

De produktie van varkensvlees : een integrale ketenbenadering

Citation for published version (APA):

Lambert, A. J. D. (1990). *De produktie van varkensvlees : een integrale ketenbenadering: deelrapport 1: enkele modellen voor de varkenshouderij*. (EUT - BDK report. Dept. of Industrial Engineering and Management Science; Vol. 41). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1990

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

De Produktie van Varkensvlees

Een integrale ketenbenadering

Deelrapport 1:
Enkele modellen voor de varkenshouderij

door
A.J.D. Lambert

Report EUT/BDK/41
ISBN 90-6757-044-3
Eindhoven, 1990

DE PRODUKTIE VAN VARKENSVLEES
Een integrale ketenbenadering

Deelrapport 1:
Enkele modellen voor de varkenshouderij

door

A.J.D. Lambert

Report EUT/BDK/41
ISBN 90-6757-044-3
Eindhoven, 1990

Eindhoven University of Technology
Department of Industrial Engineering
and Management Science
Eindhoven, Netherlands

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Produktie

De produktie van varkensvlees : een integrale
ketenbenadering. - Eindhoven : Eindhoven University of
Technology, Department of Industrial Engineering and
Management Science

Deelrapport 1: Enkele modellen voor de varkenshouderij /
door A.J.D. Lambert. - (Report EUR/BDK ; 41)

Met lit. opg.

ISBN 90-6757-044-3

Trefw.: varkenshouderij.

Verantwoording

In dit rapport wordt het resultaat neergelegd van een deel van de studie naar het produktiesysteem voor varkensvlees. Het zwaartepunt van de studie ligt op de interactie tussen de verschillende onderdelen van het systeem onderling en op de interactie tussen systeem en omgeving. De reden waarom deze studie wordt uitgevoerd is tweërlei.

Op de eerste plaats bestaat de behoefte om de invloed van wijzigingen in een onderdeel van een produktiesysteem op het produktiesysteem als geheel te kennen. Aan de hand van een praktijkvoorbeeld kunnen wegen worden aangegeven naar een methode die bruikbaar is voor produktiesystemen in het algemeen. Centraal in de beschouwing staan massa- en energiestromen.

Op de tweede plaats is er behoefte aan een duidelijker beeld van specifieke produktiesystemen in hun totaliteit. Het produktiesysteem van varkensvlees is een voorbeeld van een dergelijk produktiesysteem. Dit systeem kent een grote interactie met andere produktiesystemen en met het biotisch en abiotisch milieu. In het produktiesysteem van varkensvlees treden grote veranderingen op die deels in relatie staan met milieu-problematiek en deels met technologische vooruitgang en economische verschuivingen. Iedere verandering heeft positieve en negatieve gevolgen voor het gehele produktiesysteem en ook voor de omgeving. De effecten van de veranderingen kan men niet zonder meer bij elkaar optellen. Er bestaan ingewikkelde verbanden waaromtrent men zich enig inzicht kan verwerven met behulp van mathematische modellen. Doel van de studie is om een dergelijke modelvorming te ontwikkelen waarbij niet de pretentie bestaat van volledigheid of van zeer grote nauwkeurigheid.

Een model, zoals dat hier beschreven is zal modulair van karakter moeten zijn. De relaties tussen de modulen zijn massa- en energiestromen. In de modulen moeten ingangs- en uitgangsvariabelen door middel van relatief eenvoudige uitdrukkingen weer te geven zijn.

In dit deelrapport worden een aantal van deze relaties gegeven. Centraal in dit deelrapport staat de varkenshouderij. Er worden twee relaties beschreven.

Op de eerste plaats wordt een model behandeld dat de relatie aangeeft tussen statistische gegevens op bedrijfstakniveau en gegevens die de bedrijfsvoering in de varkenshouderij betreffen.

Op de tweede plaats wordt een model van een vleesvarken behandeld dat, gebruikmakend van gegevens omtrent het voer, schattingen verricht omtrent de energiebalans en de massabalans. Het levert de groeisnelheid, samenstelling van de verse mest en van de aanzet, en gegevens omtrent de waterhuishouding van een vleesvarken op.

Beide modellen zijn rudimentair, ze kunnen echter gemakkelijk worden aangepast en gewijzigd. De resultaten die ze geven zijn in eerste benadering realistisch.

Uitgaande hiervan zal het model in volgende studies worden uitgebreid. Dit gebeurt aan de hand van input- en outputstromen. Dat betekent dat allereerst de belangrijkste inputstroom (voeder) nader beschouwd zal worden, en vervolgens de belangrijkste outputstromen produkt (vlees) en reststroom (mest).

0. Inleiding.

Dit rapport behandelt aspecten van de produktie van varkensvlees. Het beoogt met name inzicht te verschaffen in de relatie van massa- en energiestromen tussen de verschillende onderdelen van de sector en tussen de sector en andere sectoren.

Dit inzicht is noodzakelijk om de wisselwerking van uiteenlopende maatregelen op elkaar en op het totale systeem te kunnen beoordelen. Input- en outputgrootheden vormen een indicatie voor de milieu-aspecten van de produktie van varkensvlees.

Het onderzoek heeft twee intenties:

- a. Het aandragen van bouwstenen voor het behandelen van produktieprocessen in het algemeen.
- b. Het bieden van een instrument voor de beoordeling van ontwikkelingen zoals die zich specifiek binnen de varkenssector voordoen.

1. De varkenshouderij.

1.0. Algemeen.

De varkenshouderij kent een geschiedenis van duizenden jaren. Het varken was aanvankelijk een dier dat in staat was voedselresten van de mens, aangevuld met in de natuur vergaard voedsel, om te zetten in een hoogwaardig produkt, namelijk vlees. Voor het restprodukt mest lag eveneens een nuttige bestemming, als bemestingsstof, voor de hand. Voordelen van het varken zijn, naast de kwaliteit van het vlees, het feit dat het een alleseter is, en het relatief hoge reproductietempo, zeker in vergelijking met rundvee. Nadeel van het varken is de eenmagigheid, hetgeen het relatief goedkope ruwvoer (gras, snijmais e.d.) ongeschikt maakt als voedingsbron. Een ondergeschikt nadeel is de relatieve laagwaardigheid van andere produkten dan vlees. Runderen leveren nog huiden en melk; pluimvee levert eieren en eventueel veren. Varkens leveren eveneens naast vlees nog andere produkten. De borstels van varkens worden in verfkwasten, afwasborstels en dergelijke aangewend. Ook de huid, de darmen, organen, beenderen en slachtafvallen leveren produkten. Het hoofdprodukt van het varken, in economisch opzicht, is echter vlees voor menselijke consumptie.

Reeds honderden jaren geleden (17^e eeuw) zette zich de tendens in om varkens ook met industriële restprodukten te voeden. In Nederland werden daartoe onder meer veekoeken aangewend, een restprodukt dat vrijkomt bij de verwerking van oliehoudende zaden. Natuurlijk moesten de betreffende produkten dan tegen lage prijs voorhanden zijn en dat was in Nederland met zijn verwerkingsindustrie van koloniale waren zeker het geval.

Enige tientallen jaren kwam de industrialisatie van de veehouderij in een stroomversnelling. Dit proces ving aan in de USA met mestpluimvee, en nam een grote vlucht met name omdat de arbeidsproduktiviteit sterk werd verhoogd doordat in grotere, efficiënte eenheden kon worden gewerkt. Een essentieel verschil tussen pluimvee en varkens is overigens, dat de eerste categorie veel minder industriële afval te eten krijgt omdat het pluimveevoer vooral uit granen bestaat. Overigens werd door de industrialisatie van de veehouderij een steeds sterkere onafhankelijkheid van natuurlijke omstandigheden (zoals grondoppervlak, bodemgesteldheid, klimaat en seizoenen) verkregen. Het varken heeft nu -letterlijk- een keuze uit de gehele wereldmarkt. Door dit alles nam de beschikbaarheid van het produkt vlees toe terwijl de prijs van het

produkt relatief laag kon worden gehouden. De keerzijde van deze omwenteling bestaat uit de, voor iedere industrie essentiële, afhankelijkheid van kapitaalgoederen enerzijds en secundaire bronnen van energie en grondstoffen anderzijds. Hierbij verdient in de eerste plaats het secundair zijn van de grondstofstroom, met name de voeders, aandacht. Met 'secundair' wordt hier bedoeld dat de grondstofstroom in kwestie eveneens een produkt is van industriële activiteit. Voor wat betreft de varkens gaat het hierbij in eerste instantie om de mengvoederindustrie. De kenmerken van deze industrie komen in een volgend deelrapport uitvoerig aan de orde. Hier wordt slechts opgemerkt dat de mengvoederindustrie aan haar input-kant opereert op de wereldmarkt en dat een aanzienlijk deel van haar grondstoffen afkomstig zijn uit het, soms verre, buitenland. De opgang van de mengvoederindustrie (sedert de dertiger jaren wordt op vrij grote schaal mengvoeder geproduceerd) geeft een goede indicatie van de mate van industrialisatie van de varkenshouderij, die op haar beurt weer tot een zodanige concentratie van varkens op een beperkt oppervlak leidde, die zonder industriële methoden nooit mogelijk kon zijn. De energie die voor de industriële varkenshouderij, naast het voer, noodzakelijk is, komt in het algemeen voort uit fossiele bronnen, met alle complicaties van dien. Daar het voer op industriële wijze wordt voortgebracht, zal ook hierin het gebruik van fossiele energiedragers verdisconteerd moeten worden.

De afhankelijkheid van kapitaalgoederen is bij de industriële varkenshouderij nog relatief gering doch ze neemt toe en alles wijst er op dat de ontwikkelingen zich in versneld tempo zullen voortzetten. De industrialisatie van de veehouderij is overigens een proces dat nog lang niet is afgesloten. Ze breidt zich uit tot meerdere diersoorten (zoals vis) en de mate van substitutie van natuurlijke inputs en arbeid, door secundaire inputs en kapitaalgoederen, neemt nog steeds toe. Dat laatste noemen we voortaan: 'industrialisatiegraad'. Industrialisatie brengt in het algemeen een reststoffenproblematiek met zich mee, en dat heeft in het geval van de industriële varkenshouderij twee oorzaken.

De hoofdoorzaak is het feit dat de grondstofstroom van industriële oorsprong is, waarbij de oorspronkelijke aan de natuur onttrokken grondstoffen vaak over grote afstand zijn vervoerd.

Een nevenoorzaak kan liggen in het feit dat de primaire grondstoffen in een industrieel proces vaak ingrijpend gewijzigd worden.

De reststoffen zijn dan qua hoeveelheid en qua hoedanigheid moeilijk, zonder ingrijpende gevolgen, terug in het milieu op te nemen. Bij de varkenshouderij is de mest het belangrijkste restprodukt, waarvan met name de hoeveelheid op een beperkt gebied het hoofdprobleem is. Daarnaast is door de industriële bedrijfsvoering in de varkenshouderij de hoedanigheid van de mest gewijzigd. Ook daarop zal in volgende hoofdstukken worden teruggekomen.

Doordat de varkenshouderij verregaand geïndustrialiseerd is dienen de restprodukten ervan op dezelfde wijze benaderd te worden als industriële restprodukten. Traditioneel was dit niet het geval: Ze werden, ook toen ze niet meer ter plaatse nuttig bruikbaar waren, eenvoudigweg gedumpt. De steeds scherper wordende mestwetgeving dient een eind te maken aan deze praktijk.

Wetenschappelijke kennis van het hoogste niveau wordt aangewend om de continuïteit van de bedrijfstak te waarborgen. Daarbij moet in de eerste plaats de biochemie en biotechnologie genoemd worden. Zij grijpt in toenemende mate in in de samenstelling van de veevoeders en in de

beheersing van de met de varkenshouderij samenhangende milieuproblematiek.

Het is waarschijnlijk dat de milieuproblematiek die door de industrialisatie van de veehouderij manifest is geworden zal leiden tot maatregelen die de tendens tot concentratie enkel zullen versterken¹⁾. Daarnaast speelt ook de automatisering een grote rol. Het gaat daarbij niet meer uitsluitend om de substitutie van arbeid door kapitaal doch tevens om een betere beheersbaarheid van het proces. Het betreft daarbij de voederverstrekking, de drinkwaterverstrekking en de klimaatbeheersing. Bepaalde maatregelen als individuele voeding zijn eerst dank zij automatisering uitvoerbaar geworden.

De industrialisatie van de veehouderij heeft tot ingrijpende veranderingen in de veehouderij zelf geleid. Er is een toenemende invloed van wetenschappelijke kennis aan te wijzen. Tal van instituten houden zich met de materie bezig, terwijl ook aan het opleidingsniveau van de veehouders steeds hogere eisen worden gesteld. Standsorganisaties, vakpers en voorlichters worden ingezet om de nieuwste inzichten op het vakgebied zo snel mogelijk bij de veehouder te introduceren. Het veehoudersbedrijf heeft hierdoor de dynamiek verkregen die eigen is aan iedere gezonde industriële activiteit. De keerzijde van de medaille is, dat vrijwel alle ontwikkelingen tot meer investeringen en extra eisen zullen leiden, en de inspanning die vereist is om deze ontwikkeling bij te houden, kan niet opgebracht worden door de kleinere bedrijven. Concentratie van bedrijven tot steeds grotere eenheden is een proces dat reeds jarenlang gaande is en het einde is nog niet in zicht.

Tal van ontwikkelingen maken het noodzakelijk dat de industriële varkenshouderij in Nederland zich herstructureert. Vanuit het oogpunt van duurzame produktie dienen produktiemethoden te worden ontwikkeld die zo min mogelijk offers brengen aan de omgeving. Het is daarbij zinvol om te bevorderen dat de oorspronkelijke functie van het varken, namelijk opruimer en omzetter van ter plaatse aanwezig organisch afval, in een geavanceerde vorm, nieuw leven wordt ingeblazen.

¹⁾ Boerderij 75 (1990) 30-1-1990. Ir. A.A. Jongbreur (IMAG) en prof. J. Matthews (Inst. of Engn. Res., UK) verwachten 'een versnelde intrede van informatica en robotisering bij werktuigen. Voornaamste veroorzaker is de verscherpte milieu-wetgeving'.. 'Sensoren, printplaten en besturingstechnieken vervangen de huidige mechanische systemen..in alle sectoren zijn er duidelijke investeringsplannen'

1.1. Het varkensbedrijf.

Er werden in Nederland in 1970 nog 75764 bedrijven met varkens geteld. In 1988 waren dat er nog slechts 32708. Het aantal bedrijven is dus gestaag teruggelopen ondanks het feit dat het aantal varkens snel steeg tot een aantal van $14,35 \cdot 10^6$ varkens in het topjaar 1987. Sedertdien neemt het aantal varkens weer licht af, een trend die zich mogelijksterwijs voort zal zetten.

Grotere specialisatie blijkt uit tellingen van het aantal bedrijven met varkenshouderij als hoofdbedrijfstype. Dit steeg tussen 1970 en 1988 van 10% naar 30% van het aantal bedrijven met varkens. De niet-gespecialiseerde bedrijven met relatief kleine aantallen varkens zijn in overgrote meerderheid rundveebedrijven.

Grotere concentratie blijkt eveneens uit het gemiddelde aantal varken per bedrijf met varken. Dit steeg van 73 in 1970 tot 406 in het topjaar 1987. Ook in 1988 steeg het weer verder tot 426, en naar verwachting staan nog ingrijpende ontwikkelingen te wachten.

Dat concentratie en specialisatie hand in hand gaan kan men overduidelijk met behulp van de statistische gegevens bevestigen. In 1988 werden er 1192 bedrijven met meer dan 1000 vleesvarkens geteld, waarvan 79% gespecialiseerde varkensbedrijven. Voor de bedrijven met minder dan 20 vleesvarkens bedroeg dit percentage 21%. Nog duidelijker komt dit tot uiting bij de fokzeugen (1987). Van de bedrijven met 1 tot 10 fokzeugen was toen 5% een gespecialiseerd varkensbedrijf. Voor bedrijven met meer dan 200 fokzeugen was dit 88%.

In de varkenshouderij hebben we te maken met drie soorten bedrijvigheid: Topfokkerij, vermeerderingsbedrijf, mesterij.

De topfokkerij omvat een beperkt aantal bedrijven, die opfokzeugjes leveren aan vermeerderingsbedrijven en ook fokberen produceren. De topfokkerijen hebben soms bindingen met veevoederbedrijven (Hendrix'), slachterijen (Homburg) en landbouwcoöperaties (Landbouwbelang, Cebeco), soms ook niet. Voor wat betreft de massastromen spelen de topfokkerijen geen rol van betekenis. In een model wordt een opfokzeugje dan ook behandeld als een normale big, hoewel de produktie ervan zeker meer voer vereist gezien het feit dat voor de topfokkerij andere bedrijfsgegevens dan voederconversie, groeisnelheid en dergelijke van belang zijn.

De topfokkerij is in een beschouwing over massabalansen vooral van belang vanwege het feit dat de fokprogramma's van invloed zijn op de kenmerken van de varkens. Naast de kenmerken die van belang zijn voor de slachtkwaliteit, zijn dat voor de massabalansen met name:

Voor de zeug: De vruchtbaarheidsindex, waarbij van belang:

- Leeftijd eerste worp
- Aantal gespeende biggen/jaar

Voor het vleesvarken:

- Voederconversie (in g voer/g aanzet)
- Groei (in g/dag)

Een vermeerderingsbedrijf heeft als doel het produceren van biggen. Het beschikt over opfokzeugen, dat zijn nog niet gedekte, jonge zeugen die ingekocht worden bij de topfokkerijbedrijven. Ze worden volgens een bepaald voederschema opgefokt tot gelten (nog niet bevruchte fokzeug) die na bevruchting (soms nog door natuurlijke dekking maar in toenemende mate door k.i.). Uiteraard is het voederschema voor de opfokzeug anders dan voor het vleesvarken, omdat aan het volwassen varken andere eisen worden gesteld (biggenproduktie i.p.v. vleesproduktie). Tijdens het opgroeien van de opfokzeugen wordt geselecteerd. In onze berekeningen is er van uitgegaan dat van elke 4 opfokzeugjes er uiteindelijk 3 als fokzeug zullen worden ingezet. Mede door de invloed van k.i. is het aantal beren beperkt en kan worden verwaarloosd.

