ¹ (g per 100 g RE)	DVmeth ² (g per 100 g RE)	Suiker (kg per ton ds)	NDF ³ (kg per ton ds)	P (kg per ton ds)
Gehakseld tarwestro	0.7	0.3	0	745	1.1
Kroos vers	7.8	1.3	6	231	10.4
Graskuil (jr gem)	3.5	1.3	52	499	4.2
Maïskuil 280- 320 Ds	3.1	1.2	0	390	2.0
Soja 60 RC, 460 RE	17.4	4.4	109	145	7.3
Aardappelsnippers vers	6.2	2.1	4	75	1.9
Raapzaadschilvers	8.6	3.2	114	261	11.0
Suikerbietenpulp	6.4	2.1	30	366	0.8

Tabel 22:

Gebruikte voerproducten en gehaltenes DVlys, DVmeth, suiker, NDF en P.

¹ DVlys = Darm Verteerbaar Lysine.

² DVmeth = Darm Verteerbaar Methionine.

³ NDF = Neutral Detergent Fiber.

⁴ Getallen gebaseerd op 20% van het getal gebruikt voor graskuil op basis van een expert opinion.

Bij de berekeningen is uitgegaan van een bepaalde behoefte bij kalveren zoals vermeld in Tabel 23.

Behoefte	Norm			Eenheid
	Waarde	Minimum	Maximum	
DVE	100	97,5	120	g per kg ds
OEB	15	0	65	g per kg ds
DVlys	6.0	5.5	9	g per kg ds
DVmeth	2.3	2.1	2.5	g per kg ds
NDF	300	265	500	g per kg ds
P	5.0	4.5	10	g per kg ds
Zetmeel	170	140	350	g per kg ds
VEVI	1100	1050	1150	eenheden per kg ds
Droge stof	6	6	6	kg per kalf per dag

Tabel 23: Voederbehoefte bij vleeskalveren.

Verschillen in totale vochtinname op basis van de voerrantsoenen zijn gecompenseerd met meer of minder drinkwaterinname. Bij de rantsoenbepaling is als uitgangspunt genomen dat het voer dat het bedrijf zelf produceert ook volledig wordt benut op het bedrijf. De gegevens in Tabel 21, 22 en 23 zijn gebruikt voor de bepaling van de gewenste aankoop van voer. De berekeningen voor het aan te voeren voerrantsoen zijn uitgevoerd met de Solver in Excel (lineair programmeren) onder de voorwaarde dat de kosten geminimaliseerd moeten worden.

Ook is een minimaal aandeel van stro aangenomen om voldoende structuur in het voer te krijgen. Omdat het beperkt aantal voermiddelen in de berekeningen, de optimalisatie onmogelijk kan maken wanneer de normen zoals vermeld in Tabel 23 als randvoorwaarde werden meegenomen, zijn hiervoor bandbreedtes (minimum- en maximumwaarden) aangehouden zoals opgenomen in Tabel 23. De mate waarin het berekende rantsoen tegemoetkomt aan de voederbehoftenormen uit Tabel 23, volgt dan uit de berekende hoeveelheid voermiddelen vermenigvuldigd met hun gehalten.

De hoeveelheid vocht die de dieren nodig hebben, wordt berekend op basis van de hoeveelheid vocht die de dieren met het voer innemen, aangevuld met drinkwater om de vochtbehoefte van de dieren in de standaard- en de ECOFERM-variant gelijk te houden.



Figuur 21: De ECOFERM stal met rosé vleeskalveren.

4.2.3 Mest en mestverwerking

Op het standaardbedrijf wordt drijfmest geproduceerd dat voor een deel toegepast kan worden op het areaal gras en maïs. Het mestoverschot wordt afgezet op de markt, waarvoor € 15 per ton aan kosten wordt ingerekend. De kosten voor verplichte mestverwerking worden ingerekend op basis van een VVO (Vervangende VerwerkingsOvereenkomst) met een verwerkingsplicht van 30% en een prijs van € 1,05 per kg P. Deze gegevens zijn in het rekenmodel als veranderbare parameters opgenomen. Voor zover de stikstofbehoefte van de gewassen niet gedekt kunnen worden met de drijfmest, wordt kunstmest N aangevoerd. Op het ECOFERM -bedrijf zijn verschillende dierlijke mestproducten aanwezig, elk met hun eigen N- en P-gehalten: urine, dunne en dikke fractie (zie Tabel 24). Hiermee ontstaan mestproducten met verschillende concentraties mineralen waarmee beter aan gewasbehoefte tegemoetgekomen kan worden.

Tabel 24: Gehaltes aan N en P in dierlijke mestproducten.

Mestproduct	N (kg/m ³)	P (kg/m ³)
Drijfmest	4,40	0,93
Urine	4,50	0,30
Vaste mest	4,27	1,53
Digestaat	4,45	1,59
Dunne fractie digestaat	4,60	0,60
Dikke fractie digestaat	4,00	5,05

De gehalten in Tabel 24 zijn gebaseerd op normen, aannames en waarnemingen onder de voorwaarde dat de kalveren in beide bedrijfsopzetten evenveel drijfmest produceren met gelijke hoeveelheid excretie van N en P per dier. De gehanteerde normen en waarnemingen betreffen: Mestproductie per dier van 3,3 m³ per dierplaats per jaar voor rosékalveren (diergebonden norm) voor de periode 1/8-1/3. Dit is vervolgens omgerekend naar 5,7 m³ gerekend over een heel jaar.

Excretie van 24,8 kg N per dier per jaar en 12,0 kg fosfaat per dier per jaar, wat overeenkomt met 5,2 kg P (diergebonden norm).

Bij scheiding bij de bron komt 50% van het volume terecht in de urine en 50% in de vaste mest (schatting Kroes).

Een N-gehalte in de urine van 4,5 kg per m³ en een P-gehalte van 0,3 kg per m³ (metingen Kroes). Deze gehalten zijn gebruikt om de gehalten van vaste mest te berekenen op basis van de gebruikte excretiecijfers.

De gehalten aan N en P in het digestaat zijn afgeleid uit die van de vaste mest, waarbij gecorrigeerd wordt voor de biogasproductie en de daarmee samenhangende afname in de hoeveelheid VS (Volatile solids).

Om de N- en P-gehalten van dunne en dikke fractie te berekenen, is uitgegaan van een scheidingsrendement van 22% naar de dikke fractie (v/v) en 20 respectievelijk 70% van de N en P naar de dikke fractie⁴.

⁴ DLV. Protocol administratie bij afvoer van het bedrijf.

Op basis van de verkregen gehalten in de dierlijke mestproducten (urine, dunne en dikke fractie digestaat) is de plaatsingsruimte van deze producten op het landbouwareaal berekend. Hierbij is aangenomen dat een maximale hoeveelheid mestproducten op eigen land wordt toegepast.

4.2.4 Eendenkroos

Zoals eerder aangegeven, is er op het ECOFERM-bedrijf voor gekozen om het graslandareaal te vervangen door eendenkroos. Om te kunnen profiteren van de warmteproductie en de CO₂-productie van de kalveren, is het van belang om het kroos in tunnelkassen te telen. Dit lijkt de goedkoopste optie om kroos als bedekte teelt te produceren, wat nodig is om optimaal te profiteren van warmte en CO₂ van de kalveren. De tunnelkassen hebben als bijkomend voordeel dat de wind geen vat heeft op het kroos, zodat het volledige wateroppervlak ook productief kan zijn. Het gebruik van kassen heeft als belangrijk nadeel de investeringskosten. In het ECOFERM-voorbeeldbedrijf te Uddel vindt de teelt van kroos plaats op de zolder van een kalverstal. Dat heeft logistieke voordelen, maar is beperkend in het oppervlak aan eendenkroosteelt. Dat is de reden dat in deze berekeningen is gekozen voor een teelt in tunnelkassen waarmee een groter oppervlak aan kroosteelt gerealiseerd kan worden.

Het eiwitgehalte van kroos is volgens de analyses van NutriConsult 430 g per kg drogestof (zie Hoofdstuk 3). Dit komt overeen met het gehalte van 450 g per kg droge stof zoals aangegeven door Landolt & Kandeler (1987). Het gehalte hangt sterk samen met de groeiomstan-

digheden (Landesman et al, 2005). Bij de berekeningen is verondersteld dat de voorziening met meststoffen de gevonden waarde ondersteunt. Met andere woorden: de gift is gelijk aan de afvoer. De fosfaatopname door kroos blijkt uit de analyses van NutriConsult te liggen op 10,4 g P per kg droge stof, wat goed overeenkomt met de 10 g P per kg drogestof zoals gevonden door Leng et al (1995).

Een belangrijk aandachtspunt van eendenkroos is de waterverdamming. In de berekeningen is een evapotranspiratie van 600 mm per jaar aangehouden. Bij tunnelkassen kan neerslag dit niet direct compenseren (tenzij dit water in een bassin wordt opgevangen), en bovendien kan kroos niet profiteren van het watervasthoudend vermogen in de grond.

De vijvers voor de kroosteelt hebben een lengte van 50 m, een breedte van 5 meter en zijn 20 cm diep (met een netto oppervlak van 245 m² in verband met afgeronde uiteinden van de vijvers en een watervolume van 49 m³). Twee vijvers worden in één tunnelkas geplaatst met een oppervlakte van 600 m². Van dit oppervlak is 490 m² effectief (netto teeltoppervlak). Bij een groter oppervlak voor eendenkroosproductie zijn dus meer kassen nodig. Om warmte en CO₂ op basis van stal-lucht in de tunnelkassen te brengen, wordt gebruik gemaakt van de standaard ventilatiecapaciteit van de kalverstal.

Voor de teelt van eendenkroos is energie nodig. Op de eerste plaats moet een schoepenrad ervoor zorgen dat het kroosdek geëgaliseerd wordt ten behoeve van een maximale productie. Per vijver is hiervoor een vermogen van 0,3 kW nodig. Op de tweede plaats moeten de vijvers belucht worden om het water van zuurstof te voorzien.

Hiervoor wordt een blower van 3 kW gebruikt en wordt uitgegaan van een beluchting van 10 m³ per uur per vijver. Bij een totale beluchtingsbehoefte die uitstijgt boven de capaciteit van de blower, zijn meer blowers nodig. Voor zowel het schoepenrad als de blower is aangenomen dat deze 12 uur per dag draait gedurende 280 dagen per jaar. Ten slotte is elektriciteit nodig bij de oogst. Hiervoor is aangenomen dat een mobiel oogststelsel wordt gebruikt dat in één uur tijd het kroos uit een vijver kan oogsten en vervolgens verplaatst wordt naar andere vijvers. Het oogststelsel bestaat uit een opgaande transportband die het lekwater naar de vijver laat terugstromen. Uitgegaan is van een motor van 3 kW elektrisch.

Voor het berekenen van de investeringskosten, en daarmee de afschrijvingskosten, is uitgegaan van m²-prijzen voor kas, folie en montage van respectievelijk €7,50, €2,- en €3,-. Bij folie wordt uitgegaan van een afschrijving van 30% van de aanschafprijs per jaar van 15% voor de kas (inclusief de montage). Verder is per jaar 5% (betrokken op de aanschafprijs) gerekend voor onderhoud van de folie, terwijl dit voor de kassen op 2% ligt. Voor het schoepenrad is een aanschafprijs van €1.000 opgenomen met een afschrijving van 10% per jaar en onderhoudskosten van 2%. Voor de aanschaf van een blower is uitgegaan van €2.290 en een capaciteit van 400 m³ lucht per uur. Voor de berekening van het aantal benodigde blowers is uitgegaan van een behoefte aan 10 m³ per uur per vijver. Voor de blowers worden afschrijvingskosten van 20% en onderhoudskosten van 4% berekend. Ook is infrastructuur nodig (pijpen, elektra, et cetera) van €5.000 per ha met

afschrijvings- en onderhoudskosten van 10 en 2%. Ten slotte is een investering nodig voor het mobiele oogststelsel. Deze is gezet op €40.000 aanschafwaarde met 10% afschrijving en 1% onderhoudskosten.

4.2.5 Bemesting

Het landbouwareaal van beide bedrijven bedraagt in de berekeningen 15 ha, waarvan 12 ha in gebruik is voor snijmaïs dat gebruikt wordt op het eigen bedrijf. Het referentiebedrijf heeft 3 ha grasland, terwijl het ECOFERM-bedrijf de mogelijkheid heeft om dit grasland om te zetten in kroosproductie. Het gras produceert 10 ton drogestof per ha per jaar en de snijmaïs 12,5 ton. De kroosproductie wordt geschat op 25 ton drogestof per ha indien in kassen wordt geteeld, en op 9 ton bij teelt in de open lucht (geen productiestimulans door warmte, verhoogde CO₂-concentratie en windproblemen in de vijvers). De N-werkingscoëfficiënt voor drijfmest is gezet op 60%, voor dunne fractie en urine op 80% en voor dikke fractie op 40%. Deze percentages zijn gebruikt bij de berekening van de mestgiften⁵. Voor de bemesting is bij maïs en gras uitgegaan van de geldende normen. Voor maïs is een maximale gift dierlijke mest van 170 kg totale N gehanteerd en een norm van 140 kg werkzame N. Voor maaigrasland zijn deze getallen 170 en 320⁶ kg per ha. Daarnaast zijn P-gebruiksnormen gehanteerd. Voor grasland is uitgegaan van 90 kg P₂O₅ (en dus 39 kg P) en voor bouwland van 50 kg P₂O₅ (en dus 22 kg P)⁷. Bij de berekening van de uiteindelijke mestgiften in beide bedrijfstypes is gebruik gemaakt van lineair programmeren op basis van de Solver in Excel onder de volgende voorwaarden:

- De bemesting blijft binnen de daarvoor geldende normen (zie hierboven);
- De hoeveelheid te gebruiken mest wordt gemaximaliseerd naar gewicht van de mestproducten omdat dit gewicht samenhangt met de afzetkosten. Op deze manier worden dierlijke mestproducten gekozen boven kunstmest met veel hogere gehalten aan nutriënten.
- Bij eendekroos zijn nog geen mestnormen van toepassing. Aangenomen is dat de hoeveelheid nutriënten (N en P) af te voeren met eendekroos, gelijk is aan de totale N- en P-gehalten van de producten (en dus dat de werkzaamheid voor dit gewas 100% is).

4.2.6 Energie en broeikasgasemissie

Het ECOFERM-bedrijf beschikt over een monovergister en produceert hiermee hernieuwbare energie die op basis van een SDE-subsidie kostenneutraal draait. Er wordt van uitgegaan dat de warmte die vrijkomt in de WKK (29% elektrisch rendement met een totaal benutbaar rendement van 90%) volledig benut wordt om een gebouw te verwarmen, waardoor het gebruik van aardgas wordt vermeden. Door de directe verwerking van de mest, is de biogasopbrengst hoger dan van mest die gedurende enige tijd in opslag ligt. Daarmee houdt verband dat met de directe verwerking van mest in het ECOFERM-bedrijf methaanemissie wordt vermeden ten opzichte van het referen-

⁵ Tabel 3. Werkingscoëfficiënt. Mestbeleid 2014-2017. Januari 2014.

⁶ Tabel 1. Stikstofgebruiksnormen. Mestbeleid 2014-2017 Tabellen, Januari 2015.

⁷ Tabel 2. Fosfaatgebruiksnormen. Mestbeleid 2014-2017 Tabellen, Januari 2014.

tiebedrijf. Op basis van een studie van Zwart et al (2006) zijn we in onze berekeningen uitgegaan van een vermeden emissie van 1,8 kg methaan per ton mest. De vermeden CO₂-equivalenten voor elektriciteit zijn gebaseerd op de Biograce-database versie 4 (www.biograce.net) en bedragen 1,24 kg per kWh. Voor de bepaling van de vermeden CO₂-equivalenten door het gebruik van warmte van de WKK in plaats van aardgas, is gebruik gemaakt van kengetallen door Vreuls & Zijleman (2009). De berekening komt neer op 1,79 kg CO₂-equivalenten per Nm³ aardgas.

