



PraktijkRapport Rundvee 34

Licht nader belicht; effect van licht op dierprestaties en gedrag van melkvee



Augustus 2003

Rundvee





Colofon

Uitgever

Animal Sciences Group / Praktijkonderzoek
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
Telefoon 0320 - 293 211
Fax 0320 - 241 584
E-mail info.po.asg@wur.nl
Internet <http://www.asg.wur.nl/po>

Redactie en fotografie

Praktijkonderzoek

© Animal Sciences Group

Het is verboden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever deze uitgave of delen van deze uitgave te kopiëren, te vermenigvuldigen, digitaal om te zetten of op een andere wijze beschikbaar te stellen.

Aansprakelijkheid

Animal Sciences Group aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen

ISSN 1570-8616
Eerste druk 2003/oplage 200
Prijs € 17,50

Losse nummers zijn schriftelijk, telefonisch, per E-mail of via de website te bestellen bij de uitgever.

Referaat

ISSN 1570 8616

Biewenga, G. en A. Winkel. (ASG, divisie Praktijkonderzoek)

Licht nader belicht; effecten van licht op dierprestaties en gedrag van melkvee (2003)

PV-PraktijkRapport Rundvee 34

20 pagina's, 6 figuren, 8 tabellen

Het voeren van een lichtregime van dagelijks 16 uren licht en 8 uren donker (16L:8D) met een intensiteit van 150-200 lux heeft een positief effect op de melkproductie, groei en vruchtbaarheid. Dit blijkt uit een studie van de Animal Sciences Group, divisie Praktijkonderzoek.

Melkvee; Stalinrichting; Verlichting; Gedrag;
Melkproductie



PraktijkRapport Rundvee 34

Licht nader belicht; effect van licht op dierprestaties en gedrag van melkvee

Shedding more light on light: the effects of light on the performance and behaviour of dairy cattle

G. Biewenga
A. Winkel

Augustus 2003

Voorwoord

Licht is iets waar we nauwelijks bij stilstaan, hoewel licht cruciaal is voor het voortbestaan van alle levensvormen. Ook hebben de afwisselende perioden van licht en donker en de seizoenen een sterk effect op het dagelijkse functioneren van mensen, dieren en planten.

In een automatisch melksysteem (AM-systeem) is duidelijk sprake van een dag/nachtritme in de bezoeken aan het melksysteem. Op veel bedrijven met een AM-systeem wordt een licht-regime van 24 uur toegepast. Op het high-techbedrijf van de Waiboerhoeve wordt gedurende 4 uur per nacht de verlichting uitgeschakeld, met uitzondering van een lichtpunt bij het AM-systeem. Het is bekend dat (kunst)licht van invloed is op de fysiologische regelsystemen van melkkoeien en daardoor van invloed kan zijn op vruchtbaarheid, gezondheid, groei en productie. Niet bekend is welk effect een lichtregime van 20 of 24 uur per dag heeft op de dieren en hun welzijn.

Dit was de aanleiding voor het projectteam High-techbedrijf om een literatuurstudie uit te voeren naar de effecten van licht en het te voeren lichtregime in de melkveehouderij en in het bijzonder bij automatische melksystemen. De resultaten worden ingepast in het bedrijfsplan van het high-techbedrijf. Met ongeveer 75 koeien en een melkquotum van 800.000 kilogram probeert het high-techbedrijf een lage kostprijs te realiseren. De koeien blijven het hele jaar op stal en daarom wordt veel aandacht besteed aan dierwelzijn. Het project high-techbedrijf wordt gefinancierd door het Produktschap Zuivel.

In het bijzonder wil ik Gelein Biewenga en Albert Winkel bedanken. De eind-scriptie die zij voor hun afstuderen aan het Van Hall Instituut, opleiding Diergezondheidszorg, hebben geschreven, heeft als basis gediend voor dit rapport.

Ik hoop dat u als melkveehouder de informatie van deze studie kunt gebruiken. Niet door alleen het uiterste uit uw koeien te halen, maar met name door de voordelen van een optimaal lichtregime voor de koeien zelf te benutten. Denk hierbij aan een betere opname van het ruwvoer en bij automatisch melken aan een goede benutting van de nachtperiode door de koeien, zodat ze voldoende rust krijgen. Daarnaast biedt een goede verlichting in de stal u ook als veehouder een goede werkomgeving, waarin het prettig werken is.

F. Mandersloot
Hoofd Rundvee, Schapen, Paarden en Geiten

Samenvatting

In de Nederlandse melkveehouderij bestaat grote onduidelijkheid over welk lichtregime geschikt is voor productief en gezond melkvee. Daarbij wordt de behoefte aan duidelijkheid omtrent dit onderwerp steeds groter, mede door een betere benutting van de capaciteit van de melkrobot in de nachtelijke uren. Met dit rapport willen we aanbevelingen doen t.a.v. het gewenste lichtregime voor melkvee. De huidige verlichtingsnormen voor rundveestallen die in de Nederlandse literatuur worden gegeven, blijken gebaseerd op het verkrijgen van goede werkomstandigheden voor de veehouder. Verlichtingsnormen zijn maatstaven waaraan onderdelen van het lichtregime zouden moeten voldoen. Het lichtregime is de manier waarop veehouders hun melkvee blootstellen aan lichtkleur, lichtduur en lichtintensiteit. Duidelijk is dat het waarnemen van licht de hormoonhuishouding van de koe beïnvloedt. Bij lange daglengten daalt de concentratie van melatonine in het bloed; daarmee stijgt de bloedserumconcentratie van het hormoon Insuline Like Growth Factor-1 (IGF-1). Deze hormoonprikkel is waarschijnlijk verantwoordelijk voor een aantal veranderingen in dierprestaties. Wanneer jongvee wordt blootgesteld aan een lichtregime van 16 uren licht en 8 uren donker is het mogelijk om jongvee een versnelde groei te laten doormaken. Jongvee komt op deze manier op een lager gewicht, dus jonger, in de puberteit. Belangrijk is echter dat dit niet wordt gerealiseerd door een energierijk rantsoen. Dit veroorzaakt vervetting in de uier en daarmee een verlaagde melkgift. Melkvee komt bij lange daglengten na afkalven sneller in oestrus dan bij korte daglengten. Verder geeft het verlengen van de daglengte naar 16 uur een hogere melkproductie van 6-15%. Deze stijging in melkproductie wordt gevolgd door een stijging in voeropname; de voeropname is dus niet de oorzaak van deze melkproductiestijging. Voor droogstaande koeien lijkt een langere donkere periode voor de melkproductie aantrekkelijk. Het blijkt belangrijk om de voergang voldoende te verlichten om de visuele prikkel van het voer te benutten. Deze zorgt samen met de stijgende nutriëntenbehoefte voor een hoge voeropname. Dieren die aan lange daglengten worden blootgesteld liggen meer, staan minder, bewegen minder en lijken aanzienlijk minder tochtigheidsverschijnselen te vertonen. De aanbeveling die uit deze studie voortvloeit is om rundvee bloot te stellen aan daglengten van 14 tot 16 uur van ten minste 120 tot 200 lux, waarbij een donkere periode van minimaal zes uren per dag vereist is.

Summary

There has been no consensus in the Dutch dairy sector about which light regime ensures productive and healthy animals. The need for clarity on this has become more urgent now that more use is being made of milking robots during the night. This report gives recommendations for the desired light regime for dairy cattle. The standards for the illumination of cattle barns found in Dutch publications appear to be based on achieving good working conditions for the stockman. These standards provide criteria that components of the light regime must meet. The light regime is the way in which dairy farmers expose their animals in terms of the colour, duration and intensity of the light. It is clear that exposure to light influences the cow's hormonal balance. When daylight is long, the melatonin concentration in the blood falls and there is an accompanying rise in the concentration of the Insulin-Like Growth Factor-1 (IGF-1) in the blood serum. This hormonal stimulus seems to be responsible for certain changes in animal performance. Heifers exposed to a light regime of 16 hours light and 8 hours darkness can be made to grow faster, so that when they attain puberty they are younger and weigh less. What is important is that this is not achieved by feeding them a high-energy diet that causes fat to be deposited in the udder and depresses milk yield. Exposing dairy cows to a longer period of light after calving brings on oestrus earlier. And prolonging the light period to 16 hours boosts milk production by 6-15%. This causal relationship is clear, because the higher milk yield is followed by an increase in food intake, rather than vice versa. For dry cows it seems that prolonging the dark period boosts milk production. To ensure that there is a visual stimulus to utilise the feed, it seems to be important to illuminate the feed alley properly. Together with the increased need for nutrients, this ensures more feed is eaten. Animals exposed to long periods of light spend more time lying, less time standing, move about less and appear to show far fewer draught-induced symptoms. On the basis of this study it is recommended to expose cattle to 14 to 16 hours of 120 to 200 lux per day. The period of darkness per day must last at least 6 hours.

Abstract

ISSN 0169-3689

Biewenga, G. and A. Winkel. (Research Institute for Animal Husbandry)

Shedding more light on light: the effects of light on the performance and behaviour of dairy cattle

PV Practical Scientific Report on Cattle

20 pages, 6 figures, 8 tables

A literature study performed by the Research Institute for Animal Husbandry has shown that applying a daily light regime consisting of 16 hours light at an intensity of 150-200 lux followed by 8 hours darkness (16L:8D) has a positive effect on milk production, growth and fertility.

Dairy cattle; barn set-up; illumination; behaviour milk production

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Huidige verlichtingsnormen voor melkvee	1
1.1	Huidige verlichtingsnormen	1
1.2	Automatisch melksysteem	2
1.3	Vruchtbaarheidsplanner	2
1.4	Gezondheids- en welzijnswet voor Dieren	3
2	Natuurkundig verschijnsel licht	4
2.1	Licht in het algemeen	4
2.2	Lichtkleur	5
2.3	Lichtduur	6
2.4	Lichtintensiteit	6
3	Lichtwaarneming en hormoonrespons bij het rund	8
3.1	Anatomie van lichtwaarneming bij het rund	8
3.2	Lichtwaarneming bij het rund	8
3.3	Kleurwaarneming bij het rund	9
3.4	Melatonine als endocriene regulator van bioritmen	9
3.5	Invloed van daglengte en melatonine op andere hormonen	10
3.5.1	Prolactine	10
3.5.2	Somatotropine	11
3.5.3	Insuline-like Growth Factor 1 (IGF-1)	12
3.5.4	Glucocorticosteroiden	13
3.5.5	Gonadotrope hormonen	13
4	Invloed van lichtregime op jongveegroei en -ontwikkeling	15
4.1	Invloed van lichtregime op het tijdstip van geboorte	15
4.2	Invloed van lichtregime op lichaamsgroei van jongvee	15
5	Invloed van lichtregime op vruchtbaarheid van melkvee	18
5.1	Invloed van daglengte op de leeftijd van puberteit	18
5.2	Invloed van daglengte op vruchtbaarheidskengetallen	18
5.3	Invloed van daglengte op de post-partum voortplantingscyclus	19
6	Invloed van lichtregime op melkproductie	20
6.1	Invloed van daglengte op melkproductie	20
6.2	Invloed van lichtregime tijdens de droogstand op de lactatie	21
7	Invloed van lichtregime op het gedrag van melkvee	22
7.1	Natuurlijk gedrag	22
7.2	Tochtigheidsgedrag	24
8	Conclusies	26
8.1	Huidige verlichtingsnormen voor melkvee	26
8.2	Het natuurkundig verschijnsel licht	26
8.3	Lichtwaarneming en hormoonrespons bij het rund	26

8.4	Invloed van lichtregime op jongveegroei en ontwikkeling	27
8.5	Invloed van lichtregime op vruchtbaarheid en gedrag	27
8.6	Invloed van lichtregime op melkproductie	27
8.7	Invloed van lichtregime op gedrag van melkvee	27
9	Praktijktoepassing	29
9.1	Praktijktoepassing.....	29
9.2	Toepassing op het High-techbedrijf	30
Literatuur		31

1 Huidige verlichtingsnormen voor melkvee

In dit eerste hoofdstuk zullen kort de normen worden beschreven voor de verlichting van melkveestallen. Daarmee geeft dit hoofdstuk een indruk van de manier waarop in Nederland wordt geadviseerd licht toe te passen in rundveestallen.

1.1 Huidige verlichtingsnormen

In het 'Handboek melkveehouderij' van het Praktijkonderzoek Veehouderij, (1997) wordt in hoofdstuk 14, paragraaf 9, aandacht geschonken aan de verlichting op het melkveebedrijf.

De eerste zin van deze paragraaf luidt: "Een goede verlichting op het bedrijf is noodzakelijk voor goede werkomstandigheden". Daarmee wordt duidelijk dat de verlichtingsnormen die worden gegeven, toegespitst zijn op het creëren van 'goede werkomstandigheden' voor de veehouder. Aangegeven wordt dat een goede verlichting noodzakelijk is voor een goede uitvoering van controlewerkzaamheden, verzorging van de dieren en detectie van tochtigheids- en ziekteverschijnselen. Deze normen hoeven niet overeen te komen met verlichtingsnormen die gezond en productief melkvee stellen.

Tabel 1 Verlichtingsnormen volgens het Handboek melkveehouderij 1997

Bedrijfsonderdeel	Norm verlichtings- Sterkte (lux)	Aantal m ² staloppervlak per TLD- 58 Watt	Kleur- nummer
Voergang	30	60	33
Loop- / eetruimte	30	60	33
Melkstal	250	8	84
Tanklokaal	120	16	84
Afkalfstal	120	16	84
Ziekenstal	120	16	84
Afzonderingsstal	120	16	84
Nachtverlichting stal	5	380	33
Erfverlichting	5	380	33

Naast bovenstaande normen, wordt er aandacht geschonken aan het aantal Tl-armaturen dat geplaatst moet worden in de melkstal, de ligboxenstal en op het erf. Voor ligboxenstallen wordt geadviseerd 1 Tl-armatuur per spantvak te nemen bij een 1+1-rijige ligboxenstal en 2 Tl-armaturen bij een 2+2-rijige ligboxenstal.

Verder wordt er in deze paragraaf geadviseerd om de afstand tussen de armaturen niet groter te laten worden dan anderhalfmaal de hoogte van vloer tot lamp, in verband met een redelijke lichtspreiding.

In het Handboek huisvesting jongvee en melkvee, uitgegeven door het Praktijkonderzoek Veehouderij (1999), wordt in hoofdstuk 14 het onderwerp 'Verlichting' beschreven. Voor het aanbrengen van lichtplaten in het dak van de stal worden onderstaande normen gegeven.

Tabel 2 Minimaal aantal rijen licht- of golfplaten per type stal, om en om aan te brengen, volgens het Handboek huisvesting jongvee en melkvee, 1999

Type stal	Aantal rijen lichtplaten
1 + 1	2 rijen
2 + 1	3-4 rijen
2 + 2	4 rijen
2 + 3	5-6 rijen
3 + 3	6 rijen

In het boekje 'Stallen voor melkvee' van de Praktijkreeks Veehouderij beschrijft Marsman (1990) in het hoofdstuk 'licht' welk verlichtingsnormen belangrijk zijn voor het ontwerpen van een melkveestal. De normen uit het boekje

'Stallen voor jongvee' zijn nagenoeg gelijk aan die van het eerder genoemde boekje voor melkveestallen. Dit is overigens niet verwonderlijk. De publicaties op dit terrein zijn geschreven door medewerkers van het consulentenschap boerderijbouw.

Volgens Marsman "is licht in een stal erg belangrijk om plezierig te werken, voor een goed overzicht en voor het onderkennen van tochtige en zieke dieren met als resultaat een betere productie". Ook hier gaat het dus weer om een 'optimaal werkklimaat' voor de veehouder.

Tabel 3 Normen voor het aan te brengen lichtplaten per spantvak van 3,30 of 4,40 meter volgens het boekje Stallen voor melkvee

Type stal	Aantal lichtplaten per spantvak 3,30 m	Aantal lichtplaten per spantvak 4,40 m
1 + 1	Om en om: 1 en 2	2
2 + 1	Om en om: 2 en 3	3
2 + 2	Om en om: 3 en 4	4

Voor de natuurlijke verlichting wordt hier aangeraden bij ieder spantvak van 4,40 meter twee lichtplaten boven de roosters te plaatsen (zie Tabel 3). Bij kleinere spantvakken van 3,30 meter kan men om en om één en twee lichtplaten per spantvak plaatsen, uitgaande van een 1+1-rijige ligboxenstal. Bij iedere rij ligboxen extra, komt er vervolgens ook een extra rij lichtplaten per spantvak bij. Verder wordt er een norm voor het lichtdoorlatend oppervlak gegeven van éénvijftiende deel, oftewel 6,7% van het totale dakoppervlak.

Voor de kunstmatige verlichting wordt geadviseerd één 'TL 65 Watt' of 'TLD 58 Watt' per 7 koeien te monteren. De norm van één TL-buis per 7 koeien kan, door verschillen in stalbezetting, in dezelfde stallen verschillende maten van verlichtingen geven. Voor grupstallen wordt overigens een norm van 1 TL-buis per 5 koeien gegeven omdat er bij grupstallen op de ligplaatsen zelf wordt gemolken. In de melkstal van ligboxenstallen wordt een verlichtingssterkte geadviseerd van 250 tot 350 lux, wat overeenkomt met ongeveer 10 Watt per vierkante meter.