De draagtijd van de zeug is ongeveer 16 weken. Er worden 10 a 11 biggen geboren (een toom), er is echter sprake van enige uitval. Het geboortegewicht van een big is omstreeks 1,4 kg. Bij grote tomen is de sterftekans groter. Na de geboorte worden de biggen door zeugenmelk gevoed. Dit is de lactatieperiode. De zeugenmelk is niet constant van samenstelling. Per big wordt er ongeveer 20 liter van opgenomen. Vervanging van zeugenmelk door kunstmelk is niet rendabel. Het is niet alleen te duur, doch het heeft ook geen zin. De zeug heeft immers gedurende de eerste drie weken na het werpen een verlaagde vruchtbaarheid. Wel wordt reeds vanaf 8 dagen bijgevoerd. Het spenen (waarbij de big weggenomen wordt van de zeug en geheel over moet gaan op vast voedsel) vindt plaats op een leeftijd van 4 à 5 weken. Er is een tendens geweest om dit steeds vroeger te doen plaatsvinden. Tegenwoordig neigt men weer naar een wat hogere speenleeftijd: Omstreeks 4 weken. Om een big te spenen moet die 100 gram voer per dag kunnen opnemen. Het speengewicht is ongeveer 9 kg (bij speenleeftijd 5 weken).

Na het spenen wordt de zeug opnieuw gedekt. De periode tussen spenen en dracht wordt de gustperiode genoemd, die zo kort mogelijk moet zijn voor goede bedrijfsresultaten.

Van belang is voorts de uitval van de zeugen. Na iedere worp wordt gekeken of de zeug nog geschikt is voor fokdoeleinden. Zoniet dan wordt geslacht.

De biggen gaan naar de mesterij (worden opgelegd) op een gewicht van ongeveer 23 kg.

Voor het vermeerderingsbedrijf gelden als belangrijkste bedrijfskengetallen:

Vervangingspercentage, het aantal zeugen dat na een jaar wordt vervangen.

Worpinde, het aantal worpen per jaar.

Gespeende biggen per zeug per jaar.

Aantal levendgeboren biggen per worp.

Percentage doodgeboren biggen.

Uitvalspercentage kraamhok.

Het aantal gespeende biggen per zeug per jaar is toegenomen en bedraagt nu gemiddeld meer dan 20. Enkele bedrijven bereiken meer dan 25 gespeende biggen per zeug per jaar. Deze hoge waarden komen primair voort uit een hoge worpinde, en pas op de tweede plaats uit het aantal levendgeboren biggen per worp, waaraan de negatieve correlatie tussen geboortegewicht (en toomgrootte) en overlevingskans niet vreemd is. Men mag rekenen met een aantal levendgeboren biggen per worp van 10, met een percentage doodgeboren biggen van 6%, met een uitvalspercentage kraamhok van 10%. De worpinde is altijd meer dan 2 en de 2,3 wordt vaak overschreden. 2,45 is mogelijk.

Het uitvalspercentage van de zeugen heeft men zelf in de hand. 40% is een gebruikelijke waarde.

In de mesterij worden de varkens gewoonlijk gemest over een gewichtstraject van 23..105 kg. Het slachtgewicht is afhankelijk van economische criteria die worden bepaald door conversie en groeisnelheid (bij hoger gewicht worden deze kengetallen ongunstiger) en de door de markt gedicteerde vleeskwaliteit. In vroeger tijden werd veel bacon geproduceerd voor de Britse markt en was het slachtgewicht hoger dan tegenwoordig (hoger vetgehalte), nu mager vlees meer gevraagd is. Het gemiddeld slachtgewicht was toen hoger.

De kengetallen voor het mesterijbedrijf omvatten in het algemeen: Voederconversie (vc), uitgedrukt in kg voer per kg aanzet van het varken. De conversie is in de loop der jaren steeds gedaald. Voor de veehouder speelt het kosten-aspect een belangrijke rol. Het voeder maakt een groot deel van de kosten uit. Een momentopname geeft 41% van de kosten (excl. arbeid) van een slachtvarken van 105 kg als directe voerkosten, en bovendien nog 17% die verdisconteerd is in de bigkosten, totaal 58%. De voederconversie is een resultante van de samenstelling van het voeder, de eigenschappen van de varkens en de bedrijfsvoering. Ze neemt nog voortdurend af, terwijl er een grote spreiding aanwezig blijft hetgeen wijst op verdergaande mogelijkheden. Was ze in 1981 nog 3,3, tegenwoordig is 2,85 een heel gebruikelijke waarde terwijl een enkel bedrijf 2,6 reeds benadert of overschrijdt.

Groeisnelheid (gs) in g/dag, geeft een aanwijzing omtrent de produktiesnelheid. De groeisnelheid is niet constant gedurende de mestperiode doch variëert tussen 500 en 1000 g/dag waarbij ze, tot op zekere hoogte, een tendens tot toename vertoont bij toenemend gewicht. Men zal dus een gemiddelde over het mesttraject moeten bepalen. In het begin der 80er jaren was een gs van 630 een veel voorkomende waarde, tegenwoordig wordt de 800 g/dag niet zelden overschreden. Voorts bestaat een positief verband tussen gunstige vc en gunstige gs. Naast een goede bedrijfsvoering is in het algemeen ook duurder voer nodig om de gunstige resultaten te bereiken.

De groeisnelheid is van invloed op het aantal mestrondes per jaar, dus het aantal malen per jaar dat men het gehele mesttraject (23..105 kg) kan doorlopen. Dit bedraagt gemiddeld 3,0. Waarden van 3,3 zijn mogelijk.

Uitval in %. Het gaat om sterfte gedurende het mesttraject. Een waarde die we als gemiddelde kunnen hanteren is: 1,5%, terwijl de waarden per bedrijf uiteenlopen van 0,3% tot meer dan 6%.

De kengetallen voor de mesterij verbeteren met ongeveer 3% per jaar, terwijl die van de vermeerderingsbedrijven nauwelijks gunstiger worden.

1.2. Samenstelling van de varkensstapel.

1.2.0. Inleiding.

Het CBS publiceert samen met het LEI de jaarlijkse Landbouwcijfers waarin ook een overzicht van de varkensstapel is opgenomen [1]. Hierbij is het varkensbestand verdeeld naar hoedanigheid en gewicht. De verhoudingen waarin de verschillende typen varkens ten opzichte van elkaar voorkomen vormt een weerspiegeling van de bedrijfsvoering en van de eigenschappen van de dieren.

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het statistisch materiaal op bedrijfstak (macro-) niveau zodanig kan worden bewerkt dat er conclusies zijn te trekken over op handen zijnde trends en/of veranderingen in de bedrijfsvoering (meso-niveau).

1.2.1. Modelbeschrijving.

De produktie van varkens, mengvoerders en mest, alsmede de varkensstapel is voor de afgelopen decennia grafisch weergegeven in figuur 1. Onder (bruto) produktie wordt verstaan het aantal slachtingen plus het aantal geëxporteerde levende varkens minus het aantal geïmporteerde levende varkens.

Aan de hand van een eenvoudig model kan men bestuderen in hoeverre de gegevens uit de Landbouwcijfers in overeenstemming zijn met realistische kengetallen, zoals die uit de diverse handboeken zijn te destilleren. Daarbij moet opgemerkt worden dat de kengetallen in de loop der jaren evolueren.

Om het model hanteerbaar te maken dient men uit te gaan van een standaard varkensstapel, standaard varkens en een standaard voerschema. Als uitgangspunt dienen de gegevens over 1986, en van hieruit kan men gewijzigde situaties analyseren.

Ter inleiding wordt de samenstelling van de varkensstapel in 1986 gepresenteerd, zie tabel 1.

Men kan nu een aantal produktiekengetallen invoeren, te weten:

$$PK1 = \frac{\text{bruto produktie}}{\text{totaal aantal varkens}}$$

PK1 blijkt over een lange reeks van jaren vrijwel constant te zijn. Men meet blijkbaar slechts een ruis als men in de globale statistische gegevens de verbeteringen in de bedrijfsvoering tot uitdrukking wil zien komen.

Het aandeel van de biggen aan de varkensstapel neemt, zoals uit de statistische gegevens volgt, toe. Om deze reden kan een tweede kengetal worden overwogen:

$$PK2 = \frac{\text{bruto produktie}}{\text{totaal aantal varkens} - \text{aantal biggen}}$$

Ook dit kengetal neemt in de loop van enkele decennia niet significant toe of af. Ook hier is slechts ruis te constateren.

Tenslotte wordt een derde kengetal bestudeerd:

$$PK3 = \frac{\text{bruto produktie}}{\text{aantal vleesvarkens}}$$

TABEL 1. Varkensstapel in 1986.

	Aantal (·10 ³)	% van varkens- stapel	symbool in model
Biggen			
Bij de zeug:	2416	18 %	
Gespeend, < 20 kg	2378	17,6 %	
Biggen, totaal	4794	35,6 %	AB
Opfokzeugen/beertjes			
20..50 kg	176	1,3 %	AOkl
Opfokzeugen > 50 kg	244	1,8 %	AOgr
Opfokberen > 50 kg	12	0,1 %	
Fokberen	33	0,2 %	
Totaal	454	3,4 %	
Fokzeugen			
Dragend	934	6,9 %	
Lacterend	266	2 %	
Gust	81	0,6 %	
Fokzeugen, totaal	1281	9,5 %	AZ
Vleesvarkens			
20..50 kg	3171	23,5 %	AVkl
> 50 kg	3772	28 %	AVgr
Vleesvarkens, totaal	6943	51,5 %	
Bruto Productie	21393		Prod
Gedestrueerde Cadavers			
Biggen	5105		
Varkens	596		

Het kengetal PK3 geeft in de periode 1969-1990 evenmin trendmatige veranderingen te zien.

De ontwikkelingen in de kengetallen PK1, PK2 en PK3 zijn weergegeven in figuur 2.

Vòòr het jaar 1969 werd de samenstelling van de varkensstapel op iets andere wijze berekend dan na dit jaar. De cijfers van vòòr 1969 zijn daarom ongeschikt om met die van nà 1969 vergeleken te worden.

Afgaande op figuur 2 moet men concluderen dat enkele decennia van uiteenlopende ontwikkelingen nauwelijks invloed op de kengetallen hebben gehad. De genoemde kengetallen zijn blijkbaar niet geëigend om zonder meer conclusies te trekken aangaande de ontwikkeling van de technische resultaten in de varkenshouderij. Men kan echter, met behulp van een betrekkelijk eenvoudig rekenmodel, wel degelijk een trend ontdekken in bepaalde belangrijke bedrijfsgegevens. Het betreft de duur van de mestperiode en het aantal biggen, dat een fokzeug per jaar produceert. Dit wordt gerealiseerd door zorgvuldig na te gaan welke variabelen afhankelijk dan wel onafhankelijk zijn, en welke grootheden constant worden gehouden.

Onder de duur van de mestperiode wordt hier, conform de statistische gegevens, de duur in weken bedoeld van de periode waarin het varken het gewichtstraject van 20 kg tot slachtgewicht doorloopt.

Een schema van het model, en een verklaring van de gebruikte symbolen, is te vinden in figuur 3. De hoofdletters A t/m F geven de lengte van de betreffende perioden in weken aan, de kleine letters a, b en d geven het aandeel van uitval weer, c geeft het aandeel der opfokzeugen dat wordt uitgeselecteerd, e geeft het aantal biggen aan dat een fokzeug gemiddeld per week produceert. De symbolen x, y1 enz. staan voor doorstroomgetallen die worden uitgedrukt in aantallen eenheden per week.

In bijlage 1 wordt een vereenvoudigde versie van het model gepresenteerd.

De statistische gegevens van LEI/CBS per jaar worden in dit model als gegeven gebruikt. De uitvals- en selectiepercentages voor biggen resp. opfok- en fokzeugen zijn constant verondersteld en als output wordt de duur van de mestperiode, de produktiviteit van de zeug en de verblijfstijd voor iedere categorie varkens berekend.

Deze bedrijfsgegevens worden vergeleken met die welke voortkomen uit handboeken en vakliteratuur voor de veehouders, uit bedrijfsstatistieken van landbouwcoöperaties en mengvoederbedrijven enz. De bedrijfsgegevens verbeteren in de loop der jaren, doch dit is een moeizaam verloopend proces dat slechts geschieden kan binnen bepaalde grenzen die door de ekonomie en de eigenschappen van het dier zijn vastgelegd. De verbetering is te danken aan een effectievere bedrijfsvoering, maar komt tevens tot stand door wijzigingen in het varken en het varkensvoer.

We nemen de bedrijfsgegevens die in tabel 2 worden gepresenteerd als uitgangspunt.

Daarmee kan men aan de diverse variabelen in fig.3 waarden toekennen. De volgende waarden worden gehanteerd:

A = 10; B = 8; C = 21; D = 7,5; E = 9; F = 130 (alles in weken)

Hierbij is F een binnen ruime grenzen manipuleerbare grootheid; ze wordt door de selectiecriteria voor de fokzeugen bepaald.

Tabel 2.

Bedrijfsgegevens van het vermeerderingsbedrijf:

De big:

Geboortegewicht: 1,3 kg
Speenleeftijd: 5 weken
Speengewicht: 9 kg
% doodgeboren biggen: 10 %
% uitval tot spenen: 10 %
Opleggewicht: 23 kg
Oplegleeftijd: 10 weken

dus:

Tot 23 kg: gs = 329 g/dag

De zeug:

Tot 23 kg: als bij de big
Leeftijd bij eerste dekking: 39 weken
Gewicht bij eerste dekking: 120 kg
Uitvalpercentage door selectie van opfokzeugen: 25 %
Gemiddelde duur produktieve periode van fokzeug: 2,5 jaar
Produktie: 20 biggen/jaar
Duur draagperiode: 16 weken
Duur lactatieperiode: 5 weken
Duur gustperiode: 3 weken
Gewicht bij uitselecteren: 182 kg

dus:

Totale produktie per zeug: 50 biggen

Bedrijfsgegevens van de varkensmesterij:

Het vleesvarken:

Tot 23 kg, zie bij de big.
Mestperiode: 15,5 weken
Slachtgewicht: 105 kg
% uitval in mestperiode: 1,5 %

dus:

23-105 kg: gs = 756 g/dag

produktiekengetallen

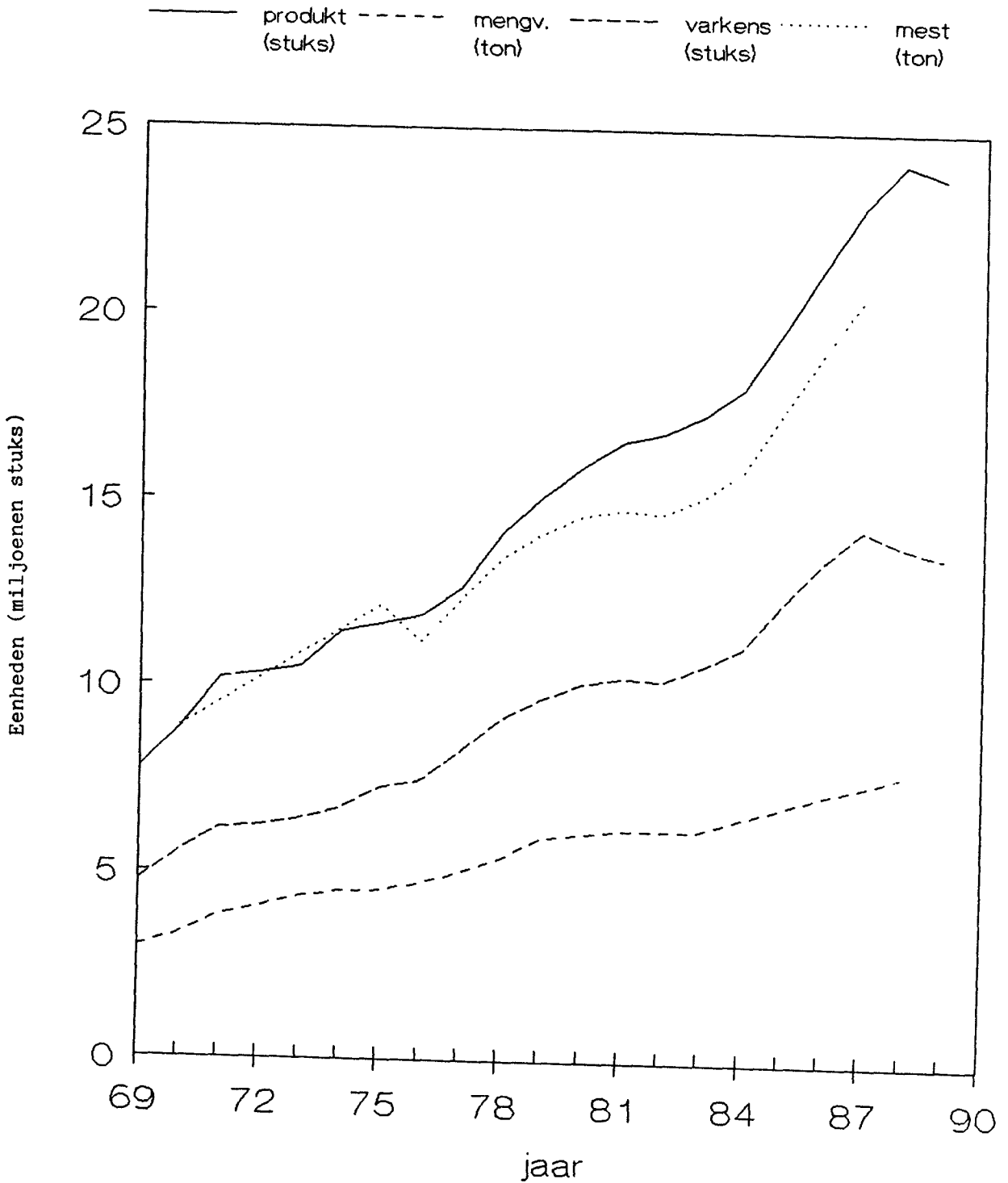


Fig 1. Bruto produktie, produktie van mengvoer, varkensstapel en produktie van mest in de loop der jaren. (Bron: Landbouwcijfers CBS/LEI).