Ten slotte is ook nagegaan in welke mate de warmte van de WKK en de warmte van de dieren gebruikt kan worden om een tuinbouwkas van warmte te voorzien en te berekenen welke broeikasgasemissie hiermee samenhangen. Dit is dan als alternatief meegenomen voor de verwarming van de tunnels bij de productie van eendenkroos. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde warmteproductie per kalf van 507 Watt (berekeningen J. van Liere, persoonlijke mededeling). Verder is uitgegaan van een maximaal verschil tussen de buitenluchttemperatuur en de temperatuur in de kas van 23 °C (-5 °C buitenlucht en 18 °C in de kas). Bij de berekeningen is onderscheid gemaakt tussen twee kastypes, namelijk een slecht geïsoleerde Venlo-kas (enkel glas) met een isolatiewaarde van 7,42 W per °K per m² en een goed geïsoleerde Venlo-kas (dubbelwandig met flexibele kunststofplaat) met een waarde van 2,93 W per °K per m². Ten slotte is als extra scenario meegenomen het gebruik van een thermische warmtepomp met een COP (Coefficient of Performance) van 4, waarmee de warmte van de WKK beter benut kan worden. Met deze gegevens en de beschikbare warmte kan een theoretisch maximaal grondoppervlak aan kasoppervlak berekend worden, waarmee dan een hoeveelheid broeikasgasemissie wordt bespaard gebaseerd op 56,8 kg CO₂-equivalenten per GJ aardgas (Hesling & Van Harmen, 2006). De berekening gaat uit van een vierkante kas met een hoogte van 5 m.



Figuur 22: Luchtfoto van het ECOFERM-bedrijf.

4.3 Vergelijking bedrijven

4.3.1 Rantsoen kalveren

Tabel 25 geeft het resultaat weer van de voerinkoop in het referentiebedrijf en het ECOFERM-bedrijf in twee varianten (kroos al dan niet in kassen). Dit resultaat geldt onder de voorwaarde dat het voer dat op eigen bedrijf wordt geteeld, volledig op het bedrijf zelf benut wordt. De totale drogestofinname per dier is in alle scenario's gelijk, terwijl aan de voederbehoefte van de dieren tegemoetgekomen wordt binnen de gestelde bandbreedte van Tabel 23. Ook houdt deze berekening rekening met de aanname dat kroos slechts zes maanden per jaar beschikbaar is voor voeding. Tabel 25 laat zien dat bij de aankoop van veevoeder, het ECOFERM-bedrijf respectievelijk € 9.235 goedkoper uit is bij de teelt van kroos in kassen en € 733 bij de teelt in de buitenlucht. Bij de gehanteerde prijzen blijkt het eendenkroos vooral gras te vervangen. Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit dat het standaardbedrijf zelf gras produceert op 3 ha, en dus bovenop de hoeveelheid in Tabel 25 nog 57 ton vervoedert. Het ECOFERM-bedrijf gebruikt iets minder soja en aardappelsnippers, maar iets meer raapzaadschilfers en suikerbietenpulp. Tabel 26 laat zien dat de bedrijven niet al te veel verschillen voor wat betreft de gerealiseerde voedernormen.

Tabel 26 laat zien dat kroos een hoge OEB heeft; zelfs hoger dan die van soja (terwijl soja een hoger DVE, Darm Verteerbaar Eiwit-gehalte, heeft). De OEB heeft bij voorkeur een waarde die dicht of zelfs onder 0 ligt (Remmelink et al, 2015). Een te lage waarde kan betekenen dat de pensmicroben onvoldoende stikstof tot hun beschikking hebben, terwijl een te hoge waarde het dier energie kost en bovendien een te hoge stikstofemissie via de urine veroorzaakt (Van Schooten, 2015). De eigenschappen van kroos dienen dus in het rantsoen gecompenseerd te worden met energiebronnen met lagere OEB.

Tabel 25: Aankoop veevoeder per bedrijf (ton product/jaar).

Voerproduct	Standaard	ECOFERM	
		Kroos in kassen	Kroos buiten
Gehakseld tarwestro	131	131	131
Eendenkroos	0	0	0
Graskuil (jr gem)	1.670	1.297	1.572
Maïskuil 280- 320 Ds	0	0	0
Soja 60 RC, 460 RE	242	170	216
Aardappelsnippers vers	2.724	2.684	2.710
Raapzaadschilfers	519	562	535
Suikerbietenperspulp	319	499	384
Kosten aankoop	€ 514.500	€ 505.265	€ 513.768

Behoefte	Norm	Standaard	ECOFERM ¹		Eenheid
	Waarde	Bedrijf	Kroos in kassen	Kroos buiten	
DVE	100	98	98-98	98-98	g per kg ds
OEB	0	41	32-41	38-41	g per kg ds
DVlys	6.0	6.3	6.4-6.3	6.3-6.3	g per kg ds
DVmeth	2.3	2.1	2.1-2.1	2.1-2.1	g per kg ds
NDF	300	324	305-324	317-324	g per kg ds
P	5.0	4.5	4.5-4.5	4.5-4.5	g per kg ds
Zetmeel	170	177	174-177	176-177	g per kg ds
VEVI	1100	1050	1050-1050	1050-1050	eenheden per kg ds
Droge stof	6	6	6	6	kg per kalf per dag

Bij het berekende rantsoen bedraagt het percentage drogestof in totaal 43% bij het referentiebedrijf, en 36 en 40% bij ECOFERM met kroos in respectievelijk kassen en in de buitenlucht. Idealiter moet het percentage op minimaal 45% liggen. Het rantsoen wordt als gevolg van het kroos en de aardappelsnippers dus te nat. Indien we bij kroos een drogestofpercentage aannemen van 10 of 20%, dan stijgt het drogestofgehalte in het rantsoen bij ECOFERM naar 40 respectievelijk 43% (getallen voor kroosteelt in kassen). Dit geeft aan dat een beperkte droging van het kroos nuttig zou kunnen zijn en mogelijk zelfs aan te bevelen indien hierdoor de voederwaarde verbeterd zou worden (zie ook Hoofdstuk 3). Een alternatief voor kroosdroging is om de natte aardappelsnippers in het rantsoen te vervangen door maïsmeel of geplette tarwe. Dit geeft ruimte om een natte eiwitbron te kiezen.

Met het rekenmodel is nagegaan bij welke prijs van eendenkroos het referentiebedrijf dit product zou gaan inkopen bij gelijkblijvende prijzen van de overige producten. Om dat te bereiken, moet de prijs dalen tot €175 per ton droge stof. Bij 43% ruw eiwit komt dit neer €407 per ton ruw eiwit en € 1.250 per ton DVE. Uitgedrukt per ton vers is dit € 8.75=. In deze situatie zouden de ECOFERM-bedrijven geen gras maar vooral kroos gaan aankopen. Overigens daalt het ds% van het totale voerrantsoen dan bij het referentiebedrijf en bij de ECOFERM-bedrijven naar een onacceptabele 27%, en zullen extra droge grondstoffen toegevoegd moeten worden.

Als gevolg van het hoge vochtgehalte van kroos zullen de dieren op het ECOFERM-bedrijf via het voer iets meer vocht innemen, waardoor iets minder drinkwater benodigd is. De hoeveelheid drinkwater is voor het referentiebedrijf becijferd op 7.467 m³/jaar, terwijl dit voor de beide ECOFERM-scenario's 6.343 respectievelijk 7.062 m³/jaar is.

Het lage OEB-gehalte van kroos en de daaraan gekoppelde grotere behoefte aan voer met een laag OEB, wordt duidelijk als we de kosten van aardappelsnippers laten dalen. Bij 80% van de waarde (€160 per ton drogestof), gaat het standaardbedrijf eendenkroos inkopen tegen een prijs van €250 per ton drogestof. Ook het ECOFERM-bedrijf

Tabel 26: Gerealiseerde voedernormen per bedrijf.

¹ Het linkergetal in de kolommen geeft de zomerwaarde aan (eendenkroosvoeding) en het rechtergetal de winterwaarde.

koopt dan extra kroos in. Het gemiddeld drogestofpercentage van het voer daalt dan ook bij het standaardbedrijf onder de 30%.

Als de prijs van soja met 30% stijgt, zal het standaardbedrijf geen soja meer inkopen en compenseert dat met de inkoop van kroos. Het prijsverschil van de voeraankoop ten opzichte van ECOFERM zal dan stijgen tot €14.700 resp. €2.700 bij kroosteelt in kassen en de buitenlucht.

De onderlinge prijsverschillen tussen de producten kan aanleiding geven tot sterke veranderingen in het rantsoen. Indien bijvoorbeeld kuilgras in prijs wordt verhoogd met 30%, dan gaan het standaardbedrijf en de ECOFERM-bedrijven vooral eendenkroos inkopen. De hoeveelheid aardappelsnippers neemt dan toe, net als het gebruik van suikerbietenpulp. Opvallend is in dit scenario dat de verschillende bedrijven geen soja meer inkopen.

4.3.2 Mest en mestverwerking

De 1.200 kalveren produceren op jaarbasis een hoeveelheid mest die neerkomt op 6.789 m³ mest. Door scheiding bij de bron op het ECOFERM-bedrijf, wordt hier 3.394 m³ dikke mest en hetzelfde volume urine geproduceerd, met elk hun eigen concentraties aan N en P (Tabel 27). Het ECOFERM-bedrijf gebruikt de dikke mest om te vergisten, waarbij per m³ mest 35 Nm³ biogas wordt geproduceerd met een methaangehalte van 60%. In totaal gaat het om 118.800 Nm³ biogas, wat via de WKK resulteert in 209.583 kW_{th} en 440.847 kWh_{th}. De vergister produceert 3.259 m³ digestaat, waarbij rekening is gehouden met het gewichtsverlies van 4% als gevolg van de vergisting. Dit digestaat wordt gescheiden in dikke en dunne fractie, met als resultaat 717 m³ dikke en 2.542 m³ dunne fractie.

Het standaardbedrijf kan van de 6.789 m³ drijfmest in totaal, op het maïs- en grasareaal 399 m³ gebruiken. Dit komt neer op een hoeveelheid P-overschot op het bedrijf van 5.919 kg, waarvan 30% via VVO-contracten verwerkt moet worden. De drijfmest wordt op de mestmarkt afgezet tegen de hiervoor aangehouden prijs. Op het ECOFERM-bedrijf met kroos in kassen blijft in totaal 5.051 m³ dierlijke mestproducten ongebruikt op het eigen bedrijf, hetgeen bij het ECOFERM-bedrijf met kroos in de open lucht meer is, namelijk 5.785 m³ (zie Tabel 4.7). Het P-overschot op deze twee bedrijven is iets lager. De mestafzetkosten op het ECOFERM-bedrijf zijn lager door het geringere mestoverschot (Tabel 27).

Bedrijf	Mestproduct	Mestoverschot (m ³)	P-overschot (kg)
Standaard	Drijfmest	6.390	5.919
ECOFERM, kroos in kassen	Urine	1.816	595
	Dunne fractie	2.542	1.553
	Dikke fractie	693	3.503
ECOFERM, kroos buiten	Urine	2.550	835
	Dunne fractie	2.542	1.553
	Dikke fractie	3.503	3.503



Tabel 27: P- en mestoverschot.

Figuur 23: Warmwatertank voor opslag van de warmte uit de WKK.

4.3.3 Bemesting

In Tabel 28 staan de gewasbehoefte opgesomd gebaseerd op N- en P-gebruiksnormen voor zowel het standaardbedrijf als het ECOFERM-bedrijf. Daarbij hebben we onderscheid gemaakt tussen kroosteelt in kassen of in de open lucht. De getallen zijn gebaseerd op de gewasbehoefte per ha en het aantal ha. Het is evident dat voor maïs de behoeftes bij beide bedrijven gelijk zijn, omdat beide bedrijven 12 ha maïs hebben. Vervolgens is nagegaan hoe de beschikbare mestproducten ingezet kunnen worden om in deze behoeftes te voorzien. Hierbij is, zoals hiervoor al vermeld, uitgegaan van lineair programmeren via de Solver-applicatie in Excel onder de voorwaarden van de diverse bemestingsnormen, en met het streven naar maximalisatie van volume mestgebruik op het eigen bedrijf.

Gewas	Referentiebedrijf		ECOFERM	
	N (kg)	P (kg)	N (kg)	P (kg)
Maïs	2040	262	2040	262
Gras	510	118	-	-
Kroos in kassen	-	-	5.160	750
Kroos buiten	-	-	1.858	270

Tabel 28: Gewasbehoefte N en P (kg).

De resultaten voor het referentiebedrijf staan vermeld in Tabel 29. De hoeveelheid te plaatsen drijfmest wordt bepaald door de mineralengehaltes van het mestproduct en de van toepassing zijnde nutriëntnormen. De berekeningen laten zien dat met de drijfmest slechts een deel van de N-behoefte gedekt kan worden en zelfs niet alle P-behoefte. In deze behoeftes moet dus voorzien worden door N en P aan te voeren van buiten het bedrijf. In dit scenario wordt uitgegaan van kunstmest N via KAS en P via tripelsuperfosfaat.

Tabel 29: Bemesting op het referentiebedrijf.

Gewas	Drijfmest toediening (m ³)	KAS (kg)	Tripelsuper (kg)
Maïs	283	3.500	0
Gras	116	2.500	51

De toegepaste bemesting op de beide varianten van het ECOFERM-bedrijf, staat vermeld in Tabel 30. De berekeningswijze verkiest het gebruik van urine en dikke fractie boven dat van dunne fractie. Te zien is bovendien dat in de ECOFERM-scenario's minder KAS toegepast hoeft te worden, maar dat wel tripelsuperfosfaat nodig is om aan de fosfaatbehoefte van het kroos te voldoen. Blijkbaar is de N/P-verhouding in de urine en dunne fractie een onvoldoende match met de N/P-verhouding in het kroos.

Bedrijf	Gewas	Urine (m ³)	Dunne fractie (m ³)	Dikke fractie (m ³)	KAS (kg)	Tripel-super (kg)
ECOFERM, kroos in kassen	Maïs	432	0	24	300	0
	Kroos	1.147	0	0	0	1.900
ECOFERM, kroos buiten	Maïs	432	0	24	300	0
	Kroos	413	0	0	0	690

Tabel 30: Bemesting op het ECOFERM-bedrijf.

4.3.4 Eendenkroos

De investerings- en afschrijvingskosten voor de eendenkroosinstallatie zijn opgenomen in Tabel 31. Per jaar moeten op de 3 ha eendenkroos, afschrijvings- en onderhoudskosten van ruim €89.000 belast worden. Dit komt per hectare neer op een bedrag van bijna €30.000. Het hoeft geen betoog dat dit voor de teelt van een veevoederproduct in economische termen niet realistisch is.

Investering c.q. afschrijving	Uitrusting	Bedrag
Investering	Kassen	€345.000
	Schoepenraden	€ 92.000
	Blowers	€ 6.870
	Oogststelsysteem	€ 40.000
	Infra	€ 23.000
Totaal 3 ha		€506.870
Afschrijving en onderhoud	Kassen	€ 66.930
	Schoepenraden	€ 11.040
	Blowers	€ 1.649
	Oogststelsysteem	€ 4.400
	Infra	€ 5.290
Totaal 3 ha		€ 89.309

Tabel 31: Vaste kosten voor de teelt van eendenkroos in het ECOFERM-scenario.

Naast de vaste kosten zijn er ook variabele kosten toe te rekenen aan de teelt van eendenkroos. De belangrijkste hiervan lijkt de elektriciteit (zie Tabel 32).

Apparatuur	kWhe per jaar
Schoepenraden	92.736
Blowers	30.240
Oogsten	11.040
Totaal 3 ha	134.016

Tabel 32: Verbruik aan elektriciteit voor de productie van eendenkroos.