1.2 Automatisch melksysteem

Het automatische melksysteem (AMI) heeft voor haar eigen functioneren geen licht nodig. Vanwege het hekwerk rondom het AMI wordt uit veiligheidsoverwegingen geadviseerd om in de buurt van het AMI tenminste één lamp te plaatsen zodat de omgeving rondom het AMI verlicht is. Tot op heden is er weinig onderzoek gedaan naar het gedrag rondom het AMI in relatie tot lichtregime (Lely, 2002).

1.3 Vruchtbaarheidsplanner

De Vruchtbaarheidsplanner is een verslag van de Werkgroep Vruchtbaarheid, bestaande uit dierenartsen en onderzoekers uit verschillende veterinaire of landbouworganisaties. De vruchtbaarheidsplanner kan worden gebruikt voor het opsporen van oorzaken voor vruchtbaarheidsproblemen.

In de paragraaf 'Huisvesting en Licht' wordt aandacht geschonken aan de lichtvoorziening voor melkvee. Hier wordt een donkere periode van minimaal acht tot tien uren geadviseerd en een lichtperiode van 14-16 uur voor een goede vruchtbaarheid, goed tochtgedrag, en goede tochtigheidswaarneming en een goede melkproductie. De lichtintensiteit in de stal zou overal minimaal 200 lux moeten zijn. Als eenvoudige maatstaf wordt gesteld dat de tekst van de Vruchtbaarheidsplanner (lettertype: Arial, lettergrootte: 11 punts, zwarte letters op wit papier) overal in de stal te lezen moet zijn.

Onderzoek leert dat de krant ook al gelezen kan worden bij 50 lux. Daarmee is dit geen goede maatstaf om de hoeveelheid licht eenvoudig te bepalen.

1.4 Gezondheids- en welzijnswet voor Dieren

Sinds november 1992 kennen we in Nederland de Gezondheids- en welzijnswet voor Dieren (hierna te noemen: GWWD). Samen met de Diergeneesmiddelenwet, en de Wet op de uitoefening van de Diergeneeskunde vormt de GWWD een drieluik, waarmee het hele terrein van de gezondheid en het welzijn van dieren wordt geregeld. In hoofdstuk drie van de wet worden regels m.b.t. de zorg voor het welzijn van dieren geregeld, die in afdeling vier worden toegespitst op de huisvesting van dieren. In het Kalverenbesluit, één van de uitvoeringsvoorschriften bij de wet, worden expliciete verlichtingsnormen voor kalveren gegeven. Stallen voor vleeskalveren moeten minimaal 2% van het vloeroppervlak aan lichtdoorlatend materiaal in het dak hebben. Stallen voor andere kalveren dan vleeskalveren, moeten een lichtdoorlatend oppervlak in het staldak hebben van minimaal 5%, waarbij het materiaal zo is aangebracht, dat het licht in de stal gelijkmatig is verspreid. Voor runderen ouder dan zes maanden worden geen verlichtingsnormen gegeven.

2 Natuurkundig verschijnsel licht

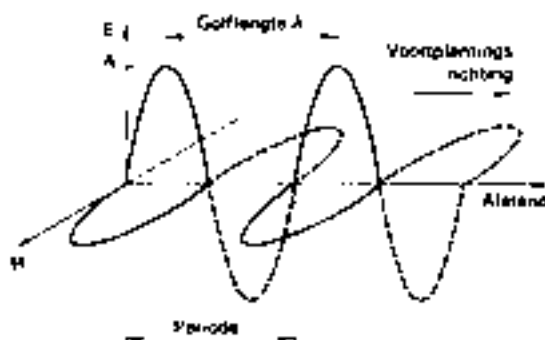
In hoofdstuk 4 tot en met 6 worden de effecten die het lichtregime¹ heeft op de dierprestaties en het gedrag van melkvee. Om het effect van licht op dierprestaties en gedrag te begrijpen, is het goed aan te geven wat licht of het lichtregime nu eigenlijk is. Zonder licht zou er in ieder geval geen leven mogelijk zijn. Immers de hele cyclus van het leven floreert bij de gratie van licht.

Het lichtregime waaraan dieren kunnen worden blootgesteld is op te delen in de aspecten lichtkleur, lichtduur en lichtintensiteit oftewel lichtsterkte. Voor het schrijven van dit hoofdstuk is gebruik gemaakt van het 'Praktijkboek plantenbelichting', (Philips, 1989), en het boek 'Natuurkunde voor middelbaar agrarisch onderwijs' (Harbers et al, 1990).

2.1 Licht in het algemeen

Vrijwel alle materie in ons universum bestaat uit bewegende atomen en moleculen. Al bewegend proberen alle moleculen en atomen in een rusttoestand (stationaire fase) te komen. De energie die in dit proces verloren gaat, zorgt voor elektrische en magnetische verstoringen, die zich met grote snelheid in de ruimte uitbreiden. Deze verstoringen gaan zich gedragen als golven en zijn daarmee elektromagnetische golven (zie Figuur 1). Elektromagnetische golven die wij met onze ogen kunnen waarnemen, noemen wij licht.

Figuur 1 Grafische voorstelling van een elektromagnetische golf. E symboliseert het elektrische krachtveld; H het magnetische krachtveld. A geeft de amplitude (grootte van de schommeling) weer (Philips, 1989)



Een plaats waar licht ontstaat wordt een lichtbron genoemd. Voorbeelden van lichtbronnen zijn de zon, een lamp of een vlam. Op aarde is de zon verreweg de belangrijkste lichtbron. Licht dat rechtstreeks van een lichtbron komt wordt direct licht genoemd; licht dat via weerkaatsing van een lichtbron komt, wordt indirect licht genoemd. Een voorbeeld van indirect licht is maanlicht. Iedere lichtbron heeft haar eigen verdeling van straling die uit wordt gezonden over verschillende golflengtes.

Bij de elektromagnetische golven is een samenhang waar te nemen tussen golflengte en frequentie². Een hoge frequentie correspondeert met een korte golflengte en een lage frequentie correspondeert met een lange golflengte (zie Figuur 2). Deze relatie wordt bepaald door de voortplantingssnelheid van de elektromagnetische golven. Lichtsnelheid is dus een product van golflengte en frequentie. In de lege ruimte halen deze golven snelheden van bijna driehonderdduizend kilometer per seconde. De voortplantingssnelheid van de lichtgolven vertraagt aanzienlijk wanneer de golven door een dichter medium dan bijvoorbeeld water worden gestuurd.

¹ onder lichtregime verstaan we de combinatie van lichtkleur, lichtduur en lichtintensiteit

² de frequentie geeft het aantal trillingen per seconde weer en wordt uitgedrukt in hertz (Hz)

2.2 Lichtkleur

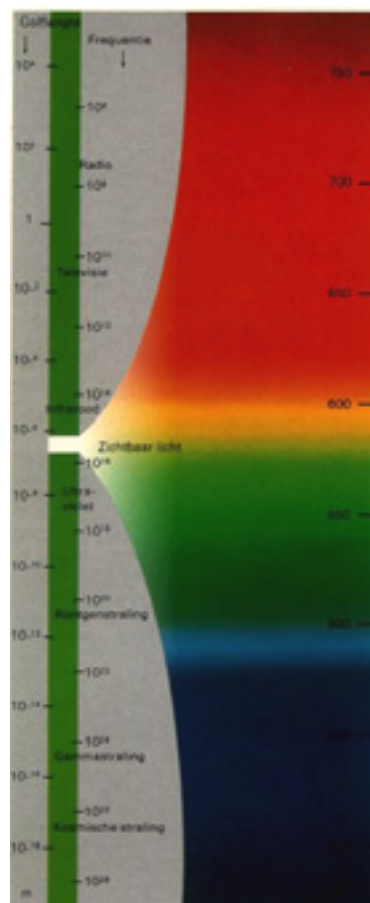
De meeste elektromagnetische straling is onzichtbaar. Zodra deze straling wel zichtbaar is spreken we van licht. Er zijn vele soorten elektromagnetische golven. Er zijn golven met een golflengte³ van enkele kilometers (radiogolven) maar ook golven met een zeer kleine golflengte (kosmische straling). En daar ergens tussenin ligt het zichtbare spectrum (Figuur 2).

Figuur 2 Het zichtbare spectrum (Philips,1989)

Het zichtbare spectrum wordt uitgedrukt in nanometers⁴ en strekt zich, voor de mens, uit tussen 380 en 780 nanometer. Het spectrum bestaat uit een regelmatig patroon van lichtgolven die door onze ogen worden waargenomen in alle kleuren van de regenboog. Het zichtbare spectrum gaat via blauw en violet over in ultraviolet, een kleur die mensen niet waar kunnen nemen omdat onze zwak geel gekleurde ooglens de ultraviolette golven absorbeert, dit bijvoorbeeld in tegenstelling tot insecten. Aan de andere kant van het spectrum gaat rood over in infrarood. Het Latijnse voorvoegsel 'infra' betekent 'onder'. Infrarood verwijst dus naar het gebied 'onder' (voorbij) het rode eind van het zichtbare lichtspectrum.

Zolang licht zich door de ruimte voortbeweegt heeft het de kenmerken van een golf. Maar op het moment van ontstaan en het moment dat licht wordt geabsorbeerd doet het zich voor als een energiedeeltje. Dit deeltje wordt in de natuurkunde een foton genoemd. De energie die in een foton zit, kwam 'aan het licht' toen de Engelse astronoom sir William Herschel een glasthermometer in het kleurenspectrum bewoog. Op deze manier kon hij per kleur, van de blauwe tot en met de rode kleur, het verwarmingseffect bepalen. Hieruit bleek dat het verwarmend effect van blauw naar rood toenam. Door toeval ontdekte hij dat het verwarmingseffect na het passeren van het rode eind van het zichtbare spectrum bleef toenemen. Dit heeft geleid tot de ontdekking van het infraroodstralinggebied van het elektromagnetisch spectrum.

De kleurweergave van een lichtbron wordt uitgedrukt in de kleurweergave-index (Ra). Deze index geeft een aanduiding van de capaciteit van een lamp om de juiste kleuren weer te geven. , Ra =100 is de hoogste index en komt overeen met natuurlijk wit licht. Een lamp die de drie hoofdkleuren (rood, blauw, groen) weergeeft heeft een goede kleurweergave index. Bij verschillende merken (bv. Philips) is het kleurnummer van het lamptype een eerste aanwijzing van de kwaliteiten van de lamp: het eerste cijfer van het nummer (vb. 86) geeft de kleurweergave index (Ra) weer: hoe hoger, des te beter. Het tweede cijfer (vb. 86) heeft betrekking op de kleurtemperatuur van het uitgestraalde licht: een lage waarde geeft aan dat het uitgestraalde licht wordt ervaren als 'warm' licht, een hoge waarde duidt op een 'koel' licht. Een lamp van het type 95 benadert dus beter het natuurlijke zonlicht dan een 86, en het licht voelt wat warmer aan.



³ de golflengte geeft de afstand aan waarover de golf zich gedurende één trilling verplaatst.

⁴ 1 nanometer is $0,000000001 \text{ m} = 10^{-9} \text{ m}$

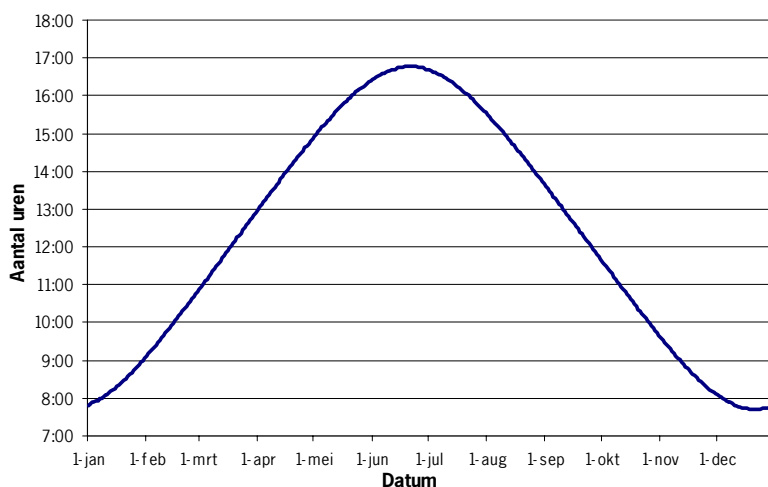
2.3 Lichtduur

In de voorgaande paragrafen is een beschrijving gegeven van wat licht nu eigenlijk is: elektromagnetische stralen die, hoewel materieloos, energie overdragen. De belangrijkste directe en natuurlijke lichtbron van de aarde is de zon. De zon, of beter de veranderende positie van de aarde t.o.v. de zon, veroorzaakt wat wij seizoenen noemen. Een van de kenmerken van seizoenen is dat de daglengten voortdurend toe- of afnemen. In deze paragraaf zal het aspect lichtduur oftewel daglengte worden toegelicht.

De aarde draait elke 24 uur om haar eigen as. Daardoor bevindt een bepaalde plaats op het aardoppervlak zich tijdens de nacht van de zon afgewend en overdag naar de zon toegekeerd. Zo is het op de ene plaats op aarde nacht, terwijl het aan de andere zijde van de aardbol dag is.

Naast deze dagelijkse cyclus maakt de aarde in 365 dagen een baan om de zon. Wanneer de aarde in een rechte stand om haar as zou draaien en het middelpunt van de zon loodrecht op het middelpunt van de aarde zou staan, zouden de dagen en nachten op iedere plaats op aarde even lang duren en zouden er geen seizoenen zijn. Dit is echter niet het geval. De denkbeeldige aardas waar de aardbol omheen draait is $23,45^\circ$ gekanteld. De aarde blijft bij haar jaarlijkse baan om de zon in dezelfde 'scheve' stand, waardoor ieder halfmond (noordelijke of zuidelijke) een halfjaar naar de zon toe helt (lange daglengten en warmere temperaturen; lente en zomer) en een half jaar van de zon afwijkt (korte daglengten en lagere temperaturen; herfst en winter). Hierdoor ontstaan de seizoenen. Overigens zijn de seizoenen op de twee halfmonden tegenovergesteld: wanneer het op het noordelijk halfmond winter is, is het op het zuidelijk halfmond zomer. Wanneer het op het noordelijk halfmond lente wordt, begint op het zuidelijk halfmond de herfst, enzovoort.

Figuur 3 Daglengte (in uren) voor Nederland in 2002. Bron gegevens: <http://www.knmi.nl>; 9-09-2002)



2.4 Lichtintensiteit

Licht met een lage kleurtemperatuur geeft een warmere indruk dan licht met een hoge kleurtemperatuur. De kleurtemperatuur wordt uitgedrukt in Kelvin (K). Inherent aan het stijgen van de kleurtemperatuur is de stijging van de lichtintensiteit, die 's morgens toeneemt en 's avonds weer daalt. Dit proces roept bij de mens en dier het circadiaan⁵ ritme op.

De lichtintensiteit wordt ook wel belichtingssterkte, verlichtingsterkte, lichtsterkte of lichtdichtheid genoemd. Lichtintensiteit wordt uitgedrukt in de eenheid lux (lx). Dat is de hoeveelheid opvallend licht, uitgedrukt per vierkante meter. 1 lux is gelijk aan 1 lumen⁶ (lm) per vierkante meter.

⁵ circadiaan = dagelijks terugkerend

⁶ lumen = hoeveelheid uitgezonden licht per seconde, met het oog waargenomen

De zon geeft in onze streken op een stralende zomerdag een lichtintensiteit van ongeveer 80.000 lux, in de schaduw gemeten. Onze ogen functioneren het best bij een lichtintensiteit van 10.000 a 20.000 lux. De lichtintensiteit van bijvoorbeeld een volle maan is 0,25 lux, de hoeveelheid licht van één kaarsvlam van vier cm in het duister heeft een lichtsterkte van ongeveer 4 lux.

3 Lichtwaarneming en hormoonrespons bij het rund

Bijna alle levende planten en dieren op deze aarde leven in ritmen. Belangrijke dierlijke activiteiten als bijvoorbeeld het ruien van het verenpak, verharen van de vacht, groeien en met name het voortplanten vinden plaats op het meest gunstige tijdstip. Het zijn deze ritmen die de dieren beschermen tegen voedseltekorten en zorgen voor de overleving van de soort. Deze afstemming van levensprocessen op het geschikte moment of seizoen vindt bij de meeste warmbloedige dieren plaats via het waarnemen van de daglengte (*Hansen, 1985*). Het waarnemen van een daglengte en de veranderingen, kenmerkend voor een bepaald seizoen, prikkelt het hormoonstelsel en zet daarmee het dier aan tot lichamelijke activiteit.

De hormonale reactie op het waarnemen van daglengte is soortspecifiek en erfelijk bepaald. Dit betekent dat wanneer de milieuomstandigheden veranderen, de diersoort zich zal weten aan te passen. Binnen de grenzen van de genetische variatie van de populatie zullen individuen met het meest gunstige genotype zich (meer) succesvol kunnen voortplanten, waardoor de diersoort zich langzamerhand aanpast. (*Morris, 1981; Phillips, 1992*). Het vrouwelijke rund is, in tegenstelling tot bijvoorbeeld ooien en merries, het hele jaar door in oestrus en lijkt zich daarmee niet meer seizoensgebonden voort te planten. Toch heeft de daglengte nog steeds invloed op de groei, voortplanting, het optreden van puberteit, melkproductie en het gedrag van het rund.