produktiekenngetallen

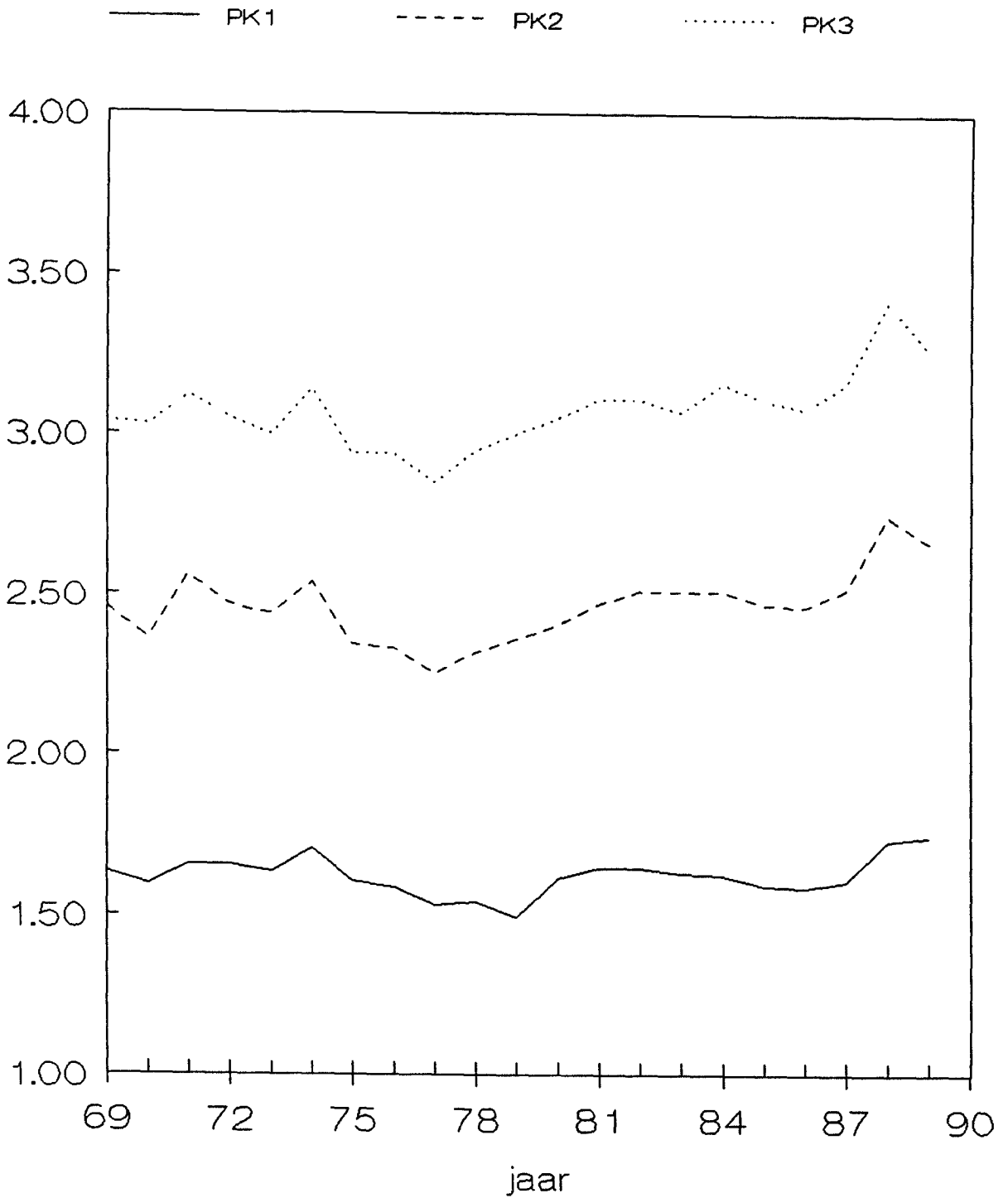


Fig 2. De ontwikkeling van enkele kengetallen gedurende enkele decennia, berekend met behulp van statistische gegevens (Landbouwcijfers CBS/LEI).

JAARPRODUKTIE: $(x_2 + y_3) \cdot 52$

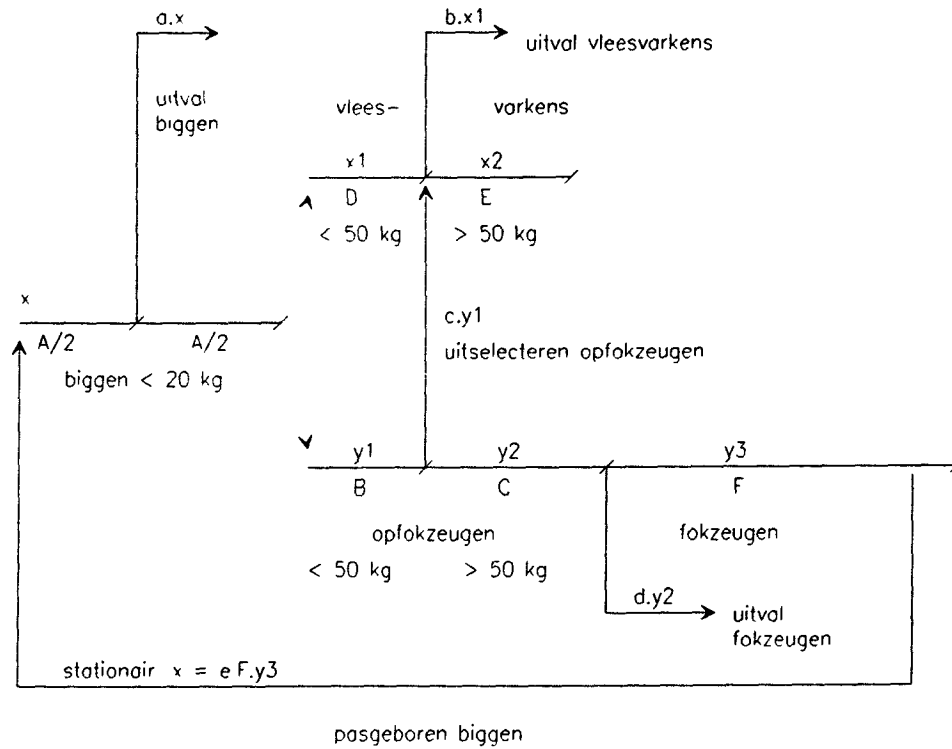


Fig 3 Vereenvoudigd doorloopschema varkenshouderij

Hiernaast worden de volgende parameters gebruikt:

Uitval biggen: $a = 0,1$
(Kenmerkende cijfers: uitval in kraamhok: 10,5%,
uitval na spenen: 1,9%)

Uitval vleesvarkens b

Uitselectie opfokzeugen $c = 0,5$

Uitval fokzeugen d

Aantal biggen per zeug per week $e = 20/52 = 0,385$

b en d liggen in de buurt van 0,02 maar worden in het vereenvoudigd model verwaarloosd.

(Kenmerkend cijfer: Uitval vleesvarkens: 2,1%).

De grootheden x , x_1 , x_2 , y_1 , y_2 , y_3 geven het aantal eenheden per week aan. Zo is het aantal fokzeugen gelijk aan $F \cdot y_3$ en het aantal vleesvarkens > 50 kg gelijk aan $E \cdot x_2$

De waarden a, b, d, e zijn niet op ruime schaal te manipuleren; ze worden met veel moeite zo gunstig mogelijk gemaakt en hun waarde ligt bij een zekere stand van bedrijfsvoering vast, al is de spreiding van dit soort bedrijfskengetallen over verschillende bedrijven onderling zeer groot. De grootheid c is wel degelijk te beïnvloeden. Men kan het selectie criterium voor de opfokzeugen zeer streng dan wel minder streng kiezen.

Ook de grootheid F die een resultante is van het uitselecteren van de fokzeugen, is in ruime mate te beïnvloeden.

Bij stationaire varkensstapel geldt:

$$x = e \cdot F \cdot y_3$$

b en d zijn klein, van de orde 0,01 à 0,02. Zij worden verwaarloosd. De beren, een klein percentage van het aantal zeugen vormend, worden eveneens verwaarloosd.

De stromen y zijn veel kleiner dan de stromen x . Ze kunnen echter niet verwaarloosd worden daar ze essentieel zijn voor de instandhouding van de varkensstapel, terwijl ze ook relatief groter zijn.

Er zijn drie grootheden waarmee bij voorkeur wordt gemanipuleerd: De gebruiksduur van de zeug F en de duur van de mestperiode $MT = D + E$, beide in weken, alsmede de produktie e aan biggen per zeug per week. Uitgegaan wordt in eerste instantie van een stationaire veestapel. Indien men voor a , de uitval van de biggen, een waarde 0,1 aanneemt en ervan uitgaat dat deze in de tijd niet veel verandert, dan ligt bij statische varkensstapel ook e vast. a is hier de uitval van de levendgeboren biggen tussen 0 en 20 kg.

Wordt F vastgelegd (op bijvoorbeeld 125 weken) en wordt c gesteld op ongeveer 0,5, dan kan men MT berekenen.

Het verrassende van het model is dat het zowel voor e als MT zeer plausibele waarden oplevert, waarbij vooral MT zeer nauwkeurig te bepalen is. De reden daarvoor is dat MT slechts zwak van F afhangt en in de buurt van realistische waarden van c (ongeveer 0,5) weinig gevoelig is voor veranderingen in c . Dit komt omdat tussen MT en c een hyperbolisch verband bestaat met asymptoten $c = 1$ en $MT = MT_{as}$.

Hierbij geldt:

$$MT_{as} = \frac{AVkl + AVgr - \frac{AVkl \cdot AZ}{x \cdot F}}{x - \frac{AZ}{F}}$$

In deze uitdrukking is $x = \text{Prod}/\text{AB}$ het aantal biggen per week, AZ is het aantal zeugen, $AVkl$ het aantal vleesvarkens met $20 < m < 50$ kg, $AVgr$ het aantal vleesvarkens dat zwaarder is dan 50 kg, en F de gebruiksduur van een fokzeug.

In figuur 4 is het verband tussen de mesttijd MT en het selectiepercentage van de opfokzeugen geïllustreerd. Duidelijk is de ligging van de asymptoot te zien en het gebied (enkele dagen) waarbinnen de mesttijd mag variëren teneinde een realistische c te verkrijgen. Voor het jaar 1986 worden de volgende getallen ingevoerd, ontleend uit de reeds gegeven tabel:

$AZ = 1281$, $AB = 4794$, $AVkl = 3171$, $AVgr = 3772$, $A0kl = 176$, $A0gr = 244$
 $\text{Prod} = 21393$, alle waarden in duizenden stuks.

Het model leidt dan, met de veronderstelling:

$F = 125$, $a = 0,1$, $c = 0,5$

tot de resultaten:

$A = 11,75$, $B = 11,8$, $C = 23,8$, $D = 8$, $E = 9,4$, $F = 125$

$x = 411$, $x_1 = 397$, $x_2 = 401$, $y_1 = 14,9$, $y_2 = 10,2$

Deze resultaten worden uitgedrukt in weken respectievelijk duizenden eenheden/week.

$e = 0,353$, overeenkomend met 18,35 biggen per zeug per jaar.

Met dit model zijn de gegevens van 1970 en van 1975 t/m 1987 berekend, en de resultaten zijn weergegeven in figuur 5.

Men kan uit deze resultaten tot een trendmatige afname van de mesttijd met ongeveer een week, alsmede tot een trendmatige toename van de produktiviteit van de zeug met ongeveer 2 biggen per jaar concluderen. Een correctieparameter f is in bijlage 1 toegevoegd aan het model. Deze parameter geeft de vermindering van de varkensstapel aan in aantal varkens/week. In dat geval wordt er immers méér geproduceerd (cq. geslacht of geëxporteerd) dan er aan nieuwe biggen bijkomt. Zou men hiervoor niet corrigeren dan werd x , het aantal biggen per week, te groot ingeschat en daarmee de produktie per zeug, e . De mesttijd zou in dit geval te laag worden ingeschat hetgeen volgt uit de uitdrukking voor MT_{as} . Het is duidelijk dat bij een groeiende varkensstapel de

parameter f negatief moet zijn.

De waarde $|f|$ is relatief groot. f bedraagt bijvoorbeeld -21 in 1986, -17 in 1987, 8 in 1988, 6 in 1989. De grootte van deze correctiefactor moet vergeleken worden met de waarde van x die ongeveer 400 is.

In figuur 6 is de invloed van de correctieparameter f op de ontwikkeling van mesttijd en produktie van de zeug weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de correctie de curven 'gladder' doet verlopen en verantwoordelijk is voor een correctie op de mesttijd tot 1 week en op de produktie van de zeug tot 1,5 big per zeug per jaar.

$c(MT)$
gevoeligheid voor duur mestperiode

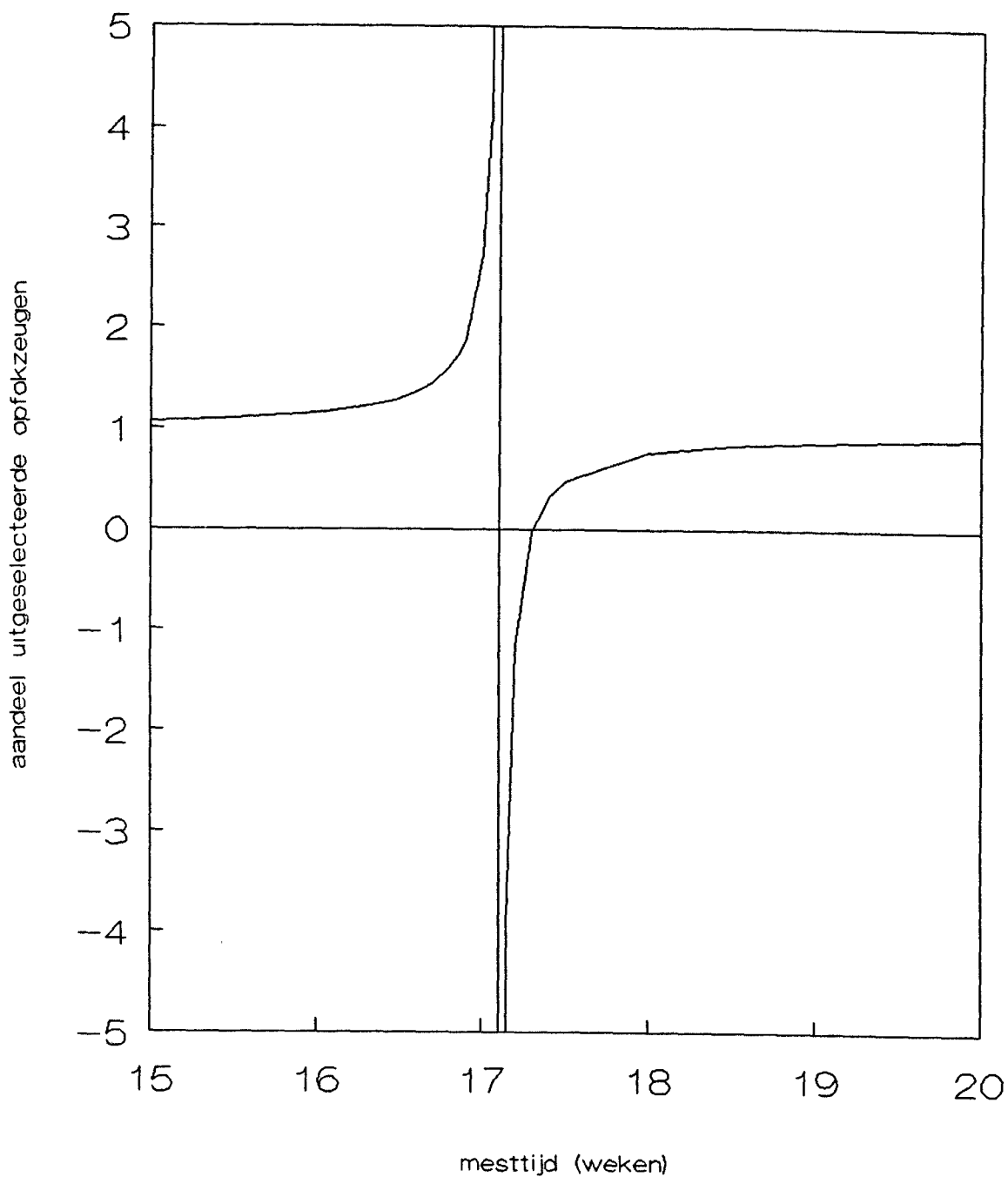


Fig 4. De selectiegraad voor opfokzeugen als functie van de duur van de mestperiode, zoals verkregen met behulp van het model. Let op de asymptoten.

kengetallen
berekend

— mesttijd asymptoot - - - - - mesttijd werkelijk - - - - - produktie zeug

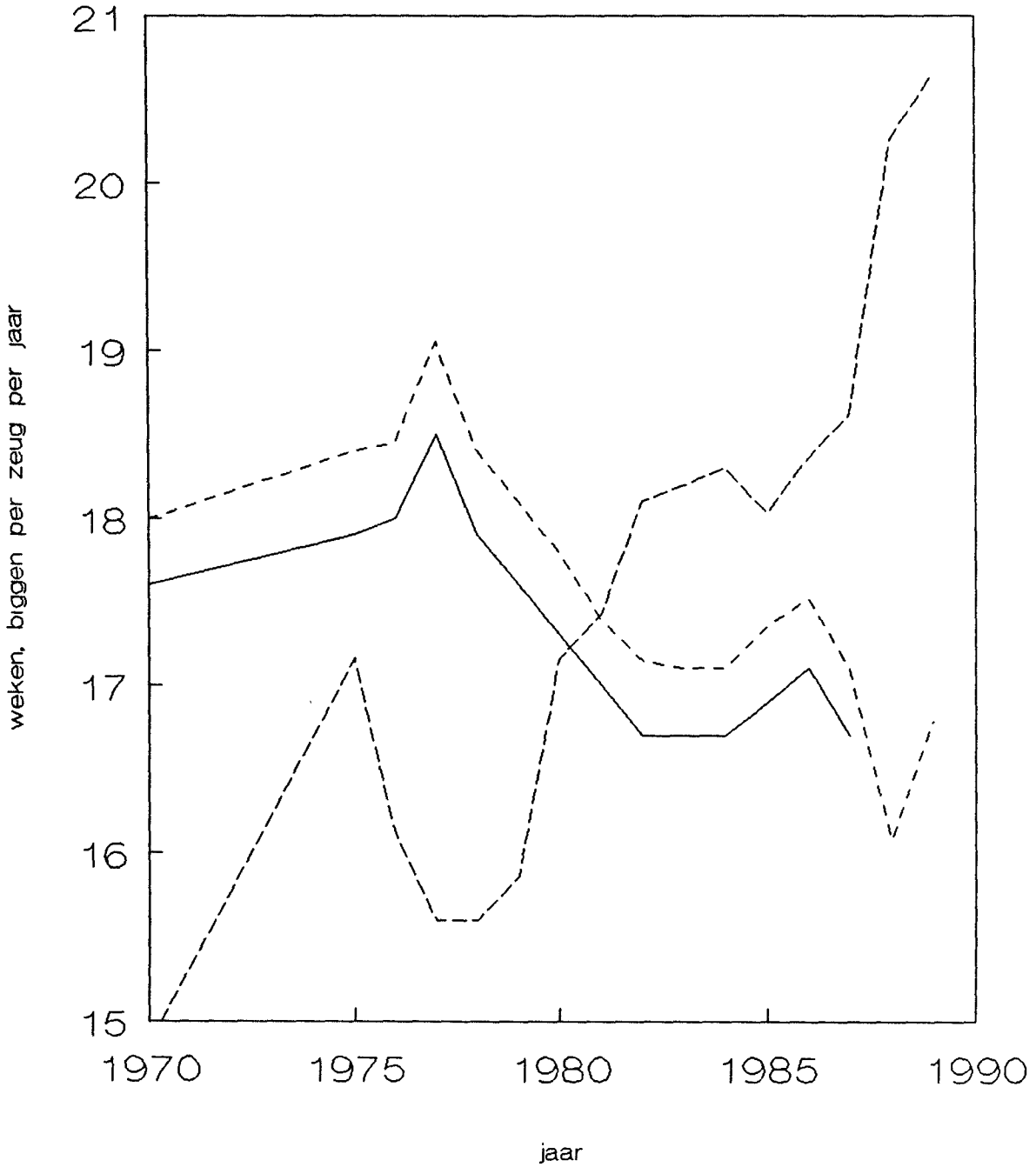


Fig 5. Met behulp van het model berekende ontwikkelingen in de duur van de mestperiode en de produktiviteit van de fokzeug.