Indien geen kassen worden gebruikt, zijn de afschrijvings- en onderhoudskosten belangrijk lager, terwijl de kosten voor elektra gelijk blijven bij een substantieel lagere opbrengst. Bij een prijs van €0,10 per kWh, is dit €13.401. In combinatie met de eigen elektriciteitsopwekking is een halvering van deze kostenpost reëel. Bij een drogestofopbrengst voor de 3 ha van in totaal 75 ton, wordt per kg drogestof een kostenniveau van €0,18 per kg voor de elektriciteit, en €1,19 per kg voor afschrijving en onderhoud gerealiseerd. In totaal is dit dus €1,37. Hierin zijn nog niet de arbeidskosten voor de oogst of de waterverbruikskosten verrekend.

Zoals eerder aangegeven, is de verwachte opbrengst aan eendenkroos in plastic tunnelkassen hoger dan in de buitenlucht. Dit heeft onder andere te maken met het feit dat in kassen de CO₂ op een hogere concentratie gehouden kan worden, met als gevolg extra opbrengst, en dat de temperatuur verhoogd kan worden in periodes waarin de temperatuur in de buitenlucht de groei van eendenkroos beperkt (vooral in het voorjaar, omdat dan de hoeveelheid licht al in belangrijke mate toeneemt). Volgens de berekening legt het kroos in totaal 96 ton CO₂ kort-cyclisch vast, terwijl de kalveren in totaal per jaar 2.208 ton CO₂ produceren op basis van 1,8 ton CO₂ per kalf per jaar (gege-

vens Van Liere, persoonlijke mededeling). Er lijkt dus op het bedrijf ruim voldoende CO₂ beschikbaar om de kroosopbrengst te stimuleren. De kalveren produceren verder een aanzienlijke hoeveelheid warmte. Dit kan becijferd worden op 43,8 MJ per kalf per dag (rekening houdend met een gemiddelde grootte van de kalveren) op basis van 507 W per dier. Deze hoeveelheid warmte kan gebruikt worden voor verwarming van de lucht in de plastic kassen. De totale hoeveelheid laagwaardige warmte uit de kalverstal is 19.187 GJ per jaar.

Bij een evapotranspiratie van 600 mm per jaar, wordt op 3 ha 18.000 m³ water verdampt. Als rekening gehouden wordt met de hoeveelheid water die afgevoerd wordt met het kroos en de hoeveelheid water die met urine en dunne fractie aangevoerd wordt, is 19.425 m³ water per jaar nodig in de teelt van eendenkroos in een tunnelkas. Deze kan voor het grootste deel via de opvang van condens of regenwater worden toegevoerd. Dit is 259 liter per kg drogestof. Of er in tunnelkassen daadwerkelijk netto 600 mm per jaar verdwijnt, berust op een aanname. Metingen zouden dit moeten verwerpen dan wel onderbouwen.

4.4 Kosten en besparingen

Tabel 33 geeft de kosten weer van het referentiebedrijf en de ECOFERM-varianten, toegespitst op die kostenposten waar de varianten invloed op hebben.

Kostenpost	Standaard	ECOFERM, kroos in kassen	ECOFERM, kroos buiten
Mestverwerking en -afzet	€ 97.708	€ 83.712	€ 92.594
Verschil		€ 13.996	€ 5.114
Voerrantsoenaankoop	€ 514.501	€ 505.265	€ 513.768
Verschil		€ 9.235	€ 733
Kunstmestaankoop	€ 1.584	€ 843	€ 357
Verschil		€ 741	€ 1.227
Kroosteelt ex energiekosten		€ 102.346	€ 35.416
Verschil		-€ 102.346	-€ 35.416
Energiekosten kroosteelt		€ 13.041	€ 13.041
Verschil		-€ 13.041	-€ 13.041

Tabel 33: Kosten referentiebedrijven
ECOFERM-varianten.

4.4.1 Mestafzet

Tabel 33 geeft aan dat op het ECOFERM-bedrijf op de mestafzetkosten kan worden bespaard. Dit is een gevolg van een groter volume aan dierlijke mestproducten dat binnen de normen afgezet kan worden. Hierbij moet aangetekend worden dat een belangrijk deel van het voordeel wordt gerealiseerd met eendenkroos, onder de aanname dat de hoeveelheid nutriënten die afgevoerd worden met kroos, ook voor de volledige 100% aangevoerd mogen worden. Voor kroos zijn echter geen gebruiksnormen vastgesteld, en dit lijkt in verband met de teelt in gesloten vijvers ook niet nodig. Nitraatuitspoeling is in deze teelt immers niet mogelijk. Er kan worden vastgesteld dat kroos met 25 ton drogestof per ha en 43% ruw eiwit, een grote behoefte heeft aan stikstof en fosfaat. Het gewas kan tot wel vijf maal meer fosfaat en tien maal meer stikstof per hectare opnemen dan maïs. Bij een significant areaal is dat gunstig voor de recirculatie op het eigen bedrijf.

Naast het voordeel op basis van mestafzet, is er bij de toepassing van ECOFERM ook een bescheiden voordeel te boeken op kunstmestkosten, uiteraard onder de voorwaarde van de aannames voor de verdeling van nutriënten over de dierlijke mestproducten.

4.4.2 Rantsoen

Op het rantsoen kan met het toepassen van ECOFERM een lichte besparing bereikt worden. Het is hierbij belangrijk te noteren dat de voederkwaliteit van kroos gebaseerd is op het vers vervoederen van het product. Verwacht mag worden dat de kwaliteit toeneemt met een bewerkingslag waarbij een hoogwaardiger product ontstaat met perspectief op hogere besparingen. Dat zal echter ook de kosten verhogen. Ook zal de stijging van de sojaprijs een positief effect hebben op de verschilprijs van het ECOFERM-rantsoen.

4.4.3 Energie

Het resultaat van de berekeningen op basis van het kasoppervlak dat gekoppeld kan worden aan de warmteproductie van de dieren plus eventueel de WKK (al dan niet gecombineerd met een thermische warmtepomp), staat vermeld in Tabel 34. Hierbij dient aangetekend te worden dat dit slechts een theoretische berekening is met een aantal aannames, waarvan de belangrijkste is dat de temperatuur uit de kalverstal voldoende hoog is om het temperatuurverschil ook daadwerkelijk te kunnen overbruggen. Berekeningen van Van Liere (persoonlijke mededeling) geven aan dat de temperatuur maximaal 18 0C is, wat de mogelijkheden in de praktijk beperkt.

Scenario			Oppervlak	BKG-reductie
Kas type	Gebruikte warmte	Thermische warmtepomp	m ²	ton CO ₂ -equivalenten per jaar
Slecht geïsoleerd	Stal + WKK	-	1.843	1.180
Goed geïsoleerd	Stal + WKK	-	6.300	1.180
Slecht geïsoleerd	WKK	+	249	361
Goed geïsoleerd	WKK	+	1.265	361
Slecht geïsoleerd	Stal + WKK	+	2.460	1.450
Goed geïsoleerd	Stal + WKK	+	8.112	1.450

Tabel 34: Kasoppervlak bij diverse scenario's en hieraan gekoppelde broeikasgasemissiereductie.

De cijfers in Tabel 34 geven aan dat de stalwarmte theoretisch de belangrijkste bijdrage kan leveren door het verwarmen van een tuinbouwkas. De warmte is echter laagwaardig. De totale warmte van de dieren is berekend op 19.187 GJ per jaar, terwijl de WKK in totaal 1.587 GJ per jaar levert. De gegevens in Tabel 4.15 laten zien dat een kas gebaseerd op alleen de warmte van de WKK onrealistisch klein is, en dat de laagwaardige warmte van de kalveren beslist nodig is. Een warmtepomp is dan noodzakelijk om voldoende temperatuur in de kas te kunnen genereren. Deze warmtepomp kan door de hogere temperaturen van de stallucht, een hoger rendement bereiken dan bij warmteopwerking uit de omgevingslucht. De berekeningen laten zien dat de BKG-emissiereductie van een kas bij gebruik van de warmte van de dieren, een ordegrrootte hoger ligt dan de eerder berekende BKG-emissiereductie.

Het is bij directe kasverwarming (waarbij de stallucht door de kas wordt gevoerd) van belang om de stallucht te ontsmetten met UV-straling in verband met eventuele ziektekiemen in de stal, en te drogen met een droogmiddel (silicagel of zeoliet) om condens te voorkomen op basis van het vocht in de stallucht. Het droogmiddel kan met warmte van de WKK teruggewonnen worden voor hergebruik. Het nadeel van het gebruik van stallucht kan zijn dat in de kas een typische stallucht te ruiken kan zijn. Daarom lijkt een indirecte verwarming van de kas met behulp van een warmtepomp de meest kansrijke optie.

Figuur 24: Het biobed met de natte houtsnippers tussen de stal en de kas voor filtering van de ammoniak uit de stallucht.



4.4.4

Broeikasgasemissies

Op het ECOFERM-bedrijf wordt op drie fronten een vermindering van de broeikasgasemissie (BKG uitgedrukt in ton CO₂-equivalenten) behaald:

- De geproduceerde duurzame elektriciteit vermijdt 169 ton CO₂-equivalenten.
- Ervan uitgaande dat de warmte wordt benut en daarmee leidt tot vermindering van de inzet van fossiel gas, wordt hiermee 90 ton CO₂-equivalentenuitstoot verminderd.
- Door de dierlijke mest direct te verwerken en niet op te slaan, wordt 257 ton CO₂-equivalenten aan uitstoot verminderd ten opzichte van de standaardopslag.

In totaal vermijdt het ECOFERM-concept dus 516 ton CO₂-equivalenten. De prijs van CO₂-emissies is als gevolg van verminderde productie en van een overschot aan emissierechten, gedaald van €30 per ton in 2006 naar een niveau van € 5 per ton. De vermeden tonnen CO₂-equivalenten op het ECOFERM-bedrijf zou tegen 2006-prijzen €15.480 waard zijn, en tegen de huidige prijzen nog slechts € 2.580.

De besparingen op BKG-emissie kan ook gezien worden in het licht van de CO₂-footprint van de productie van kalvervlees. Volgens Blonk (2010) is de footprint van witveeskalveren 10,8 kg CO₂-equivalenten per kg geslacht vlees. Het bedrijf Westfleisch⁸ komt voor rosékalveren tot een footprint variërend van 8,7-10,9 kg CO₂-equivalenten per kg geslacht vlees. Bij een capaciteit van 1.200 kalveren en een gewichtstoename van 250 kg, rekening houdend met een rendement van 54% van het levend gewicht in kalfsvlees, produceren de hier beschreven bedrijven (standaard en ECOFERM) 243 ton kalfsvlees per jaar. De maximale BKG-emissiereductie van ECOFERM is 169 (elektriciteit) + 257 (vermijding emissie methaan) + 1.450 (Tabel 34) = 1.876 ton CO₂-equivalenten per jaar. Hiermee compenseert het ECOFERM-bedrijf dus 71-88% van zijn footprint, uitgaande van 2.114-2.649 ton CO₂-equivalenten per jaar indien de getallen van Westfleisch worden gehanteerd. De vermeden tonnen CO₂-equivalenten op het ECOFERM-bedrijf zouden tegen de huidige prijzen € 9.380 per jaar waard zijn, en tegen 2006-prijzen €56.280.

⁸ http://westfleisch.de/fileadmin/Bilder/05_Presse/05.02_Pressemitteilungen/2011-04-18_CO2-FP_Kalb/PM_Westfleisch_CFP_Kalb_2011-04-18_01.pdf

4.4.5

Hergebruik reststromen

Op het ECOFERM-bedrijf vindt een gedeeltelijke herbenutting van reststromen plaats. Dit geldt voor N, voor P, voor CO₂ en voor warmte. Indien we uitgaan van de ECOFERM-variant met kroosteelt in plastic tunnelkassen, kan een mate van recirculatie worden berekend zoals weergegeven in Tabel 35. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat alle warmte van de kalveren wordt gebruikt bij de teelt van eendenkroos, en dat van de CO₂-footprint in totaal 516 ton CO₂-equivalenten per jaar wordt gecompenseerd. Bij P blijkt de recir-

culatie bij ECOFERM lager te zijn dan op het standaardbedrijf. Dit hangt samen met de ongunstige verhouding van de N/P-behoefte van eendenkroos en het N/P-gehalte van de volumineuze mestproducten (urine en dunnefractiedigestaat). Deze verhouding zorgt er immers voor dat kunstmest-P moet worden aangevoerd en dit vermindert het recirculatiepercentage. In die zin kan het cijfer voor recirculatie gezien worden als een netto of gesaldeerd cijfer. Indien uitsluitend de dierlijke mest wordt gezien, ligt de recirculatie hoger. Indien het P-niveau in de urine met 25% zou stijgen, zou de recirculatie bij ECOFERM stijgen tot 2,4%.

Tabel 35: Recirculatie van stromen op de ECOFERM Kringloopboerderij.

¹ Gebaseerd op de footprint van geproduceerd vlees: gemiddelde van het bereik van 8,7-10,9 kg CO₂-equivalenten per kg geslacht vlees.

Stroom	Hoeveelheid	Standaard	ECOFERM
N	29.760 kg/jaar	0,5%	23,9%
P	6.288 kg/jaar	5,9%	0,4%
CO ₂ ¹	2.382 ton/jaar	0%	22%
Warmte	19.187 GJ/jaar	0%	100%

4.4.6 Investerings kroosteelt

Het belangrijkste verschil tussen de bedrijven heeft echter te maken met de teelt van eendenkroos. Met name de investeringen, zoals voor de plastic tunnelkassen, springen er in negatieve zin (Tabel 31). De energiekosten voor de teelt van kroos staan separaat in Tabel 33 vermeld en zijn eveneens aanzienlijk. Op het moment dat de elektriciteit betrokken kan worden uit de vergisting van mest, halveren de energiekosten naar circa € 0,05 per kWh.

4.5 Referenties

- Hesling D.C.A & A.K. Van Harmen, 2006. Vaststellingsmethodiek voor CO₂-emissiefactoren van aardgas in Nederland. TNO-rapport 2006-A-R0079/B.
- Kool, A., J. Pluimers & H. Blonk, 2013. Fossiel energiegebruik en broeikasgasemissie in de kalfsvleesketen 1990-2012. Blonk consultants, Gouda. Download: [http://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/11/blonk-kalfsvleesketen-_20V2.0-\(24-dec%202013\).pdf](http://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/11/blonk-kalfsvleesketen-_20V2.0-(24-dec%202013).pdf)
- Landesman L, Parker N C, Fedler C B & M. Konikoff, 2005. Modeling duckweed growth in wastewater treatment systems. Livestock Research for Rural Development. Vol. 17, Art. #61. Retrieved November 16, 2015, from www.lrrd.org/lrrd17/6/land17061.htm
- Landolt, E. & R. Kandeler, 1987. Biosystematic investigations in the family of duckweeds ("Lemnaceae"). Vol. 4 : The family of „Lemnaceae“ : a monographic study. Volume 2. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule,

- Leng, R.A., Stambolie J.H. & R. Bell, 1995. Duckweed - a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 7, Article #5. Retrieved November 16, 2015, from <http://www.lrrd.org/lrrd7/1/3.htm>
- Liere, J., G. Boosten, L. van Dijk, G. Hemke & A. Verschoor, 2011. ECEOFERM! De kringloopboederij. InnovatieNetwerk, Utrecht. Rapportnr. 11.2.248, ISBN 978-90-5059-432-5.
- Remmelink, G., J. van Middelkoop, W. Ouweltjes & H. Wemmenhove, 2015. Handboek Melkveehouderij 2015/2016. <http://www.wageningenur.nl/nl/show/Handboek-Melkveehouderij.htm>
- Schoten, H., van, 2015. Handboek snijmaïs. <http://www.wageningenur.nl/nl/show/Handboek-Snijmaïs.htm>
- Top, N., van, 2014. Dynamic modelling of duckweed production on the first ECOFERM closed-cycle farm for rosé calves. Bachelor thesis Biosystems Engineering. Wageningen University. Code YEi-80324.
- Vreuls, H.H.J & P.J. Zijleman, 2009. Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren, versie december 2009, SenterNovem, december 2009.
- Zwart, K.B., D.A. Oudendag, P.A.I., Ehlert & P.J. Kuikman, 2006. Duurzaamheid co-vergisting van dierlijke mest. Alterra-rapport 1437, ISSN 1566-7197.