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van hoe het waarnemen van licht en het bepalen van de daglengte bij het rund plaatsvindt en welke invloed dit heeft op het endocriene mechanisme.

3.1 Anatomie van lichtwaarneming bij het rund

Het waarnemen van licht vindt bij rundvee en bij alle andere zoogdieren, plaats door middel van het netvlies (retina) in het oog. Het waarnemen van kleur kunnen we definiëren als 'het kunnen onderscheiden van lichtstralen met verschillende golflengtes' (*Phillips, 1992*). Hiervoor zijn twee soorten receptorcellen aanwezig in het netvlies, de zogenaamde 'staafjes' en 'kegeltjes'. De staafvormige cellen in het netvlies zijn gevoelig voor licht met een lage intensiteit en zorgen voor het vermogen om verschillende grijstinten (zwart-wit) te kunnen onderscheiden. Licht dat de cel bereikt zet het lichtgevoelige pigment rodopsine om in onder andere retinal. Retinal zet via een snelle biochemische reactie een zenuwimpuls naar de hersenen in werking. Ook kegeltjes werken waarschijnlijk op deze manier. De kegeltjes zijn gevoelig voor kleur en hebben dan ook een vijftig- tot honderdmaal sterkere lichtstraal nodig dan staafjes (*Hickman en Roberts, 1994*). Daarom bevat het netvlies van een dier dat uitsluitend 's nachts actief is (bijvoorbeeld de uil) alleen staafjes en het netvlies van een dier dat uitsluitend overdag actief is (zoals de kip) alleen kegeltjes. Een netvlies dat beide fotoreceptoren bevat, geeft de omgeving het meest nauwkeurig weer (*Phillips, 1992*).

3.2 Lichtwaarneming bij het rund

Bij het rund komen kegeltjes en staafjes in het netvlies voor in een verhouding van 1:15, tegen 1:20 bij de mens. Daarmee lijkt het rund beter aangepast te zijn aan lagere lichtintensiteiten en een minder goed waarnemingsvermogen dan de mens (*Phillips, 1992*). Het beste waarnemingsvermogen van het rund ligt rond een lichtintensiteit van 120 lux (*Dannenman et al., 1984 genoemd in Phillips, 1992*), hoewel Hopster (*1995*) een optimale lichtintensiteit van 100 lux noemt.

Phillips en Weiguo (*1990*) testten het waarnemingsvermogen van zes Limousine kalveren t.o.v. zes mensen bij een afnemende lichtintensiteit vanaf 120 lux. Zij vonden bij de kalveren een ondergrens van 4,8 lux, waaronder het doelobject, een kleine hoeveelheid voer, niet meer werd waargenomen, terwijl de ondergrens van de mensen 4,2 lux bedroeg. Hopster (*1995*) noemt een intensiteit van 2 lux waarbij voorwerpen nog door kalveren kunnen worden waargenomen. Bij een dergelijke lage lichtintensiteit wordt er meer aan voorwerpen gelikt en geroken (olfactorische waarnemingen), wat aangeeft dat het visuele onderscheidingsvermogen minimaal is (*Hopster, 1995*).

3.3 Kleurwaarneming bij het rund

Riol et al. (1989) concludeerden dat rundvee lichtstralen met lange en middellange golflengtes (550-700 nanometer (nm); het kleurtraject tussen groen en rood) goed van elkaar konden onderscheiden. Lichtstralen van kortere golflengtes (< 550 nm.; kleurtraject donkerblauwgroen) werden moeilijk van elkaar onderscheiden. Gilbert en Arave (1986) onderzochten de respons van rundvee op de kleuren blauw (450 nm), groen (535 nm) en rood (610 nm). Zij stelden dat rundvee onderscheid kan maken tussen verschillende kleuren, maar moeilijk tussen blauw en groen. Ook Sofie et al. (1980) kwam tot de conclusie dat rundvee moeite heeft met het onderscheiden van blauwtinten en de kleurtinten tussen 574 en 589 nm het beste onderscheidt. Dit is te verklaren gezien het feit dat het rund in vergelijking met de mens in het netvlies minder kegeltjes en meer staafjes bezit (zie paragraaf 3.2)

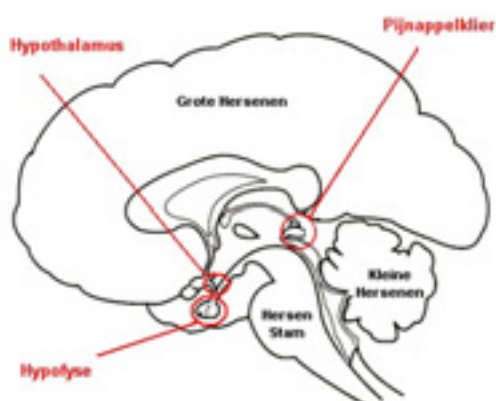
Al sinds lange tijd bestaat het bijgeloof dat met name stieren agressief gedrag kunnen vertonen bij het waarnemen van de kleur rood (Phillips, 1992). Phillips beschrijft een onderzoek van Stratton (1923). Deze concludeerde uit een gedragsstudie bij rundvee met betrekking tot kleurwaarneming en agressie, dat geen van de kleuren wit, zwart, rood of groen opgewonden of agressief gedrag veroorzaakte. Daarbij leek lichtsterkte en beweging eerder een effect te hebben. Tot slot moet bij onderzoek naar de kleurperceptie van dieren een kanttekening geplaatst worden. Nooit is er met zekerheid te zeggen hoe een dier zijn omgeving waarneemt, omdat waarneming niet alleen afhankelijk is van de bouw en werking van het oog, maar bijvoorbeeld ook van wat zich in de hersenen afspeelt (Phillips, 1992). Daarnaast gaan we vaak als referentie uit van ons eigen gezichtsvermogen.

3.4 Melatonine als endocriene regulator van bioritmen

Lange tijd is het onduidelijk geweest welk endocrien mechanisme verantwoordelijk is voor het seizoensgebonden optreden van onder andere het voortplantingsproces. Hoewel een deel van dit endocriene systeem nog steeds onduidelijk is, wordt hier een beschrijving geven van hetgeen wel bekend is.

Tot ongeveer 35 jaar geleden beschouwde men de pijnappelklier als een rudimentair orgaan. Reiter (1991) toonde aan dat diezelfde pijnappelklier ('epiphysis cerebri' of 'pineal gland') en één van de door haar afgescheiden hormonen; melatonine ('N-acetyl-5-methoxytryptamine' of 'slaaphormoon') een belangrijke rol spelen. De pijnappelklier is een pijnappelvormig aanhangsel dat met een dunne steel verbonden is met de grote hersenen (zie figuur 4). De pijnappelklier is een endocriene⁷ klier en wordt aangestuurd door het autonome zenuwstelsel⁸ (Hadley, 1992; Reiter, 1991). Wanneer lichtstralen het netvlies van het rund prikkelen, ontstaan er in de fotoreceptorcellen zenuwimpulsen, die via zenuwen hun weg vinden naar de pijnappelklier. Deze impuls heeft een remmende werking op het enzym N-acetyltransferase, dat noodzakelijk is voor de vorming van melatonine in de cellen van de pijnappelklier.

Figuur 4 Ligging van enkele klieren in de hersenen van een mens



⁷ endocrien = met interne afscheiding aan de bloedbaan, d.w.z. zonder afvoerbuis

⁸ autonome zenuwstelsel = dat deel van het zenuwstelsel dat buiten de invloed van de wil om werkt

Door dit neuro-endocriene mechanisme is er tijdens duisternis een hoog melatoninegehalte in het bloed. Bij het waarnemen van licht wordt de melatoninesynthese geremd, waardoor al snel lage melatoninegehalten in het bloed voorkomen. Zo bestaat er een dag en nachtritme in de melatoninesynthese (*Buchanan et al., 1992; Hedlund et al., 1977; Reiter, 1991; Stanisiewski et al., 1988*).

Aan de hand van dit dag en nachtritme wordt de daglengte vastgesteld. Wanneer het donker is en er verhoogde melatoninegehalten voorkomen in het bloed wordt dit als een nachtperiode geïnterpreteerd. Wanneer er licht wordt waargenomen en er verlaagde melatoninegehalten voorkomen in het bloed, volgt er een fotosensitieve fase; 13 tot 15 uren na het aanvangen van de dag. Wordt deze fase onderbroken door een nieuwe periode van duisternis en hoge melatoninegehalten in het bloed, dan wordt dit geïnterpreteerd als een korte dag (*Dahl et al., 2000; Reiter, 1991; Takahashi et al., 1982*). Een belangrijke voorwaarde voor het in stand houden van dit dagritme in de melatoninesynthese is het aanwezig zijn van een duistere periode. Dieren die worden blootgesteld aan een constante lichtperiode (24 uur per dag), verliezen het vermogen om de daglengte te bepalen (*Buchanan et al., 1992; Takahashi et al., 1982*). Stierkalveren die 24 uur per dag worden blootgesteld aan licht vertonen constant lage bloedserumconcentraties aan melatonine, waardoor het dag en nachtritme niet meer bestaat (*Stanisiewski et al., 1988*).

Een constante lichtperiode lijkt geen goede invloed uit te oefenen op het rund. Peters et al. (1980) vergeleken de voeropname, lichaamsgroei en hormoonspiegels van drie groepen jongvee dat aan verschillende daglengten werd blootgesteld. De groep jongvee die 8 uur duisternis ontving, bleek een significant hogere voeropname (6,9%) en een significant hogere lichaamsgroei (11%) te realiseren ten opzichte van de groep jongvee die aan een constante verlichting werd blootgesteld. Marcek en Swanson (1983) vonden een hogere melkproductie (7%) bij koeien die tijdens de proef werden blootgesteld aan een lange daglengte van 18 uur en voor de proef werden blootgesteld aan een natuurlijke daglengte. Dit terwijl de groep koeien die voor de proef werden blootgesteld aan 24 uur licht per dag, geen verhoogde melkproductie vertoonden bij een daglengte van 18 uur.

Naast het kunnen bepalen van een absolute daglengte lijkt ook de relatieve toe- of afname van de daglengte een rol te spelen bij (landbouw-) huisdieren. Bijvoorbeeld bij schapen is het waarnemen van een afnemende daglengte belangrijker voor het starten van de oestrus dan het waarnemen van een, in absolute zin, korte daglengte (*Morris, 1981*).

3.5 Invloed van daglengte en melatonine op andere hormonen

In de voorgaande paragrafen is duidelijk geworden dat het hormoon melatonine uit de pijnappelklier bioritmen reguleert. In de volgende hoofdstukken zal worden beschreven welke invloed het lichtregime, en dan met name de daglengte, heeft op de groei en ontwikkeling van jongvee, vruchtbaarheid, melkproductie en gedrag.

Deze veranderingen in dierprestaties vinden hoogstwaarschijnlijk plaats door beïnvloeding van afgifte of afbraak van geslachts- en groeihormonen; indirect door melatonine of direct door lichtwaarneming. In de volgende paragrafen wordt een beschrijving gegeven van de mogelijke endocriene mechanismen waardoor de feitelijke veranderingen in dierprestaties tot uiting komen.

3.5.1 Prolactine

Lange tijd is verondersteld dat veranderingen in melkproductie ten gevolge van veranderingen in het lichtregime, zouden optreden door het hormoon prolactine (*Dahl et al., 2000*). Prolactine wordt bij het rund en alle andere vertebraten geproduceerd in de hypofyse-voorkwab (*Hadley, 1992*) en is betrokken bij veel fysiologische processen, met name de melkgift. Bij het rund is prolactine uitsluitend betrokken bij de melkproductie. Onder laboratoriumomstandigheden is aangetoond dat prolactine samen met insuline en cortisol nodig is voor de melkeiwitsynthese in de epitheelcellen van de alveoli⁹. Een plotselinge stijging van de bloedserumconcentratie van prolactine enkele uren voor het afkalven blijkt een belangrijke voorwaarde te zijn voor een goede melkgift tijdens de lactatie, maar de bloedserumconcentratie aan prolactine tijdens de lactatie blijkt slechts licht gecorreleerd te zijn met de melkgift (*Tucker, 2000*). Het hormoon prolactine speelt dus een belangrijke rol bij de start van de lactatie. Tijdens een normale dracht, wanneer een groot deel van de groei van de uier plaats vindt, blijken er geen langdurig verhoogde bloedserumconcentraties van prolactine voor te komen. (*Tucker, 2000*). Het injecteren van runderen met prolactine heeft geen direct effect op de melkgift, zowel bij toediening vóór als ná de piekproductie

⁹ alveoli = melkblaasjes

(Plaut *et al.*, 1987). De uitscheiding van prolactine door de hypofyse wordt sterk gereduceerd door koude ($<0^{\circ}\text{C}$) (Peters *et al.*, 1978b), zonder effect op de melkgift (Tucker, 2000).

Het stimuleren van de tepels voor het melken heeft een snelle stijging van de bloedserumconcentratie van prolactine tot gevolg, maar deze reactie neemt af naarmate de lactatie vordert (Tucker, 2000). Daarnaast blijkt een lange daglengte de bloedserumconcentratie van prolactine bij runderen te verhogen (Buchanan *et al.*, 1993; Peters *et al.*, 1978b; Petitclerc *et al.*, 1983; Tucker *et al.*, 1984; Zinn *et al.*, 1986b). De bloedserumconcentratie van prolactine is 's nachts significant lager dan overdag (Gustafson, 1994). Newbold *et al.* (1991) vonden een 1,7 maal hogere serumconcentratie van prolactine bij drachtig jongvee dat aan lange daglengten werd blootgesteld in vergelijking met korte dagen (16 uur licht, acht uur donker; 16L:8D versus acht uur licht, 16 uur donker; 8L:16D), overigens zonder stimulerend effect op het uierweefsel. Een korte daglengte (8L:16D) en het dagelijks voeren van melatonine om zo een korte daglengte na te bootsen, leidden in een experiment met 16 stuks drachtig jongvee tot lagere bloedserumconcentraties van prolactine en een verminderde ontwikkeling van uierweefsel t.o.v. jongvee dat aan lange daglengten (16L:8D) werd blootgesteld. (Sanchez-Barcelo *et al.*, 1991).

In tegenstelling tot het voorgaande, vonden Buchanan *et al.* (1991) geen duidelijk effect van melatonine-toediening op de bloedserumconcentratie van prolactine bij melkkoeien. Het injecteren van melatonine had ook bij kalveren geen invloed op de bloedserumconcentratie van prolactine (Stanisiewski *et al.*, 1988). Zij concluderen (Stanisiewski *et al.*, 1988) dat prolactine- en melatonineconcentraties in het bloedserum zeker beide worden beïnvloed door de daglengte, maar dat er waarschijnlijk geen relatie tussen beide hormonen bestaat. De verschillende publicaties spreken elkaar dus tegen.

Het lijkt onwaarschijnlijk dat prolactine verantwoordelijk is voor het optreden van een verhoogde melkgift of groei bij lange daglengten. Allereerst heeft het toedienen van prolactine bij runderen geen effect op de melkgift (Plaut *et al.*, 1987). Daarnaast vindt een verhoogde melkgift bij koeien (Stanisiewski *et al.*, 1985) en een hogere voeropname en lichaamsgroei bij jongvee (Peters *et al.*, 1980) door lange daglengten ook plaats bij temperaturen onder 0°C , waarbij de bloedserumconcentratie van prolactine laag blijft.

3.5.2 Somatotropine

Een tweede hormoon dat betrokken zou kunnen zijn bij het reguleren van veranderingen in dierprestaties ten gevolge van het lichtregime is het hormoon somatotropine (STH) ofwel: groeihormoon (GH). Somatotropine wordt geproduceerd in de hypofyse-voorkwab onder invloed van somatotropine-releasinghormoon ofwel: groeihormoon-releasinghormoon (GHRH) uit de hypothalamus. Het hormoon stimuleert de groei van spierweefsel en de gewrichtsuitbreiding van de lange botten (Hadley, 1992).

Naast het stimuleren van lichaamsgroei, speelt somatotropine een grote rol bij de melkproductie. Bij melkvee lijkt somatotropine geen duidelijke invloed uit te oefenen op het aanvangen van de melkgift op het moment van de partus (Tucker, 2000). In een experiment met 118 Holstein koeien werd het effect van somatotropine toediening tijdens de lactatie onderzocht. Het injecteren van somatotropine vanaf de 75^e dag van de lactatie verhoogde de melkproductie met 4,6 kg FCM¹⁾/dag bij oudere koeien en 5,0 kg FCM/dag bij eerstekalfs koeien, zonder invloed op vet- en eiwitgehalten van de melk of de conditie (BCS) van de koeien (Speicher *et al.*, 1994). Sinds de goedkeuring van de Food and Drug Administration (FDA) in 1994, is het gebruik van somatotropine voor commerciële doeleinden toegestaan in de Verenigde Staten (Tucker, 2000).