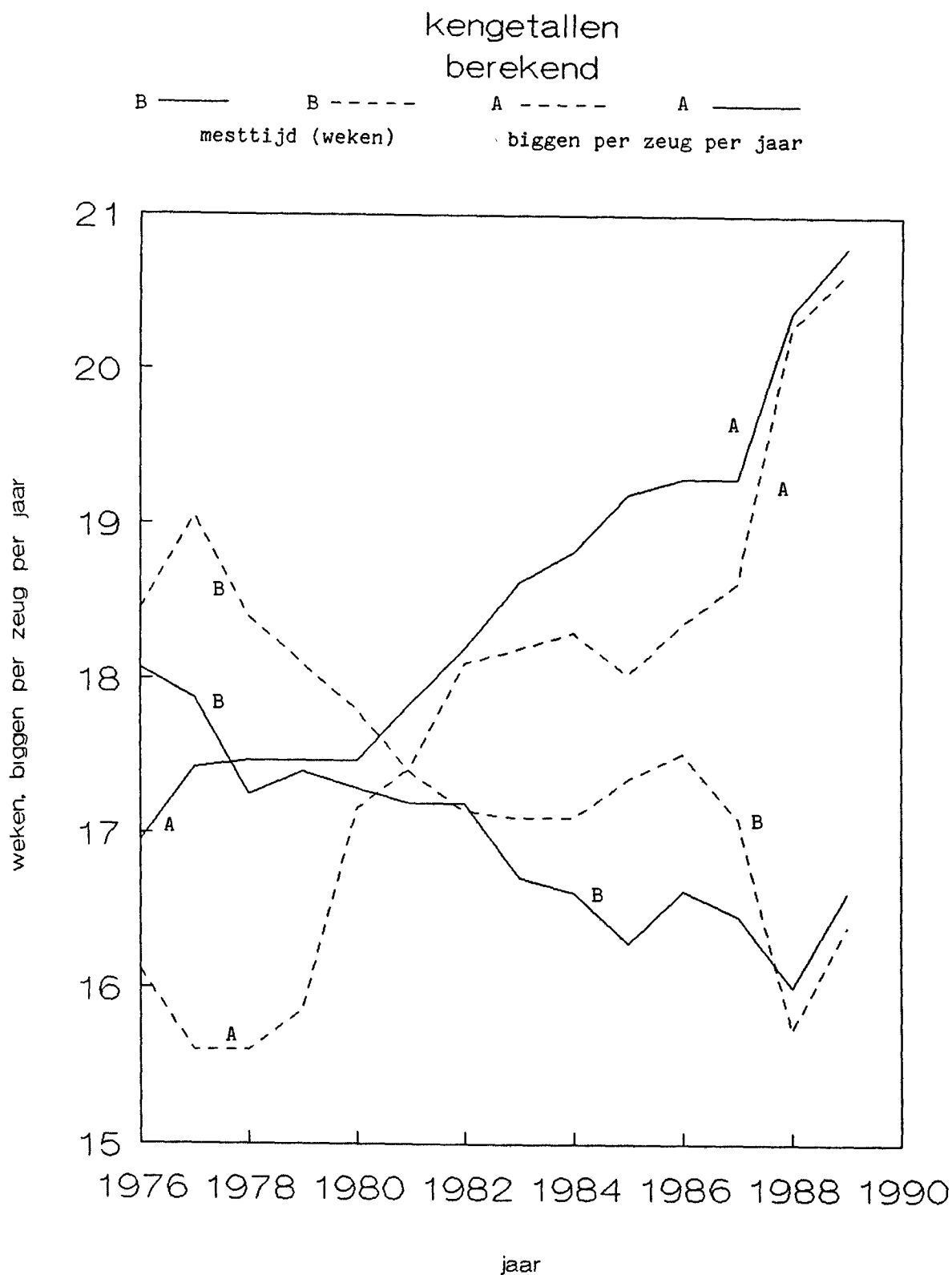


Fig 6. Mesttijd en produktiviteit van de zeug in de loop der jaren, niet (stippellijn) en wel (getrokken lijn) ge corrigeerd voor veranderingen in de omvang van de vaksstapel.

Vergelijkt men de bedrijfsgegevens A t/m F met de resultaten van het model, waarbij de laatste gemiddelden zijn over de jaren waarvan de statistische gegevens zijn gebruikt, dan komt men tot de volgende tabel:

Uit voederschema's:	A= 10	B=8	C=21	D=7,5	E=9	F=130
Uit model:	A= 11,1	B=8,3	C=20,2	D=8,2	E=9,6	F=125

Naast bovengenoemd statisch model kan in principe ook een dynamisch model worden gemaakt, met behulp van b.v. het softwarepakket TUTSIM, waarmee men, uitgaande van een gegeven situatie, de ontwikkeling van de produktie van de varkensstapel als functie van de tijd kan volgen.

Het model, dat hier beschreven is, kan verder worden verfijnd maar het geeft in de hier gegeven vorm reeds een goede indicatie omtrent de ontwikkeling van belangrijke bedrijfskengetallen in de varkenshouderij. De duur van de mestperiode (vanaf 20 kg tot slachtgewicht) zou in de loop van 13 jaar met ongeveer 1 à 2 weken zijn afgenomen, en de produktiviteit van de zeug zou met 3 biggen per jaar zijn toegenomen. Dit komt overeen met een verbetering van de bedrijfskengetallen van ongeveer 1 % per jaar.

BIJLAGE 1

VEREENVOUDIGD MODEL
 ter bepaling van bedrijfskengetallen uit gegevens
 betreffende de samenstelling van de landelijke varkensstapel
 en de bruto produktie

INVOER STATISTISCHE GEGEVENS

AZ := 1281	aantal zeugen	1000 stuks
AB := 4794	aantal biggen <20 kg	"
AVkl := 3171	aantal vleesvarkens 20 < m < 50 kg	"
AVgr := 3772	aantal vleesvarkens >50 kg	"
AOKl := 176	aantal opfokzeugen 20 < m < 50 kg	"
AOgr := 244	aantal opfokzeugen >50 kg	"
Prod := 21393	bruto produktie	"

TE VARIEREN GROOTHEDEN

MT := 17.4	mesttijd	weken
F := 125	gebruiksduur fokzeug	weken
e := 0.353	produktie zeug	big/zeug per week
f := 0	afname varkensstapel	1000 stuks/week

BEREKENINGEN van GROOTHEDEN

$$x := \frac{\text{Prod}}{52} - f \quad \text{biggen/week}$$

$$a := e \cdot \frac{AZ}{x} - 1 \quad \text{uitval van de biggen}$$

$$x1 := \left[x - \frac{AZ}{F} \right] \cdot \frac{AVkl}{\left[x - \frac{AZ}{F} \right] \cdot MT - AVgr} \quad \text{aantal kleine vleesvarkens per week}$$

$$c := 1 - \frac{AZ}{F \cdot (x - x1)} \quad \text{uitselectie opfokzeugen}$$

$$y1 := x - x1 \quad \text{aantal kleine opfokzeugen per week}$$

$$x2 := x1 + c \cdot y1 \quad \text{aantal grote vleesvarkens per week}$$

$$y2 := y1 \cdot (1 - c) \quad \text{aantal grote opfokzeugen per week}$$

$$y3 := y2 \quad \text{aantal fokzeugen per week}$$

$A := \frac{AB}{x}$ doorlooptijd big
 $B := \frac{AOkl}{y1}$ doorlooptijd kleine
 opfokzeug
 $C := \frac{AOgr}{y2}$ doorlooptijd grote
 opfokzeug
 $D := \frac{AVkl}{x1}$ doorlooptijd klein
 vleesvarken
 $E := \frac{AVgr}{x2}$ doorlooptijd groot
 vleesvarken

RESULTATEN

A = 11.653 doorlooptijd biggen
 B = 11.821 doorlooptijd kleine opfokzeugen
 C = 23.81 doorlooptijd grote opfokzeugen
 D = 7.997 doorlooptijd kleine vleesvarkens
 E = 9.403 doorlooptijd grote vleesvarkens
 F = 125 doorlooptijd fokzeugen

 x = 411.404 stroom biggen
 x1 = 396.515 stroom kleine vleesvarkens
 x2 = 401.156 stroom grote vleesvarkens
 y1 = 14.889 stroom kleine opfokzeugen
 y2 = 10.248 stroom grote opfokzeugen
 y3 = 10.248

 a = 0.099 uitselectie biggen
 c = 0.312 uitselectie opfokzeugen
 e = 0.353 produktiviteit fokzeugen

$$MTas := \frac{AVkl + AVgr - AVkl \cdot \frac{AZ}{x \cdot F}}{x - \left[\frac{AZ}{F} \right]}$$

berekening asymptotische mesttijd

MTas = 17.111 theoretisch minimale mesttijd
 (asymptoot)

1.3. Massa- en energiebalansen.

1.3.0. Inleiding.

Men kan de massa- en energiebalansen voor de varkenshouderij opstellen op opeenvolgende aggregatieniveaus, te weten:

- Dierniveau
- Bedrijfsniveau
- Bedrijfstakniveau

Dier-, bedrijfs- en bedrijfstakniveau wordt in deze studie beschouwd als micro-, meso- en macroniveau.

Een ander onderscheid heeft betrekking op de tijdsvariabele. De tijdschalen waarin men geïnteresseerd is zijn mede afhankelijk van het aggregatieniveau dat men beschouwt. In dit verband spreken we over dynamische, hybride en statische modellen.

Bij dynamische modellen veranderen de diverse parameters continu in de tijd. Bij hybride modellen beschouwt men de diverse parameters als zijnde constant over een welbepaalde tijdsduur. Bij statische modellen verandert het systeem niet in de tijd. De input- en outputstromen zijn dan constante stromen die in een zekere relatie tot elkaar staan.

Om een model op te stellen met een kortere tijdschaal als uitgangspunt, is in het algemeen een grotere kennis van de structuur van dit systeem vereist, dat wil zeggen dat men subsystemen moet definiëren op lagere aggregatieniveaus.

Op dierniveau is dynamische modellering vooral van belang voor het verwerven van inzicht in het fysiologisch functioneren van het dier. Het ligt niet binnen de doelstelling van dit onderzoek om tot dergelijke details af te dalen. Veel minder detailkennis is nodig om een hybride model voor een fokzeug of vleesvarken op te stellen. Daarbij wordt als tijdstap de dag genomen. Statische modellen op dierniveau zijn van belang als basiseenheden voor modellen op hoger aggregatieniveau, waartoe in de eerste plaats modellen op bedrijfsniveau gerekend kunnen worden.

Een dynamisch model op bedrijfsniveau zal kunnen volstaan met de dag als eenheid. Voor een hybride model kan het jaar als eenheid fungeren. Daarnaast kunnen ook hier weer statische modellen worden gehanteerd. In deze studie worden hybride en statische modellen op dierniveau beschouwd.

Bij de studie van een systeem of deelsysteem worden massa- en energiebalansen samengesteld. Beschouwt men bijvoorbeeld het deelsysteem 'varken'. Energie is in de vorm van chemische energie aanwezig in het voer. Naast voer worden ook grote hoeveelheden (drink) water en zuurstof opgenomen. Dit alles wordt omgezet in aanzet, mest, kooldioxide en waterdamp. De waterhuishouding omvat grote massastromen. In het varken wordt een deel van de chemische energie in warmte omgezet door oxidatie van voedingsstoffen. Dit proces heet het metabolisme. De opgewekte warmte is nodig voor het onderhouden van chemische reacties, voor het in stand houden van de lichaamswarmte en voor het verrichten van activiteiten. In dit model wordt de massa- en energiebalans berekend aan de hand van, vaak empirische, verbanden tussen diverse grootheden.

1.3.1. Eigenschappen van de massastromen.

Ten grondslag aan de massa- en energiebalansen ligt een eenduidige beschrijving van de hoedanigheid van de ingaande en uitgaande stromen. Deze stromen zijn uiterst complex van samenstelling. In de praktijk wordt echter, wanneer de detaillering niet te groot hoeft te zijn, volstaan met de indeling in een zestal componenten, te weten:

- Water
- Ruwe celstof (rc)
- Overige koolhydraten (ok)
- Ruw eiwit (re)
- Ruw vet (rvet)
- As

De gehalten rc, ok, re, rvet, as en het droge-stofgehalte

$$- ds = rc + ok + re + rvet + as$$

worden uitgedrukt in g/kg. De diverse gehalten worden aan de hand van welomschreven analysemethoden bepaald. De som van de gehalten der zes componenten bedraagt 1000 (g/kg). De 'overige koolhydraten' zijn in de berekening de sluitpost.

Bovengenoemde globale indeling wordt gebruikt bij de beschrijving van de samenstelling van het voer, het varken, de mest.

De meeste van de genoemde componenten zijn complex. Er zijn vele typen verbindingen die tot de ruwe celstof en de overige koolhydraten worden gerekend. Eiwitten worden opgebouwd uit enkele tientallen verschillende eenvoudiger verbindingen, de aminozuren. Gemeenschappelijk kenmerk van deze aminozuren is dat ze, naast koolstof, zuurstof en waterstof ook stikstof bevatten. Sommige bevatten ook zwavel.

Koolhydraten en vetten zijn voornamelijk opgebouwd uit koolstof, zuurstof en waterstof.

Het asbestanddeel omvat de minerale fractie (zouten, oxiden, en dergelijke) en ook verontreinigingen als zand.

Bij meer gedetailleerde studies kunnen ook deze massastromen verder worden uitgesplitst.

De eigenschappen van de verschillende bestanddelen die in ieder geval in de beschouwing moeten worden opgenomen zijn de globale chemische samenstelling en de verbrandingswaarde (GE).

De globale chemische samenstelling van de diverse bestanddelen wordt geschat door een kenmerkende verbinding te nemen voor elk van deze bestanddelen, en daarvan de verhouding tussen de verschillende samenstellende elementen te gebruiken, namelijk:

				C-gehalte	O-gehalte	H-gehalte	N-gehalte
rc+ok, bijv. <u>suiker</u> ,	C	H ₂	O	0,4	0,53	0,067	-
re, bijv. <u>lysine</u> ,	C ₃	H ₇	NO	0,49	0,22	0,096	0,19
rvet, bijv. <u>glyceroltristearaat</u>	C ₅₇	H ₁₁₀	O ₆	0,77	0,11	0,12	-

De bruto-energie inhoud of verbrandingswaarde van de diverse bestanddelen bedraagt naar schatting:

- Voor koolhydraten (rc, ok): 17 kJ/g
- Voor ruw eiwit (re): 23,6 kJ/g
- Voor ruw vet (rvet): 39,7 kJ/g

De bruto-energie waarde van voer en aanzet bedraagt:

$$GE = 17 \cdot (rc + ok) + 23,6 \cdot re + 39,7 \cdot rvet \quad \text{kJ/kg}$$

Hier zijn rc, ok, re, rvet in g/kg uitgedrukt.

Voor de mest kan men eenzelfde uitdrukking hanteren, men dient echter nog rekening te houden met het feit dat mest ook ureum bevat, een stikstofhoudende verbinding met eveneens een zekere verbrandingswaarde.

1.3.2. Het voer.

Het voer komt uitgebreid aan de orde in een volgend hoofdstuk. De standaard voedersoorten voor vleesvarkens worden in verschillende gewichtstrajecten toegediend. Uitgaande van een gebruikelijke classificatie voor varkensvoerders kan men bijvoorbeeld de volgende soorten vervoederen:

Gewichtstraject van het varken:	Voersoort:
12-25 kg:	Babybiggenvoer
25-40 kg:	Startvoer
40-105 kg:	Vleesvarkensvoer

In de gewichtstrajecten is uiteraard een ruime spreiding mogelijk. In verband met milieu-eisen, en door de mogelijkheden van de moderne techniek, raken nieuwe, gecompliceerder voederwijzen in zwang, zoals meerfasen-voeding, waarbij men gedurende het groeiproces, al naar gelang de behoefte van het dier, een aantal voedersoorten hanteert. Zo neemt de behoefte van het varken aan fosfor en eiwitten af naarmate het varken zwaarder wordt. Door de voedersamenstelling hieraan aan te passen kan men de verliezen, die in de mest terechtkomen, sterk terugbrengen.