5.

Slotbeschouwing en conclusies

De ECOFERM kringloopboerderij is in staat om interne kringlopen van nutriënten, ammoniak, methaan, CO₂, warmte en water geheel of gedeeltelijk te sluiten. Zo wordt de uitstoot van het broeikasgas methaan voor 80% gereduceerd. Ammoniakvorming wordt door aangepast mestmanagement met 50% verminderd, en de ammoniak wordt daarna nog voor 70% uit de lucht verwijderd, waarmee de totale reductie van de ammoniakuitstoot op 85% uitkomt. De mestvergister voorziet in 107% van de eigen elektriciteitsbehoefte en produceert daarbij warmte die extern wordt gebruikt. De mineralen uit de mest en de warmte en CO₂ van de dieren worden benut om de groei van eendenkroos te bevorderen. Bij een groter areaal kroos kan meer dierwarmte en CO₂ worden hergebruikt. Zo kan een groter deel van de reststromen binnen de ECOFERM gerecycled worden.

Na een jaar van intensief meten en managen van de eendenkroosteelt, is er veel geleerd over hoe eendenkroosteelt eruit moet zien. Verschillende groeifactoren zijn effectief beheerst, maar voor een aantal zijn nog verbeteringen mogelijk. Vooral de lichtinstraling blijkt een beperkende factor te zijn geweest in het huidige teeltsysteem. Daardoor bleef de kroosproductie steken op omgerekend 11 ton ds per ha. De lichtdoorlaatbaarheid van materialen zal 90% of hoger moeten zijn om de potentiële productie van 25 ton ds per ha te kunnen realiseren. Aanvulling met kunstlicht (LED-verlichting) kan de kroosproductie zelfs verhogen tot 50 ton ds per ha, mits ook de andere groeifactoren optimaal zijn.

Daarnaast is het vijverontwerp van belang om een goede doorstroming van het water te bevorderen en dode hoeken te vermijden. Het gebruik van een groot schoepenrad is nodig om een gelijkmatige beweging van het water te bevorderen. Groeiomstandigheden zoals

zoninstraling, lucht- en watertemperatuur, dichtheid van het kroosdek, zuurstofgehalte en nutriëntenconcentraties moeten continu gemeten en gemanaged worden. Het oogst-, bemestings- en klimaatmanagement kan worden geautomatiseerd met moderne technieken uit de glastuinbouw.

Het financiële voordeel van toepassing van kroos in het voerrantsoen is weliswaar relatief beperkt, maar toch betekenisvol. Bij de huidige omstandigheden en het gekozen teeltsysteem is de teelt van eendenkroos als grondstof voor veevoer economisch nog niet rendabel. De veevoedkundige waarde van eendenkroos moet nog verbeteren: het OEB-gehalte van vers kroos is hoog, de DVE is hoog in vergelijking met gras maar laag in vergelijking met soja, en het ds-gehalte is bij vers vervoeren erg laag. Het inpassen van kroos leidt bij de huidige prijzen vooral tot vervanging van kuilgras in het rantsoen, maar dit verandert als de prijs van soja stijgt. Het gemiddelde ds-gehalte van het voer kan te laag worden als er grote hoeveelheden in het rantsoen worden opgenomen.

De berekeningen geven verder aan dat door mestscheiding een verhoogde afzet aan dierlijke mestproducten mogelijk is, en daarmee een afname van de afzetkosten van mest. Een bedrijf met 1.200 rosé kalveren produceert een hoeveelheid urine die op 6 ha kroos toegepast kan worden. Hiervoor zou anders het tienvoudige areaal gras- of maïsland nodig zijn. Het ECOFERM-concept leidt tot een sterke vermindering van de broeikasgasemissies. De directe scheiding en afvoer van de vaste fractie en de productie van elektriciteit en warmte uit biogas dragen leveren hieraan een belangrijke bijdrage. De vermeden CO₂ emissies kunnen tot waarde worden gebracht bij een functionerend ETS (Emission Trading System).

De teelt en markt van eendenkroos staan nog in de kinderschoenen. De teeltkosten zouden nog aanzienlijk kunnen worden gereduceerd indien meer ingezet wordt op de ontwikkeling van technologie voor de teelt en oogst van het kroos en de bereiding van het voedingsmedium. Ook veredeling van kroos lijkt nog veel potentie te hebben; in de huidige ECOFERM zijn uitsluitend wilde varianten gebruikt. Daarnaast zou het telen van eendenkroos in verouderde, afgeschreven tuinbouwkassen de economische perspectieven kunnen verbeteren. Aan de opbrengstenkant kan de financiële haalbaarheid worden vergroot wanneer andere, meer hoogwaardige, markten in zicht komen zoals verse groente (waterlinzen) of eiwitconcentraat voor de food industrie.

Ook kan het interessant zijn om te kijken naar andere toepassingen voor de CO₂ en warmte die de kalveren produceren. Gedacht kan worden aan de koppeling van een kalverstal met een tuinbouwkas. Er ontstaat dan een synergie tussen intensieve veehouderij en intensieve plantenteelt. Dat kan bijdragen aan een verdere emissiereductie van broeikasgassen. Zo blijkt de koppeling van de kalverhouderij aan een tuinbouwkas met volledige benutting van de warmte van de dieren, een compensatie van maar liefst 71-88% van de totale footprint qua broeikasgassen van kalfsvlees op te leveren. Nutriënten uit de veehouderij kunnen dan in de kasteelt benut worden. In deze opzet is al op

korte termijn een ecologisch en economisch duurzaam ECOFERM-concept mogelijk.

89

Het ECOFERM-concept dient een aantal verschillende maatschappelijke doelen, zoals vermindering van voer- en mineralenimport, minder landgebruik in de tropen, minder vernietiging van regenwoud, een sterke stijging van eiwitproductie per hectare (tot 10x hoger dan bij sojateelt), een meer circulaire bedrijfsvoering en een vermindering van mesttransport. Tegen deze achtergrond is te overwegen om voor duurzame Nederlandse eiwitproductie een soortgelijk stimuleringsbeleid te voeren als voor duurzame energie. In Nederland wordt de onrendabele top voor opwekking van duurzame energie vergoed middels de SDE+ regeling. De benodigde gelden worden opgebracht door een opslag op het gebruik van fossiele energie. Met een soortgelijk systeem zou de import van eiwitrijke grondstoffen uit tropische gebieden op andere continenten belast kunnen worden, om met de aldus gegenereerde middelen de transitie naar een meer circulaire en zelfvoorzienende veehouderij te bevorderen.

Bijlage I: Verslag kroosteelt 2014

Van eind 2013 tot en met 2014 is er in verschillende opzetten getest bij welke omstandigheden kroos optimaal groeit. Uit de resultaten van deze testen zijn telkens verbeterpunten naar voren gekomen, die in de opzet van de volgende tests meegenomen zijn. Uitslagen van monsternames tijdens deze tests zijn aan het einde van dit verslag opgenomen. Op basis van de resultaten in 2014 is een robuuste teeltmethode ontwikkeld, die in 2015 is toegepast.

Testen kroosteelt

Er is begonnen met het testen van kroosteelt op verdund digestaat. Naar aanleiding van de optredende problemen, is de opzet telkens aangepast, waarbij geleerde lessen in praktijk zijn gebracht. Uitgangspunt voor een ideale omgeving voor eendenkroos zijn de volgende parameters: T=25-28°C, pH=6,5-7, N 10-25 mg/l, NPK=7+3+7 (verhouding), licht >6000 Lux. Het is niet bekend uit de literatuur welke hoeveel licht kroos maximaal kan verduren. De groeisnelheid neemt toe bij hogere CO₂-concentraties. Verhoging van CO₂-gehalten boven de 1500 ppm heeft weinig effect op de groei (Landolt, 1987).

Test I (najaar 2013)

Aanpak

Op de nieuwe zolder van circa 4.000 vierkante meter is een laag van 15 cm bronwater gepompt, met daarin 1% dunne fractie van digestaat met onderstaande samenstelling

Monster Datum	Monster Nummer	pH	EC	Hoofdelementen (mmol/l)												Spoorelementen (µmol/l)							
				K	Ca	K/Ca	Mg	Na	NH4	NO3	Cl	S	HCO3	P	Si	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo	Al	
streecijfers																							
10-4-2014	201404110091	7,6	4,6	3,99	2,28	1,75	2,12	1,40	28,59	<0,10	5,19	2,46	41,19	2,05	0,12	89,83	26,20	16,86	11,90	1,92	<0,15	35,00	

Figuur 25: Samenstelling van dunne fractie digestaat in een 10x verdund monster (dit om binnen de grenzen van de analyse te vallen).

Hierop is 100 kg eendenkroos (voornamelijk Lemna minor) uitgespreid, afkomstig van de firma Karsten uit Hoogwoud. Een groot deel van het wateroppervlak bleef in eerste instantie onbedekt. De hoop was dat dit vanzelf dicht zou groeien. De pH was hoog: circa 8,5.

Problemen

Het kroos ging binnen enkele weken dood. Er groeide wel een slijmerige groene algenlaag in en op het water.

Interpretatie

De vijver bood geen juiste teeltoomstandigheden voor eendenkroos, of door het grotendeels onbedekte oppervlak en de hoge pH waren de omstandigheden te gunstig voor algen. Mogelijk gaf het verse beton nog chemicaliën af, maar dit is onbekend en niet gemeten.

Mogelijke verbeterpunten

De invloed van het verse beton is uit te sluiten door landbouwplastic op het beton te leggen, waardoor het water – en dus ook het kroos – niet in direct contact met het beton komt.

De groei van algen is tegen te gaan door een groter deel van het oppervlak direct met kroos te bedekken. Dit kan door eerst op kleine schaal te testen.

Test 2 (december 2013/januari 2014)

Aanpak

In een vijver gemaakt van landbouwplastic met een oppervlak van 50 vierkante meter, is schoon bronwater gemengd met 2% dunne fractie van digestaat van rosékalvermest. De waterdiepte bedroeg 15 cm. Er is 20 kg eendenkroos (voornamelijk Lemna minor) in het wild verzameld, door dit met een schepnet uit de sloot te scheppen. Dit eendenkroos is uitgespreid over het oppervlak van de testvijver. Het volledige oppervlak is hiermee dun bedekt. De watertemperatuur is vrij laag en schommelt rond de 10-12 °C. De ventilatielucht van de kalveren is door intensieve bevochtiging in het biobed weer afgekoeld en schommelt rond dezelfde temperatuur. Uit handmetingen blijkt een temperatuurreductie van 4-7 °C van de stallucht.

Problemen

Het kroos groeit niet en wordt zelfs minder. Tegen het dak van de zolder condenseert water. Dit lekt bij de gordingen naar beneden. Vooral in de vroege ochtend drupt dit. Opvallend is dat op de plekken waar condensdruppels in het water vallen, het kroos blijft leven, terwijl het verder dood gaat. Hier zijn verder geen metingen verricht (zie Figuur 26).



Figuur 26: De concentratie kroos rondom de plekken waar condens in het water drupt.

Vanwege de korte daglengte in de winter is de lichtduur of lichthoeveelheid mogelijk een beperkende factor. Om dit te testen, wordt boven één hoek van de vijver met 500 Watt SON-T assimilatiebelichting toegepast gedurende 14 uur per dag. Op dit moment was er nog geen apparatuur om de lichtintensiteit te meten.

Interpretatie

Het lijken toch niet de chemicaliën uit het verse beton te zijn die ervoor zorgen dat het kroos niet wilde groeien, want in een bassin van landbouwplastic lukte het ook niet. Er zijn natuurlijk ook veel andere factoren die een rol kunnen spelen, maar deze zijn nog niet gemeten. Ook nu is de pH erg hoog (7,5-8)

Onder de belichting groeit ook geen kroos. Daglengte of lichthoeveelheid lijkt niet doorslaggevend voor kroosgroei.

Mogelijk zorgt de lage temperatuur ervoor dat er geen kroos groeit.

Mogelijke verbeterpunten

Om de teelt beter te managen, is meer inzicht in de omstandigheden nodig. Daarom worden een lux-meter en een CO₂/T/RV meter aangeschaft. Samen met een pH/EC-meter zorgt dit voor meer inzicht in de teeltparameters. De EC-waarde geeft een indicatie of de totale hoeveelheid nutriënten klopt. De samenstelling (N, P, K en sporen) is hiermee nog niet onderzocht. Dit is later in kaart gebracht door monsters te laten analyseren (zie Tabel 37).

Om de kroosteelt op gang te krijgen, is een hogere temperatuur nodig, omdat kroos onder de 15 °C slechts lage groeisnelheden kent. Dus wordt gewacht tot het voorjaar alvorens de volgende test te starten. De buitenlucht wordt in de stal opgewarmd door de kalveren, en daarna door het biobed geblazen om de ammoniak uit de lucht te filteren. In dit biobed wordt de lucht intensief bevochtigd, waardoor het weer afkoelt en de RV verhoogd wordt. Plaatsing van een wand tussen krooszolder en biobed kan voorkomen dat de bevochtigde ventilatielucht voor te veel koeling op zolder zorgt. Het grootste deel van de ventilatielucht wordt via luchtslurven naar buiten geleid. Een klein deel komt op de zolder om te zorgen voor voldoende CO₂ in de lucht. Kort na plaatsing van de tussenwand is de temperatuur circa 5 °C hoger.

Test 3 (april 2014)

Aanpak

Deze test is vrijwel hetzelfde opgezet als test 2, met het verschil dat de stallucht naar buiten wordt geleid en er dus een hogere temperatuur op zolder is. De assimilatiebelichting is weggehaald. Uit metingen blijkt dat de benodigde lichtintensiteit (Landolt, 1987, rapporteert al kroosgroei vanaf 800 lux) in februari bij een beetje zonnig weer al gehaald wordt. De intensiteit komt bij zonnig weer al snel boven de 5000-6000 lux. Licht lijkt dus niet het meest beperkend te zijn voor kroosgroei. Uit metingen tijdens de test blijkt een CO₂-gehalte van 1.688 ppm, RV van 76% en T van 20,5 °C. Dit zou binnen de range van juiste omstandigheden vallen.

In de vijver gemaakt van landbouwplastic met een oppervlak van 50 vierkante meter, is 98% schoon bronwater gemengd met 2% dunne fractie (samenstelling Figuur 20) van digestaat van rosékalvermest. De waterdiepte bedroeg 15 cm. Er is 20 kg eendenkroos (voornamelijk Lemna minor) in het wild verzameld, door dit met een schepnet uit de sloot te scheppen. Dit eendenkroos is uitgespreid over het oppervlak van de testvijver. Het volledige oppervlak is hiermee dun bedekt.

Problemen

Het kroos groeit niet en wordt zelfs minder. Het kroos wordt donker-groen en bruinig, en er is slijmvorming zichtbaar.

Interpretatie

De bekende parameters kloppen. Blijkbaar schuilt het probleem in andere factoren. Gedacht wordt aan de watersamenstelling, omdat deze de voeding voor de plantjes bevat. Er wordt contact gelegd met een bedrijf dat is gespecialiseerd in de begeleiding van teelt op water en substraat uit de glastuinbouw (Vos Capelle). De adviseur neemt watermonsters van de kroosvijver.

Uit metingen blijkt dat er geen zuurstof in het water van de testvijver aanwezig is. Daardoor kunnen allerlei schadelijke componenten gevormd worden, zoals nitriet en sulfiet, aldus de adviseur. Deze zijn verder niet gemeten. Daarom moet er zuurstof ingebracht worden.

Tevens is er een hoog gehalte aan ammonium in het water. Dit komt doordat er een deel ammoniak uit de stallucht in de vijver neerslaat en doordat er in het digestaat in ruime mate ammonium (zie Figuur 1) aanwezig is. Een hoeveelheid van > 1,5mmol NH₄/liter belemmert de opname van Ca, Mg, K en Fe. Een deel van het ammonium wordt in de vijver omgezet naar NO₃. Dit proces vraagt veel zuurstof.