Peters *et al.* (1978b) vonden geen verschil in bloedserumconcentraties van somatotropine tussen jongvee dat werd bloot gesteld aan 16 uur licht per dag en jongvee dat bij natuurlijke daglengten werd gehouden (East Lansing, Michigan; USA). Ook vonden zij geen invloed van temperatuur op de bloedserumconcentratie van somatotropine, zoals dat bij bijvoorbeeld prolactine wel gevonden wordt.

Zinn *et al.* (1986a) onderzochten het effect van twee verschillende lichtregimes op de afgifte, afbraak en halveringstijd van somatotropine bij twee groepen (16L:8D en 8L:16D) van elk acht vrouwelijke Holstein kalveren van drie maanden oud in vergelijking met vier kalveren die aan natuurlijke daglengten werden blootgesteld. Bloedserumconcentraties werden gemeten voor, tijdens en na het infuseren met somatotropine. Zij vonden geen invloed van dag- en nachtlengte op secretie, afbraak of halveringstijd van somatotropine.

¹⁾ FCM = Fat Corrected Milk, oftewel melk met een gestandaardiseerd vetgehalte van 4,0 procent

Ook een ander onderzoek van Zinn et al. (1986b), naar de invloed van dag- en nachtlengte (16L:8D of 8L:16D) op o.a. de bloedserumconcentratie van somatotropine bij pre- en postpuberaal vrouwelijke Holstein runderen, gaf geen verschillen in bloedserumconcentraties van somatotropine. Dahl et al. (1997) vonden geen verschillen in de bloedserumconcentratie van somatotropine tussen melkgevendende Holstein koeien die werden blootgesteld aan een lange dag (18L:6D) of die werden blootgesteld aan een natuurlijke dag (< 13L).

Aan de hand van deze onderzoeken kunnen we concluderen dat de secretie en afbraak van somatotropine niet of nauwelijks onder invloed staat van de daglengte. Daarmee is het erg onwaarschijnlijk dat somatotropine een belangrijke rol speelt bij het tot stand komen van veranderingen in dierprestaties door het lichtregime (Dahl et al., 2000).

3.5.3 Insuline-like Growth Factor 1 (IGF-1)

Een derde hormoon dat betrokken zou kunnen zijn bij veranderingen in dierprestaties ten gevolge van veranderingen in het lichtregime is het hormoon Insuline-like Growth Factor-1 ofwel: IGF-1 (Dahl et al., 2000).

Dit peptide-hormoon behoort tot een groep van groeifactoren die onder invloed staan van somatotropine, qua aminozuursamenstelling op het hormoon insuline lijken en, net als somatotropine, de opname van sulfaat in kraakbeen stimuleren. Het hormoon wordt geproduceerd door levercellen en wellicht andere cellen, onder invloed van somatotropine. De IGF-1-molekules worden niet in de lever opgeslagen, maar direct afgegeven aan het bloed. IGF-1 stimuleert waarschijnlijk de vetopslag in vetcellen, de eiwitsynthese in spiercellen en de groei van het aantal kraakbeencellen en daarmee de groei van de botten. Daarmee is IGF-1 een belangrijke effector van somatotropine. De concentratie aan IGF-1 in het bloedserum zou via een feedback-mechanisme invloed hebben op de uitscheiding van somatotropine-release-hormoon door de hypothalamus. Naast IGF-1 zijn er in bloedserum ook IGF-2-molekules te vinden. De functie van dit IGF-2-hormoon is onbekend (Hadley, 1992).

Omdat IGF-1 bij veel diersoorten wordt geassocieerd met een verhoogde lichaamsgroei, bijvoorbeeld bij herten en rendieren in het voorjaar, zou IGF-1 bij melkvee verantwoordelijk kunnen zijn voor veranderingen in dierprestaties ten gevolge van veranderingen in het lichtregime (Dahl et al., 2000).

Daarom onderzochten Spicer et al. (1994) of verschillende daglengten de bloedserumconcentratie van IGF-1 van Holstein kalveren van twee tot vier maanden oud, kon beïnvloeden. Vier groepen kalveren werden, na een gemeenschappelijke periode van 12 uur licht en 12 uur duisternis per dag gedurende een maand, blootgesteld aan daglengten van 24, 20, 16 of 8 uren gedurende vier maanden. Alle kalveren vertoonden een significante stijging van de bloedserumconcentratie aan IGF-1 over de vier maanden van de proef. De kalveren die werden blootgesteld aan 20 en 16 uur licht per dag vertoonden respectievelijk de grootste (48%) en kleinste (16%) stijging.

Naar aanleiding van het onderzoek van Spicer et al. (1994) testten Dahl et al. (1997) de hypothese dat een verhoogde melkgift veroorzaakt door een lange daglengte, geassocieerd kan worden met een verhoogde bloedserumconcentratie aan IGF-1. Een groep van 19 lacterende koeien werden blootgesteld aan een natuurlijke daglengte (13L:11D) en een tweede groep lacterende koeien aan een lange daglengte (18L:6D). Deze laatste groep (18L:6D) produceerde significant meer melk (gem: 37,8 t.o.v. 36,0 kg/koe/dag). Dit effect ging hand in hand met een significant hogere gemiddelde bloedserumconcentratie van IGF-1 vanaf de veertiende dag van de proef in de 18L:6D-groep.

Smith et al. (1997) onderzochten of verhoogde bloedserumconcentraties van melatonine die van IGF-1 kon onderdrukken, om zo een korte dag na te bootsen. Twee groepen van elk zes prepuberale Holstein runderen werden blootgesteld aan een lange daglengte (16L:8D), waarbij één groep gedurende acht weken dagelijks melatonine kreeg toegediend (4 mg/100 kg lich. gew.). De kalveren die dagelijks melatonine kregen toegediend vertoonden geen stijging in de bloedserumconcentratie van IGF-1 door de weken heen, terwijl de andere groep deze stijging wel vertoonde. Hiermee lijkt melatonine IGF-1 te onderdrukken.

Een aantal andere zaken pleiten voor een rol van IGF-1 in dezen. Allereerst komen IGF-1-receptoren voor in uierweefsel van lacterende koeien en bij geiten kan de melkgift acuut worden opgewekt door IGF-1 in een slagader vlak bij de uier te injecteren (Dahl et al., 2000; Tucker, 2000). Aan de hand van de in deze paragraaf genoemde publicaties kunnen we stellen dat IGF-1 (mede) verantwoordelijk zou kunnen zijn voor de totstandkoming van veranderingen in melkproductie en groei bij rundvee door lange daglengten (Dahl et al., 2000).

3.5.4 Glucocorticosteroiden

Een groep hormonen uit de bijnieren, de glucocorticosteroiden, zijn belangrijk voor de melkproductie bij rundvee en andere zoogdieren (*Hadley, 1992*). Met name het hormoon cortisol is belangrijk voor een goede ontwikkeling van het uierweefsel van runderen. Het injecteren van glucocorticosteroiden in niet-lacterende koeien met een goed ontwikkeld systeem van melkblaasjes en melkbuizen wekt de start van de melkproductie op (*Tucker, 2000*).

Naast de rol van glucocorticosteroiden bij de melkproductie, zijn glucocorticosteroiden ook betrokken bij stressreacties. Bij het optreden van stress reageert het lichaam met adrenalineproductie door de bijnieren. Adrenaline maakt het lichaam binnen enkele seconden klaar voor vlucht- of vechtgedrag door o.a. de glucoseafgifte van levercellen aan het bloed te stimuleren. Bij aanhoudende stress worden er glucocorticosteroiden geproduceerd die de opslag van glucose in de levercellen in de vorm van glycogeen stimuleren. Glucocorticosteroiden hebben daarbij een anabolische invloed op de levercellen (vorming van glycogeen uit glucose), maar juist een katabolische invloed op spiercellen (afbraak van eiwitten tot voor de lever beschikbare aminozuren) en vetcellen (afbraak van vetten tot voor de lever beschikbare vetzuren) (*Hadley, 1992*).

Een derde belangrijke eigenschap van de glucocorticosteroiden is haar immuunonderdrukkende werking. Glucocorticosteroiden zorgen voor atrofie¹⁰ van de lymfeknopen, thymus en de milt, waardoor lagere concentraties van lymfocyten in het bloed voorkomen, wat de gevoeligheid voor infecties aanzienlijk verhoogt. Daarentegen worden glucocorticosteroiden gebruikt als ontstekingsremmers omdat ze de infiltratie van lymfocyten in het geïnfecteerde weefsel en daarmee het optreden van ongewenste ontstekingsverschijnselen, remmen (*Hadley, 1992*).

Vanwege deze belangrijke invloeden van glucocorticosteroiden op de melkproductie, groei en welzijn zijn bij verschillende onderzoeken m.b.t. lichtinvloeden bij melkvee de bloedserumconcentraties van glucocorticosteroiden bepaald.

Peters et al. (1980) onderzocht het effect van daglengte (natuurlijke daglengten, 16L:8D of 24L:0D) op de lichaamsgroei en hormoonconcentraties van Holstein jongvee van drie tot vijf maanden oud. Zij vonden geen verschil in bloedserumconcentraties van glucocorticosteroiden tussen de drie proefgroepen. Gustafson (1994) onderzocht het effect van twee verschillende lichtregimes (9,5L:14,5D en 17,5L:6,5D) op de melkgift en bloedserumconcentraties van verschillende hormonen bij Zweedse roodbonte dubbeldoelkoeien. Tussen beide proefgroepen vond hij geen significante verschillen in de bloedserumconcentraties van cortisol. Tot slot deed Zinn et al. (1986b) onderzoek naar de invloed van daglengte op de groei, karkassamenstelling en bloedserumconcentraties van verschillende hormonen bij jongvee. Ook zij concluderen dat de daglengte de bloedserumconcentratie aan cortisol niet beïnvloedt.

In tegenstelling tot de hierboven genoemde onderzoeken, beweren Tucker et al. (1984) aan de hand van een onderzoek van Leining et al. dat de verhoogde eiwitopslag in de spieren van jongvee t.g.v. een lange daglengte moet worden geassocieerd met een verlaagde bloedserumconcentratie van glucocorticosteroiden.

Aan de hand van de hier beschreven onderzoeken lijkt het onwaarschijnlijk dat de bloedserumconcentratie van glucocorticosteroiden, met name cortisol, onder invloed staat van de daglengte. Daardoor is het onwaarschijnlijk dat blootstelling aan lange dagen een verminderde weerstand veroorzaakt en lijken glucocorticosteroiden niet of nauwelijks betrokken bij het optreden van hogere melkproducties bij melkvee en een hogere lichaamsgroei bij jongvee, ten gevolge van een lange daglengte.

3.5.5 Gonadotrope hormonen

Aangenomen wordt dat langere daglengten een positieve invloed hebben op de herstart van de vruchtbaarheidscyclus na de het afkalven. Bij jongvee versnellen herfst- en winteromstandigheden tijdens de eerste zes maanden van het leven de komst van de puberteit. Het neuro-endocriene mechanisme dat hiervoor verantwoordelijk is wordt gezocht in veranderingen in de vorming of afbraak van de gonadotrope¹¹ hormonen

¹⁰ atrofie = afslanking van weefsel

¹¹ gonadotroop = betrekking hebbend op de gonaden, oftewel de geslachtsorganen

Follikel Stimulerend Hormoon en het Luteïniserend Hormoon (LH). Beide hormonen worden geproduceerd in de hypofyse-voorkwab, onder invloed van het Gonadotroop Releasing Hormoon, oftewel GnRH uit de hypothalamus (zie figuur 4). Het FSH stimuleert de vorming van de follikels, het LH is van groot belang voor de ovulatie en voor de ontwikkeling en functie van het gele lichaam dat zich na ovulatie op de eierstok ontwikkelt (*De Bois, 1986*).

Om inzicht te krijgen in het endocriene mechanisme achter het vervroegd optreden van de puberteit bij jongvee onder invloed van lange daglengten, onderzochten Schillo et al. (*1983*) het effect van seizoen (daglengte en temperatuur) op de leeftijd van puberteit. Twee groepen kalveren werden op kunstmatige wijze blootgesteld aan zomeromstandigheden (lente, zomer en de vroege herfst) of aan winteromstandigheden (herfst, winter en de vroege lente) gedurende een jaar. De zomer-groep bleek eerder in puberteit te komen ($P < 0,06$), wat gepaard ging met een hogere gemiddelde bloedserumconcentratie aan LH (3,45 ng/ml versus 0,47 ng/ml; $P < 0,01$). Bloedserumconcentraties aan FSH verschilden niet significant tussen beide groepen, maar leken af te nemen naar mate de dieren ouder werden.

Het herstarten van de postpartum vruchtbaarheidscyclus bij melkvee wordt gereguleerd door een stijging van de FSH-concentratie in het bloedserum door GnRH uit de hypothalamus en oestradiol vanuit de rijpende follikel. (*Hansen, 1985*). Hansen noemt in zijn review een onderzoek van Lamming et al. Zij vonden dat herfstkalvende koeien na de partus lagere FSH-bloedserumconcentraties hadden dan koeien die in de lente hadden afgekalfd. Ook de gevoeligheid van de hypofyse voor de invloed van GnRH na de partus bleek in dit onderzoek eerder hersteld te zijn voor herfstkalvende koeien (20 versus 30 dagen na partus) dan voor lentekalvende koeien (*Hansen, 1985*).

4 Invloed van lichtregime op jongveegroei en -ontwikkeling

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de invloed van het lichtregime op de lichaamsgroei en de ontwikkeling van jongvee. Er wordt hierbij ook gekeken naar de effecten van licht op het geboortetijdstip. In hoofdstuk 5 wordt de invloed van licht op de vruchtbaarheid van melkvee beschreven.

4.1 Invloed van lichtregime op het tijdstip van geboorte

Bij verschillende zoogdieren valt het tijdstip wanneer de geboorte inzet op een vast moment. Een aantal voorbeelden hiervan: merries werpen hun veulen veelal 's nachts en ratten werpen hun jongen meestal overdag. Bij mensen vinden 's morgens de meeste geboortes plaats (*Evans et al., 1989a*). Waarnemingen over het tijdstip van kalven bij rundvee zijn niet eenduidig. *Evans et al. (1989a)* vonden in verschillende andere studies dat er per seizoen een verschil is waar te nemen in het moment van kalven. In de herfst kalven koeien voornamelijk af tijdens de donkere uren en in het voorjaar en zomer zou het overdag afkalven meer voorkomen. Dit zou te maken kunnen hebben met de langere dagen in het voorjaar en zomer, waardoor de kans op het overdag afkalven groter is.

Evans et al. (1989a) wilden weten of het afkalfpatroon afhankelijk is van een dagelijks terugkerend patroon. Daarom onderzochten zij of er een verband bestaat tussen de lichtperiode en het tijdstip van afkalven. Het bleek dat wanneer het licht aan was van 05:00 tot 11:00 uur en van 18:00 tot 20:00 uur dit significant invloed ($P < 0.004$) had op de afkalftijd; de acht dieren in deze proef kalfden af in de normale werktijd (gem. tijdstip $13:15 \pm 1,5$ u). Verder bleek van de acht dieren die bloot werden gesteld aan twaalf uur continu licht, 25% van de dieren af te kalven in de normale werktijd (05:00-17:30). Conclusie was dat het afkalftijdstip afhankelijk is van een dagelijks terugkerend patroon, zolang de koeien maar bloot worden gesteld aan een periode dat het licht aan is van tenminste dertien uur. Wanneer deze periode wordt veranderd blijkt er door het licht aan te doen van 18:00-20:00 uur sturing mogelijk in het afkalftijdstip. Maar welk hormoon hiervoor verantwoordelijk is, is nog onduidelijk.

Een opmerking die bij deze resultaten kan worden geplaatst is dat het moment dat de kop van het kalf buiten de koe komt wordt gezien als het moment van geboorte. Hierin wordt de onderlinge variatie in geboorteverloop niet meegenomen. Het moment dat de geboorte wordt ingezet en de totale duur van het geboorteprocess blijft in deze proeven buiten beschouwing. Het precieze mechanisme dat het tijdstip van afkalven beïnvloedt is nog niet bekend. Verder onderzoek is nodig om helder te krijgen welke hormonen nu precies verantwoordelijk zijn voor het dagelijks terugkerende ritme.

Barash et al. (1996) deden een onderzoek naar het effect van geboortemaand en de afkalfmaand op de melkproductie. Voor alle lactaties bleek dat dieren die waren geboren in maart het minste produceerden. Dieren die geboren waren tussen juni en september bleken de hoogste lactatieproductie te realiseren. Voor de eerste lactatie bleek de geboortemaand duidelijk verantwoordelijk voor de hoogte van de lactatieproductie. Dit wordt later in het leven onbelangrijker en dan wordt de kalfmaand belangrijker. In hoofdstuk zes; melkproductie, wordt hier dieper op ingegaan.

4.2 Invloed van lichtregime op lichaamsgroei van jongvee

Een dagelijkse periode van zestien uur licht en een periode van acht uur donker (16L:8D) gedurende vier maanden zorgt voor een toename in lichaamsgewicht bij jongvee ten opzichte van jongvee dat bloot wordt gesteld aan een natuurlijke daglengte. De verlengde lichtperiode heeft ook een gunstig effect op de komst van de puberteit. Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar het effect van daglengte op jongvee.