In het model voor het vleesvarken nemen we ter vereenvoudiging aan dat gedurende het gehele gewichtstraject van 23 tot 105 kg vleesvarkensvoer wordt gebruikt.

De samenstelling van een voersoort (naar ok, rc, re, rvet, ds) is vaak gegeven en kan ook worden berekend aan de hand van de samenstellende componenten. Daarbij wordt dan wel aangenomen dat de samenstelling van de grondstoffen tijdens het fabricageproces in de mengvoederfabriek geen substantiële wijziging ondergaat.

Van het veevoer is niet alleen de 'objectieve' samenstelling en verbrandingswaarde van belang, doch ook de 'subjectieve' samenstelling, die de effectiviteit van het voer in relatie tot het varken weergeeft.

De in het voer voorhanden zijnde bestanddelen en energie (GE) kan immers niet geheel worden opgenomen. Een deel der bestanddelen in het voeder is namelijk slecht of niet verteerbaar door het varken. Dit mist de enzymen om, bijvoorbeeld, een deel der ruwe celstof af te breken. Runderen (meermagigen) hebben daartoe wel de mogelijkheid.

Naast de gedeeltelijke verteerbaarheid is er nog een andere reden waarom niet de gehele energie-inhoud ter beschikking komt aan het varken. Immers, bepaalde stoffen worden niet geheel afgebroken, doch verlaten als oxideerbare stoffen het varken weer in faeces en urine. Daarbij kan gedacht worden aan ureum, aan lichaamseiwitten en -cellen van het varken, en aan micro-organismen die in het maag-darmkanaal aanwezig zijn.

Tenslotte verrichten ook de micro-organismen biologische activiteit, waarbij bijvoorbeeld methaan en ammoniak ontstaan, waaraan een energie-inhoud kan worden toegekend. Dit laatste speelt overigens vooral bij herkauwers een rol. Bij varkens en pluimvee, die tot de eenmagigen worden gerekend, zijn dergelijke processen van ondergeschikt belang.

Naast de gehalten rc , ok , re en $rvet$ worden, om dit in rekening te brengen, ook de gehalten aan verteerbare ruwe celstof enz. gepubliceerd en wel per veevoedergrondstof. Deze coëfficiënten worden weergegeven door de symbolen vrc , vok , vre (voedingsnorm ruw eiwit), $vrvet$. Ook zij worden uitgedrukt in g/kg. De verteringscoëfficiënt van ieder bestanddeel afzonderlijk is gelijk aan vre/re , vok/ok enzovoorts. De verteringscoëfficiënt van het voeder als geheel is het percentage droge stof dat niet in de faeces is terug te vinden. In de literatuur [3] worden waarden opgegeven voor deze coëfficiënt van 0,83 à 0,84. Ze is moeilijk te meten, daar het asgehalte in de faeces hoog en sterk wisselend is, tengevolge van verontreinigingen zoals zand (2 à 30 % van de ds). Voorts moet bedacht worden dat ook in de urine droge stof aanwezig is. De literatuurwaarde moet noodgedwongen worden gehanteerd als de verteringscoëfficiënten van de samenstellende delen van het voeder, of de samenstelling van het voeder, niet bekend is. De verteringscoëfficiënt is niet zonder meer een aan een veevoedergrondstof toegekende grootheid. Ze is immers ook afhankelijk van de leeftijd van het varken, van de samenstelling en bereidingswijze van het veevoeder in haar totaliteit enzovoorts. Bovendien zijn er aanzienlijke spreidingen in iedere parameter.

Een varkensvoeder kan worden gekarakteriseerd door haar samenstelling uit de diverse grondstoffen (zoals tapioca, maisgluten enzovoorts), waarbij men van iedere grondstofsoort de verdeling in basiscomponenten (rc , ok , re , $rvet$, as) en het verteerbare deel daarvan (vrc , vok , vre , $vrvet$) kan vinden. Deze en andere waarden zijn getabelleerd in [4]. Uit deze gegevens kan men de verdeling in basiscomponenten van het voeder in zijn geheel berekenen, alsmede het verteerbare deel daarvan.

Naast de samenstelling in basiscomponenten is ook de energie-inhoud van het voer belangrijk. De verbrandingswaarde (GE) wordt uitgedrukt door het volgende verband:

$$GE'' = 17 \cdot (rc + ok) + 23,6 \cdot re + 39,7 \cdot rvet \quad \text{kJ/kg} \quad (1)$$

De betekenis van de coëfficiënten is reeds eerder uitgelegd. Men definieert de verteerbare energie (DE) als de verbrandingswaarde waarvan afgetrokken is de in de faeces aanwezige energie. Trekt men van DE ook de in de urine (en darmgassen) aanwezige energie af, dan verkrijgt men de beschikbare energie of metaboliseerbare energie (ME).

Om ME" te vinden wordt het verband gebruikt:

$$ME'' = 17 \cdot (vrc + vok) + 23,6 \cdot vre + 39,7 \cdot vrvet \quad \text{kJ/kg} \quad (2)$$

ME bedraagt voor varkens ongeveer 80 à 85 % van GE maar we berekenen de waarde, indien mogelijk, bij voorkeur rechtstreeks uit de samenstelling van het veevoer.

De energie-inhoud van varkensvoerders wordt in Nederland ook gekarakteriseerd door de Energiewaarde voor Varkens (EW). Dit is de netto-energie voor de vetaanzet die is vertegenwoordigd in ongeveer 1 kg gerst (van een gemiddelde kwaliteit). Een voeder met EW = 1 bevat 8800 kJ/kg NE_V (netto-energie voor de vetaanzet), doch voor ons doel is het wezenlijker om de energiewaarde te relateren aan de metaboliseerbare energie. De netto-energie voor de vetaanzet, ook wel als NE of NE_V aangeduid, vindt men uit de formule van Rostock [5] die luidt:

$$NE_V = 10,9 \cdot vre + 36,2 \cdot vrvet + 6,3 \cdot vrc + 12,7 \cdot vok \quad (\text{kJ/kg})$$

Uit NE_V kan EW worden afgeleid door te delen door 8800. Rechtstreeks kan men dit ook schrijven als:

$$EW = \frac{0,7 \cdot vrc + 1,44 \cdot vok + 1,24 \cdot vre + 4,11 \cdot vrvet}{1000} \quad (3)$$

Indien men de samenstelling van het voer niet goed kent, kan men bij benadering aannemen:

$$ME'' \approx 12600 \cdot EW \quad \text{kJ/kg} \quad (4)$$

Dit is equivalent aan:

$$NE_V = 0,7 \cdot ME$$

De opneembare energie moet in balans zijn met de energie die het varken nodig heeft. Is er teveel energie beschikbaar (bijvoorbeeld bij onbeperkt of ad-lib voederen), dan bestaat het gevaar dat het surplus wordt omgezet in vet (vervetting). Beschikbaar komt de bruto-energie in het voer (GE) minus de in faeces en urine en darmgassen aanwezige energie. Voor varkens kan men, in tegenstelling tot herkauwers, een goede benadering verkrijgen door de in de mest aanwezige energie GE-ME te stellen. De energie in de darmgassen is dan verwaarloosd. De daarmee geïntroduceerde fout bedraagt 0,5% tot 3% [6].

1.3.3. De aanzet.

1.3.3.1. Samenstelling.

Een varken bestaat vrijwel geheel uit water, re, rvet en as. Het aandeel der koolhydraten dat in de vorm van glycogeen aanwezig is, kan worden verwaarloosd. Eiwit is vooral aanwezig in spier- en orgaanweefsel. Voor de massa- en energiebalans op dierniveau is het overigens niet van belang waar wat zich bevindt. Bij globale analyses wordt over het gehele varken gemeten. We gaan wèl uit van een leeg varken (maag- en darminhoud kan bij een varken van 100 kg tot 6 kg bedragen). Men komt dan op de volgende cijfers, die ontnomen zijn aan een groot aantal literatuurgegevens:

Vleesvarken:

m = 23 kg re = 165 rvet = 120 water = 685 as = 30 (g/kg)
m = 105 kg re = 150 rvet = 300 water = 520 as = 30 (g/kg)

Uit deze waarden volgt dat het vetgehalte van een vleesvarken toeneemt naarmate het gewicht van het varken toeneemt. Aangezien vetweefsel weinig water bevat, neemt het watergehalte van een varken af met het gewicht. Opgemerkt moet worden dat het vetgehalte, en daarmee het watergehalte, erg variabel is. De eiwitgehalten daarentegen lopen veel minder uiteen. Dit is verklaarbaar vanuit het feit dat het vet deels als reservestof dienst doet.

Lineair verband.

Door het verband tussen re resp. rvet en de massa van het varken lineair te veronderstellen verkrijgt men ook voor tussenliggende massa's gegevens over de samenstelling van het varken. Een probleem daarbij is dat er een vloeiende aansluiting moet zijn op het gewichtstraject beneden 23 kg, en dat boven 105 kg. Daar zal het verband een ander zijn dan hetgeen in bovenstaande tabel is weergegeven. Het is daarom aannemelijk dat een lineair verband fouten op zal leveren bij gewichten in het begin, en in het eind van de mestperiode.

De samenstelling van het varken wordt:

$$re = 150 + \frac{15}{82} \cdot (105 - m)$$

$$rvet = 120 + \frac{180}{82} \cdot (m - 23)$$

of:

re	= 169	- 0,18 · m	g/kg	(5)
rvet	= 69,5	+ 2,195 · m	g/kg	(6)
as	= 30		g/kg	(7)
water	= 731,5	- 2,015 · m	g/kg	(8)

De samenstelling van de aanzet bij een groei van massa m tot massa M kan worden afgeleid uit een verschilberekening:

$$\begin{aligned} \text{Aanzet ruw eiwit: } & (M - m) \cdot [169 - 0,18 \cdot (M + m)] && \text{g} \\ \text{Aanzet ruw vet: } & (M - m) \cdot [69,5 + 2,195 \cdot (M + m)] && \text{g} \end{aligned}$$

De samenstelling van de aanzet (over een relatief korte tijd, zoals een dag, gerekend), volgt uit de limietberekening $M \rightarrow m$. Men kan in het algemeen het vetgehalte van de aanzet berekenen uit:

$$\frac{d}{dm} [m \cdot r_{\text{vet}}(m)] \quad (9)$$

Voor andere bestanddelen gelden soortgelijke uitdrukkingen. Men vindt aldus de volgende samenstelling voor de aanzet:

$$r_e = 169 - 0,366 \cdot m \quad \text{g/kg aanzet} \quad (10)$$

$$r_{\text{vet}} = 69,5 + 4,39 \cdot m \quad \text{g/kg aanzet} \quad (11)$$

$$a_s = 30 \quad \text{g/kg aanzet} \quad (12)$$

$$\text{water} = 731,5 - 4,024 \cdot m \quad \text{g/kg aanzet} \quad (13)$$

Kwadratisch verband.

Bij het opstellen van een model bleek dat, door de samenstelling lineair te nemen, de groeisnelheid bij lage gewichten consequent te hoog en bij hoge gewichten consequent te laag was. Daarom is de vet samenstelling niet lineair doch kwadratisch gekozen met een aan te passen parameter b , en wel:

Vetgehalte in g/kg:

$$r_{\text{vet}} = 110,9 + 0,0172 \cdot m^2 - b \cdot (18,9 - m + 0,00781 \cdot m^2) \quad (14)$$

Het vetgehalte van de aanzet bedraagt: $d(m \cdot r_{\text{vet}})/dm$, ofwel:

$$r_{\text{vet}} \text{ aanzet} = 110,9 + 0,0516 \cdot m^2 - b \cdot (18,9 - 2 \cdot m + 0,0234 \cdot m^2) \quad (15)$$

Deze aanzet gaat over in het lineaire geval voor $b = 2,2$ maar een waarde die overeenkomt met de voederschema's is $b = 3,4$. Dit betekent dat het tempo van de vetaanzet in het begin van de mestperiode wat sneller toeneemt. Op het eind van de mestperiode neemt de vetaanzet nauwelijks meer toe.

b varieert met de eigenschappen van het dier en ook met de bedrijfsvoering.

Opgemerkt wordt dat de ontwikkeling van het eiwitgehalte lineair werd gehouden.

In figuur 7 wordt de betekenis van b geïllustreerd.

Voor $b = 3,4$ gaat (2a) over in:

$$r_{\text{vet}} = 46,64 + 6,8 \cdot m - 0,028 \cdot m^2 \quad \text{g/kg aanzet} \quad (16)$$

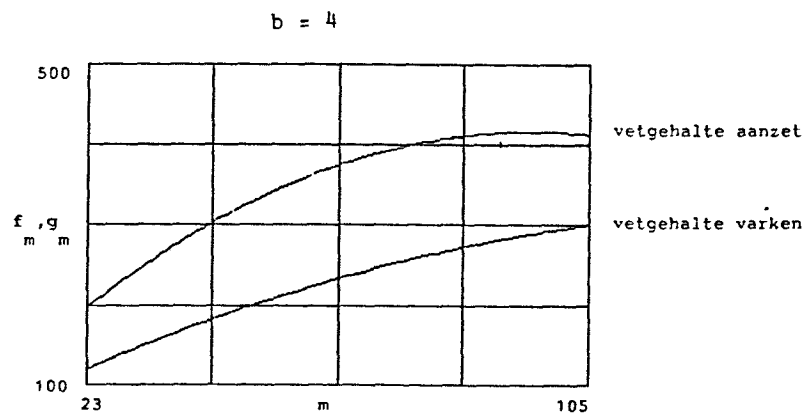
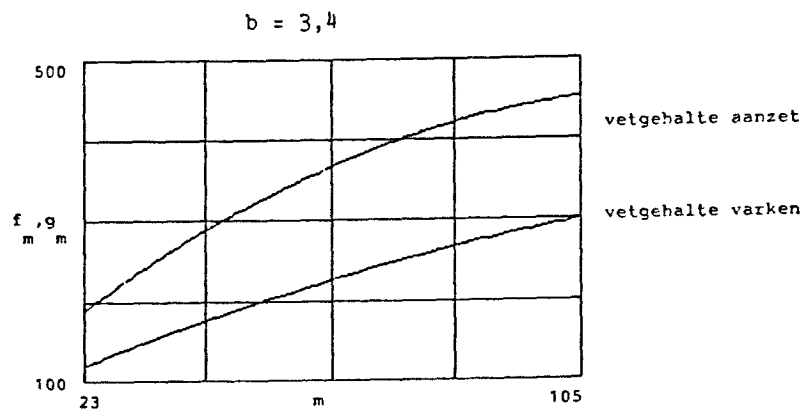
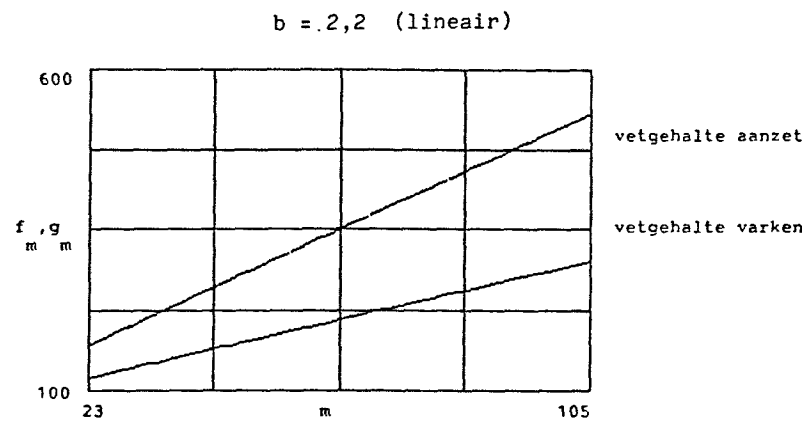
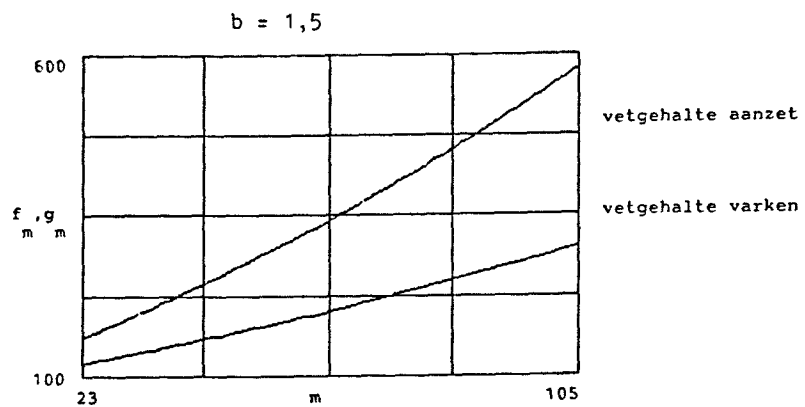


Fig 7. Invloed van de parameter b op het verloop van het vetgehalte in varken en aanzet.

Voor het water geldt dan:

$$\text{water} = 754 - 6,4 \cdot m + 0,028 \cdot m^2 \quad \text{g/kg aanzet} \quad (17)$$

De samenstelling van de aanzet zal in de door ons gehanteerde modellen beschreven worden met (10), (12), (16) en (17).

1.3.3.2. Energie.

Daar de gegevens over de samenstelling van de aanzet nu zijn vastgelegd, kan de energie-inhoud EB van deze aanzet worden bepaald. Zij bedraagt:

$$EB'' = 23,6 \cdot re + 39,4 \cdot r_{\text{vet}} \quad \text{kJ/kg aanzet,} \quad (18)$$

of, met behulp van (10) en (16):

$$EB'' = 5826 + 259,3 \cdot m - 1,103 \cdot m^2 \quad \text{kJ/kg aanzet} \quad (19)$$

Door aanzet, dat houdt in de synthese en het vastleggen van eiwit en vet, wordt niet alleen energie vastgelegd. Men moet er tevens rekening mee houden dat dit vastleggen geschiedt met een rendement kleiner dan 1. De energie die vrijkomt bij aanzet wordt weergegeven door het symbool H_p .