Test 4 (mei 2014)

Aanpak

De testvijver met water en grotendeels afgestorven kroos wordt zo gelaten als referentie. Daarnaast wordt een identieke vijver gemaakt, en daar wordt gestart met nieuw water, digestaat en kroos. Er wordt opnieuw uitgegaan van 2% digestaat. Uit analyse blijkt het digestaat een EC van 46 te hebben, zodat dit verdund dient te worden.

Bronwater komt op een EC van 0,2. Het mengsel van bronwater met 2% digestaat komt op een EC van 1,2 uit. Het digestaat wordt stapsgewijs toegevoegd om zoutshokken voor het kroos te voorkomen. In de vijver wordt een dompelpomp geplaatst om beweging in het water te houden en het zuurstofgehalte op peil te houden. Ook wordt met behulp van een tuinsproeier eens per twee dagen een kwartier water op het kroos gesproeid. De vallende druppels brengen ook zuurstof in het water. Om minder gevoelig te zijn voor het hoge ammoniumgehalte van het krooswater, wordt huminezuur toegevoegd. Dit buffert de nutriëntenvoorraad (vergelijkbaar met processen die zich in de bodem afspelen). De pH wordt met salpeterzuur en fosforzuur op 7 gehouden. Hiermee worden ook N en P toegevoegd aan het water, waardoor de EC stijgt.



Figuur 27: De opzet van test 4 met dompelpomp voor menging en zuurstof. Rechts op de foto is de eerdere testvijver met afgestorven kroos nog net zichtbaar.

Problemen

Het kroos blijft in leven en begint zich na enkele dagen zichtbaar te vermeerderen. Er worden enkele tientallen kilo's vers kroos geoogst, totdat er in mei een warme en zeer zonnige dag is. Dan sterft het kroos af en raakt de vijver na een à twee dagen overwoekerd door alg.

Interpretatie

Doordat er slechts een klein deel van de zolder in gebruik is voor de testvijver, wordt het al snel erg warm op zonnige dagen. Daardoor wordt de maximale temperatuur overschreden, waarbij kroos afsterft. Mogelijk speelt de combinatie van fel licht (dus een hoge temperatuur van het oppervlak), een hoge luchttemperatuur en een lage luchtvochtigheid een fatale rol.

Mogelijke verbeterpunten

De temperatuur moet binnen de aanvaardbare range gehouden worden, door water te verdampen (koelt en verhoogt de RV) of door beschaduwing.

Test 5 (juni/juli 2014)

Aanpak

De opzet is grotendeels hetzelfde als in de vorige test, maar nu in een vijver van 100 vierkante meter. De sproeier wordt uitgebreid met een thermostaat gekoppeld aan een magneetklep, zodat er automatisch fris water op het kroos gesproeid wordt als het te warm wordt (dit houdt

de temperatuur optimaler). De voeler van de thermostaat wordt in het krooswater gehangen en ingesteld op 30 °C. De sproeier gaat weer uit als het water tot 28 °C is afgekoeld.

Problemen

De temperatuur kan erg hoog op lopen op zolder. Zo was op 9 juni de temperatuur aan de rand van de kroosvijver 42,8 °C aan het einde van de middag. Het krooswater bereikte een temperatuur van 31 °C. Wel kost het erg veel water om de temperatuur laag genoeg te houden, waardoor de testvijver op den duur overstroomt. Op een warme dag stijgt het waterniveau met 5 cm.

Interpretatie

Het koelen met de sproeier is effectief, maar kost te veel water.

Mogelijke verbeterpunten

De koeling moet efficiënter en met minder water. Doordat de pH goed beheerst kan worden met fosforzuur en salpeterzuur en door voldoende huminezuur, zijn de ammoniumgehalten in het kroos niet meer te hoog. Daarom kan ook een deel van de ventilatielucht van de kalveren weer gebruikt worden om de zolder te koelen.

Test 6 (augustus 2014)

Aanpak

De kroosvijver wordt uitgerust met een lijn nevelsproeiers die 27 liter water per uur sproeien. De druk is circa 2,5 Bar. De sproeiers worden gemonteerd op een ¾" tyeenleiding, die op 20 cm boven het wateroppervlak wordt geplaatst. De opzet is verder hetzelfde als in de vorige test.

Problemen

Het kroos dat zich binnen het sproeiveld van de sproeiers bevindt, groeit en blijft ook tijdens warme omstandigheden in leven. Het kroos dat zich niet binnen het sproeiveld bevindt, sterft tijdens warme dagen af. Doordat er weinig beweging in het water is, is dit effect duidelijk te zien.

Interpretatie

Het sproeien heeft een gunstig effect op het kroos. Het is niet helemaal duidelijk wat daarvan de reden is. Het sproeien zorgt door de vallende druppels voor veel zuurstofaanvoer in het water. Op de plek waar water gesproeid wordt, is een hoger zuurstofgehalte gemeten door de adviseur. Het zorgt ook voor een verkoelende werking door de verdamping van wateren en het houdt het kroos schoon van algen.

Mogelijke verbeterpunten

In de huidige opzet is het goed mogelijk om kroos te telen. Om een goede kroosproductie te halen, moet de vijver verdeeld over het oppervlak worden voorzien van nevelsproeiers. Door een fijnere nevel te sproeien, kan het waterverbruik worden gereduceerd zonder dat het koelend effect wegvalt. Ook wordt ervoor gekozen om de waterdiepte te vergroten, zodat er meer warmtebuffer is. Door het water rond te pompen, kan ook worden voorkomen dat enkel de toplaag opwarmt.

Aanpak

Besloten wordt om met de geleerde lessen een grotere kweek op te starten. Hiervoor wordt een betonnen wand geplaatst van 35 cm hoog. Daarmee wordt een bassin gevormd van $20 \times 44 = 880$ vierkante meter. Op 2,5 meter boven de vijver worden vier lijnen van 40 meter lang opgehangen, met elke 1,5 meter een nevelsproeier. De nevelsproeiers (merk: Dan, type violet) hebben een capaciteit van 35 liter per uur. Daarmee kan $3,5\text{--}4 \text{ m}^3$ water per uur gespreid worden. Zij kunnen ingeschakeld worden met behulp van een automatische klep, die middels de thermostaat of met een tijdklok bediend wordt. In de vijver wordt een beluchtingsbuis gelegd die de zuurstofvoorziening op peil moet houden. De al eerder gebruikte dompelpomp zorgt voor circulatie. De vijver wordt opgestart met schoon water, waarna gedurende enkele weken digestaat toegevoegd wordt.

De watertemperatuur aan de oppervlakte van de kroosbak startte met zo'n $22 \text{ }^\circ\text{C}$ eind september en nam gedurende de periode geleidelijk af tot circa $10 \text{ }^\circ\text{C}$ in december.

Bij de start van de kroosteelt is binnen een week drie maal 50 kg kroos uit de sloot verzameld met een schepnet, en in de kroosbak verspreid. Het water bestond in het begin uit schoon grondwater zonder meststoffen om ontwikkeling van algengroei tegen te gaan, wat grotendeels lukte. Begin oktober is de EC geleidelijk verhoogd tot 0,8 EC met de verhouding 1ltr huminezuur en 20ltr dunne fractie digestaat. De te hoge pH ($>8,5$) van het water (volgens de adviseur komt dit door de aanwezige hoeveelheid HCO_3 in bronwater en door de hoge pH van het digestaat) is stapsgewijs naar beneden gebracht tot circa 7 door het toevoegen van fosforzuur en salpeterzuur. Hiermee werd tevens N en P aan het water toegevoegd, maar niet in een hoeveelheid die ervoor zorgde dat dit problematisch werd.

Omdat het gehalte HCO_3 door het aanzuren niet erg hoog meer was, is de pH van 7 op advies van Vos Capelle niet verder verlaagd met zuur. Met de ventilatielucht van de kalveren wordt naast CO_2 continu een beetje ammoniak toegevoerd. Dit wordt gebufferd door het huminezuur.

Het kroos werd in de eerste weken elke dag een paar minuten besproeid met water. Onder de sproeiers was als eerste een dichte kroosmat. Nadat de kroosmat dichtgegroeid was, is er gestopt met sproeien, zonder zichtbaar effect. Er zijn geen hoge temperaturen voorgekomen in deze periode (november). Na drie weken begon het kroos te stapelen en is er 50 kg geoogst met een gemeten DS van 4,7 %. De kroosmat bleef hierbij gesloten (zie ook Figuur 28). De daaropvolgende weken kon telkens 100 kg geoogst worden, waarbij de kroosmat gesloten bleef tot begin december.

Figuur 28: Eigenaar Evert Kroes bij de kroosteelt in december 2014.



Problemen

Langs de zijkanten van de kroosbak groeide een beetje alg. De concentratie sporenelementen werd erg laag.

Interpretatie

De alg overgroeit het kroos langs de kant. Hier stroomt het water het minst en kan dus gemakkelijk een ander microklimaat ontstaan, waarin algen gedijen. Doordat weinig digestaat toegevoegd wordt, nemen de gehalten van alle elementen, behalve stikstof, af tijdens de teelt. Toevoeging van digestaat kan dit oplossen, maar het gevaar is dat er te veel stikstof in het water komt. Daarom wordt onderzocht of er naar gewasbehoefte bemest kan worden.

Mogelijke verbeterpunten

Beroering van het water en oogsten van kroos op de plekken waar algen groeien, kan de algengroei onder controle houden.

Extra sporenelementen zijn handmatig toegevoegd volgens recept van Vos Capelle: Fe 7,5, Mn 5, Zn 5, B 8, Cu 0,5 en Mo 0,5 ummol/l. De toediening van nutriënten en sporen kan geautomatiseerd worden.

Historie Gietwater		Hoofdelementen (mmol/l)														Sporenelementen (µmol/l)									
Monsterdatum	Monsternummer	EC _{meq/l}	pH	NH ₄	K	Na	Ca	K/Ca	Mg	SI	NO ₃	Cl	S	HCO ₃	P	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo	Al			
7-12-2014	201412081049	1,2	6,5	3,38	0,5	0,7	1,6	0,31	0,2	<0,1	7,9	0,6	0,4	0,5	0,29	<0,2	0,3	0,2	<5,0	<0,1	0,4	3,8			
4-12-2014	201412051007																								
2-11-2014	201411030003	0,7	6,4	2,82	0,4	0,6	1,1	0,36	0,2	<0,1	4,1	0,5	0,4	1,2	0,38	1,2	1,2	1,4	<5,0	0,2	0,2	3,7			
16-10-2014	201410171004	0,6	6,6	2,66	0,2	0,5	0,9	0,22	0,1	<0,1	3,5	0,6	0,4	0,5	0,58	0,5	0,4	0,1	<5,0	<0,1	<0,2	<1,0			
5-10-2014	201410061004	0,5	7,0	2,55	0,2	0,5	0,8	0,25	0,1	0,1	0,9	0,6	0,3	3,1	0,57	<0,2	0,1	0,2	<5,0	0,1	<0,2	3,1			
10-7-2014	201407111016	0,6	7,4	1,49	0,9	0,9	0,8	1,02	0,3	<0,1	1,0	0,8	0,4	2,1	0,22	6,6	0,5	0,7	<5,0	0,1	0,5	4,6			
3-7-2014	201407041007	0,5	7,6	2,16	0,9	0,9	0,8	1,13	0,3	<0,1	1,4	0,8	0,4	3,9	0,36	4,8	0,2	<0,1	10,9	0,2	0,6	4,2			
11-6-2014	201406121057	0,4	7,1	<0,10	0,9	0,9	1,1	0,78	0,5	<0,1	0,4	0,8	0,9	1,6	0,05	7,2	3,6	0,9	<5,0	<0,1	<0,2	4,5			
11-6-2014	201406121058	0,2	7,0	0,70	0,1	0,5	1,0	0,10	0,1	<0,1	0,5	0,5	0,4	1,3	<0,05	3,0	0,2	0,2	<5,0	<0,1	<0,2	<1,0			
5-6-2014	201406061017	0,7	7,0	1,63	1,6	0,9	1,0	1,52	0,4	<0,1	0,2	0,9	0,4	3,0	1,62	10,2	14,5	1,4	5,1	0,3	<0,2	8,9			
5-6-2014	201406061016	0,8	7,1	2,68	0,4	0,6	1,0	0,35	0,2	<0,1	2,6	0,7	0,4	2,9	0,29	1,8	2,1	0,3	5,0	<0,1	<0,2	3,1			
27-5-2014	201405281032	0,7	7,4	2,76	0,4	0,8	0,9	0,49	0,2	<0,1	1,7	0,8	0,4	2,5	0,37	5,1	0,5	0,5	8,9	<0,1	<0,2	3,3			
21-5-2014	201405220205	0,5	6,0	1,44	0,2	0,4	0,7	0,26	0,1	<0,1	1,2	0,5	0,3	1,2	0,25	2,0	0,7	0,7	<5,0	<0,1	<0,2	6,7			

Tabel 36: De uitslagen van de monsters van het krooswater gedurende de verschillende testen.

Plantsap-monster	201407110391	Monsterdatum:	10-7-2014
Naam:	Vos Capelle bv	Locatie/perceel:	fam. Kroes
Adres:	Hoofdstraat 35	Teeltnaam:	eendenkroos
	5161 PD Sprang Capelle	Gewas:	Overige
		Plantdeel:	Blad (jong)

Tabel 37: Plantsapanalyse van een kroosblaadje.

Opmerkingen

Mineraal	Huidig niveau				
Suikers	%	0,2			
pH		6,2			
EC	mS/cm	7,4			
K - Kalium	ppm	1635			
Ca - Calcium	ppm	64			
K / Ca		25,55			
Mg - Magnesium	ppm	121			
Na - Natrium	ppm	114			
NH4 - Ammonium	ppm	675			
NO3 - Nitraat	ppm	493			
N uit Nitraat	ppm	111			
N - Stikstof totaal	ppm	1034			
Cl - Chloor	ppm	477			
S - Zwavel	ppm	295			
P - Fosfaat	ppm	938			
Si - Silicium	ppm	8,6			
Fe - IJzer	ppm	6,41			
Mn - Mangaan	ppm	8,80			
Zn - Zink	ppm	5,46			
B - Borium	ppm	<0,10			
Cu - Koper	ppm	0,20			
Mo - Molybdeen	ppm	0,39			
Al - Aluminium	ppm	2,14			

Referentie

- Landolt, E. & R. Kandeler, 1987. Biosystematic investigations in the family of duckweeds ("Lemnaceae"). Vol. 4 : The family of „Lemnaceae“: a monographic study. Volume 2. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich, vol. 95. DOI: <http://dx.doi.org/10.5169/seals-308870>.

Bijlage 2: Lijst met gebruikte afkortingen

Hierna volgen de betekenissen van een aantal afkortingen die in dit rapport (m.n. hoofdstuk 3) worden gehanteerd.

Afkorting	Betekenis
BRE	Besteding Ruw Eiwit. Deel van het eiwit dat niet in de pens wordt afgebroken.
BSE	Boviene Spongiforme Encefalopathie ("gekkedoeienziekte").
CLA	Geconjugerd linolzuur (Conjugated Linoleic Acid).
D	De potentieel pensafbreekbare fractie van een voedermiddel.
DEB	Dieet Elektrolyten Balans.
DS	Drogestof.
DVE	Darm Verteerbaar Eiwit, de resultante van verteerbaar pensbestendig en bacterieel eiwit.
DVBE	Darm verteerbaar eiwit. Deel van het eiwit wat de dunne darm komt en daar werkelijk wordt verteerd.
DVLYS	Darm Verteerbaar Lysine.
DVMET	Darm Verteerbaar Methionine.
FOS	Fermenteerbare Organische Stof, de fractie van organische stof die in de pens fermenteert.
KAV	Kation Anion Verschil.
kD	Afbreek constante %/uur van pensfermenteerbare fractie.
KVE	Kolonie Vormende Eenheid, maat voor de groei van bacteriën.
NDF	Neutral Detergent Fiber.
OEB	Onbestendig Eiwit Balans. Een maat voor de verhouding stikstof/organische stof in de pens.
S	Oplosbare fractie, deel van het voedermiddel dat snel oplost.
U	Fractie van voermiddel dat niet in de pens wordt afgebroken.
VEVI	Voedereenheid vleesvee intensief, een maat voor netto benutbare energie.
W	Uitwasbare fractie. Deel van het voer dat uit nylon zakjes wordt gewassen.