Verschuillende praktijkproeven hebben laten zien dat een aangepaste lichtperiode van 16L:8D in vergelijking met lichtperiodes van acht tot tien uur een hogere groei kan geven tot wel 18%, (*Peters et al. 1980; Petitclerc et al. 1983; Tucker et al. 1984; Zinn et al. 1986b*), zie ook Tabel 4. Deze onderzoeken hebben in verschillende jaargetijden plaats gevonden.

Tabel 4 Effect van aangepaste daglengten op de lichaamsgroei van jongvee vergeleken met natuurlijke daglengten volgens verschillende onderzoeken

Auteur	Locatie	Ras	Licht-regime	Lichttype	Verskil in groei (%) ¹
<i>Enright et al. (1995)</i>	Dunsany (53 ^o N)	Holstein	16L:8D ²	Fluoriserend	geen
<i>Zinn et al. (1986b)</i>	Michigan (42 ^o N)	Holstein	16L:8D	Vita-lite	8
	Michigan (42 ^o N)	Holstein	16L:8D	Cool-wite	6
<i>Petitclerc et al. (1983)</i>	Michigan (42 ^o N)	Holstein	16L:8D	-	10-18
<i>Peters et al. (1980)</i>	Michigan (42 ^o N)	Holstein	16L:8D	Cool-wite	17

¹ Verschil in groei vergeleken met een natuurlijke daglengte

² L= uren achtereen licht D= uren achtereen donker

Peters *et al.* (1978) vonden dat jongvee een periode van tenminste 8 uur duisternis nodig heeft. Het effect van blootstellen van het jongvee aan een bepaald lichtregime is sterk afhankelijk van de leeftijd van de dieren aan het begin van de proef. De effecten op groei bij pre-puberaal¹² vrouwelijk jongvee (110 kg) bleek het grootst (Tucker *et al.* 1984). Dus de leeftijd / puberteitsstatus van dieren aan het begin van een behandeling en de duur van behandeling met een lichtregime, beïnvloeden het groei-effect. Andere factoren die van invloed kunnen zijn op een groeitoename zijn de intensiteit van het licht, het licht/donker-patroon en de duur van het kunstlicht. Tucker *et al.* (1984) beschrijven een onderzoek waaruit bleek dat jongvee dat werd blootgesteld aan een intermitterend lichtregime 6L:8D:2L:8D 3% sneller groeit dan blootstelling aan het lichtregime 8L:16D.

Zinn *et al.* (1986b) beweren dat jongvee dat postpuberaal is aan het begin van een behandeling met het lichtregime 16L:8D langzamer groeit dan dieren die bloot worden gesteld aan een behandeling met een lichtregime 8L:16D. In tegenstelling tot dit onderzoek vinden Enright *et al.* (1995) na pre- en postpuberaal jongvee te hebben blootgesteld aan verschillende lichtregimes, geen significant verschil in groei ($P > 0.10$). De pinken uit deze proef werden met een energiearm rantsoen onbepaald gevoerd. In het experiment van Zinn *et al.* (1986b), werden de vaarzen gevoerd met een energierijk rantsoen. Volgens Enright *et al.* (1995) is het verschil in de proef van Zinn *et al.* (1986b) te wijten aan de toename in vetaanzet. Tucker *et al.* (1984) beweren ook dat korte dagen juist bevorderlijk zijn voor aanzet van vet. En dat lange lichtperiodes de aanzetting van spiereiwit stimuleren. De toename in vetaanzet zou ook te verklaren zijn door ervan uit te gaan dat kortere dagen worden geïnterpreteerd als winteromstandigheden en dat de dieren als reactie daarop een vetbuffer opbouwen. Onduidelijk is welke rol de temperatuur hierin speelt.

Petitclerc *et al.* (1983) wilden nagaan wat het effect van een energierijk rantsoen in combinatie met een lichtregime van 16L:8D op de jongveegroei is. Zij maakten vier groepen met 15 dieren. Twee werden blootgesteld aan 16L:8D en de andere twee aan 8L:16D. Binnen deze twee groepen werd één groep onbepaald gevoerd met een energie hoogwaardig rantsoen en de andere beperkt gevoerd met een relatief arm rantsoen. Opvallend in deze proef is het verschil in drogestof opname en de groei per dag tussen groep 16L:8D energierijk en 8L:16D energierijk (zie Tabel 5). Dit effect kan worden toegeschreven aan het gevoerde lichtregime. Verder komt in deze proef naar voren dat 16L:8D met een relatief arm rantsoen de lichaamsgroei stimuleert ten opzichte van 8L:16D. De individuele voeropname van deze dieren kon niet worden bepaald, daarom kan niet worden berekend of de verschillen in ds-opname significant zijn.

Tabel 5 Effect van daglengte en rantsoen op de gem. groei per dier/dag, naar een onderzoek van Petitclerc *et al.* (1983)

Lichtregime	Rantsoen	Gem. groei per dag (kg)	Gem ds-opname (%) ¹
16L:8D	Energierijk ad lib.	1,08	2,85
16L:8D	Energiearm	0,72	1,86
8L:16D	Energierijk ad lib.	0,98	2,76
8L:16D	Energiearm	0,61	1,94

¹ Gemiddelde ds-opname uitgedrukt als percentage van het lichaamsgewicht

¹² De puberteit is de leeftijd waarop dieren voor het eerst in oestrus komen, gemiddeld komen pinken op een leeftijd van 10 maanden voor het eerst in oestrus met een variatie van 4-16 maanden. De eerste ovulatie gaat echter nooit met oestrusgedrag gepaard (Dijkstra, 2003).

Het voeren van een energierijk rantsoen kent volgens Petitclerc et al. (1984) een groot nadeel namelijk, vervetting van het uierweefsel. In deze proef werden pre-puberale pinken blootgesteld aan verschillende lichtregimes 16L:8D en 8L:16D en binnen deze groepen werden twee groepen gemaakt die werden gevoerd met een energierijk rantsoen of een energiearm rantsoen. Uit deze studie kwam naar voren dat bij de dieren uit de groep 16L:8D/energiearm een verhoogd lichaamsgewicht was waar te nemen (9,8%) en een hoger percentage spiereiwit (11%) en vet (24%) in de 9-10-11-ribsectie ten opzichte van 8L:16D/energiearm. Aan het einde van deze proef werden de dieren geslacht en werden de uiers van deze dieren onderzocht. Het bleek dat de DNA-concentratie in de uiers van de dieren 16L:8D/energiearm veel lager lag. Het aantal melkcellen (alveolen) is dus lager in de uier. Dit is te wijten aan een toename in vetaanzet in het extraparenchym¹³. Door het voeren van een energierijk rantsoen worden de buitenste melkcellen van de alveolen omgezet in extraparenchym weefsel. Door een vervette uier in de jeugd wordt een lagere melkproductie als melkkoe gerealiseerd.

Het rantsoen en het lichtregime hebben een duidelijke invloed op de lichaamsgroei. Bij de ontwikkeling van de uier is het rantsoen belangrijk en niet het lichtregime. Newbold et al. (1991) en Barash et al. (1996) bevestigen dat de ontwikkeling van het uierweefsel tijdens de prepuberale fase niet wordt gestuurd door daglengte of temperatuur.

¹³ Vetweefselcellen (reserves) die om de alveolen heen liggen

5 Invloed van lichtregime op vruchtbaarheid van melkvee

In dit hoofdstuk wordt aandacht gegeven aan de invloed van het lichtregime op de vruchtbaarheid van melkvee. De melkkoeien zoals wij die nu kennen, planten zich niet meer seizoensgebonden voort, zoals bijvoorbeeld wel het geval is bij merries en oaien. Waarschijnlijk is in het verleden de natuurlijke selectie in de rundveepopulatie weggevallen, omdat de koeien werden gehouden in een beschermde omgeving waarin zij werden gehuisvest en gevoerd (*Hansen, 1985*). In seizoensgebonden voortplantende dieren verandert de secretie van luteïniserend hormoon (LH), follikel stimulerend hormoon (FSH), progesteron en testosteron ingrijpend wanneer de dagen langer of korter worden (*Tucker, 1985*). Hoewel melkkoeien zich niet meer seizoensgebonden voortplanten, is er nog steeds invloed van daglengte op hun voortplanting en op de leeftijd waarop de puberteit aanvangt (*Phillips et al., 1992*).

5.1 Invloed van daglengte op de leeftijd van puberteit

In 1983 vonden Hansen et al. significante effecten van een lichtregime (18L:6D) op de leeftijd waarop de eerste ovulatie optrad. Volgens Hansen (*1985*) is dit in natuurlijke situaties ook te zien en heeft het seizoen waarin kalveren worden geboren grote invloed op de komst van de puberteit. Herfst- en winteromstandigheden tijdens de eerste zes maanden van het leven versnellen de komst van de puberteit, terwijl onder dezelfde omstandigheden, maar dan zes maanden later, de komst van de puberteit wordt vertraagd. Verwacht wordt dat de langere lichtperiode in de zomer hiervoor verantwoordelijk is. In tegenstelling tot het voorgaande, beschrijft Hansen (*1985*) een ander onderzoek waaruit blijkt dat kalveren geboren tijdens de lente en zomer eerder in de puberteit kwamen.

In deze proeven wordt het geboorteseizoen vergeleken terwijl de ontwikkeling van het dier plaats vindt in meerdere seizoenen. Tijdens deze seizoenen veranderen niet alleen de daglengten maar ook de temperatuur en het voedsel aanbod. Daarnaast zijn deze proeven uitgevoerd op verschillende plaatsen in de wereld waar de seizoenen nogal van elkaar verschillen.

Petitclerc et al. (*1983*) namen waar dat wanneer pre-puberaal jongvee wordt blootgesteld aan een lichtduur van 16L:8D de dieren op een lager gewicht, dus eerder, in de puberteit komen. Reksen et al. (*1999*) bevestigen dat. Zij vonden een significante correlatie tussen zowel daglengte en leeftijd bij eerste inseminatie als de afkalfleeftijd van de vaarzen (ALVA, beide: $P < 0,01$). In hetzelfde onderzoek (*Reksen et al., 1999*) vonden zij geen invloed van lichtintensiteit op de leeftijd van eerste inseminatie dan wel de ALVA.

5.2 Invloed van daglengte op vruchtbaarheidskengetallen

Reksen et al. (*1999*) hebben in Noorwegen bij Noors roodbont vee onderzoek gedaan naar de invloed van licht op vruchtbaarheid. Zij stuurden een enquête naar melkveehouders in Noorwegen, waarvan 1538 teruggestuurde formulieren werden gebruikt voor het onderzoek. De enquête moest onder andere duidelijk maken hoeveel (lichtintensiteit) en hoelang (daglengte) het melkvee bij de verschillende veehouders werd blootgesteld aan licht. Deze gegevens werden gekoppeld aan melkproductie- en vruchtbaarheidsgegevens, waarna lineaire regressie werd verricht. De vruchtbaarheidskengetallen waren: 'aantal open dagen', 'tussenkalftijd', 'aantal inseminaties per drachtige koe' en het 'non-returnpercentage binnen 60 dagen'. Het onderzoek dat in deze publicatie wordt beschreven is waarschijnlijk het enige verrichte praktijkonderzoek naar de invloed van daglengte en lichtintensiteit op de vruchtbaarheidsresultaten van melkvee.

De melkproductie bleek positief gecorreleerd aan de daglengte (0,50; $P < 0,01$) en aan het gebruik van beperkte nachtverlichting (schemer- of dimverlichting) in de stal (0,51; $P = 0,03$), maar niet aan de lichtsterkte in de stal. Verder bleek de melkproductie tijdens de eerste inseminatie sterk positief gecorreleerd met de dagelijkse voeropname (0,67; $P < 0,01$) en met het gebruik van een zwakke nachtverlichting (0,51; $P = 0,03$). Een hogere voeropname werd geassocieerd met een kleiner aantal open dagen (-0,66; $P = 0,03$) en een kortere tussenkalftijd (-0,95; $P < 0,01$). Het gebruik van een zwakke nachtverlichting verkleint het aantal open dagen (-4,0; $P < 0,01$), verkort de tussenkalftijd (-4,0; $P < 0,01$), verlaagd het aantal inseminaties per drachtige koe (-0,07; $P = 0,05$) en verhoogt het non-returnpercentage (3,05; $P = 0,02$). Daglengte en lichtsterkte (in Watt/m²), tijdens de licht periode bleken niet significant gecorreleerd met een van de vier vruchtbaarheidskengetallen.

5.3 Invloed van daglengte op de post-partum voortplantingscyclus

In de review van Hansen (1985) wordt een duidelijke beschrijving gegeven van de invloed van daglengte op de vruchtbaarheid van melkkoeien. Aan de hand van elf gepubliceerde onderzoeken wordt gesteld dat het interval tussen afkalven en eerste tochtigheid langer is bij koeien die in de winter of lente kalven t.o.v. koeien die in de zomer of herfst kalven. Deze effecten van het seizoen op het herstarten van de vruchtbaarheidscyclus werden ook gevonden in onderzoeken waar de onderzoeksgegevens werden gecorrigeerd voor lichaamsgewicht en waar de koeien het hele jaar door op exact dezelfde wijze werden gehouden. Daarnaast blijkt dat dit seizoenseffect op het herstarten van de vruchtbaarheidscyclus groter is bij koeien die een laagwaardig rantsoen krijgen gevoerd, t.o.v. koeien die een hoogwaardig rantsoen voorgeschoteld krijgen en ook is dit effect groter bij eerste-kalfskoeien t.o.v. oudere koeien.

6 Invloed van lichtregime op melkproductie

Er zijn verschillende managementfactoren die een positieve invloed kunnen hebben op melkproductie, zoals voeding, het toedienen van BST of het driemaal daags melken. Een ander managementinstrument is het lichtregime. Verschillende onderzoekers hebben een effect van het lichtregime op de melkproductie aangetoond. De uitkomsten van deze onderzoeken zullen in dit hoofdstuk worden beschreven.

6.1 Invloed van daglengte op melkproductie

Peters et al. vonden als één van de eerste onderzoekers (1978a) dat een hogere melkproductie van 6-15% kon worden gerealiseerd wanneer het lichtregime werd aangepast naar 16 uur licht en 8 uur donker (16L:8D). Dit in vergelijking met een natuurlijke daglengte. Verschillende andere onderzoeken bevestigden dit; zie Tabel 6. Deze onderzoeken zijn gedaan tijdens verschillende perioden van het jaar. De melkproductiestijging wordt veelal gevolgd door een verhoogde voeropname. De behoefte aan voedingsstoffen van de uier stimuleert deze verhoogde voeropname. Deze bevinding wordt ook gevonden wanneer er gebruikt wordt gemaakt van andere melkstimulerende middelen als bST. Het eiwitgehalte van de melk wordt volgens deze onderzoeken niet beïnvloed door het lichtregime. Twee onderzoeken melden een lager vetgehalte van de melk (Philips en Schofield, 1989; Dahl et al., 1998). Uit een onderzoek van Miller et al. (1999) blijkt dat er een positief verband bestaat tussen het lichtregime en het lactosegehalte van de melk ($P=0.01$). Volgens dit onderzoek is het percentage lactose bij een lange dag (18L:6D) significant hoger dan bij een natuurlijke daglengte (9,5-14L).

Tabel 6 Effecten van een verlengde dag (16L:8D) in vergelijking met een natuurlijke daglengte op de melkproductie, het vetgehalte en de voeropname zoals gevonden in de publicaties (Dahl et al., 2000)

Auteur:	Locatie:	Verskil in melk (kg/dag)	Verskil in vet (%)	Verskil in voeropname (%)
Peters et al. (1978)	Michigan (42 ^o N)	+ 2,0	g.v. ¹	
Peters et al. (1981)	Michigan (42 ^o N)	+ 1,4	g.v.	+ 6,1
Marcek en Swanson (1984)	Oregon (45 ^o N)	+ 1,8	var ²	
Stanisiewski et al. (1985)	Michigan (42 ^o N)	+ 2,2	0,16	
Bilodeau et al. (1989)	Quebec (47 ^o N)	+ 2,0	g.v.	+ 4,0
Evans en Hacker (1989)	Ontario (43 ^o N)	+ 2,8	g.v.	g.v.
Philips en Schofield (1989)	Wales (53 ^o N)	+ 3,3	0,18	g.v.
Dahl et al. (1997)	Maryland (39 ^o N)	+ 2,2	g.v.	g.v.
Reksen et al. (1999)	Noorwegen (60-62 ^o N)	+ 0,5		
Miller et al. (1999)	Maryland (39 ^o N)	+ 1,9	g.v.	+ 3,5

¹ Geen verschillen (g.v.)

² Variabel (var.)

In de verrichte onderzoeken bleef de lengte van de dag gelijk, omdat deze kunstmatig op 16 uur licht werd gehouden. Het effect van de dagelijkse verandering van de daglengte en de lichtintensiteit wordt daarmee niet duidelijk.