De rendementen van eiwitaanzet en vetaanzet bedragen namelijk 54 % resp. 74 %. Hiermee kan men de volgende waarden bepalen:

Bij de aanzet van 1 g eiwit wordt 20,1 kJ warmte geproduceerd.
Bij de aanzet van 1 g vet wordt 13,95 kJ warmte geproduceerd.
Dit toepassen op (10) en (16) levert op:

$$H_p'' = 4047,5 + 87,5 \cdot m - 0,3906 \cdot m^2 \quad \text{kJ/kg aanzet} \quad (20)$$

Het rendement N van de aanzet in haar totaliteit bedraagt:

$$N = \frac{EB}{EB + H_p} \quad (21)$$

Dit rendement kan daarmee uit de voorgaande uitdrukkingen worden berekend.

1.3.4. De mest.

1.3.4.1. Samenstelling.

In de literatuur [7] wordt de produktie van verse urine en verse faeces gekoppeld aan het gewicht van het varken.

De produktie van verse mest van een vleesvarken van m kg bedraagt per dag, bij benadering:

0,028 ·m	kg/dag	verse faeces
0,0375·m	kg/dag	urine

Het ds-gehalte van de urine bedraagt 0,02 en van de faeces 0,17. Alle waarden moeten met de grootste voorzichtigheid worden gehanteerd, daar de samenstelling van mest zeer sterk varieert en er, mede daardoor, ook in de in de literatuur opgegeven waarden een grote spreiding bestaat.

Uitgaande van deze literatuur worden de volgende aannamen gemaakt:

1 kg verse faeces bevat:

30 g as, 70 g rc, 30 g re, 8 g rvet, 32 g ok, 830 g vocht

1 kg verse urine bevat:

10 g as, 10 g ureum

De verhoudingsformule voor ureum is CH_4N_2O . Ureum is verantwoordelijk voor 80 à 90 % van de in de urine aanwezige stikstof [8].

De samenstelling van de mest vertoont een grote spreiding. Bovendien zal steeds verse mest beschouwd moeten worden, daar zich tijdens de opslag in de mest omzettingsprocessen afspelen die afhankelijk zijn van de duur van de opslag en van de opslagtijd.

Bovendien wordt aan de mest, afhankelijk van de bedrijfsvoering, nog extra water toegevoegd met name bedrijfswater en morswater. Een waarde van ongeveer 360 g/dag [9] wordt daarvoor gewoonlijk aangehouden. Voorts zal bij niet-overdekte opslag ook hemelwater aan de mest worden toegevoegd. Daarnaast zal verdamping optreden en zullen er omzettingen plaatsvinden waarbij water wordt gevormd. Dit alles leidt tot beïnvloeding van het ds-gehalte en de verdere samenstelling van de mest tijdens opslag. Een indruk van de samenstelling van drijfmest die reeds enige tijd is opgeslagen geeft [10]. De spreiding in de samenstelling neemt nog toe bij de cijfers die betrekking hebben op opgeslagen mest.

Omtrent het droge-stofgehalte van vleesvarkensdrijfmest kan nog worden opgemerkt dat ze momenteel toeneemt door een gerichte bedrijfsvoering die tot uiting komt in beperking van morsen en verspillen en de invloed van hemelwater, en tevens een beperkte drinkwatervoorziening.

1.3.4.2. Energie.

De verbrandingswaarde van de ds in de faeces wordt berekend uit de samenstelling van de mest.

De verbrandingswaarde van ds in mest kan worden berekend met behulp van:

$$(GE - ME)/(massa ds in mest)$$

GE en ME hebben betrekking op het opgenomen voer.

Indien de samenstelling van de mest bekend is of geschat kan worden, kan men de verbrandingswaarde van mest ook rechtstreeks berekenen uit de verbrandingswaarden van de verschillende componenten.

Uitgaande van de in de vorige paragraaf vermelde gegevens berekent men een verbrandingswaarde: $GE = 16,2$ kJ/g ds.

In de literatuur [11,12] vindt men voor de verbrandingswaarde van mest uiteenlopende waarden, in de aangehaalde publicaties: $13,7$ kJ/g ds respectievelijk $16,3$ kJ/g ds, bij de laatste waarde is expliciet vermeld dat het verse mest betreft.

Waarden tot 18 kJ/g ds komen in de literatuur voor.

1.3.5. Het metabolisme van het vleesvarken.

Het varken kan worden beschouwd als een chemische reactor. Er vinden chemische omzettingen plaats terwijl een deel van de voorhanden zijnde chemische energie wordt omgezet in thermische en mechanische energie. Het leven zelf, en in het bijzonder ook de groei, gaat gepaard met chemische omzettingen die verlopen met een zeker rendement.

1.3.5.1. Energiebehoefte.

Beschouwen we nu het energiegebruik van het varken. Dit varken neemt, indien er geen voer vermorst wordt, alle metaboliseerbare energie in het voer op en deze energie wordt gebruikt voor warmteproductie, aanzet en mechanische energie. De laatste is afhankelijk van de activiteit van het dier. Mechanische energie wordt geproduceerd met een rendement van ongeveer 30 %. Dit houdt in dat 70 % van de voor activiteit benodigde ME ten goede komt aan de warmtehuishouding van het varken. De rest wordt in mechanische energie omgezet waarvan wordt aangenomen dat ze buiten het dier wordt gedissipeerd. Het probleem is dan hoe mechanische activiteit wordt gedefiniëerd. In dit rapport gaat het daarbij dan om (naar buiten toe) verrichte arbeid, zoals lopen e.d., en niet om arbeid die uiteindelijk volledig naar binnen toe wordt gedissipeerd, zoals hartslag en peristaltiek. Aangezien het onderscheid niet geheel scherp is, het om betrekkelijk kleine energiestromen gaat en de naar buiten toe verrichte arbeid sterk kan variëren met de omstandigheden is het problematisch om de met de activiteit verbonden energiestromen gedetailleerd te beschrijven. Daarom is c_a in principe een matching parameter die slechts die activiteit in rekening brengt waarvan de mechanische energie naar buiten toe wordt gedissipeerd en die niet rechtstreeks voor de instandhouding van het leven noodzakelijk is.

De verdeling van ME naar energievorm wordt als volgt uitgedrukt:

$$ME = EB + H + W \quad \text{kJ/dag} \quad (21)$$

Hierin is H de warmteproduktie, EB is de energiebalans die overeenkomt met de in de aanzet opgeslagen chemische energie en W is de verrichte mechanische arbeid. EB kan positief of negatief zijn. Het laatste is het geval indien reserves van het varken worden aangesproken. Met een dergelijk effect moet men rekening houden bij berekeningen aan fokzeugen. Bij vleesvarkens zal EB positief zijn.

De verdeling van ME naar functie wordt gegeven door:

$$ME = ME_p + ME_m + ME_a \quad \text{kJ/dag} \quad (22)$$

Hiermee wordt weergegeven dat de metaboliseerbare energie deels wordt gebruikt voor produktie en deels voor onderhoud (maintenance) van de eigen levensfuncties. De derde bijdrage is de additionele ME die voor het verrichten van mechanische arbeid nodig is.

Ook de warmteproduktie kan worden onderverdeeld naar de functie waarbij zij vrijkomt. H wordt gerealiseerd bij het onderhouden van het eigen metabolisme (de onderhoudswarmte ME_m), bij het verrichten van mechanische arbeid (H_a) en bij aanzet (H_p). H_p is afhankelijk van de hoeveelheid en hoedanigheid van de aanzet.

Dus:

$$H = H_p + H_m + H_a \quad \text{kJ/dag} \quad (23)$$

H_m is de warmte die voor onderhoud vereist is, waarbij:

$$H_m = ME_m \quad \text{kJ/dag}$$

Voorts:

$$EB = ME_p - H_p \quad \text{kJ/dag}$$

Voor de activiteit wordt aangenomen:

$$H_a = c_a \cdot H \quad \text{kJ/dag}$$

c_a is een coëfficiënt die men met behulp van literatuurgegevens kan vastleggen, maar die hier, zoals uitgelegd, als matching parameter fungeert.

$$ME_a = \left(\frac{10}{7}\right) \cdot H_a = 1,42 \cdot c_a \cdot H \quad \text{kJ/dag} \quad (24)$$

$$W = ME_a - H_a = 0,42 \cdot c_a \cdot H \quad \text{kJ/dag} \quad (25)$$

Hierbij is aangenomen dat het rendement voor de opwekking van mechanische energie, W/ME_a , 0,3 bedraagt.

In de rekenmodellen wordt c_a gebruikt om te matchen. Een waarde van:

$$c_a = 0,07 \quad (26)$$

blijkt het best te voldoen.

Dan:

$$H_a = 0,07 \cdot H; \quad ME_a = 0,1 \cdot H; \quad W = 0,03 \cdot H \quad (27)$$

Het ligt voor de hand dat c_a met de leeftijd, de bedrijfsvoering en andere omstandigheden sterk kan variëren.

Uit (21):

$$ME = H + EB + W = (1 + 0,42 \cdot c_a) \cdot H + EB$$

Uit (23):

$$H = H_a + H_p + H_m \rightarrow (1 - c_a) \cdot H = H_p + H_m$$

zodat:

$$ME = EB + \frac{(1 + 0,42 \cdot c_a)}{1 - c_a} \cdot (H_p + H_m) \quad (28)$$

Het varken heeft, zoals gezegd, energie nodig voor onderhoud. Onderhoudswarmte vloeit in eerste instantie voort uit het aflopen van chemische reacties die nodig zijn voor het in stand houden van het leven zelf.

De warmte die daarbij wordt geproduceerd zal in de eerste plaats worden aangewend voor de instandhouding van de lichaamstemperatuur (van ongeveer 39°C). De hiervoor benodigde warmte staat in relatie met de omgevingstemperatuur, en daarmee met het stalklimaat. Van belang is de mate waarin het varken haar warmte afvoert. Temperatuur, ventilatie, aanwezigheid van tocht, luchtvochtigheid zijn daarin bepalende factoren.

Ook de grote hoeveelheden voer en water die worden opgenomen, moeten tot lichaamstemperatuur moeten worden verwarmd. Hetzelfde geldt voor de ingeademde lucht. Er verlaat nogal wat water in dampvorm het varken. Daartoe is verdampingsenergie nodig (latente warmte), aangezien dit water oorspronkelijk in vloeibare vorm aanwezig was (of als verbrandingsprodukt aanwezig komt).

De energie die benodigd is voor onderhoud neemt toe bij te lage en bij te hoge temperaturen. Men spreekt over de thermisch neutrale zone om een optimum aan te geven voor de onderhoudsenergie. Bij te hoge temperaturen moet het varken koelen door vocht te verdampen.

Voor de benodigde onderhoudsenergie in de thermisch neutrale zone wordt in het algemeen de formule gehanteerd:

$$H_m = C \cdot m' \quad \text{kJ/dag} \quad (29)$$

C is een constante die voor vleesvarkens 450 en voor fokzeugen 420 bedraagt. De in de literatuur opgegeven waarden voor C bij vleesvarkens lopen uiteen van 380 tot 550.

C wordt uitgedrukt in kJ/(kg'·dag), waarin kg' de 'eenheid' van metabolische massa is.

De metabolische massa m' wordt uit de massa berekend met behulp van:

$$m' = m^{0,75} \quad \text{kg}' \quad (30)$$

Voor de totale warmteproductie geldt de benadering:

$$H = C_1 \cdot m' \quad \text{kJ/dag}$$

C₁ is een constante waarvoor in de literatuur een waarde van omstreeks 650 wordt aangenomen voor biggen en mestvarkens, en 800 voor lacterende zeugen (bij benadering). Voor jonge biggen worden ook waarden van ongeveer 800 opgegeven. Voor drachtige zeugen wordt 540 aangehouden. Deze constante wordt de metabolic rate genoemd.

Voor C₁ geldt de benaderde relatie:

$$C_1 = a \cdot ME' + b \quad \text{kJ/kg}' \cdot \text{dag}$$

a en b zijn constanten. In de literatuur vindt men daarvoor zeer uiteenlopende waarden. Voor vleesvarkens kan men bijvoorbeeld nemen:

$$a = 0,3 \quad b = 320$$

Voorts:

$$ME' = ME/m' \quad \text{kJ/kg}' \cdot \text{dag}$$

Al deze waarden zijn benaderingen en moeten met de grootste reserve worden gehanteerd.

1.3.5.2. Verband tussen energie- en massastromen.

De in de vorige paragraaf behandelde energiestromen dienen uit het voer te worden vrijgemaakt. Er vindt daarbij een omzetting plaats van chemische energie in zowel thermische, mechanische als chemische energie.

De thermische en mechanische energie wordt geproduceerd door de omzetting van massastromen. Het verband wordt gegeven met behulp van de (benaderings) formule van Brouwer [13]:

$$H + W = 16,18 \cdot O_2 + 5,02 \cdot CO_2 - 2,17 \cdot CH_4 - 5,99 \cdot N \quad (\text{kJ/dag})$$

De chemische symbolen staan voor resp.: Zuurstofconsumptie, koolzuurproduktie, methaanproduktie (alle in lit/dag), stikstof in ureum (in g/dag).

Omgewerkt naar gram/dag wordt dit:

$$H = 11,31 \cdot O_2 + 2,54 \cdot CO_2 - 3,31 \cdot CH_4 - 5,99 \cdot N \quad (\text{kJ/dag}) \quad (31)$$

De bijdrage van methaan en ureum wordt in beschouwingen, die betrekking hebben op varkens, in het algemeen verwaarloosd. Bij de bestudering van meermagigen zijn ze van groter belang [14].

Een kengetal dat nuttig is om bovenstaande betrekking te vereenvoudigen is de respiratiecoëfficiënt (rc). Zij wordt gedefinieerd als het quotiënt van de produktie van CO₂ (in liters) en de consumptie van O₂ (in liters). Bij het werken in grammen moet de uitdrukking voor de rc worden voorzien van een coëfficiënt, te weten:

$$rc = 0,727 \cdot \frac{\text{prod. CO}_2 \text{ (gram)}}{\text{cons. O}_2 \text{ (gram)}} \quad (32)$$

Voor groeiende varkens mag men, mits het voederniveau hoog is, aannemen dat $rc = 0,95$.

Dit verantwoordt het gebruik van de volgende benaderende formule:

$$H \approx 10,28 \cdot CO_2 \text{ (g/dag)} \quad \text{kJ/dag}$$

Opm: 1 l CO₂ komt overeen met 1,98 g.

1 l O₂ komt overeen met 1,43 g.

Met behulp van de formule van Brouwer wordt aldus de koolzuurproduktie en de zuurstofconsumptie aan de warmteproduktie gerelateerd.

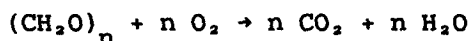
De hier behandelde betrekkingen kunnen worden gebruikt om schattingen te maken. Als er voldoende gegevens beschikbaar zijn, kunnen O₂-

consumptie en CO₂-produktie ook worden berekend. De resultaten van de

berekening moeten dan bij benadering in overeenstemming zijn met de uit bovengenoemde theorie geschatte gegevens.

1.3.5.3. Metabolisch water.

Om een goede massabalans te construeren moet ook de waterproduktie worden berekend. Als een eerste aanname geldt dat de warmteproduktie tot stand komt door de afbraak van glucose, volgens:



Dit komt overeen met de produktie van 600 g water bij de verbranding van 1 kg droge stof (koolhydraten).

De verbranding van 1 kg suiker levert op, volgens Brouwer, 15,79 MJ, 600 g water en 1467 g CO₂, terwijl 1067 g O₂ wordt geconsumeerd.

Schattingen omtrent het aantal grammen geproduceerd water per kg verbrand voer lopen uiteen van 250 à 300 g/kg opgenomen voedsel (IMAG) tot 400 g/kg (CAD voor Bodem-, water en bemestingszaken).

1.3.5.4. Waterhuishouding.

Een vaak gehanteerde vuistregel (IMAG) stelt dat een vleesvarken van 60 kg ongeveer 1000 g/dag aan H₂O verdampt. De verhouding tussen latente- en totale warmte- afgifte is volgens een andere vuistregel ongeveer gelijk aan 0,15 bij een staltemperatuur van 20°C en gedurende de gehele levensduur vrijwel constant.

Het aantal gram verdampt water per dag is dan te berekenen met behulp van de volgende formule:

$$\text{Verdampt water} = \frac{0,15 \cdot H}{2,410} \text{ g/dag} \quad (33)$$

2,410 is de verdampingsenthalpie van water in g/dag bij 39°C.
H in kJ.

De tekst van het model is in bijlage 2 toegevoegd aan dit rapport.

1.4. Berekeningsvoorbeeld met het model.

Een berekening wordt uitgevoerd aan een hybride model dat is gebaseerd op de in deel 1.3. beschreven theorie. Uitgaande van een vleesvarken met een bepaald gewicht wordt de massabalans berekend over een dag. Van belang is daarbij het voederschema, de samenstelling van het voer en de drinkwater/voerverhouding.

Gegeven een vleesvarken met $m = 60$ kg, dat 2,06 kg/dag opneemt overeenkomstig het CVB-voerschema voor een gemiddelde groei van 650 g/dag [15].

1.4.1. Voer.

Uitgegaan wordt van een vleesvarkenskorrel van de volgende samenstelling [16]:

Tapioca:	35	%
Maisvoermeel:	15	%
Sojaschroot:	14,6	%
Veldbonen:	7,5	%
Erwten:	7,5	%
Melasse:	6	%
Zonpitschroot:	5	%
Tarwegries:	5	%
Vet:	2,3	%
Mineralen + Vitaminen:	2,1	%

De samenstelling en eigenschappen van de diverse bestanddelen wordt geschat aan de hand van de reeds aangehaalde Veevoedertabel, zie [4].

	rc	ok	re	rvet	as	H ₂ O	vrc	vok	vre	rvvet	EW
Tapioca	40	750	24	-	52	134	16	728	8	-	1,07
Maisvoerm1	54	595	142	54	47	108	29	506	112	42	1,05
Sojaschr	87	302	424	18	60	110	65	284	385	6	0,96
Veldbonen	46	512	229	20	55	138	34	471	169	10	0,95
Erwten	63	518	228	12	33	146	45	502	201	5	1,03
Melasse	-	573	107	-	84	236	-	556	43	-	0,82
Zonpitschr	221	251	335	24	64	105	35	176	275	17	0,69
Trwegries	82	540	161	40	51	126	17	394	112	24	0,82
Vet	-	-	-	995	-	5	-	-	-	945	3,68
Minvit	-	-	10	-	990	-	-	-	10	-	-

Voor 1 kg vleesvarkensvoeder geldt, aan de hand van bovengegeven waarden:

	rc	ok	re	rvet	as	H ₂ O	vrc	vok	vre	rvvet	EW
Voer	58	547	157	39	72	127	28	507	126	32	1,03

Alle gehalten in g/kg.