Bijlage 3: Bepaling eiwit- en energiewaarde kroos

*J. de Boever, L. Doudah &
S. de Campeneere*

Inleiding

De chemische samenstelling en de voederwaarde voor rundvee van een monster eendenkroos, werden bepaald op het ILVO. De eiwitwaarde (DVE en OEB) werd berekend op basis van de afbraakcharacteristieken van eiwit en NDF bekomen via incubaties van nylon zakjes in de pens van koeien. Deze dierproef werd goedgekeurd door de Ethische Commissie van het ILVO (Aanvraag EC2013/207). De energiewaarde werd geschat op basis van de in vitro-verteerbaarheid met cellulase.

Methoden

Afbraakcharacteristieken in de pens

Voor de bepaling van de afbraakcharacteristieken van de nutriënten in de pens, werd het protocol van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 2003) gevolgd. Van het ingevroren monster werden submonsters van ca. 35 g (\pm 1,7 g DS) afgewogen in nylon zakjes (lxb: 130x85 mm, poriëngrootte: 37 μ m). De pensincubaties gebeurden bij drie lacterende koeien (nrs. 165, 283 en 889), gevoerd met een basisrantsoen van graskuil en maïskuil (\pm 50/50 op DS-basis), aangevuld met evenwichtig krachtvoeder en soja/koolzaadschroot om de behoeften voor energie en eiwit te dekken. De pensincubaties werden uitgevoerd van november tot december 2015.

De incubatietijdstippen waren 3, 8, 24, 48 en 336 uur; alle incubaties startten juist vóór de morgenvoeding. Om voldoende residu voor analyse over te houden, werden 6 zakjes geïncubeerd (2 per koe) voor tijdstippen 3 en 8 uur, 9 zakjes (3 per koe) voor tijdstippen 24 en 48 en 18 zakjes (6 per koe) voor tijdstip 336 uur. Na incubatie werden de zakjes met residu onmiddellijk in ijswater gedompeld om de microbiële activiteit te stoppen en werden aanklevende deeltjes onder lopend

leidingwater verwijderd. Na uitlekken, werden de zakjes in de diepvries bewaard, onder meer met de bedoeling om de aanhechtende micro-organismen af te doden. Na ontdooien, werden de zakjes gedurende circa 45 minuten gewassen in een wasautomaat ingesteld op een wolwasprogramma met koud water zonder zwieren. Er werden ook 3 zakjes met eendenkroos gewassen zonder voorafgaande pensincubatie (= tijdstip 0 uur). Na wassen en uitlekken, werden de individuele zakjes gevriesdroogd. Na vriesdrogen, werden ze gewogen, en vervolgens werden de residuen van de drie koeien gemengd voor analyse. De afbraakcharacteristieken van nutriënten in de pens betreffen:

- De uitwasbare fractie (W), bekomen door wassen in de automaat zonder voorafgaande pensincubatie.
- De oplosbare fractie (S), bekomen door 30 minuten schudden van een monster in leidingwater, centrifugeren en bepalen van eiwit in bovenstaande vloeistof.
- De fractie kleine deeltjes bekomen als verschil W-S.
- De onafbreekbare fractie (U) bekomen als residu na 336 uur pensincubatie.
- De potentieel afbreekbare fractie (D), bekomen als 100-W-U.
- De afbraaksnelheid kD, bekomen door fitten van de afbraakdata aan een exponentieel model: $D(t) = W + D \times (1 - e^{-kDxt})$ (Ærskov en McDonald, 1979).

Voor de celwanden (NDF) wordt aangenomen dat de W-fractie nul is.

Chemische analyses

Op het eendenkroos werden volgende geaccrediteerde analyses (ISO 17025) uitgevoerd:

- Vocht: 71/393/EC
- Ruwe as: ISO 5984
- Ruw eiwit: ISO 5983-2
- Ruw vet B: ISO 6492
- NDF: fibersacmethode met toevoeging van natriumsulfiet en α -amylase (Van Soest et al., 1991)
- Ruwe celstof: 92/89/EC (fibersacmethode)
- Suiker: 71/250/EEC
- Cellulaseverteerbaarheid van de organische stof (De Boever et al., 1986)

Er werd aangenomen dat eendenkroos geen zetmeel bevat en het gehalte residuele niet-zetmeel koolhydraten (RNSP) werd berekend als 1000 - vocht - ruwe as - ruw eiwit - ruw vet - NDF - suikers.

Op de pensresiduen werden vocht, ruwe as, RE en NDF bepaald, wat toeliet de afbraakcharacteristieken van organische stof (OS), ruw eiwit en celwanden af te leiden. Omdat de berekening van het RNSP-gehalte op de pensresiduen onrealistische resultaten gaf, werden de afbraakcharacteristieken voor de fractie NDF+RNSP berekend.

De darmverteerbaarheid van het pensbestendig eiwit (%DVBE) werd berekend als $(\%BRE - U)/\%BRE \times 100$.

Eiwit- en energiewaarde

De DVE- en OEB-waarden werden berekend enerzijds volgens het oude eiwitwaarderingssysteem (Tamminga et al., 1994) en anderzijds volgens het nieuwe (Tamminga et al., 2007).

De in vivo OS-verteerbaarheid en netto-energiewaarde voor melkvee

(VEM) werden geschat op basis van regressieformules afgeleid van krachtvoerders op basis van de cellulaseverteerbaarheid, het ruw vet- en het asgehalte (De Boever et al., 1999).

Resultaten en discussie

Chemische samenstelling en geschatte energiewaarde

Tabel 38 geeft de chemische samenstelling op DS-basis, de cellulaseverteerbaarheid en de geschatte energiewaarde van eendenkroos weer.

Droge stof (g/kg)	48
Ruw eiwit	396
Ruw vet	44
NDF	216
Suiker	6
Ruwe as	164
Ruwe celstof	98
RNSP	174
Cellulaseverteerbaarheid OS (%)	83,2
In vivo-verteerbaarheid OS (%)	73,4
VEM (per kg DS)	839

Tabel 38: Chemische samenstelling (g/kg DS) en geschatte verteerbaarheid/ energiewaarde van eendenkroos.

De onderzochte partij eendenkroos bevat zeer veel ruw eiwit, weinig NDF, relatief veel ruwe as en ruw vet, en quasi geen suiker. De cellulaseverteerbaarheid is vrij hoog. De geschatte verteerbaarheid en VEM-waarde zijn matig door het vrij hoge asgehalte.

Pensafbraakkenmerken van OS, RE en NDF+RNSP

In Tabel 39 worden de afbraakkenmerken in de pens van de organische stof (OS), RE en NDF+RNSP gegeven.

De OS is quasi-volledig afbreekbaar in de pens, en dit gebeurt met een snelheid van 5,5% per uur. Ook het ruw eiwit is bijna volledig afbreekbaar. De oplosbare eiwitfractie is iets hoger dan de uitwasbare fractie, zodat we mogen aannemen dat de fractie kleine deeltjes onbestaande is. De afbraaksnelheid van het eiwit is vrij hoog, wat resulteert in een matige eiwitbestendigheid van 28,9%, zowel in het oude als in het nieuwe eiwitwaarderingssysteem. De berekende %DVBE is zeer hoog. Ook de fractie NDF+RNSP wordt quasi-volledig in de pens afgebroken met een vrij hoge snelheid.

Tabel 39: Afbraakkarakteristieken van OS, RE en NDF+RNSP van eendenkroos.

Organische Stof	
W (%)	14,2
D (%)	84,6
U (%)	1,2
kdD (% per uur)	5,47
Ruw eiwit	
W (%)	14,0
S (%)	16,2
W-S (%)	0,0
D (%)	85,2
U (%)	0,8
kdD (% per uur)	9,50
%BRE1994	28,9
%BRE2007	28,9
%DVBE berekend	97,3
NDF+RNSP	
D (%)	98,2
U (%)	1,8
kdD (%/uur)	5,14

Eiwitwaarde

Tabel 40 is een weergave van de gehalten aan fermenteerbare organische stof (FOS), DVE en OEB (DS-basis), en dit zowel volgens het oude als volgens het nieuwe eiwitwaarderingsstelsel.

FOS	456
DVBE	124
DVME	44
DVMFE	24
DVE	143
MREN	269
MREE	68
OEB	201
Systeem 2007	
FOS	553
DVBE	111
DVME	43
DVMFE	24
DVE	130
MREN	282
MREE	68
OEB	214
OEB2	90

Tabel 40: FOS, DVE en OEB (g/kg DS) van eendenkroos volgens het oude en nieuwe systeem.

Volgens het oude systeem bevat eendenkroos 456 g FOS, 143 g DVE en 201 g OEB per kg DS. Het aandeel DVBE is driemaal groter dan het aandeel DVME. Volgens het nieuwe systeem is het FOS-gehalte bijna 100 g/kg DS hoger, is de DVE 13 g/kg DS lager en de OEB 13 g/kg DS hoger.

Referenties

- CVB, 2003. Protocol voor in situ pensincubatie. Begeleidingscommissie van het Centraal Veevoederbureau, The Netherlands, 14 p.
- De Boever J.L., B.G. Cottyn, F.X. Buysse, F.W. Wainman, J.M. Vanacker, 1986. The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 14, 203-214.
- De Boever J.L., B.G. Cottyn, D.L. De Brabander, J.M. Vanacker, Ch.V. Boucqué, 1999. Equations to predict digestibility and energy value of grass silages, maize silages, grass hays, compound feeds and raw materials for cattle. Nutr. Abstr. Rev. 69, 835-850.
- Ørskov E.R., McDonald I., 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. (Cambridge) 92: 499-503.

- Tamminga S., G.G. Brandsma, J. Dijkstra, G. van Duinkerken, A.M. van Vuuren, M.C. Blok, 2007. Eiwitwaardering voor herkauwers: het DVE/OEB 2007-systeem. CVB-documentatierapportnr. 52, 62 p.
- Tamminga S., W.M. van Straalen, A.P.J. Subnel, R.G.M. Meijer, A. Steg, C.J.G. Wever, M.C. Blok. 1994. The Dutch protein evaluation system: The DVE/OEB system. *Livest. Prod. Sci.* 40, 139-155.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson, B.A. Lewis, 1991. Methods of dietary fibre, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.

ECOFERM Closed-cycle farm in practice

K. Kroes, G. Hemke, S. Huurman, J.van Liere, N. van den Top,
Ch. de Visser, J. de Wilt

Report no. 16.2.338, Utrecht, The Netherlands, March 2016

Apart from meat, milk, and eggs, livestock farms produce manure, urine, heat, vapour, ammonia, methane and CO₂. These substances are not used, or at least not optimally, which represents a loss in economic and ecological terms. That is why, several years ago, Innovation Agro & Nature (the former '*InnovatieNetwerk*') began to develop ECOFERM, the closed-cycle farm.

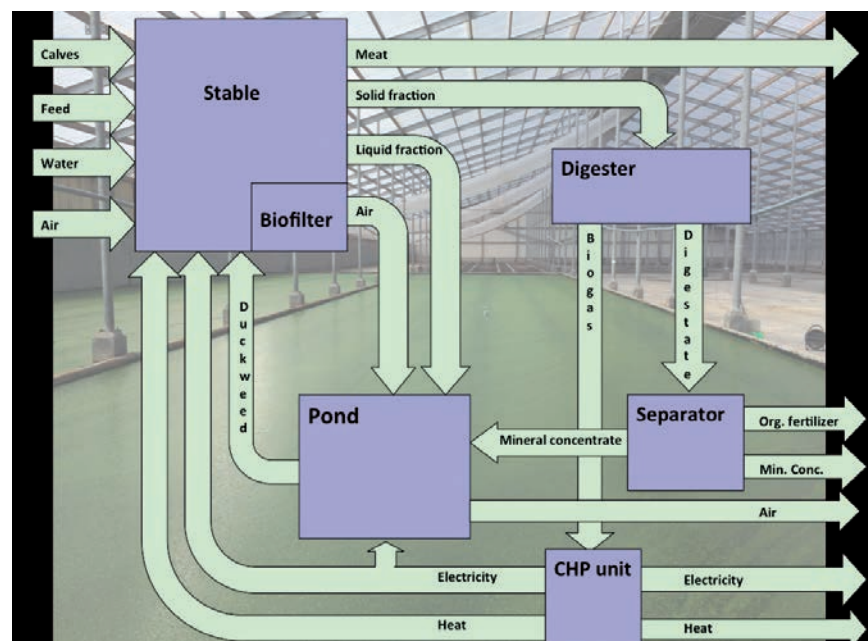
At ECOFERM, waste products from intensive livestock farming (manure, ammonia, methane, CO₂, and heat) are used for the production of algae, duckweed, biogas, electricity, heat, and clean water. Duckweed and algae are plants that grow very quickly, that can be harvested continuously, and that are rich in protein. These characteristics make them ideal for using residual flows from livestock farms that do not have much land (as in the case of pig and veal farms). The first description of the concept was issued in 2011. That year saw the first contacts with pink veal farmer Kroes, from Uddel, who had advanced ideas for creating a closed cycle on his farm. In 2013 the ECOFERM was built and in 2014 and 2015 experience was gained of the various aspects of this circular farm, such as manure treatment, fermentation, cultivating duckweed, and using it as cattle feed. This report describes the results.

Chapter 1 shows the various flows in the ECOFERM closed-cycle farm. It involves a farm with 3,600 pink veal calves. A new farmhouse for 2,000 calves was built in 2013 alongside the existing premises, in which urine and solid manure are separated under the slatted floors,

so that less ammonia is released. The solid fraction goes to a fermentation plant. The urine, which contains large quantities of nitrogen but hardly any phosphorus, is used partly for spreading on the land and partly as feed for the duckweed, which is cultivated in a pond situated above the stables. The moist warm air from the calves, which is rich in CO_2 , goes to the greenhouse. The ammonia in this air is removed by a biological air scrubber (with wood chippings), that has been placed between the building and the greenhouse. After being fermented, the manure is separated into a solid and a liquid fraction (digestate). The solid fraction is spread on the land. After being separated in a compactor, the liquid fraction is also used as fertilizer for the duckweed. The duckweed is fed to the calves, thereby completing the closed cycle.

Duckweed needs nitrogen (N) and phosphorus (P) to grow, which it derives from the liquid fraction. This means that some of the minerals and other residual products (CO_2 , water, heat) can be used again within the farm. Moreover, the duckweed is a protein-rich cattle feed, that reduces the need for imported soya. The fermentation of the solid fraction produces biogas, which is burned in a unit for cogeneration of heat and power (CHP unit) to convert it into heat and electricity. The electricity is used by the farm itself and supplied to the grid; the heat is stored in a hot-water tank before being used by an adjacent veal farm. The various flows are shown in the diagram below.

Figure: Flow-chart of the ECOFERM closed-cycle farm system.



Processing manure

In the old veal farm there is room for 2,000 calves. Slurry is stored here, under the animals. In the new building, which accommodates 1,600 animals, the urine is separated immediately from the solid manure by a manure scraper and a sloping drainage floor. The separation ratio is around 50:50 for faeces and urine. The urine amounts to 4,789 tons every year (with some faecal contamination). In the manure samples from recent years, there was between 2.5 and 4.5 g/kg (N) and 0.5 and 1 g/kg (P_2O_5) in the urine. This nitrogen and potash-rich fraction, which contains hardly any phosphorus, is used on the farm's own grass and corn fields, and is also supplied to nearby arable farms. On a yearly basis, 16,761 tons of slurry and the

faeces is produced, with a dry matter content of 12.8%. In reality, it is slightly less than this, because some of the manure is converted into methane (CH_4) and ammonia (NH_3) in the stable. The losses in the new building are low, as a result of the immediate separation process and the removal of manure and urine. The amounts lost in the old buildings are greater.