Aharoni et al. (1999) hebben in Israël een onderzoek gedaan om het effect van de daglengte in de seizoenen op de melkproductie te onderzoeken. Daarvoor hebben zij de melkproductie van ruim 2200 melkkoeien, verdeeld over drie kuddes, over een periode van drie jaar gevolgd. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat melkproductie positief gecorreleerd is aan daglengte; dit was significant ($P < 0.001$). Het gehalte van vet in de melk bleek vooral te worden gestuurd door de temperatuur. Het eiwitpercentage wordt volgens Aharoni et al. (1999) gestuurd door de daglengte. Wellicht speelt het seizoenseffect hier een belangrijke rol in. In de onderzoeken genoemd in Tabel 6 wordt geen verschil in eiwit waargenomen, hier wordt de lichtperiode kunstmatig bewerkstelligd.

Geconcludeerd kon worden dat koeien die kalven in de zomer en in de herfst op de piek van hun lactatie zijn, minder melk produceren met een lagere concentratie vet en eiwit vergeleken met dieren die kalven in de herfst, en hun piek in de winter hebben. Aharoni et al (1999) beschrijven een onderzoek van Nianogo et al. (1991) in Georgia USA waar dit ook werd gevonden. Kashiwamura et al. (1991) uit Japan bevestigden ook dit verloop in melkproductie binnen de seizoenen.

Barash et al. (1996) deden een onderzoek naar het effect van geboortemaand en kalfmaand op de melkproductie. Voor alle lactaties bleek dat dieren die waren geboren in maart het minste produceerden. Dieren die geboren waren tussen juni en september bleken de hoogste melkproductie te realiseren. De kalfmaand maart bleek bij eerste-kalfskoeien verantwoordelijk voor de laagste melkproductie. Voor latere lactaties was dat juli. De hoogste lactatieproductie werd voor eerste-kalfskoeien gerealiseerd door de dieren die kalfden in november en voor de latere lactaties was dat de maand december. De conclusie was dat de productie het laagste was voor koeien geboren in de lente en het hoogste voor koeien geboren in de herfst. Onduidelijk is of deze hogere melkproductie hier wordt veroorzaakt door een betere persistentie of door een hogere piekproductie. Uit het onderzoek van Peters (1978) blijkt dat de dieren uit de 16L:8D-groep over de gehele lactatie meer melk produceerden. De hogere melkproductie werd dus veroorzaakt door een hogere productie tijdens alle dagen van de lactatie. Ook de persistentie van de dieren uit de 16L:8D-groep leek beter; dit laatste was een trend, niet significant.

Bij meerdere onderzoeken wordt duidelijk dat een verhoogde melkproductie een verhoogde voeropname tot gevolg (en niet als oorzaak) heeft (Dahl, 2000). De melkproductie wordt bij lange daglengten op hormonale wijze gestimuleerd. Dit endocriene mechanisme is in het hoofdstuk 3 uitgelegd. Tucker (1985) beschrijft dat aangetoond is dat dieren die worden blootgesteld aan 16L:8D efficiënter (verhouding tussen voer als input en melk als output) met hun voer omgaan. Petitclerc et al (1983) vonden dit ook bij pinken die bloot werden gesteld aan 16L:8D efficiënter met hun voer omgaan dan pinken blootgesteld aan het lichtregime 8L:16D (zie ook paragraaf 4.2).

6.2 Invloed van lichtregime tijdens de droogstand op de lactatie

Miller et al. (2000) vonden dat droge koeien aan een ander lichtregime dan melkkoeien moeten worden blootgesteld om daarmee een productiestijging van ruim drie kilogram per dag in de eerste vier maanden van de lactatie te bewerkstelligen. Voor deze proef werden twee groepen van zestien koeien gemaakt. De eerste groep werd tijdens droogstand blootgesteld aan een lange dag (16L:8D) en de tweede groep aan een korte dag (8L:16D). Uit het onderzoek bleek dat de dieren die tijdens de droogstand bloot waren gesteld aan een korte dag tijdens de lactatie significant meer melk gaven (3,2 kg per koe/dag; $P=0,05$) dan hun stalgenoten die tijdens de droogstand aan lange dagen waren blootgesteld. Ook werd een significant ($P=0,04$) hogere voeropname waargenomen bij de dieren die tijdens de droogstand aan 8L:16D waren blootgesteld. Het gehalte prolactine in de melk was bij de 8L:16D-groep tijdens de lactatie significant lager (11,7 ng/ml; $sd=2,8$; $P=0,05$). Er werden echter geen verschillen in de vet- en eiwitgehaltenes van de melk gevonden. Praktische gezien lijkt het niet altijd uitvoerbaar om droogstaande koeien aan een ander lichtregime bloot te stellen dan melkgevende koeien. Twee van elkaar gescheiden stallen zijn hiervoor wenselijk; iets wat niet in alle praktijksituaties te realiseren is.

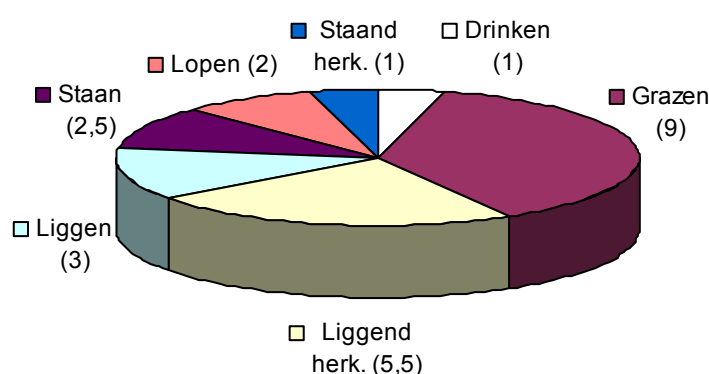
7 Invloed van lichtregime op het gedrag van melkvee

Het gedrag van melkvee is een belangrijke factor die beïnvloed wordt door het lichtregime. In de hoofdstukken hiervoor is duidelijk geworden dat lange daglengten bij melkvee en jongvee een positieve invloed kan hebben op de melkproductie en lichaamsgroei. In dit hoofdstuk wordt aan de hand van een viertal onderzoeken, beschreven welke effecten een lange of korte daglengte heeft op het alledaagse natuurlijke diergedrag en het oestrusgedrag.

7.1 Natuurlijk gedrag

Onder natuurlijk gedrag verstaan we hier: dagelijks terugkerende gedragspatronen als liggen, lopen, staan, vreten, herkauwen, enzovoort. In onderstaande Figuur 4 is weergegeven hoe de dagelijkse tijdsbesteding van een melkkoe (onder natuurlijke omstandigheden) eruit ziet.

Figuur 4 Tijdsbesteding van een melkkoe in uren per etmaal (Wiepkema, 1993)



Peters et al. (1980) onderzochten het effect van verschillende daglengten op de groei van Holstein jongvee. Dieren die werden blootgesteld aan een lange daglengte (16L:8D) hadden een significante hogere voeropname (6,9 en 8,3%) dan jongvee dat aan respectievelijk volledige verlichting (24L:0D) of natuurlijke daglengten werd blootgesteld. Ook volgens het onderzoek van Peters et al. (1981) heeft een lange daglengte een hogere voeropname bij melkvee tot gevolg.

Naar aanleiding van deze twee onderzoeken onderzochten Tanida et al. (1983) de invloed van daglengte op het diergedrag, met name het vreetgedrag. Twee groepen van elk 14 koeien werden blootgesteld aan een lange daglengte (16L:8D) of een continue lichtperiode (24L:0D) gedurende ongeveer 16 weken. Uit één observatie vóór en twee observaties tijdens de proef, van elk 24 uren, bleek dat er geen verschil was in melkproductie of vreetgedrag tussen beide proefgroepen (zie Tabel 7).

Tabel 7 Gemiddelden en effect van lichtregime (18L:6Dmin 24L) op eetgedrag en productie

Gedragskenmerk	Observatiedag 2		Observatiedag 3	
	Gemiddelde ^a	Effect ^b	Gemiddelde	Effect
Tot. vreettijd (min.)	276,4	- 8,3	287,0	20,7
Aantal vreetmomenten	10,6	2,4^c	12,3	2,9
Tijd per vreetmoment (min.)	27,5	- 7,3	24,3	- 4,5
Tot. rusttijd liggend (min.)	670,8	62,1	677,7	- 75,1
Tot. rusttijd staand (min.)	307,6	- 72,9	280,5	46,7
Melkproductie (kg)	30,4	0,9	28,1	3,5
Vetgehalte (%)	3,70	- 0,20	3,29	- 0,04
Eiwitgehalte (%)	3,18	- 0,06	3,13	- 0,01

^a Gemiddelde voor beide proefgroepen (18L:6D en 24L)

^b Verschillen tussen beide proefgroepen (18L:6D minus 24L:0D)

^c Vetgedrukte waarden zijn significant (P<0,05)

Het aantal vreetmomenten per dag lag voor de 18L:6D-groep op observatiedag twee en drie weliswaar significant hoger, maar dit was op de eerste observatiedag vóór de proef, toen beide groepen onder continue verlichting werden gehouden, ook al zo. Ongeveer 80% van al het vreetgedrag werd vertoond tussen 09:00 en 21:00 uur.

In een tweede onderzoek, van Phillips and Schofield (1989), werd de hypothese getest dat de hogere melkproductie ten gevolge van lange daglengten zou kunnen worden veroorzaakt door een hogere voeropname. Twee proefgroepen van elk 12 melkkoeien werden blootgesteld aan het lichtregime 18L:6D of aan 8L:16D gedurende 8 weken. In de laatste week werd het gedrag van de koeien in beide groepen gedurende een volledig etmaal bepaald (zie Tabel 8).

Tabel 8 Gedrags- en productiekenmerken van de diergroepen (gem. per dier/dag) in de proef van Phillips and Schofield (1989). Vetgedrukte waarden zijn significant hoger of lager ($P < 0,05$)

Gedragskenmerk	8L:61D	8L:16D	Vershil (%)
Tijd vreten (min.)	296	314	-6
Tijd liggen (min.)	772	624	19
Tijd staan op vreetplek (min.)	66	33	50
Tijd staan op roosterpad (min.)	310	469	-51
Aantal malen lopen	18,3	27,4	-50
Aantal malen eigen haarkleed likken	7,3	7,2	1
Aantal malen ander haarkleed likken	3,0	1,0	67
Aantal malen agressief gedrag	4,6	2,0	57
Aantal malen drinken	2,8	3,3	-18
Ds-opname (kg per dier/dag) *	17,6	16,2	8
Melkproductie (L per dier/dag) *	24,2	20,9	14
Vetgehalte (%) *	3,88	4,14	-7
Eiwitgehalte (%) *	3,15	3,13	1

* Gemiddelden per dier/dag over de gehele duur van de proef; 8 weken

Uit het onderzoek van Phillips and Schofield (1989) blijkt dat tussen beide groepen geen verschillen zijn in de totale vreettijd per dag of de vreesnelheid (18L:6D: 59,5 en 8L:16D: 51,3 gram Ds/min.). Er zijn dan ook geen relevante verschillen in voeropname tussen beide groepen (zie Tabel 8). Over het algemeen kunnen we stellen dat de dieren die werden blootgesteld aan 18L:6D significant meer tijd liggend doorbrachten en significant minder liepen. Uit dit onderzoek kunnen we concluderen dat een verhoogde melkproductie niet optreedt door een hogere voeropname, maar dat verhoogde voeropnames worden veroorzaakt door een verhoogde nutriëntenbehoefte door de stijging in melkproductie (Dahl et al., 2000; Phillips and Schofield, 1989).

Een derde onderzoek (Phillips et al., 1997) betrof een tweetal proeven, gelijk van opzet, naar de invloed van daglengte en seizoen (herfst, winter en lente) op het gedrag en de groei van mannelijk en vrouwelijk vleesvee. Het eerste onderzoek werd uitgevoerd bij 64 stieren (Hereford x Friesian) van 12 maanden oud, het tweede bij 48 pinken (Charolais x Friesian) van 9 maanden oud. In beide proeven werden de dieren opgedeeld in twee groepen, waarbij de ene groep werd blootgesteld aan natuurlijke daglengten (naar het seizoen) en de andere aan een lange daglengte (16L:8D). Het gedrag van de stieren in de 16L:8D-groep varieerde niet tijdens de verschillende seizoenen van het experiment. De totale tijd dat liggend werd doorgebracht verschilde niet tussen beide groepen stieren, hoewel de stieren uit de 16L:8D-groep tijdens het liggen minder sliepen en meer herkauwden dan de andere groep stieren. In het andere experiment met vrouwelijk jongvee daarentegen, brachten de pinken uit de 16L:8D-groep significant meer tijd liggend door. Ook in dit experiment waren er geen invloeden van daglengte of seizoen op de voeropname of de vreettijd.

In een vierde onderzoek (Phillips et al., 1998) onderzocht men de effecten van een kunstmatig verlengde daglengte bij toenemende en afnemende daglengten. Dit onderzoek bestond uit twee bijna identieke proeven. In de eerste proef werden twee groepen van elk 33 lacterende koeien blootgesteld aan een natuurlijke daglengte of een kunstmatig verlengde daglengte (16L:8D). De tweede proef werd uitgevoerd bij twee groepen van elk 32 melkkoeien. Ook hier werd de ene groep blootgesteld aan een natuurlijke daglengte en de tweede groep aan een kunstmatig verlengde daglengte (16L:8D). Het verschil tussen beide proeven was, dat in de eerste proef de daglengte toenam (februari tot april), terwijl bij de tweede proef de daglengte korter werd (november tot december). De dagen van de 16L:8D-groep werd kunstmatig verlengd met lampen die automatisch aangingen wanneer de schemering inviel. Overigens hingen de lampen alleen boven de ligboxen, niet boven de plaatsen

waar werd gevreten. Tijdens de beide proeven, die respectievelijk negen en acht weken duurden, werden er in de weken één, vier en acht gedragsobservaties (iedere 15 min. gedurende 24 uren) verricht.

In de proef met afnemende daglengten (proef 2) brachten de koeien uit de 16L:8D-groep significant meer tijd liggend door en minder tijd staand, zoals ook Phillips and Schofield (1989) dit vonden bij melkkoeien en Phillips et al. (1997) bij pinken. Daarentegen werden deze resultaten niet gevonden in de eerste proef. In beide proeven werden tussen beide lichtregimes geen relevante verschillen gevonden in de totale vreettijd (zie Tabel 9).

Tabel 9 Gedragskenmerken van de diergroepen (gem. in min. per dier/dag) in de proef van Phillips et al. (1998). Vetgedrukte waarden zijn significant hoger of lager ($P < 0,05$). 'Nat.' = natuurlijke (toenemende of afnemende) daglengten

Gedragskenmerk	Proef 1 (toen. daglengte)			Proef 2 (afn. daglengte)		
	16L:8D	Nat.	Versch. (%)	16L:8D	Nat.	Versch. (%)
Tijd vreten (min.)	388	370	5	415	433	-4
Tijd staand herkauwen (min.)	235	267	-12	279	289	-3
Tijd staand overig (min.)	251	228	10	212	231	-8
Tijd liggend herkauwen (min.)	306	319	-4	281	295	-5
Tijd liggend slapen (min.)	16	21	-24	32	25	28
Tijd liggend overig (min.)	250	235	6	222	162	37
Tijd herkauwen totaal (min.)	541	586	-8	560	584	-4

Bij de 16L:8D-groep in de proef met een afnemende daglengte, bleken de berekende voeropname, de melkproductie, het lichaamsgewicht en de conditie (BCS) substantieel af te nemen. Dit ging gepaard met een stijging van de cortisolconcentratie in het bloedserum en het celgetal van de melk, wat moet worden geassocieerd met de aanwezigheid van stressomstandigheden. Daarom werd er op de helft van de proef (na 4 wkn.) ook boven de vreetplaatsen kunstmatige verlichting geplaatst, waarna de afname in conditiescore en lichaamsgewicht bijtrok en het celgetal en de cortisolconcentratie in het bloedserum werden verlaagd. Dit suggereert dat de voeropname van melkkoeien mogelijk wordt beïnvloed door de visuele prikkel van het voer.

7.2 Tochtigheidsgedrag

In de vorige paragraaf werd een onderzoek beschreven van Phillips and Schofield (1989). Dit is tevens het enige gepubliceerde experiment waarbij de effecten van verschillende daglengten op het tochtigheidsgedrag van melkkoeien zijn onderzocht. In dit experiment werden twee proefgroepen van elk 12 melkkoeien blootgesteld aan 18L:6D of 8L:16D gedurende 8 weken. Naast het natuurlijk gedrag (zie par. 7.1) werd van deze koeien ook het oestrusgedrag bepaald via vier observaties per dag (nl. om 06:00, 10:30, 14:00 en 19:00) van elk 30 minuten. Gedurende een observatie werd iedere vijf minuten het gedrag van iedere koe bepaald. Tijdens de proef werden alle dieren een keer tochtig.