Uit deze gehalten wordt GE en ME bepaald met (1) en (2):

$$GE'' = 15539 \text{ kJ/kg voer}$$

$$ME'' = 13339 \text{ kJ/kg voer}$$

en uit (3) kan men berekenen:

$$EW = 1,037$$

Indien men de EW rechtstreeks uit de opgegeven EW's van de samenstellende componenten van het veevoeder berekent, komt men uit op 1,03 hetgeen de waarde is die men in het algemeen voor een standaard vleesvarkensvoeder vermeldt. Gezien de onnauwkeurigheden en spreidingen in de gebruikte omgeving is de fout van 0,7 % aanvaardbaar.

Onnauwkeurigheden treden onherroepelijk op. De eigenschappen van eenzelfde ingrediënt kunnen zeer verschillend zijn, afhankelijk van jaar, plaats van herkomst, ras, bewerkingswijze enz.

1.4.2. Aanzet.

De samenstelling van de aanzet (bij een parameter $b = 3,4$) kan worden gevonden met behulp van (10), (12), (16) en (17).

Ze is afhankelijk van m , die in dit voorbeeld 60 kg bedraagt. Men vindt in dit geval:

1 kg aanzet bevat:

re	145 g
rvet	354 g
as	30 g
H ₂ O	471 g

De energie-inhoud van de aanzet wordt berekend met (19):

$$EB'' = 17476 \text{ kJ/kg aanzet}$$

De bij de produktie van 1 kg aanzet vrijkomende warmte, met (20):

$$H_p'' = 7891 \text{ kJ/kg aanzet}$$

De omzetbare energie die nodig is voor aanzet:

$$ME_p'' = 25367 \text{ kJ/kg aanzet}$$

Het rendement van de aanzet, met (21):

$$N = 0,69$$

1.4.3. Energiehuishouding.

Metabolische massa, met (30):

$$m' = 21,56 \text{ kg'}$$

Met behulp van (29) vindt men voor de behoefte aan onderhoudswarmte:

$$H_m = 9702 \text{ kJ/dag}$$

De massa opgenomen voer per dag geeft men aan met m_v en de massa van de aanzet per dag met m_p ; m_v is bekend uit het voederschema en m_p moet worden berekend. Dit kan met behulp van (28):

$$m_p = \frac{ME'' \cdot m_v - 1,1075 \cdot H_m}{EB'' + 1,1075 \cdot H_p''} \quad (34)$$

De grootheden in deze uitdrukking zijn reeds berekend (energiewaarden per kg aanzet of groei) en m_v is gegeven.

In dit geval vindt men:

$$m_p = 0,638 \text{ kg/dag}$$

De groeisnelheid is nu bekend.

Daarmee ligt de energiebalans van het varken op deze dag vast:

GE = 32010	kJ/dag	opname aan voer
ME = 27478	kJ/dag	opname aan voer
EB = 11150	kJ/dag	opslag in afzet
$H_m = 9702$	kJ/dag	nodig voor onderhoud
$H_p = 5034$	kJ/dag	warmteproduktie bij aanzet
$H = 15852$	kJ/dag	totale warmteproduktie
$H_a = 1107$	kJ/dag	warmteproduktie bij activiteit
W = 476	kJ/dag	mechanische energie

1.4.4. De mest.

De samenstelling van de mest wordt globaal bepaald door van het opgenomen voedsel het verteerbare deel af te trekken. In de mest komt terecht:

rc	30 g/kg	opgenomen voer
ok	40 g/kg	"
re	31 g/kg	"
rvet	7 g/kg	"

Het aandeel aan as vindt men uit as in voer - as in aanzet.

In de mest vindt men dan, bij benadering:

rc + ok	144	g/dag
re	64	g/dag
rvet	14,5	g/dag
as	129	g/dag

ds totaal 351,5 g/dag

De energie-inhoud van mest bedraagt:

$$\text{GE-ME} = 4532 \text{ kJ/dag}$$

De verbrandingswaarde van de mest bedraagt dus:

$$12893 \text{ kJ/kg ds}$$

Dit is relatief laag, hetgeen te wijten is aan het hoge asgehalte in de mest.

1.4.5. ds-balansen.

Per dag in voer, aanzet, mest (eenheid: gram)

	Voer:	Aanzet:	Mest:
Koolhydraten	1246		144
Eiwit	323,4	92,5	64
Vet	80,3	225,9	14,5
As	148,3	19,1	129
Totaal ds:	<u>1798</u>	<u>337,5</u>	<u>351,5</u> +

Dit leidt tot een verteringscoëfficiënt van 0,8 terwijl in de literatuur [3] een waarde van 0,83 à 0,84 wordt opgegeven.

Het verschil kan al worden opgeheven door het asgehalte (voor een aanzienlijk deel immers bestaande uit verontreiniging, samengevat onder het begrip 'zand') in het voeder lager aan te nemen.

In het asgehalte van mest zijn grote spreidingen te vinden, van 4% tot 30% van de ds. Daar het hier om 32% gaat zal het aanvankelijk asgehalte in het voer inderdaad hoog zijn ingeschat. 32% is niettemin een waarde die in de praktijk kan voorkomen [17].

Voorts zal in werkelijkheid meer rc en minder ok in de mest aanwezig zijn dan hier in de berekening is

Verbrand is $1798 - 337,5 - 351,5 \text{ g ds} = 1109 \text{ g ds}$, waarmee is opgewekt een energie van $H + W = 16328 \text{ kJ}$. De verbranding heeft dus $14,7 \text{ kJ/g ds}$ aan thermische en mechanische energie opgebracht. Men moet bedenken dat vet is gesynthetiseerd zodat ook energie als chemische energie is vastgelegd. Op deze energie wordt nog teruggekomen.

In de figuren 8 en 9 worden de berekeningen met het model aan de hand van de CVB-voederschema's gepresenteerd voor een gemiddelde groeisnelheid van 650 g resp. 750 g. De parameterwaarden c_a en b zijn respectievelijk 0,07 en 3,4. De overeenkomst is bevredigend bij het voederschema van 650 g en goed bij dat van 750 g. De overeenkomst voor het voederschema van 650 g kan worden aangepast door c_a kleiner te maken (b.v. 0,04) en eventueel ook b iets te wijzigen.

voerschema 650
 $ca = 0.04$; $b = 3.4$

— berekend g/dag - - - - schema g/dag

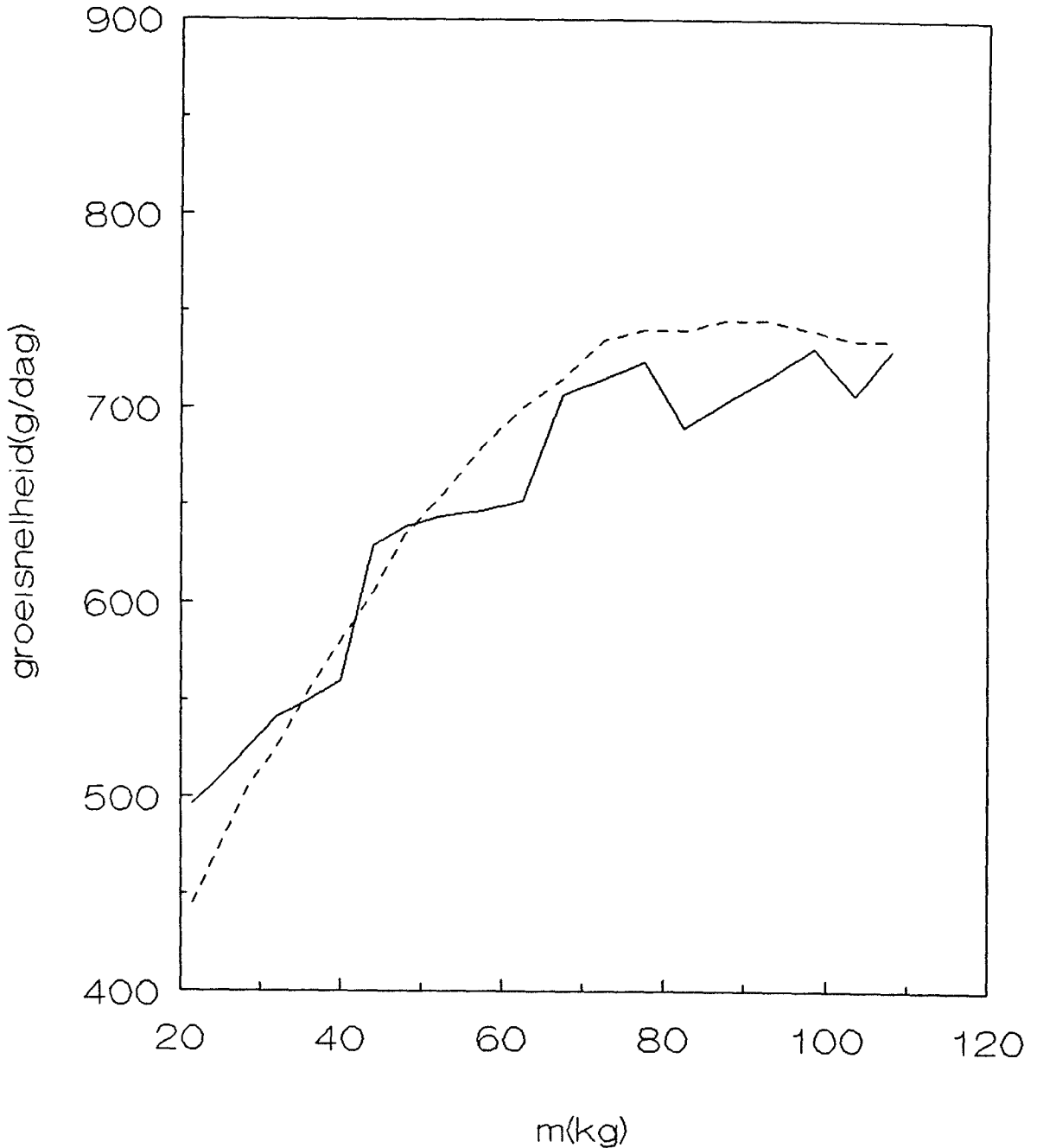


Fig 8. CVB-voederschema, groeisnelheid volgens het schema en berekend met het model.
Gemiddelde groeisnelheid 650 g/dag.

voederschema 750 g/dag

ca = 0.07; b = 3.4

— berekend g/dag - - - - schema g/dag

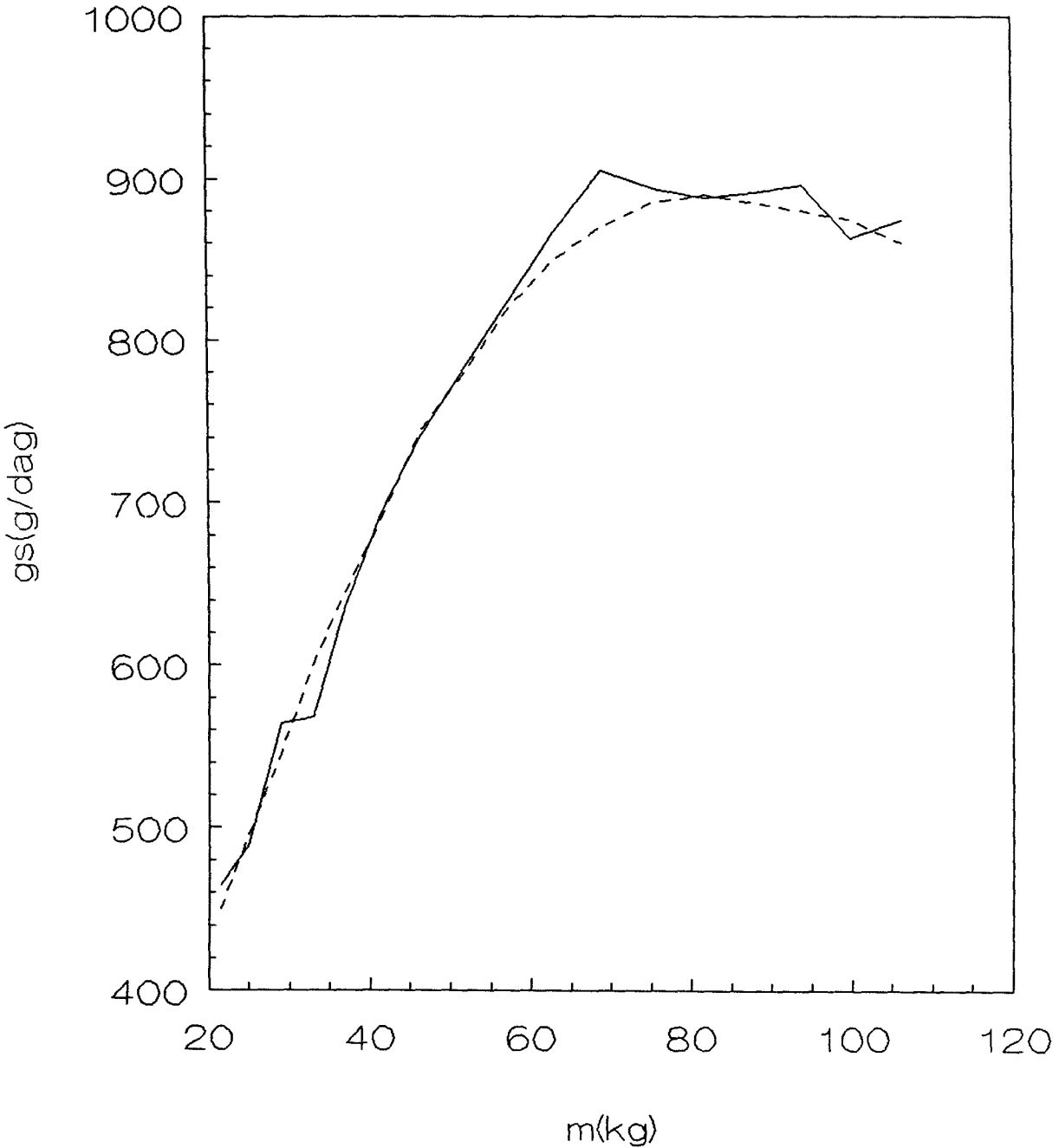


Fig 9. CVB-voederschema, groeisnelheid volgens het schema en berekend met het model.
Gemiddelde groeisnelheid 750 g/dag.

Nu kunnen de verschillende stofstromen worden geanalyseerd. De asbalans is reeds gegeven (asgehalte mest is berekend uit asgehalten in voer en aanzet).

Verbrand is netto 1102 g koolhydraten en 167 g eiwit.

Gesynthetiseerd is 160 g vet.

167 g eiwit komt overeen met ongeveer 26,7 g N overeenkomend met 59,3 g ureum (N_2COH_4). In werkelijkheid is slechts een deel van de N uit het

verbrande eiwit als ureum terug te vinden.

Daarnaast nog 64 g re in de mest overeenkomend met 10,25 g N. Totaal 35,6 g N in de uitwerpselen op een dag. Indien men er, in overeenstemming met [18], van uitgaat dat een varken van 60 kg 2,25 kg urine en 1,56 kg faeces per dag produceert, vindt men met de daar weergegeven informatie 34,5 g N per dag in de uitwerpselen. Deze waarde is consistent met het voorgaande.

Er wordt 160 g rvet gesynthetiseerd. Als dit gebeurt uit koolhydraten betekent dit dat $160 \cdot (39,6 - 17) = 3616$ kJ moet worden toegevoegd. Deze is verkregen uit de verbranding van koolhydraten en eiwit. De 1109 g ds die is verbrand moet dit opleveren, naast de reeds berekende 16328 aan thermische en mechanische energie. De verbrandingswaarde van de gebruikte ds blijkt dan 17984 kJ/kg te zijn.

Uitgaande van de tabellen in [17] vindt men in totaal 12,5 g vet in de verse mest die per dag wordt geproduceerd. Via de veevoedertabellen en de boven uitgevoerde berekening kwam men uit op 14,5 g vet. Ook deze waarden zijn consistent.

1.4.6. Het metabolisme.

Aan de hand van de in de vorige paragraaf gegeven balans van voedingsbestanddelen, kan een schatting worden gemaakt voor een C-, H- en O-balans aan de hand van de gegeven chemische samenstellingen (exclusief O en H in H_2O):

	Voer:	Aanzet:	Mest:
C	719	219	100
O	740	45	92
H	124	36	18
N	61,4	17,6	12,2
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1644	318	222 +

Verdwenen uit de ds is:

400 g C 603 g O 70 g H 31,6 g N

Aangenomen wordt dat 31,6 g N in de vorm van ureum in de urine terecht komen. Dit komt overeen met 67,7 g ureum ofwel 13,5 g C, 4,5 g H en 18 g O.

Geproduceerd wordt dan per dag:

1417 g CO_2 590 g H_2O

Uit de lucht moet dus worden opgenomen:

970 g O₂

De berekende respiratiecoëfficiënt zou hiermee, volgens (32), uitkomen op 1,06 hetgeen te hoog is (in het algemeen wordt hiervoor 0,95 tot 1 aangenomen).

Uit bovenstaande gegevens leidt men, met (31), een warmteproduktie H af van 14380 kJ/dag, dat is lager dan de 15852 kJ/dag die eerder is berekend. Dit betekent dat in het model een te lage O₂-consumptie is berekend, dat zou kunnen betekenen dat het O-gehalte in het vet te hoog, en dat in de koolhydraten te laag is geschat. Voorts zou in de discrepantie kunnen worden voorzien door aan de aanzet ook een zeker percentage koolhydraten toe te kennen of een lager vetgehalte.

1.4.7. De volledige massabalans.

De volledige ds-balans wordt als volgt:

<u>IN</u>		<u>UIT</u>	
Voer (ds)	1798,5	Metabolisch water	590
O ₂	970	Aanzet (ds)	337,5
		Mest (ds)	351,5
		Ureum	67,7
		CO ₂	1417
	————— +		————— +
	2768,5		2763,7

(eenheid: g/dag)

Op deze balans moet nu een waterbalans worden gesuperponeerd. Daarbij is het nodig een drinkwater-voerverhouding te kiezen. Een kenmerkende drinkwater-voerverhouding is 2. Daarmee:

<u>IN</u>		<u>UIT</u>	
Voer (water)	261,5	Aanzet (water)	300,5
Drinkwater	4120	Verdampt water	987
Metabolisch water	590	Mest (water)	3684
	————— +		————— +
	4972		4972

(eenheid: g/dag)

De hoeveelheid verdampt water is berekend met behulp van (33), de hoeveelheid water in mest wordt gevonden door de balans sluitend te maken.