The slurry from the old building and the faeces from the new one go together to the manure fermenter. In practice, the composition of the digestate is 6 to 7 g N/kg manure and 2.5 to 3 g P_2O_5 /kg manure.

The yields of biogas lay between 30 and 40 m^3 per ton.

With the help of a screw press or centrifuge, the digestate was separated into a solid fraction (3,244 tons a year) with 28% dry matter, and a liquid fraction (12,846 tons a year) with 5% dry matter content. Part of the solid fraction was dried using the residual heat from the gas turbines. The dried product is exported, in order to meet the new legislation that requires 35% of the excess phosphorus (in 2016) to be processed and sent abroad.

The liquid fraction is used in part for fertilising the duckweed.

Various tests were carried out in 2015 for thermally or mechanically (using membrane distillation or ultrafiltration) separating the liquid fraction into pasteurized ammonia water (which can serve as a clean fertiliser for cultivating duckweed) and a pasteurized thick part (a syrup), which can be thickened even more (by being dried) and sold. The province of Gelderland financed these tests. They showed that it is technically possible to further separate the liquid fraction with the help of residual heat. However, the separation unit was very much liable to break down and therefore requires further development before being ready to be launched on the market. The suppliers are working on a more robust system. For that reason, the liquid fraction is still being spread directly onto the land.

Energy production

The losses in the stable caused by excretion and organic fermentation on the slatted floors amounted to 87 tons of manure a year, 37 tons of CH_4 a year and 24 tons of NH_3 a year. The fermenter regularly broke down due to blocked pumps, insufficient biological stability, and peaks in sulphur concentration levels. They ran at around 60% capacity for long periods of time in order to guarantee sufficient processing time. The capacity was slowly increased as 2015 progressed, to around 70% at the start of 2016. The overall production of electricity from biogas amounted to 400,000 kWh per year.

Burning the biogas in the CHP unit not only produces electricity, but also releases heat. The heat from the exhaust gases (300°C) is reclaimed and transported to an adjacent farm via a heat network.

A large quantity of water at 85°C is needed every day for this purpose. It goes towards providing warm milk for the white veal calves on the neighbouring farm. This additional use has lifted the overall efficiency from the turbines to around 82%.

The calves also produce a considerable quantity of heat. This has been calculated at 43.8 MJ per calf per day (assuming an average size for the calves), based on 507 W per calf. This heat can be used for heating the air in the greenhouse.

Electricity consumption

The ECOFERM not only produces a lot of electricity, it also consumes a great deal. There are 27 ventilators which, running for 8,400 hours a year, consume 390,000 kWh. The true amount is actually some 20% lower as a result of regulating the frequency. Apart from the ventilators, the amount of electricity consumed is 368,000 kWh.

The ventilators use up a lot of energy in order to transport the air to the greenhouse via the biobed of wet wood chippings. In order to reduce the emission of ammonia using a different method and thus cut the amount of electricity consumed, an ionization experiment was held in 2015, using carbon brushes. Although this had the effect of substantially reducing the concentration of fine particles, the concentration of ammonia was hardly reduced.

Other equipment that use electricity includes the manure scraper, the fermenter, and the CHP unit, as well as the pumps in the duckweed pond (see the following table).

Ventilation	8,400	hours/year	312,000	kWh/year
Separating manure	7,500	hours/year	20,700	kWh/year
Fermenter and power unit	8,400	hours/year	40,000	kWh/year
Duckweed production	2,500	hours/year	2,500	kWh/year
Total consumption by farm			375,200	kWh/year

Because it produces 400,000 kWh of electricity every year from the fermentation process, the ECOFERM is completely self-sufficient, and is actually able to provide around 7% of its electricity to the national grid.

CO₂ production

The production of CO₂ by the 3,500 calves amounts to 6,494 tons a year. A hectare of duckweed producing 25 tons every year is capable of absorbing more than 30 tons of CO₂ in that time. Some 29 tons of oxygen per hectare are produced. That means that just a small proportion of the CO₂ is usable in the cultivation of the duckweed.

A description of closed cycles

In summary, the closed cycles on the ECOFERM farm can be described as follows. Due to the removal of fresh manure and the fermentation of the solid fraction, an 80% reduction in methane emissions has been achieved in the new building. This is a reduction across the farm as a whole of around 35%. The formation of ammonia has been cut by 50% by separating manure under the slatted floors in the new building, after which another 70% of the remaining emissions is removed from the air. The reduction in ammonia emissions in the new building therefore amounts to 85%. The fermenter provides 107% of the farm's own electricity needs, and also produces heat that is used elsewhere. In addition, some of the heat and the CO₂ from the animals was used for the growth of the duckweed.

This was very limited in 2015, because of the small surface area of the duckweed, but it could be improved if the area were to be enlarged.

Cultivating duckweed

The experiences associated with the cultivation of duckweed are described in Chapter 2. The cultivation of duckweed was started in 2014, in the loft of the new calf building. The loft is actually a greenhouse of around 4,400 m², which has been built on the stable in which 1,600 calves are housed. The roof is made largely of transparent polycarbonate sheets. The heat from the calves radiates towards the concrete floor of the loft; this is direct floor heating. In addition, some of the ventilation air from the calves is directed through the greenhouse, after the ammonia and particles have been removed in a biobed. This sharply increases the CO₂ content in the greenhouse. The urine from the calves and the liquid fraction separated from the digestate contain nutrients needed for the cultivation of the duckweed. They are diluted using clean well water, in order to obtain the correct concentration of minerals. Residual heat from the CHP unit is stored in water used by the farm and that of the neighbours. This heat is therefore not available for cultivating the duckweed. The diagram below shows a simplified version of the system.

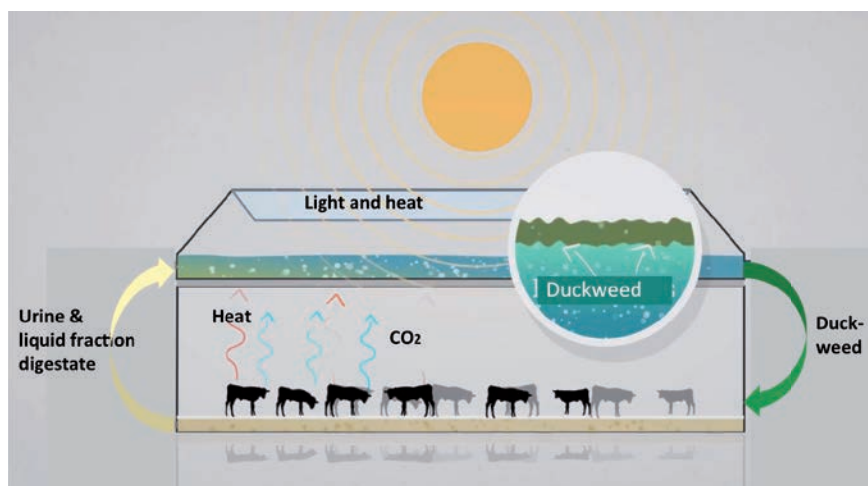


Figure: Scheme of the stable and the greenhouse with the flows of urine, liquid fraction digestate and duckweed as cattle feed.

In the first year, the cultivation process took place in small basins (50 m²), made of agricultural plastic. Various modifications have been made to the cultivation system, on the basis of these small-scale experiments. This laid the foundation for the cultivation of duckweed in 2015. The most important modifications were actively adding oxygen to the water, making improvements to control the pH, spray cooling of the air in the greenhouse, and adding humic acid as a mineral buffer to the duckweed pond. The experiences are described in detail in the report entitled 'Kroosteelt 2014' (see *Appendix 1*).

In 2015, the cultivation of the duckweed was well under control. The growth first became visible in the second half of February, and the harvesting of the duckweed started in March. Fresh duckweed was fed to the calves until November as part of their mixed diet. Throughout this time, data on the cultivation conditions and the production were collected on a frequent basis. A duckweed growth model was developed and validated. Niek van den Top, a student at Wageningen UR, received the Shell thesis prize for his work on developing the model.

Growth factors

The growth of duckweed is determined by five factors - the photoperiod, the temperature of the water between the roots of the duckweed, the pH of the water, and finally the nitrogen and phosphorus content. The two latter factors were not limiting the duckweed growth in the ECOFERM.

The amount of light in PAR [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$], the air and water temperature [$^{\circ}\text{C}$], the concentration of CO_2 [ppm], and the relative air humidity [%] were measured on a continuous basis from the very start of the growth season. The following parameters were also measured by hand: EC value, pH, O_2 content of the water, dry matter content and fresh weight of the harvested duckweed.

Light

According to Van der Top's growth model, 13 hours of light saturation every day produces the highest growth rate, while too little light can markedly limit growth. The maximum amount of light saturation measured in the ECOFERM greenhouse was 12 hours. This means that this important growth factor was always at a sub-optimal level. Due to legislation by the local government, which forbids greenhouses in this area, part of the roof surface is non-transparent. As a result, rafters, purlins, and side-walls cast shadows on the duckweed. This has a negative impact on the production.

Temperature

The water temperature is measured in the area of the roots and leaves of the duckweed. The air temperature is registered just above the surface of the water. The growth model indicates that a water temperature between 20 and 30 $^{\circ}\text{C}$ gives the best growth, with 26 $^{\circ}\text{C}$ being the optimum level. The duckweed is liable to die quickly if the temperature exceeds 35 $^{\circ}\text{C}$. Because the water in which the duckweed grows is located in the part of the building above the calves, the warmth they produce provides continuous floor heating. The ventilation air from the stables (humidified and therefore cooled in the biobed) was blown into the greenhouse in order to provide sufficient levels of fresh air. In other words, cool air was supplied, and warm air removed.

No additional heating was needed in order to keep the water temperature above 20 $^{\circ}\text{C}$ from around April to October. There were occasions during the hottest months (June and July) on which the water temperature reached very high levels. A spray installation was therefore mounted above the pond, which was activated as soon as the air temperature reached 37 $^{\circ}\text{C}$. This prevented the water temperature from rising above 35 $^{\circ}\text{C}$.

Fertilization

The pH and the Electric Conductivity (EC) values of the water were regularly measured in order to monitor the fertilization of the duckweed. The pH value provides information about the levels of acidity. The EC value shows the total quantity of dissolved fertilizers, based on the conductance of the water. For the optimal solubility of the nutrients and unimpeded growth of the duckweed, the pH should be in between 6 and 7. Humic acid was added at the very start of the

cultivation process. This gives a buffering effect as it binds the minerals, so that any slight imbalance can be accommodated. These methods ensured that the pH mostly stayed within the optimal range without any problems. An acidic fertilizer (nitric acid/phosphoric acid) is needed every now and then in order to restore the balance. The desired EC value is 1 to 1.5 mS/cm. The basis for the fertilisation of the duckweed is the liquid fraction of the digestate, because of its favourable N/P ratio. Every month, the results of the irrigation analyses served as the basis for adjustments using liquid fraction, artificial fertilizers, and trace elements.

CO₂ content and air humidity

Bringing the ventilation air from the stables in the greenhouse helped keep the CO₂ concentration between 1,500 and 2,000 ppm. That meant that this parameter was non-limiting for the cultivation of duckweed. The relative humidity level (measured 25 cm above the surface of the water) fluctuated mostly between 60 and 80%.

Oxygen content in the pond

Stagnant water can quickly lose its oxygen, especially if it contains organic particles. Moreover, less oxygen can dissolve in water if the temperature rises (thermodynamic principle). When the liquid fraction of the digestate is used as fertilizer, a small quantity of organic particles is contaminating the water. The breakdown of this organic matter requires oxygen and therefore oxygen has to be added to the water. In anaerobic conditions of the water all kinds of toxic compounds are formed, such as nitrite and sulphite (Schuurman, 2014). This can result in a considerable reduction of growth rate and to the death of the duckweed, leaving rotting material floating on the water and allowing algae to grow in large quantities. The oxygen content of the water appeared to be too low in the spring of 2015. Therefore, a submersible pump and bubble aerators were installed, which provided sufficient oxygen for the duckweed pond. The same effect was achieved with a sprayer and stirrer. Following a minor dip in production, fresh duckweed soon covered the surface of the pond again.

Duckweed density and harvest

During the growth season, the target for the density of the duckweed on the pond was 400 to 1,000 grams/m². This varies from one species of duckweed to another. In places where it accumulates, the density can be up to 2,000 grams /m². The rule of thumb is that to make the best possible use of incoming sunlight, the entire water surface should be covered with duckweed. However, efforts must be made to prevent the duckweed from piling up, otherwise it could die.

Harvesting usually takes place as soon as the duckweed starts to accumulate in multiple locations. Until August 2015, the harvesting process involved the use of a scoop net. After that time, it was carried out mechanically, with the help of a slowly rotating conveyer belt. This worked very well. Timing the harvest is easy by using the light reflection from the pond surface as an indicator for the moment when the harvest should be started and stopped. By allowing the duckweed to dry out for several hours on the floor or on a grate, much of the water is removed. The duckweed is then mixed in with the calves'

daily rations. The proportion of dry matter is determined by using an infrared dryer set at 105°C. Dry matter content varied from 5 to 7% of the weight of the fresh product.

Results

A total of 14,430 kg of fresh duckweed was harvested in 2015. This is 11,480 kg of dry matter per hectare. Because the other growth factors (CO₂, nutrients, and pH) are non-limiting, the only measurements carried out are related to the duration and intensity of the solar radiation (just above the duckweed) and to the water temperature (just under the duckweed). The water temperature and solar radiation were measured continuously between May and October. The results are shown in the Figure below.

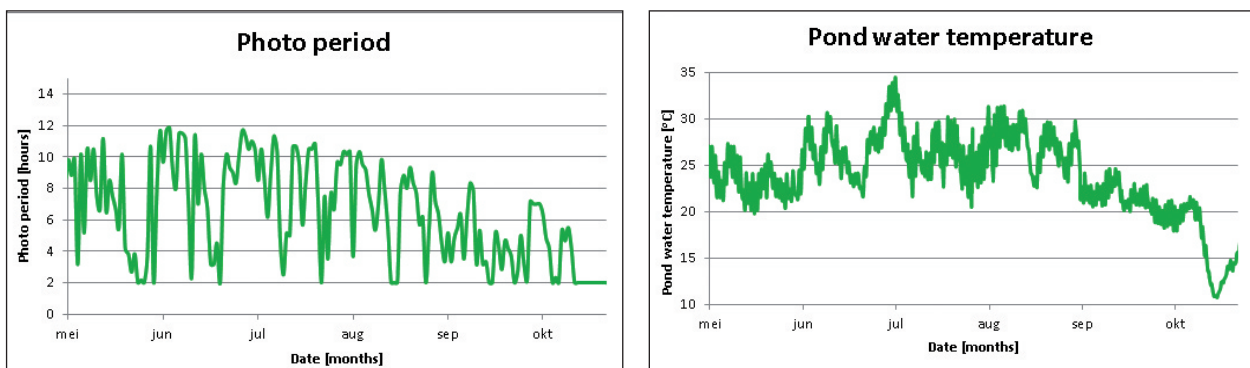


Figure: Photoperiod and water temperature of the duckweed pond, May to October 2015. The optimal levels for the photoperiod and water temperature are 13 [hours] and 26 [°C] respectively.

The Figure above suggests that the photoperiod never rose above the saturation level of 13 hours. This means that light was a limiting factor. It is also clear that the water in the pond was effectively cooled during the summer months by means of a spray installation. This prevented the duckweed from dying from overheating.

During the oxygen shortage as a result of the high temperatures in May and June 2015, the dominant duckweed species in the pond became *Spirodela* sp, instead of *Lemna Minor*. Little is known in literature about the effect of a lack of oxygen on different species of duckweed. *Spirodela* sp. is better able to cope with extreme temperatures.