Tabel 10 Tochtigheidsgedrag en het natuurlijk gedrag (percentage van de totale observatietijd) tijdens de drie dagen van de oestrus van de twee diergroepen in de proef van Phillips and Schofield (1989)

Tochtigheidsgedrag	18L:6D (Dagen van tochtigheid)			8L:16D (Dagen van tochtigheid)		
	- 1	0	+ 1	- 1	0	+ 1
Besprongen met sta-reflex	0	0	0	0	0.50	0
Besprongen zonder sta-reflex	0	0	0	0	0.12	0
Bespringen	0	0	0	0	0.56	0
Poging tot bespringen	0	0.18	0	0	0.82	0
Snuffelen en likken	0.04	0.34	0	0.08	0.78	0
Schuren/wrijven ander dier met kin	0	0.18	0	0	1.06	0
Ander dier benaderen	0.12	0.38	0.08	0.14	0.44	0.10
Staan (% van tot. observatietijd)	32	54	33	47	52	34
Liggen (% van tot. observatietijd)	41	25	33	16	14	26
Vreten (% van tot. observatietijd)	28	21	34	38	34	39

In tabel 10 is te zien dat de koeien uit de 18L:6D-groep minder tochtigheidsgedrag vertoonden. In deze groep kwamen de dieren niet tot het vertonen van een sta-reflex. Dieren uit de 18L:6D-groep hadden significant lagere incidenties van de gedragingen 'besprongen met sta-reflex', 'bespringen', 'poging tot bespringen' en 'schuren/wrijven ander dier met de kin'. Ook duurde de oestrusperiode van dieren uit de 18L:6D-groep significant korter (10,1 uren versus 15,2 uren). Deze conclusies zijn gebaseerd op waarnemingen die overdag zijn gedaan, terwijl het bekend is dat koeien ook 's nachts volop tochtig kunnen zijn (mondelijke bron: H. Oud). Daarmee kunnen toctigheden van beide groepen tijdens de nachtelijke uren zijn gemist. De koeien uit de 18L:6D-groep brengen gedurende de dagen van de oestrus significant meer tijd liggend door, ten nadele van de tijd dat aan vreten wordt besteed.

Tabel 11 Mate van activiteit van de twee diergroepen op oestrus- en non-oestrusdagen, uitgedrukt op groepsniveau aantal afgelegde meters per uur (m/h) voor verschillende delen van de dag in de proef van Phillips and Schofield (1989)

Dagdeel	18L:6D		8L:16D	
	dag van oestrus	dag van non-oestrus	dag van oestrus	dag van non-oestrus
07:00 tot 16:00	513	153	830	472
16:00 tot 07:00	284	119	775	294
00:00 tot 24:00	375	132	796	361

Uit Tabel 11 blijkt dat de koeien in de 18L:6D-groep minder meters per uur afleggen, zowel tijdens dagen van oestrus als tijdens dagen van non-oestrus. Toch brengen volgens Tabel 9 deze dieren ongeveer evenveel tijd staande door als de dieren uit de 8L:16D-groep. De koeien uit beide diergroepen zijn dus ongeveer even veel op de been, maar de dieren uit de 18L:6D-groep leggen minder meters af, vertonen minder toctigheidsverschijnselen per tijdseenheid en vertonen deze verschijnselen gedurende een kleiner aantal uren dan dieren die aan 8L:16D worden blootgesteld.

8 Conclusies

In de voorgaande hoofdstukken van dit rapport, is aan de hand van wetenschappelijke publicaties een beschrijving gegeven van de effecten van licht op de groei en ontwikkeling, vruchtbaarheid, melkproductie en het gedrag van melkkoeien. In dit hoofdstuk van het rapport de conclusies van voorgaande hoofdstukken samengevat.

8.1 Huidige verlichtingsnormen voor melkvee

De verlichtingsnormen voor melkvee die in de Nederlandse literatuur worden gegeven komen in grote lijnen met elkaar overeen. De verlichtingsnormen zijn gebaseerd op het verkrijgen van goede werkomstandigheden voor de veehouder. De richtlijnen voor natuurlijke verlichting worden gegeven in aantallen lichtplaten per spantvak of aantallen lichtplaten per vijf of zeven koeien. Voor de kunstmatige verlichting worden richtlijnen gegeven m.b.t. het aantal te plaatsen TL-buizen per spantvak Alleen in de vruchtbaarheidsplanner wordt een goede gezondheid en een goede productie van het vee als uitgangspunt genomen. In de Gezondheids- en Welzijnswet voor Dieren zijn alleen verlichtingsnormen opgenomen voor kalveren (tot zes maanden).

8.2 Het natuurkundig verschijnsel licht

Licht bestaat uit straling, in de vorm van elektromagnetische golven die, hoewel materieloos, energie overdragen. Zodra deze golven de zintuigcellen in onze ogen kunnen prikkelen, waardoor wij ze waarnemen, noemen we die golven licht. Licht is afkomstig van lichtbronnen zoals de zon, de maan, lampen, enzovoort.

Het lichtregime kunnen we omschrijven als de manier waarop veehouders hun dieren blootstellen aan lichtkleur, lichtduur en lichtintensiteit. De lichtduur, oftewel de natuurlijke daglengte, wordt veroorzaakt door de seizoenen. De lichtintensiteit is een maat voor het aantal lichtstralen dat op een bepaald oppervlakte valt en wordt uitgedrukt in lux (lx).

8.3 Lichtwaarneming en hormoonrespons bij het rund

Runderen nemen licht waar via het netvlies in hun ogen. Lichtwaarneming vindt al plaats bij lichtintensiteiten van 4 á 5 lux, maar het maximale waarnemingsvermogen voor runderen ligt rond lichtintensiteiten van 120 lux. We kunnen niet met zekerheid stellen dat koeien kleur zien zoals wij dat ervaren. Wel is vastgesteld dat zij lichtstralen met verschillende golflengten van elkaar kunnen onderscheiden. Daarbij maken koeien het beste onderscheid tussen de kleurtinten van 574 tot 589 nm (kleurgebied tussen groen en rood) en hebben moeite met het onderscheiden van verschillende blauwtinten onderling en met het onderscheiden van blauwtinten van groene kleurtinten. De daglengte wordt vastgesteld door middel van de pijnappelklier. Deze autonome endocriene klier produceert onder invloed van licht het hormoon melatonine, waarbij de melatoninesynthese in de pijnappelkliercellen wordt geremd door lichtwaarneming. Zo komen er 's nachts verhoogde en overdag verlaagde melatonineconcentraties voor in het bloedserum. Aan de hand van dit dag en nachtritme wordt de daglengte bepaald. Om dit dag en nachtritme in stand te houden is er iedere dag een duistere periode nodig.

Het endocriene mechanisme waarlangs veranderingen in dierprestaties en gedrag bij melkvee t.g.v. lange daglengten tot uiting komen is tot nu toe onbekend. De daglengte heeft geen invloed op de bloedserumconcentraties van somatotropine (GH) of op concentraties van glucocorticosteroiden. Het hormoon prolactine staat wel onder invloed van daglengte en ook van de omgevingstemperatuur. Lange daglengten bij melkvee en jongvee hebben hogere bloedserumconcentraties van prolactine tot gevolg, maar omgevingstemperaturen beneden 0°C verlagen de bloedserumconcentraties van prolactine aanzienlijk. Het lijkt erg onwaarschijnlijk dat prolactine verantwoordelijk is voor een verhoogde melkgift, omdat het toedienen van prolactine bij runderen geen direct effect op de melkgift heeft. Daarnaast vindt een verhoogde melkgift bij koeien en een hogere voeropname en lichaamsgroei bij jongvee door lange daglengten ook plaats bij temperaturen onder 0°C, waarbij de bloedserumconcentratie van prolactine laag blijft. Op basis van de tot nu toe uitgevoerde onderzoeken lijkt het hormoon Insuline-like Growth Factor-1 (IGF-1) wel een belangrijke rol te spelen bij het tot stand komen van verhoogde melkproducties van melkvee en/of een verhoogde lichaamsgroei van jongvee. Bloedserumconcentraties van IGF-1 staan onder invloed van daglengte en het toedienen van melatonine lijkt de bloedserumconcentraties van IGF-1 te onderdrukken. Ook wordt een verhoogde melkproductie t.g.v. lange daglengten geassocieerd met een verhoogde bloedserumconcentraties van IGF-1. IGF-1 zou het hormoon kunnen

zijn dat veranderingen in dierprestaties t.g.v. lange daglengten reguleert. Het endocriene mechanisme achter het eerder cyclisch worden van melkkoeien na de partus moeten worden gezocht in veranderingen in de secretie van FSH en/of LH door GnRH of oestradiol.

8.4 Invloed van lichtregime op jongveegroei en ontwikkeling

Bij verschillende zoogdieren valt het tijdstip wanneer de geboorte inzet op een vast moment. Bij rundvee is per seizoen een verschil waar te nemen in het moment van afkalven. In de herfst kalven koeien voornamelijk af tijdens de donkere uren en in het voorjaar en de zomer voornamelijk overdag. Wellicht heeft dit te maken met de daglengte. Uit een ander onderzoek blijkt dat het mogelijk is het moment van afkalven te sturen door middel van licht.

Het is mogelijk om jongvee een versnelde groei door te laten maken door een lichtregime van 16L:8D toe te passen. Belangrijk is dat deze groei niet wordt gerealiseerd met een energierijk rantsoen. Aan dit rijke rantsoen kleef het nadeel dat door uiervervetting de melkgift negatief wordt beïnvloed.

8.5 Invloed van lichtregime op vruchtbaarheid en gedrag

Lange daglengten versnellen de komst van de puberteit bij jongvee en verkorten het interval afkalven tot eerste inseminatie bij koeien, en daarmee de tussenkalftijd

8.6 Invloed van lichtregime op melkproductie

Verlenging van de natuurlijke lichtperiode tot 16L:8D geeft een hogere melkproductie van 6 tot 15% waarbij twee onderzoeken een lichte daling in het melkvetgehalte melden. De hogere melkproductie wordt veroorzaakt door een hogere productie tijdens alle dagen van de lactatie, in combinatie met een betere persistentie. De hogere melkproductie wordt in een aantal onderzoeken gevolgd door een verhoogde voeropname. De respons op het gewijzigde lichtregime is waargenomen op verschillende breedtegraden. Onder natuurlijke omstandigheden kan worden geconcludeerd dat koeien die kalven in de zomer en in de herfst op de piek van hun lactatie zijn, minder melk produceren met een lagere concentratie vet en eiwit vergeleken met dieren die kalven in de herfst en hun lactatiepiek in de winter hebben. De oorzaak hiervoor zou kunnen zijn dat de dieren die hun lactatiepiek in de herfst en winter hebben, tijdens het tweede deel van de lactatie (in het voorjaar/zomer) een betere persistentie hebben.

Een ander onderzoek beschrijft dat het lichtregime voor droogstaande koeien precies andersom is ten opzichte van melkgevende koeien. Want langere donkere periode (16D:8L) tijdens de droogstand geeft een productieverhoging van ruim drie kilogram per koe/dag tijdens de eerste vier maanden van de lactatie.

8.7 Invloed van lichtregime op gedrag van melkvee

Aan de hand van vier gepubliceerde onderzoeken naar de effecten van lange daglengten op het natuurlijk en oestrusgedrag van melkvee kunnen we het volgende concluderen.

Lange daglengten hebben geen invloed op de vreesnelheid in grammen per minuut of op de tijd die per dag aan vreten wordt besteed. De voeropname per dier per dag van dieren die aan lange daglengten worden blootgesteld verschilt daarmee niet van de voeropname van dieren die aan korte dagen worden blootgesteld. Overigens lijkt het bij het kunstmatig verlichten belangrijk de vreetplaatsen in de stal voldoende te verlichten, zodat de koeien visueel worden geprikkeld naar het voer te lopen en te gaan vreten. Een hogere voeropname bij lange daglengten, zoals Peters et al. vinden bij jongvee (1980) en melkvee (1981), wordt waarschijnlijk dan ook veroorzaakt door een betere visuele prikkel van het voer en/of door een verhoogde nutriëntenbehoefte, doordat de lichaamsgroei of melkproductie op hormonale wijze wordt gestimuleerd (Dahl et al., 2000).

Dieren die aan lange daglengten worden blootgesteld brengen over het algemeen meer tijd liggend door, staan minder en leggen minder meters per uur af. Daardoor zullen deze dieren minder energie gebruiken voor de basale stofwisseling. Dezelfde voeropname zou dus anders worden besteed, namelijk ten gunste van de dierprestaties.

Aan de hand van slechts één onderzoek (*Phillips and Schofield, 1989*) concluderen wij voorzichtig dat een lange daglengte van 18 uren een negatief effect kan hebben op het vertonen van alle tochtigheidsverschijnselen. In dit onderzoek kwamen de dieren die aan lange daglengten werden blootgesteld er zelfs niet toe om andere dieren te bespringen. Daarnaast vertonen de dieren uit de 18L:6D-groep de tochtigheidsverschijnselen gedurende een kleiner aantal uren dan dieren die aan 8L:16D worden blootgesteld.

9 Praktijktoeepassing

Bekend is dat licht invloed heeft op vele processen die zich afspelen op deze aarde. Veel onderzoek is gedaan naar de effecten van licht op mensen maar ook op varkens en pluimvee. Terwijl bij rundvee in Nederland weinig tot geen rekening wordt gehouden met de effecten van licht op het dier. De verlichtingsnormen voor rundvee zijn gebaseerd op het werkklimaat van de veehouder.

De resultaten van dit rapport, en de aanbevelingen die daaruit voortvloeien, zijn gebaseerd op de resultaten van een literatuurstudie. Een discutabel punt hierbij is bijvoorbeeld wel of de gebruikte publicaties en de aanbevelingen die hieruit voortvloeien, zonder meer mogen worden vertaald naar de Nederlandse melkveehouderij. Bijvoorbeeld het onderzoek van Reksen et al. (1999) naar de invloed van lichtduur en lichtsterkte op dierprestaties, is uitgevoerd bij Noors roodbont vee, wat in de Nederlandse melkveehouderij niet voorkomt. Vervolgonderzoek naar lichtinvloeden in de Nederlandse melkveehouderij is gewenst. Hierbij verwachten wij dat ook in de Nederlandse melkveehouderij er een effect van het lichtregime op de dierprestaties is omdat de onderzoeken op verschillende plaatsen (o.a. de Verenigde Staten, Israël en Noorwegen) en op verschillende breedtegraden tot aantoonbare effecten heeft geleid.

9.1 Praktijktoeepassing

Aanbevelingen ten aanzien van lichtvoorziening in rundveestallen

Ten aanzien van de lichtvoorziening in de stal de volgende algemene aanbevelingen.

- Zorg dat het, in de lichtperiode. De optimale lichtintensiteit voor melkvee is 150 tot 200 lux. Lagere lichtintensiteiten kunnen de voeropname nadelig beïnvloeden. Hogere lichtintensiteiten in de stal zijn zeker niet nadelig voor het melkvee en zijn juist goed bij het uitvoeren van de werkzaamheden door de veehouder.
- Houd voor overige ruimten, zoals de melkstal of tanklokaal de gangbare normen (beschreven in hoofdstuk 1) aan.
- Wanneer er voor de lichtvoorziening in de stal gebruik wordt gemaakt van lichtdoorlatende dakplaten, moeten daarvoor de gangbare normen (beschreven in hoofdstuk 1) als maximum worden aangehouden. Wanneer er meer lichtplaten worden geplaatst lopen de temperaturen in de stal op een warme zomerdag snel op. Beter is dan om zonlicht via de wanden van de stal of kunstmatig licht via extra lampen te betrekken.

Aanbevelingen t.a.v. de verzorging van jongvee

Ten aanzien van de verzorging van het jongvee de volgende aanbevelingen.

- Zorg dat opgestald jongvee per dag 14 tot 16 uren licht ontvangt. Dit lichtregime stimuleert de lichaamsgroei en het jongvee komt op een lager lichaamsgewicht, dus eerder in de puberteit. In combinatie met dit lichtregime wordt aanbevolen om geen energierijk rantsoen ad libitum te verstrekken, omdat dit uiervervetting in de hand werkt. Ook gaan de dieren efficiënter om (lichaamsgroei t.o.v. ds-opname) met een energiearmer rantsoen. Korte daglengten van acht uren licht stimuleren de opslag van vet in de spieren van postpuberaal jongvee.

Aanbevelingen ten aanzien van de verzorging van melkvee

Ten aanzien van het lichtregime bij melkvee de volgende aanbevelingen:

- Zorg dat het (opgestalde) melkvee wordt gehouden onder daglengten van 14 tot 16 uren. Dit lichtregime stimuleert de melkproductie en daarnaast worden de koeien eerder cyclisch, waardoor het interval afkalven tot eerste inseminatie en daarmee de tussenkalftijd wordt verkort. Vanaf midden mei tot eind augustus zijn de natuurlijke daglengten 14 tot bijna 17 uren lang. Wanneer er voldoende zonlicht in de stal komt, is de natuurlijke daglengte zelf al voldoende en hoeft er tijdens schemer of donker geen extra licht worden verstrekt.
- Zorg dat melkvee iedere dag (24 uren) minimaal zes uren duisternis ontvangt, omdat een donkere periode van zes uren nodig is om opnieuw de hormoonprikkel te krijgen; waardoor de voordelen van een lange daglengte aanhouden.

Op melkveebedrijven waar de droge koeien apart worden gehuisvest, is het aan te raden de koeien tijdens de droogstand aan korte dagen bloot te stellen. Uit experimenteel onderzoek is gebleken dat droge koeien die tijdens de droogstand aan daglengten van acht uren werden blootgesteld tijdens de eerste vier maanden van de opvolgende lactatie ruim drie kilogram melk per dier/dag meer produceerden.