Superpositie:

<u>IN</u>		<u>UIT</u>	
Voer	2060	Aanzet	638
Drinkwater	4120	Mest	4103
O ₂	970	CO ₂	1417
		Verdamppt water	987
	———— +		———— +
	7150		7145

Het verschil is te wijten aan afrondingsfouten.

1.4.8. Conclusie.

In het voorgaande is een methode aangegeven om, uitgaande van de voedersamenstelling, de massabalans voor een vleesvarken en de samenstelling van de in- en uitgaande massastromen te bepalen. Een dergelijke methode gaat uit van een aantal veronderstellingen die slechts in beperkte mate geldig zijn. De eigenschappen van een varkensvoer bijvoorbeeld, zijn niet zonder meer lineair afhankelijk van de eigenschappen van de samenstellende delen van dit voer. De aanwezigheid van veel ruwe celstof beïnvloedt bijvoorbeeld de verteerbaarheid van overige ingrediënten. Een andere bron van onzekerheid is de samenstelling van vleesvarkens. Het parabolisch verloop van het vetgehalte is een slechte aanname voor varkens in het begin van de mestperiode (massa van 20 à 30 kg). Activiteit en warmteontwikkeling zijn per varken verschillend en bovendien afhankelijk van externe factoren. De verteringscoëfficiënten van de verschillende voederbestanddelen vertonen een grote spreiding, enzovoorts. Het model heeft echter als voordeel dat het eenvoudig is en gemakkelijk te wijzigen. De resultaten die het geeft zijn redelijk in overeenstemming met gegevens zoals de literatuur die biedt. Voorts moet men bedenken dat een ingewikkeld systeem zoals een varken slechts ten koste van ingrijpende vereenvoudigingen met behulp van een simpel model is te beschrijven. Het model voor het vleesvarken is een aanzet voor het model voor de zeug met biggen, hetgeen een gecompliceerder systeem is waaromtrent bovendien minder gegevens beschikbaar zijn dan bij het vleesvarken.

BIJLAGE 2

MODEL VOOR DE BEREKENING VAN DE MASSA- EN ENERGIEBALANS BIJ EEN VLEESVARKEN

GEGEVEN GROOTHEDEN

m := 60 massa vleesvarken (kg)
 vo := 2.060 voeropname (kg/dag)
 wv := 2 drinkwater/voerverhouding
 b := 3.4 parameter ontwikkeling vetgehalte aanzet
 ca := 0.07 activiteitscoëfficiënt
 C := 450 coëfficiënt voor bepaling onderhoudswarmte
 Ckh := 0.4 Cre := 0.49 Crv := 0.77
 Okh := .53 Ore := 0.22 Orv := 0.11
 Nre := .19 Hkh := 1 - Ckh - Okh
 Hre := 1 - Cre - Ore - Nre Hrv := 1 - Crv - Orv

SAMENSTELLING VAN HET VOER (g/kg)

rc := 58 vrc := 28
 ok := 547 vok := 507
 re := 157 vre := 126
 rvet := 39 vrvet := 32
 as := 72
 ds := rc + ok + re + rvet + as
 water := 1000 - ds
 water = 127
 GEv := 17 · (rc + ok) + 23.6 · re + 39.7 · rvet
 MEv := 17 · (vrc + vok) + 23.6 · vre + 39.7 · vrvet kJ
 Hv := Hkh · (rc + ok) + Hre · re + Hrv · rvet kJ
 Ov := Okh · (rc + ok) + Ore · re + Orv · rvet
 Cv := Ckh · (rc + ok) + Cre · re + Crv · rvet
 Nv := Nre · re

SAMENSTELLING VAN DE AANZET (g/kg)

rea := 169 - 0.366 · m
 rveta := 110.9 + .0516 · m² - b · [18.9 - 2 · m + .0234 · m²]
 asa := 30
 watera := 1000 - rea - rveta - asa
 rea = 147.04
 rveta = 353.984
 asa = 30
 watera = 468.976
 dsa := 1000 - watera
 EBa := (23.6 · rea + 39.4 · rveta) kJ/kg aanzet
 Hpa := (20.1 · rea + 13.95 · rveta) kJ/kg aanzet
 MEpa := EBa + Hpa kJ/kg aanzet
 Ra := $\frac{EBa}{MEpa}$
 Ra = 0.688 rendement aanzet
 Ha := Hre · rea + Hrv · rveta Ha = 57.182
 Oa := Ore · rea + Orv · rveta
 Ca := Cre · rea + Crv · rveta
 Na := Nre · rea

ENERGIEHUISHOUDING

.75
 mm := m
 mm = 21.558

metabolische massa
 kg'

Hm := C · mm

const := $\frac{1 + .42 \cdot ca}{1 - ca}$

gs := $\frac{MEv \cdot vo - const \cdot Hm}{EBa + const \cdot Hpa} \cdot 1000$

gs = 640.055

GE := GEv · vo · .001

kJ/dag

ME := MEv · vo · .001

ME = 27.478

EB := EBa · gs · .001 · .001

EB = 11.148

Hm := Hm · .001

Hm = 9.701

Hp := Hpa · gs · .001 · .001

Hp = 5.052

H := $\frac{Hp + Hm}{1 - ca}$

H = 15.864

Hac := H - Hp - Hm

Hac = 1.11

W := .42 · ca · H

W = 0.466

SAMENSTELLING VAN DE MEST

GEm := vo · (GEv - MEv)

rcm := vo · (rc - vrc)

GEm = 4.531 · 10³
 rcm = 61.8

okm := vo · (ok - vok)

rem := vo · (re - vre)

rvetm := vo · (rvet - rvet)

asm := vo · as - gs · asa · .001

asm = 129.118

dsm := rcm + okm + rem + rvetm + asm

dsm = 337.178

vwds := $\frac{GEm}{dsm}$

vwds = 13.438

vc := $\frac{vo \cdot ds - dsm}{vo \cdot ds}$

vc = 0.813

Hm := Hkh · (rcm + okm) + Hre · rem + Hrv · rvetm

Om := Okh · (rcm + okm) + Ore · rem + Orv · rvetm

Cm := Ckh · (rcm + okm) + Cre · rem + Crv · rvetm

Nm := Nre · rem

Hversch := vo·Hv - gs·Ha·.001 - Hm
 Cversch := vo·Cv - gs·Ca·.001 - Cm Cversch = 409.312
 Oversch := vo·Ov - gs·Oa·.001 - Om Oversch = 604.426
 Nversch := vo·Nv - gs·Na·.001 - Nm Nversch = 31.435
 Ureum := 2.14·Nversch Ureum = 67.27
 CO2 := 3.667·(Cversch - 0.2·Ureum)
 H2O := 9·(Hversch - 0.0665·Ureum) H2O = 645.036
 O2 := 0.889·H2O + 0.727·CO2 - Oversch + 0.266·Ureum

$rc := 0.727 \cdot \frac{CO_2}{O_2}$ rc = 1.013

$waterved := .15 \cdot \frac{H}{2.410}$

MASSABALANSEN

1. ds-balans

IN	UIT
ds·vo·.001 = 1.798	H2O·.001 = 0.645
O2·.001 = 1.042	dsa·gs·.001·.001 = 0.34
	dsm·.001 = 0.337
	Ureum·.001 = 0.067
	CO2·.001 = 1.452

alles in kg/dag

2. waterbalans

waterin := water·vo·.001 + wv·vo + H2O·.001
 wateruit := watera·gs·.001·.001 + waterved
 watermest := waterin - wateruit

IN	UIT
water·vo·.001 = 0.262	watera·gs·.001·.001 = 0.3
wv·vo = 4.12	waterved = 0.987
H2O·.001 = 0.645	watermest = 3.739

$ds mest := \frac{dsm}{dsm + (watermest \cdot 1000)}$ ds mest = 0.083

3. totale balans

IN	UIT
Voer vo = 2.06	Aanzet gs·.001 = 0.64
Drinkwater wv·vo = 4.12	Mest watermest + dsm·.001 = 4.076
Zuurstof O2·.001 = 1.042	CO2 CO2·.001 = 1.452
	Verdamping waterved = 0.987
	Ureum Ureum·.001 = 0.067

Referenties

- [1] Landbouwcijfers, Uitgave CBS/LEI, 's-Gravenhage, Uitgave 1989, tabel 46a.
- [2] *ibid.*, tabel 46a, 53cg.
- [3] W. de Wit, Utilisation of Cellulose and Hemicellulose of Pig Faeces by *Trichoderma Viride*, Ph.D. Thesis, LU Wageningen, 1980, pg 26.
- [4] Veevoedertabel, Uitgave Centraal Veevoederbureau in Nederland, Lelystad, 1977 en latere aanvullingen.
- [5] *ibid.*, pg C1.
- [6] M.W.A. Verstegen and A.M. Henken (edts), Energy Metabolism in Farm Animals, Martinus Nijhoff, Dordrecht, 1987.
- [7] S.F. Spoelstra, Microbial Aspects of the Formation of Malodorous Compounds in Anaerobically stored Piggery Wastes, Ph.D. Thesis, LU Wageningen, 1978, pg 10.
- [8] J.I. Routh et.al., A brief Introduction to General, Organic and Biochemistry, Saunders Company, Philadelphia, 1976.
- [9] Waarde gehanteerd door Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG).
- [10] S.F. Spoelstra, *op.cit.*, pg 11.
- [11] M.L.M. Stoop, Een Inventarisatie van de Technische Mogelijkheden van Mestverwerking, Rapport RU Utrecht, december 1988, pg 62.
- [12] J.R. Backhurst and J.H. Harker, Evaluation of Physical Properties of Pig Manure, *J.Agric.Res.* 19(1974),199-207.
- [13] Verstegen et.al., *op.cit.*, pg 16.
- [14] *ibid.*, pg 38
- [15] Voeding van Vleesvarkens, Vlugschrift voor de Landbouw, Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987.
- [16] Handboek voor de Varkenshouderij, CAD voor Varkenshouderij, Rosmalen, 1987.
- [17] S.F. Spoelstra, *op. cit.*, table 5, pg 11.
- [18] *ibid.*, table 3 and 4, pg 10.

Samenvatting

Als een case-studie voor massa- en energiestromen in produktiesystemen wordt de produktieketen van varkensvlees onderzocht.

Het blijkt dat modellen voor produktieketens modulair van opzet moeten zijn en zich rekenschap moeten geven van de hiërarchische, in aggregatieniveaus gelaagde structuur van het te bestuderen systeem. Ter illustratie werd een tweetal modellen beschreven.

Het eerste model legt een relatie tussen statistische gegevens omtrent de samenstelling van de landelijke varkensstapel, en de ontwikkeling in de tijd van diverse bedrijfskengetallen, waaronder de mesttijd.

Het tweede model berekent de massa- en energiebalans van een vleesvarken, uitgaande van opgenomen voer en drinkwater. Ook de groeicurve wordt berekend.

Beide modellen produceren realistische resultaten.

Zij kunnen worden beschouwd als voorbeelden voor modulen van een groter model dat een beeld van de gehele produktieketen vormt en dat zich leent voor de bestudering van de invloed van tal van veranderingen in het produktieproces en de bedrijfsvoering, op de massa- en energiestromen.

Dit is van nut voor de ondersteuning van geïntegreerd beleid met betrekking tot de gevolgen ervan op het gebied van milieu en economie.

Summary

In the framework of a study on mass- and energy flows in production chains a case study is carried out on the production chain of porc. Models on production chains should possess a modular character and should account for a hierarchically layered structure that expresses the levels of aggregation present in the system to be studied. As an illustration two models are described:

The first model derives the evolution in time of several quantitative characteristics of the pig-growing industry from statistical data on the composition of the pig live-stock in the Netherlands. These characteristics include growing time and annual sow productivity.

The second model presents mass- and energy balances of a growing pig, derived from supplied forage and drinking water. From this data also growing curves are derived.

Both models provide realistic results. The models should be considered as example modules of a larger model, being an image of the total production chain of porc.

Modelling is required to study the many changes in the production process and its operation that will occur in the present and the near future.

An insight of the impact of these changes on mass- and energy flows is indispensable to support decision making with respect to its (global) environmental as well as economic consequences.

Inhoudsopgave

	Verantwoording.....	2
0.	Inleiding.....	3
1.	De varkenshouderij.....	3
1.0.	Algemeen.....	3
1.1.	Het varkensbedrijf.....	6
1.2.	Samenstelling van de varkensstapel.....	9
1.2.0.	Inleiding.....	9
1.2.1.	Modelbeschrijving.....	9
	Bijlage 1 (Tekst model).....	22
1.3.	Massa- en energiebalansen.....	24
1.3.0.	Inleiding.....	24
1.3.1.	Eigenschappen van de massastromen.....	25
1.3.2.	Het voer.....	26
1.3.3.	De aanzet.....	29
1.3.3.1.	Samenstelling.....	29
1.3.3.2.	Energie.....	32
1.3.4.	De mest.....	33
1.3.4.1.	Samenstelling.....	33
1.3.4.2.	Energie.....	34
1.3.5.	Het metabolisme van het vleesvarken.....	34
1.3.5.1.	Energiebehoefte.....	34
1.3.5.2.	Verband tussen energie- en massastromen.....	38
1.3.5.3.	Metabolisch water.....	39
1.4.	Berekeningsvoorbeeld met het model.....	39
1.4.1.	Voer.....	40
1.4.2.	Aanzet.....	41
1.4.3.	Energiehuishouding.....	41
1.4.4.	De mest.....	42
1.4.5.	ds-balansen.....	43
1.4.6.	Het metabolisme.....	46
1.4.7.	De volledige massabalans.....	47
1.4.8.	Conclusie.....	48
	Bijlage 2 (Tekst model).....	49
	Referenties.....	52
	Samenvatting.....	53
	Summary.....	54
	Inhoudsopgave.....	55

De auteur

dr.ir. A.J.D. Lambert is werkzaam bij de Vakgroep 'Technische Productiesystemen' (TPS) van de Faculteit der Technische Bedrijfskunde aan de Technische Universiteit Eindhoven (TUE).

Dankbetuiging

Dank is verschuldigd aan prof.dr.ir. M.W.A. Verstegen, dr.ir. A.M. Henken en ing. W. van der Hel van de Vakgroep Veehouderij der Landbouw Universiteit Wageningen, voor tal van nuttige aanwijzingen en opmerkingen.

Eveneens gaat dank uit naar prof.ir. J.Claus en dhr. M.A.M. Stoop voor het kritisch en zorgvuldig doornemen van het concept.

EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT SCIENCE
RESEARCH REPORTS (EUT-Reports).

EUT-reports can be obtained, as long as stock permits, by writing to Eindhoven University of Technology, Library of Industrial Engineering and Management Science, P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, Netherlands. The cost per delivery are HFL 3,50 plus HFL 1,50 per EUT-report. Only payments by Eurocheque will be accepted.

20 LATEST EUT-REPORTS

- EUT/BDK/41 De produktie van varkensvlees; Een integrale ketenbenadering Deelrapport 1: Enkele modellen voor de varkenshouderij **A.J.D. Lambert**
- EUT/BDK/40 Informatievoorziening ten behoeve van klantenorderacceptatie; een eerste verkenning **F.J. Faszbender**
- EUT/BDK/39 A bibliography of the classical sociotechnical systems paradigm **F.M. van Eijnatten**
- EUT/BDK/38 Meten van kwaliteit van de arbeid: een bekomentariëring van Nederlandse instrumentatie op basis van ontwerpgerichte toepassingsaspecten **F.M. van Eijnatten**
- EUT/BDK/37 De toepassing van vaardigheden bij de specificatie van het bewerkingsvoorschrift **D.R. Muntslag**
- EUT/BDK/36 Selection of Software Cost Estimation Packages **F.J. Heemstra, M.J.I.M. van Genuchten, R.J. Kusters**
- EUT/BDK/35 Zoekboek Arbeidssysteemstructurering: een overzicht van criteria voor autonome groepen **P.J.M. Berger, R.E.F. van den Heuvel, M.H.M. Rietrae, P.G.M. Simons, onder redactie van F.M. van Eijnatten**
- EUT/BDK/34 Organisatie van produktinnovatieprocessen in middelgrote ondernemingen; een verslag van zes case-studies in de kunststofindustrie **H.C. van der Hek-de Keyser, C.C. Krijger**
- EUT/BDK/33 Innovatie gedefinieerd; een analyse en een voorstel **B.J.G. van der Kooij**
- EUT/BDK/32 A conceptual Framework for Software Cost Control and Estimation **F.J. Heemstra, R.J. Kusters**
- EUT/BDK/31 Het verband tussen afval-arme methoden en energiegebruik bij de winning van minerale grondstoffen **A.J.D. Lambert, J.C.M. Marijnissen**
- EUT/BDK/30 Model van een trommeldroger **F.P.M. Spruit**
- EUT/BDK/29 Continuous casting in the copper industry **P.F. Cuypers**
- EUT/BDK/28 Het begroten van softwareprojecten: meten is weten! **F.J. Heemstra**
- EUT/BDK/27 Economische prestatiemeting van industriële activiteiten **H.J.M. van der Veeken**
- EUT/BDK/26 Prestatiebeoordeling in zeven organisaties **H.F.J.M. van Tuijl, P.M. Janssen, J.A. Algra**
- EUT/BDK/25 De organisatie van de verplegingsdienst in algemene ziekenhuizen **II Vooronderzoek R.J.M. Mercx**
- EUT/BDK/24 Vragenlijst verpleegkwaliteit: Onderzoek naar validiteit en betrouwbaarheid van een instrument voor verpleegkwaliteit **B.J.S. Lacko**
- EUT/BDK/23 Prestatiegrafieken van gereedschappen (Een nieuw informatiesysteem voor terugkoppeling op korte en lange termijn) **J.M.A. van de Molengraaf**
- EUT/BDK/22 Interne budgettering van de klinische verpleging op basis van werklasteronderzoek in het St. Annaziekenhuis te Oss **P.W.H.M. van Stiphout**