Homogeneity of duckweed cover

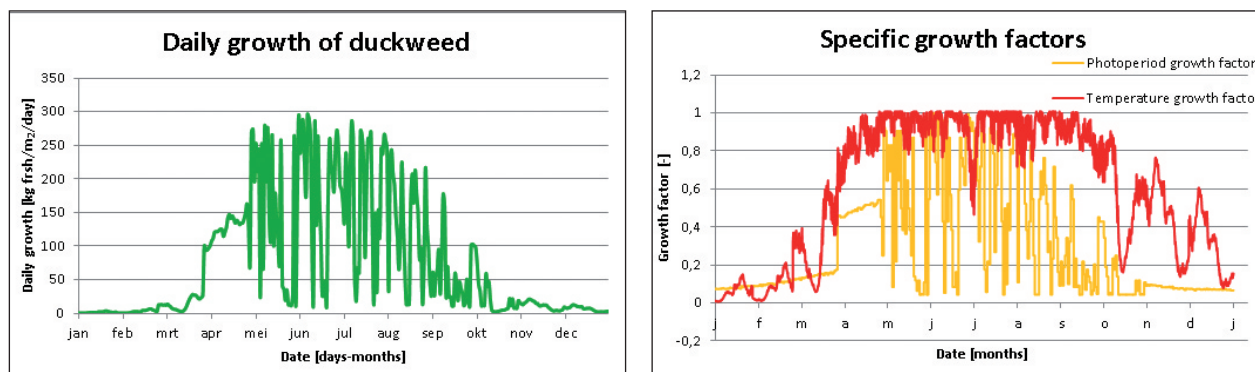
The results suggest that the distribution of the duckweed on the surface of the pond was not homogenous (with an average density of 350g /m² and a standard deviation of 50g /m²). The design of the pond is therefore not optimal. For example, the duckweed accumulated before the corners, whereas in other parts, especially close to the pumps the density of the duckweed was low. The uneven distribution of the duckweed on the pond surface makes it difficult to determine the right time to harvest.

Model calculations

The continuously measured water temperature and light intensity are the most significant input variables for the dynamic growth model of duckweed (Van den Top, 2014). On the basis of these growth factors, the model calculates a production of 23,160 kg of fresh duckweed. Converted into dry matter yield, the model calculated a yield of

18,420 kg/DM/ha, whereas the actual yield in 2015 was 11,480 kg DM/ha. In other words, the production of duckweed according to the model was 60% greater than reality. The reasons for this are the dip in production in the summer, the non-homogenous distribution of the duckweed over the pond, and the way in which the varying levels of solar radiation were included in the calculations. For a more detailed explanation, see Chapter 2. In other words, the model indicates that better management could increase production.

Moreover, the growth of the duckweed in 2015 was reduced by limitations in temperature and photoperiod (see Figure below).



The results from the model and the actual measurements show that in January, February, March, October, November, and December the growth of the duckweed stagnated. This was caused primarily by the lack of light. The graphs also show that in November and December the water temperature was still relatively high. However, this did not result in growth. This is because in the late autumn, the short photoperiod per day (with low light intensity) limits the growth of the duckweed.

Figure: Daily growth of duckweed (picture on the left) and the value of the specific growth factors light and temperature (picture on the right) in 2015. A growth factor is limiting when its value is lower than 1.

Lessons

After a year of intensive measuring and managing the cultivation of the duckweed, the process is much better understood. The most pressing modification to the current system of cultivation is to improve the lighting of the duckweed. The photoperiod, and therefore the amount of light available for the duckweed, is strongly limiting. The light transmission factor of the polycarbonate roof is 76%, compared to 90% in the case of the most modern greenhouse roofs. In addition, the ridge of the roof of the current construction casts a shadow over a significant part of the surface of the duckweed. The light yield could be increased from 70% to 90% if a different roof construction and material were to be used.

Another option is to add a light source. The model shows that in ideal lighting conditions (and provided that other growth factors are not limiting), the production of duckweed could rise to as much as 50,000 kg dry matter per ha. Whether adding artificial lighting could be justified on economic grounds depends on the value of the duckweed.

Also, the process of refreshing the water and that of fertilisation could be improved. There were areas in the pond where there was hardly any flow and where very little duckweed grew. Rounding off the corners could eliminate this problem. The use of a slowly rotating paddle wheel across the entire width would give a more homogenous flow, which would make the density of the duckweed more uniform.

The density of the duckweed can be determined using reflection or leaf measurements. A harvesting machine linked to these parameters and to the model could then determine when the duckweed needs to be harvested. Finally, there are also ways of improving the fertilisation of the duckweed. More effective separation of the digestate or the use of very clean urine reduces the supply of organic materials, resulting in less oxygen that needs to be pumped into the water. The supply of nutrients should be automated, as is the case in the horticulture sector. This leads to fewer fluctuations in the concentration of nutrients.

Optimal cultivation of duckweed based on experiences at ECOFERM

- Water temperature 26 °C
 - Range of 20 to 30°C gives high rate of growth
 - Heating using animal heat
 - Spray cooling when temperatures are high
- 13 hours' light saturation per day
 - Maximise light transmission through greenhouse roof or cultivate outdoors
 - Artificial lighting
- Completely and homogeneously covered water surface
 - 400 to 100 gram duckweed/m², depending on duckweed species
 - Paddle wheel for homogenous flow
 - No "dead" corners
 - Automatic harvest based on leaf density
 - Elimination of wind influences
- Oxygen-rich cultivation water
 - No organic contamination
 - Aeration based on oxygen %
- Optimal fermentation based on digestate
 - No organic contamination
 - EC 1 to 1.5
 - pH 6 to 7
 - Adjustments based on nutrient intake by the duckweed
 - Homogenous distribution using substrate unit
 - Increase CO₂ content
 - Effect on crop growth up to 1500 ppm

Research into the cultivation of duckweed

Further research is needed for optimizing duckweed production and integrating this new activity on the farm. This involves:

- The effect of light intensity on the growth of duckweed;
- The effect of harvest management on the density and the homogeneity of the layer of duckweed;
- The possibilities for genetic improvement of duckweed;
- The technical and economic viability of a practical cultivation system;
- Integration of the ECOFERM concept in the agricultural sector.

Duckweed as feed for calves

What are the characteristics of cultivated duckweed as a feedstuff, and how does it fit in with the diets of pink veal calves? This is the subject

of Chapter 3. Samples of fresh duckweed were frozen in September 2015. Two samples were offered to Nutricontrol in Veghel (Netherlands) for analysis of their chemical composition. A composite sample was also offered to ILVO in Ghent (Belgium) for the analysis of the rumen breakdown characteristics and the in vitro digestibility of the energy components. This involved an analysis of the entire composition - dry solids, raw protein, raw fat, raw cellulose, raw ash, NDF, and sugar. Minerals were also analyzed, as were the patterns for fatty acids and amino acids, and several important characteristics relating to food safety.

In 2011 Van Liere et al. executed a broad-based analysis to examine the possible risks to food safety associated with algae in combination with the use of minerals coming from manure. Experts carried out an initial assessment of possible risks related to duckweed cultivation using manure derived minerals (table below).

Risk	Result
Prion diseases and BSE	It can be assumed that this is no longer a threat, given that no new cases of BSE have occurred in the Netherlands in the last few years, and because BSE affects only older animals.
Viruses	As long as the material remains on the premises of the farm, this does not have a high priority.
Hormones	This risk is not present either, as no hormones are used.
Dioxin	Could be a risk because of the use of additives and incorrect drying of the duckweed.
Blue algae	This toxic substance can be formed in stagnant water. As long as the duckweed pond is not stagnant, there will be no danger.
Residues of animal medication	This risk is not great in this situation, where there is a normal use of medicine.
Anthrax	Low risk, as this disease does not occur at this farm. However, attention should be paid to the possible presence of dead rats or mice in the manure.

Heavy metal content was below detection levels, with the exception of arsenic in one of the two samples. However, that result was also below the norm for GMP+. No salmonella was found in any of the samples. The quantities of Enterobacteriaceae were on the high side, though, but the upper limits were not exceeded.

Of all the feed digested by ruminants, an average of 70% is broken down in the rumen. Bacteria produce volatile fatty acids and microbial protein in particular, which are digested in the rumen or small intestines, and released for the metabolism of the animal and for building up flesh and fat. Important nutrient features for growing ruminants are the net available energy (VEVI), rumen degradable protein (DVE), degraded protein (OEB), and fermentable organic matter (FOS). Neutral detergent fibre (NDF) is important for stability in the rumen.

In the light of the high variation in the three samples investigated, an average result was used for calculating the rations. The optimization of the rations was carried out with a limited number of nutrients and a limited number of ingredients.

The duckweed samples had low dry matter content. They contained more protein and ash in comparison to the information in literature.

The NDF contents are lower. Compared to fresh grass, duckweed contains twice as much protein in the dry matter. Grass appears to be higher in NDF. Because of the high levels of nitrogen in duckweed, it is recommended that analysis be carried out on the nitrate content.

The amino acid patterns correspond more or less to the levels that could be expected based on literature. The amino acid pattern of duckweed is comparable to that of fresh grass, with the exception of the low methionine content in duckweed protein. It cannot be ruled out that this is caused by a shortage of sulphur in the diet, although there is no indication of this from the water analyses in the duckweed pond.

The fatty acids in duckweed consist of more than 60% linolenic acid, as is the case with grass. However, more than 90% of this essential omega 3 fatty acid is hydrogenated in the rumen. It could therefore contribute only to a limited degree in enriching meat with omega 3. In the rumen, linolenic acid can reduce the production of methane, and after conversions to CLA, stimulate a more efficient build-up of meat.

Compared to fresh grass, duckweed contains high levels of calcium, phosphorus and sodium. High phosphorus levels make it possible to apply other ingredients with low levels. Because the levels of sodium and potassium are high, the electrolyte balance should be taken into consideration if the amount of duckweed in the rations is increased.

Of the trace elements, iron is of particular importance for the calves. To prevent the white meat of the calves getting too red a colour, it is important to moderate the content of iron in their feed. The high iron content in duckweed makes it unsuitable for white meat calves.

VEVI is used as the measure for the net usable energy for beef cattle. To enable calves to grow quickly and efficiently, a high Vevi content per kg dry matter is important. Vevi content in duckweed is lower because of the greater ash content. The low Vevi in duckweed places a limitation on its usability.

Duckweed is high in rumen degradable protein (DVE) and degraded protein (OEB). Too high an OEB in the overall diet has a deleterious effect on energy consumption and health.

Of the nutrient costs of the diet, 65 to 70% consist of costs for Vevi and 20 to 25% of costs for rumen degradable proteins. Compared with fresh grass, the Vevi content in duckweed is significantly lower, which means that the dietary value of duckweed is lower too. This is due to a major degree to the higher levels of ash. On the other hand, the total protein and rumen degradable protein (DVE) content are higher, which means the dietary value of duckweed is overall similar to that of fresh grass, and greater than that of grass silage.

Including duckweed in the diet leads to a decrease in the use of grass and soya. This has a favourable effect on the costs of the diet. However, the low dry matter content in the feed does require attention. To ensure the provision of sufficient energy to counter the protein-rich duckweed, a little more sugar beet pulp is being added to

rations that include duckweed. If the duckweed is to be fed to pigs (and especially to sows), the addition of extra starch will not be needed, which means the financial benefits of duckweed as feed would be greater in the pig sector.

Economy

Based on the measures carried out at the ECOFERM in Uddel and the experiences gained during the project, a model has been made with which the economic effects have been worked out for a virtual farm with 1,200 pink veal calves. This is described in Chapter 4.

At the ECOFERM in the model, 3 hectares of grassland were replaced with duckweed. The ECOFERM was compared with a fictitious farm that did not replace grassland. It is assumed that the duckweed is cultivated in tunnel greenhouses. This would appear to be the least expensive way of producing duckweed inside, which is necessary in order to be able to gain as much as possible from heat and CO₂ from the calves. An additional advantage of the tunnel greenhouses is that the wind does not accumulate the duckweed at the sides of the pond, allowing the entire water surface to be productive. A significant disadvantage of the use of the tunnel greenhouses are the high investment costs. The fertiliser products generated in the ECOFERM are deployed in roughage cultivation, including that of duckweed. This saves costs on chemical fertiliser. Moreover, it saves costs for removal of the surplus of manure from the farm, which in The Netherlands amounts to 15 euros per tonne of manure.

The details of the various aspects of the fictitious companies described above have been worked out, and the effects of business measures on business operations have been calculated. This concerns the effects on diet, the production of duckweed, minerals and fertilizer, the amount of agricultural land, energy, and greenhouse gas emissions. An economic comparison has also been included.

For the sake of convenience, it was assumed that the production of duckweed takes place for six months of the year, and that in the remaining six months of the year no duckweed is available. In reality, the growing season for duckweed in the ECOFERM was about 8 months, but production levels were lower during several months in spring and autumn.

Separating the manure into different fractions enables ECOFERM to save on its costs for manure disposal. A greater volume of animal manure products can be used in the ECOFERM. Because of the great need for nitrogen by duckweed, a significantly larger amount of nitrogen – and therefore urine or liquid fraction – can be used than is the case with corn or grass. Additionally, there is a modest benefit from saving costs for the purchasing of artificial fertilizers in ECOFERM.

No environmental standards have yet been set down for the fertilisation of duckweed. Due to the fact that the cultivation takes place in closed ponds, it is not necessary to set these standards. After all, nitrate leaching is not possible in this type of cultivation. Duckweed with a production of 25 tons of dry solids per hectare and 43% of raw protein has a major requirement of nitrogen and

phosphate. The crop is capable of absorbing up to five times more phosphate and ten times more nitrogen per hectare than corn. Where there is significant acreage, this could be advantageous for recycling within the farm.

Reducing emissions of greenhouse gases at the ECOFERM company is achieved on three fronts - the renewable electricity produced, the use of the heat, and the emissions that are avoided (methane).

However, with the current prices of CO₂ emission allowances, this does not really amount to very much.

By adding duckweed to the diet, some savings in the feeding costs can be achieved. Calculations of the nutritional quality of duckweed have been based on the product being fresh (and therefore wet). This limits the proportion of duckweed in the diet. It is expected that with a certain degree of drying, more duckweed can be used, allowing for greater savings on the costs of the rations. However, these are offset by the drying costs. Any rise in the price of soya will have a positive effect on the ECOFERM ration savings.

The costs of creating the cultivation system and the energy consumption of exploiting it are currently too high for ECOFERM to be economically viable. However, the large-scale production of duckweed is not a commonplace technique. The costs could be considerably reduced if greater efforts went into developing technology. In addition, the cultivation of duckweed in old and unused greenhouses, which are no longer suited for the production of vegetables, could give a completely different picture. Another higher-end market could come into view for duckweed as a fresh vegetable (water lentils) or as protein concentrate for the food industry. After all, the cultivation of and market for duckweed are still in their infancy.

Given that a large number of societal goals are achieved in the ECOFERM concept – reductions in manure transport; fewer food and mineral imports; less use of land in the tropics and therefore less destruction of rainforest; strong increase in protein production per hectare (up to 10 times higher than with cultivating soya); circular business operations – it is worth considering to have a similar stimulation policy for the sustainable production of protein in the Netherlands as currently exists for sustainable energy. This would temporarily bridge the gap between costs and yields until the cultivation system has fully matured.

There are also other ways of achieving valorization for the CO₂ and heat that the calves produce. A link with a horticultural greenhouse is an idea worth consideration. Calculations suggest that the CO₂ emissions could then be markedly reduced. Using the heat from the animals to the full appears to compensate no less than 71 to 88% of the overall veal footprint. It is also conceivable that the nutrients can be used in the greenhouse to limit the fertilizer costs. This promising combination merits further research.

References

- Liere, J. van, G. Boosten, L. van Dijk, G. Hemke & A. Verschoor, 2011. ECOFERM De kringloopboerderij. Innovation Network, Utrecht. Report no. 11.2.248, ISBN 978-90-5059-432-5

- Top, N. Van den, 2014. Dynamic modelling of duckweed production on the first ECOFERM closed-cycle farm for rosé calves. Biosystems Engineering Bachelor's thesis. Wageningen University. Code YEi-80324.
- Smits, M.J.W. and V.G.M. Linderhof, 2015. Circulaire economie in de landbouw – Een overzicht van concrete voorbeelden in Nederland. WUR publication no. 486784.