9.2 Toepassing op het High-techbedrijf

Wanneer de resultaten uit deze studie zouden worden toegepast op het High-techbedrijf moeten er een aantal zaken worden veranderd. Tijdens de lichte periode wordt de norm van 150-200 lux niet op alle plaatsen in de stal gehaald. Daarom zal door een elektricien een lichtplan moeten worden gemaakt. Door een lichtplan te maken is het mogelijk om de plaatsen te kunnen berekenen waar de lampen moeten hangen om op deze manier een goede verdeling van het licht te krijgen.

Momenteel wordt een donkere periode toegepast van vier uur. Tijdens deze periode is één lamp bij de robot ingeschakeld. Om het positieve effect van de donkere periode te benutten moet de donkere periode worden verlengd, en tijdens de donkere periode moet het ook echt donker zijn. De vraag is, wat is het effect van geen verlichting op het bezoek aan het automatische melksysteem tijdens de nachtelijke uren?

De droogstaande koeien zouden aan een lichtregime van 8L:16D moeten worden blootgesteld. De droogstaande dieren op het High-techbedrijf worden in dezelfde stal gehuisvest als de melkkoeien. Dit maakt het toepassen van een ander lichtregime niet eenvoudig. Onderzocht moeten worden welke mogelijkheden er zijn om een deel van de stal af te scherm en apart te verlichten.

Voor de jongveestal op het High-techbedrijf moet ook een lichtplan worden gemaakt om de gewenste lichtintensiteiten te halen en tot een goede lichtverdeling te komen. Daarnaast moet het lichtregime 16L:8D worden toegepast.

Literatuur

- Aharoni Y., Brosh A., Ezra E. (1999). Effects of heat load and photoperiod on milk yield and composition in three dairy herds in Israel. *Animal Science* 69:37-47.
- Barash H., Silanikove N., Weller J.I. (1996). Effect of season of birth on milk, fat, and protein production of Israeli Holsteins. *Journal of Dairy Science* 79:1016-1020.
- Biewenga G., Winkel A., (2001). Effecten van licht op dierprestaties en gedrag van melkvee. Van Hall Instituut, Leeuwarden.
- Bilodeau P.P., Petitclerc D., St.Pierre N., Pelletier G., St.Laurent G.J. (1989). Effects of photoperiod and pair-feeding on lactations of cows fed corn or barley grain in total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 72:2999-3005.
- Bois de C.H.W. (1986). *Vruchtbaarheid en vruchtbaarheidsstoornissen bij rundvee*. Uitgeverij Terra Zutphen.
- Buchanan B.A., Chapin L.T., Tucker H.A. (1991). Effect of 8 weeks of daily melatonin on lactation and prolactin in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 74, supplement 1:152.
- Buchanan B.A., Chapin L.T., Tucker H.A. (1992). Prolonged suppression of serum concentrations of melatonin in heifers. *Journal of Pineal Res.* 12:181-189.
- Chew B.P., Malven P.V., Erb R.E., Zamet C.N., D'Amico M.F., Colenbrander V.F. (1979). Variables associated with peripartum traits in dairy cows (4). Seasonal relationships among temperature, photoperiod and blood plasma prolactin. *Journal of Dairy Science* 62:1394-1398.
- Dahl G.E., Buchanan B.A., Tucker H.A. (2000). Photoperiodic effects on dairy cattle: A Review. *Journal of Dairy Science* 83:885-893.
- Dahl G.E., Elsasser T.H., Capuco A.V., Erdman R.A., Peters R.R. (1997). Effects of a long daily photoperiod on milk yield and circulating concentrations of insulin-like growth factor-I. *Journal of Dairy Science* 80:2784-2789.
- Dahl E.G., Chastian P., Peters R.R. (1998). Manipulation of photoperiod to increase milk production in cattle: biological, economic and practical considerations. *Proc. 4th. Int. Dairy Housing Conf.*: 259-265.
- Dunlap T.F., Kohn R.A., Dahl G.E., Varner M.A., Erdman R.A. (2000). The impact of Somatotropin, milking frequency and photoperiod on dairy farm nitrogen flows. *Journal of Dairy Science* 83: 968-976.
- Dusseldorp B.F.G.M. van (1992). *Pratijkreeks veehouderij; renovatie van de ligboxenstal*. Uitgeversmaatschappij C. Misset bv, Doetinchem.
- Enright W.J., Zinn S.A., Reynolds V.S., Roche J.F. (1995). The Effect of Supplementary light on winter performance of prepubertal and postpubertal Friesian heifers. *Irish Journal of Agriculture and Food Research* 34: 107-113.
- Erb R.E., Malven P.V., Stewart T.S., Zamet C.N., Chew B.P. (1982). Relationships of hormones, temperature, photoperiod and other factors to voluntary intake of dry matter in pregnant dairy cows prior to parturition. *Journal of Dairy Science* 65:937-943.
- Evans N.M., Hacker R.R. (1989a). Chronobiological manipulation of time of calving and behaviour of dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 69:857-863.
- Evans N.M., Hacker R.R. (1989b). Effects of chronobiological manipulation of lactation in the dairy cow. *Journal of Dairy Science* 72:2921-2927.
- Evans N.M., Hacker R.R., Hoover J. (1991). Effect of chronobiological alteration of the circadian rhythm of prolactin and somatotropin release in the dairy cow. *Journal of Dairy Science* 74:1821-1829.

- Forbes J.M. (1982). Effects of light pattern on growth, lactation and food intake of sheep, cattle and deer. *Livestock Production Science* 9:361-374.
- Gustafson G.M. (1994). Effect of changes in light on hormonal secretion and milk production of dairy cows in early lactation. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science* 44:160-168.
- Hadley M.E. (1992). *Endocrinology*. Prentice-Hall; Simon & Schuster Company, New Jersey. Derde druk.
- Hansen P.J. (1985). Seasonal modulation of puberty and the postpartum anestrus in cattle: a review. *Livest. Prod. Science* 12:309-327.
- Hansen P.J., Kamwanja L.A., Hauser E.R. (1983). Photoperiod influences age at puberty of heifers. *Journal of Animal Science* 57:985-992.
- Hansen P.J., Kamwanja L.A., Hauser E.R. (1982). The effect of photoperiod on serum concentrations of luteinizing and follicle stimulating hormones in prepubertal following ovariectomy and estradiol injection. *Theriogenology* 18:551-559.
- Harbers J., Jong de F., Meer van der A., (1990). *Natuurkunde voor middelbaar agrarische onderwijs*. Wolters-Noordhoff, Groningen. Eerste druk.
- Hedlund L.M., Lischko M., Rollag M.D., Niswender G.D. (1977). Melatonin: daily cycle in plasma and cerebrospinal fluid in calves. *Science* 195: 686-687.
- Hickman C.P., Roberts L.S. (1994). *Biology of animals*. Uitgeverij Wm. C. Brown Communications, Dubuque. Zesde druk.
- Hopster H. (1995). ID-DLO-rapport: *Effecten van huisvesting en verzorging op welzijn en gezondheid van runderen ouder dan 6 maanden*. ID-DLO, Zeist.
- Knaap van der J. (2000). Extra licht in donkere dagen. *Veeteelt* december-2, jaargang 17, nr. 24; 10-12.
- Lefcourt A.M., Bitman J., Wood D.L., Akers R.M. (1994). Circadian and ultradian rhythms of peripheral growth hormone concentrations in lactating dairy cows. *American Journal of Physiology* 267:R1461-R1466.
- Marsman A.J. (1989). *Praktijkreeks Veehouderij; Stallen voor jongvee*. Uitgeversmaatschappij C. Misset bv, Doetinchem.
- Marsman A.J. (1990). *Praktijkreeks Veehouderij; Stallen voor melkvee*. Uitgeversmaatschappij C. Misset bv, Doetinchem.
- Kashiwamura F., Furumura K., Iketaki T., Shinde Y., Aotani H., Suda T., Sato F. (1991). Relationship between photoperiod and seasonality of milk production in dairy cattle. *Anim. Sci. Technol. (Jpn.)* 62 (12) : 1156-1158.
- Marcek J.M., Swanson L.V. (1984). Effect of photoperiod on milk production and prolactin of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 67:2380-2388.
- Menge A.C., Mares S.E., Tyler W.J., Casida L.E. (1960). Some factors affecting age at puberty and the first 90 days of lactation in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 43:1099.
- Miller A.R.E., Erdman R.A., Douglass L.W., Dahl G.E. (2000). Effects of photoperiodic manipulation during the dry period of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 83:962-967.
- Miller A.R.E., Stanisiewski E.P., Erdman R.A., Douglass L.W., Dahl G.E., (1999). Effects of long daily photoperiod and bovine somatotropin (Trobest®) on milk yield in cows. *Journal of Dairy Science* 82:1716-1722.
- Morris T.R. (1981). *Environmental aspects of housing for animal production* (Chapter 5: The influence of photoperiod on reproduction in farm animals: 85-101). Page Bros, Norwich.

- Newbold J.A., Chapin L.T., Zinn S.A., Tucker H.A. (1991). Effects of photoperiod on mammary development and concentrations of hormones in serum of pregnant dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 74:100-108.
- Peters R.R., Chapin L.T., Emery R.S., Tucker H.A. (1981). Milk yield, feed intake, prolactin, growth hormone and glucocorticoid response to photoperiod in heifers. *Endocrinology* 103:229-234.
- Peters R.R., Chapin L.T., Emery R.S., Tucker H.A. (1980). Growth and hormonal response of heifers to various photoperiods. *Journal of Animal Science* 51:1148-1153.
- Peters R.R., Chapin L.T., Leining K.B., Tucker H.A. (1978a). Supplemental lightening stimulates growth and lactation in cattle. *Science* 199:911-912.
- Peters R.R., Tucker H.A. (1978b). Prolactin and growth hormone responses to photoperiod in heifers. *Endocrinology* 103:229-234.
- Petitclerc D., Chapin L.T., Emery R.S., Tucker H.A. (1983). Body growth, growth hormone, prolactin and puberty response to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 57:892-898.
- Petitclerc D., Chapin L.T., Tucker H.A. (1984). Carcass composition and mammary development responses to photoperiod and plane of nutrition in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 58:913-919.
- Petitclerc D., Peters R.R., Chapin L.T., Oxender W.D., Refsal K.R., Braun R.K., Tucker H.A. (1983). Effect of blinding and pinealectomy on photoperiod and seasonal variations in secretion of prolactin in cattle. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 174:205-211.
- Petitclerc D., Vinet C., Roy G., Lacasse P. (1998). Prepartum photoperiod and melatonin feeding on milk production and prolactin concentrations of dairy heifers and cows. *Journal of Dairy Science* 81 (supplement 1) : 251 (Abstract).
- Philips Nederland (1989). *Praktijkboek plantenbelichting*. Uitgeverij Philips, Eindhoven. Eerste druk.
- Phillips C.J.C., Johnson P.N., Arab T.M. (1997). The effect of supplementary light during winter on the growth, body composition of steers and heifers. *Animal Science* 65:173-181.
- Phillips C.J.C., Lomas C.A., Arab T.M. (1998). Differential response of dairy cows to supplementary light during increasing or decreasing daylength. *Animal Science* 66:55-63.
- Phillips C.J.C., Piggins D. (1992). *Farm animals and the environment*. CAB International; University Press, Cambridge. Eerste druk.
- Phillips C.J.C., Schofield S.A. (1989). The effect of supplementary light on the production and behaviour of dairy cows. *Animal Prod.* 48:293-303.
- Phillips C.J.C., Weiguo L. (1991). Brightness discrimination abilities of calves relative to those of humans. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 31:25-33.
- Plaut K., Bauman D.E., Agergaard N., Akers R.M. (1987). Effect of exogenous prolactin administration on lactational performance of dairy cows. *Domest. Anim. Endocrin.* 4:279-290.
- Possin I., Gunderson S., Kening J. (2000). Light up your milk production. *Hoard's Dairyman* (d.d. 25 mei 2000): 386-387.
- Praktijkonderzoek Veehouderij (1997). *Handboek melkveehouderij*. Uitgeverij Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad. Eerste druk.
- Praktijkonderzoek Veehouderij (1999). *Handboek huisvesting jongvee en melkvee*. Uitgeverij Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad. Eerste druk.

- Reksen O., Tverdal A., Landsverk K., Kommisrud E., Be K.E., Ropstad E. (1999). Effects of photointensity and photoperiod on milk yield and reproductive performance of Norwegian Red Cattle. *Journal of Dairy Science* 82:810-816.
- Reiter R.J. (1980). The pineal and its hormones in the control of reproduction in mammals. *Endocrine Rev.* 1:109-131.
- Reiter R.J. (1991). Pineal melatonin: cell biology of its synthesis and of its physiological interactions. *Endocrine Rev.* 12:151-180.
- Ringuet H., Pelletier G., Brazeau P., Gaudreau P., Guilbault L.A., Morisset J., Couture Y., Petitclerc D. (1994). Long-Term Effects of human growth hormone-releasing hormone and photoperiod on hormone release and puberty in dairy heifers. *Journal of Animal Science* 72:2709-2717.
- Robinson J.E., Radford H.M., Karsch F.J. (1985). Seasonal changes in pulsatile luteinizing (LH) secretion in the ewe: relationship of frequency of LH pulses to day length and response to estradiol, negative feedback. *Biol. Reprod.* 33:324-334.
- Sanches-Barcelo E.J., Mediavilla M.D., Zinn S.A., Buchanan B.A., Chapin L.T., Tucker H.A. (1991). Melatonin suppression of mammary growth in heifers. *Biology of Reproduction* 44:875-879.
- Schillo K., Hansen P.J., Kamwanja L.A., Dierschke D.J., Hauser E.R. (1983). Influence of season on sexual development in heifers: age at puberty as related to growth and serum concentrations of gonadotropins, prolactin, thyroxine and progesterone. *Biol. Reprod.* 28:329-341.
- Smith J.D., Douglass L.W., Coyne J.A., Dahl G.E. (1998). Melatonin feeding that stimulates a short day photoperiod (SDPP) suppresses circulating insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in pre-pubertal heifers. *Journal of Animal Science* 75 (suppl. 1) : 215 (abstract).
- Sowerby M.E., Bell B.R., Muenchen R.A., Holmes C.R. (1992). Photoperiodic effects on milk yield and body weight of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 75, supplement 1:166.
- Spicer L.J., Buchanan B.A., Chapin L.T., Tucker H.A. (1994). Effects of 4 months of exposure to various durations of light on serum-like growth factor-1 (IGF-1) in prepubertal Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 72 (suppl. 1): 178 (abstract).
- Speicher J.A., Tucker H.A., Ashley R.W., Stanisiewski E.P., Boucher J.F., Sniffen C.J. (1994). Production responses of cows to recombinantly derived bovine somatotropin and frequency of milking. *Journal of Dairy Science* 77:2509-2517.
- Stanisiewski E.P., Chapin L.T., Ames N.K., Zinn S.A., Tucker H.A. (1988). Melatonin and prolactin concentrations in blood of cattle exposed to 8, 16 or 24 hours of daily light. *Journal of Animal Science* 66:727-734.
- Stanisiewski E.P., Mellenberger R.W., Anderson C.R., Tucker H.A. (1985). Effect of photoperiod on milk yield and milk fat in commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science* 68:1134-1140.
- Stratton G.M. (1923). The colour red: and the anger of cattle. *Psychological review* 30:321-325.
- Takahashi J.S., Zatz M. (1982). Regulation of circadian rhythmicity. *Science* 217:1104-1111.
- Tanida H., Swanson L.V., Hohenboken W.D. (1984). Effect of artificial photoperiod on eating behaviour and other behavioral observations of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 67:585-591.
- Tucker H.A., Ringer R.K. (1982). Controlled photoperiodic environments for food animals. *Science* 216:1381-1386.
- Tucker H.A. (2000). Hormones, mammary growth and lactation: a 41-year perspective. *Journal of Dairy Science* 217:1104-1111.
- Tucker H.A. (1985). Photoperiodic influences on milk production in dairy cows. *Recent advances in animal nutrition* 211-221.

Tucker H.A., Petitclerc D., Zinn S.A. (1984). The influence of photoperiod on body weight gain, body composition, nutrient intake and hormone secretion. *Journal of Animal Science* Vol. 59, No 6 : 1610-1620.

Wiepkema P.R. (1993). *Praktijkreeks Veehouderij; gedrag en welzijn van melkvee*. Uitgeversmaatschappij C. Misset bv, Doetinchem.

Zinn S.A., Chapin L.T., Enright W.J., Tucker H.A. (1989). Growth, Carcas composition and serum hormone responses tot photoperiod and ovariectomy in heifers. *Anim. Prod.* 49:365.

Zinn S.A., Chapin L.T., Tucker H.A. (1986a). Response of bodyweight and clearance and secretion rates of growth hormone to photoperiod in Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 62:1273-1278.

Zinn S.A., Purchas R.W., Chapin L.T., Petitclerc D., Merkel R.A., Bergen W.G., Tucker H.A. (1986b). Effects of photoperiod on growth, carcass composition, prolactin, growth hormone and cortisol in prepubertal and postpubertal Holstein heifers. *Journal of Animal Science* 63:1804-1815.