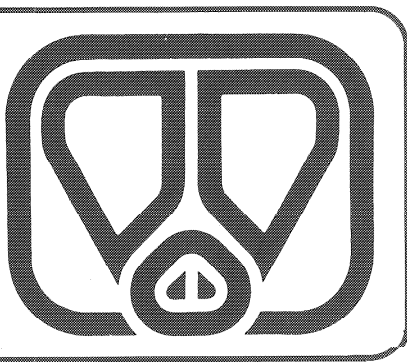


P.F.M.M. Roelofs
P.J.J.M. Nooijen
P.C. Vesseur

Haalbaarheid van luchtdesinfectie door UV-straling in varkensstallen



Praktijkonderzoek Varkenshouderij

Redactie-adres
Postbus 83
5240 AB Rosmalen
tel: 073 - 528 65 55

'Proefverslag nummer P 1.230

VOORWOORD

Dit onderzoek naar de haalbaarheid van luchtdesinfectie door UV-straling in varkensstallen is een onderdeel van het programma 'Gezondheid en kwaliteit', waarin onder andere mogelijkheden tot vrijwaring van dierziekten worden onderzocht.

De basis voor dit onderzoek is gelegd door Peter Nooijen, student aan de Landbouwuniversiteit te Wageningen. Tijdens zijn stage heeft hij onder andere gebruik kunnen maken van adviezen en aanwijzingen van E.M. Kamp en A.T.J. Bianchi, beiden werkzaam bij ID-DLO in Lelystad, en van J. ter Stege van GLA in Enkhuizen waarvoor hartelijk dank.

In dit onderzoek is vooral nagegaan in hoe-

verre luchtdesinfectie in varkensstallen technisch mogelijk is. Een aantal vragen, bijvoorbeeld over de vereiste mate van desinfectie die nodig is om de veterinaire risico's te beperken, over het effect van onderdrukventilatie in plaats van overdrukventilatie op het risico van ziekte-insleep via de lucht bij toepassing van luchtdesinfectie en over de perspectieven van luchtkoeling ter verlaging van de kosten, wordt niet beantwoord.

Gezien de uitkomsten van dit rapport is vervolgonderzoek, mogelijk in samenwerking met andere onderzoeksinstituten, gewenst.

ir. J.A.M. Voermans,
waarnemend directeur

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	4
	SUMMARY	6
1	INLEIDING	8
2	DESINFECTIE VAN LUCHT DOOR UV-STRALING	9
2.1	UV-straling	9
2.2	Soorten UV-lampen	10
2.3	Desinfectie door middel van UV-straling	11
2.4	Ozon als nevenproduct	12
3	EFFECTEN VAN UV-STRALING OP MENSEN OF VARKENS	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Blootstelling van mensen aan UV-straling	13
3'2.1	Invloed van UV-C op de huid	14
3'2.2	Invloed van UV-C op de ogen	15
3'2.3	Veiligheidsmaatregelen	15
3.3	Blootstelling van varkens aan UV-straling	15
3'3.1	Schadelijke effecten van UV-C op varkens	15
3'3.2	Invloed van desinfectie met UV-C op technische resultaten	16
4	TOEPASSING VAN UV IN STALLEN	17
4.1	Benodigde mate van kiemreductie	17
4.2	Benodigd aantal lampen	18
4.3	Implementatie in een ventilatiesysteem	18
4.4	Kosten van het toepassen van UV-straling	19
5	DISCUSSIE	23
5.1	Toepassing in stallen	23
5.2	Veiligheid	25
5.3	Betekenis voor de praktijk	26
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	27
	LITERATUUR	28
	BIJLAGEN	31
	REEDS EERDER VERSCHENEN PROEFVERSLAGEN	43

SAMENVATTING

Deze haalbaarheidsstudie naar desinfectie van lucht door middel van kunstmatige UV-C-straling in varkensstallen is uitgevoerd met de nadruk op desinfectie van binnenkomende ventilatielucht. Lagedruk-kwiklampen lijken vanwege het spectrum van het licht dat ze uitzenden hiervoor het meest geschikt.

Voor zover bekend zijn alle micro-organismen gevoelig voor UV-C-straling. De bestralingsdosis (het product van bestralingsintensiteit en tijdsduur van blootstelling) die nodig is om 90% van de micro-organismen onschadelijk te maken verschilt echter van soort tot soort. Bij een stralingsdosis van 30 mJ/cm^2 (300 J/m^2) worden vrijwel alle bacteriën en virussen in de lucht onschadelijk gemaakt.

Omdat een overmaat aan UV-straling schadelijk is voor mensen en varkens moet directe blootstelling voorkomen worden. De belangrijkste schadelijke effecten van UV-C-straling zijn erytheem (roodverkleuring van de huid), keratitis (hoornvliesontsteking) en conjunctivitis (oogslijmsteking).

Aangezien UV-C normaal glas niet kan passeren beschermt een bril, die directe bestraling van de ogen geheel voorkomt, de ogen afdoende. Het gezicht kan worden beschermd met een gelaatsscherm en polyes-ter kleding beschermt de huid afdoende.

Om risico's uit te sluiten is het echter beter blootstelling van mensen geheel te voorkomen. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met reflectie.

Lagedruk-kwiklampen produceren, naast straling met een golflengte van 254 nm, ook straling met een golflengte van 185 nm.

Onder invloed van deze straling wordt uit zuurstof ozon gevormd. Hoewel ook ozon een desinfecterende werking heeft is ozonvorming ongewenst, omdat dit giftige gas schadelijk is voor mens en dier. Daarom is het glas van de lampen zodanig behandeld dat de straling met een golflengte van 185 nm niet vrijkomt.

Er zijn meerdere methoden voor luchtdesinfectie door middel van UV-straling. Bij preventie van insleep van ziektekiemen via de lucht moet deze lucht al in het ventilatiesys-

teem worden behandeld. Bij onderdrukssystemen is leklucht, lucht die via kieren of openstaande deuren binnenkomt, onvermijdelijk. Omdat leklucht niet wordt behandeld, hebben bij desinfectie van binnenkomende ventilatielucht ventilatiesystemen met overdruk de voorkeur. In de praktijk zijn de meeste ventilatiesystemen echter gebaseerd op onderdruk. In dat geval moet de hoeveelheid leklucht zoveel mogelijk worden beperkt door de stal zo goed mogelijk luchtdicht te maken.

Verder moet voor een effectieve behandeling met UV-C-straling de lucht eerst stofvrij worden gemaakt, bijvoorbeeld met behulp van een stoffilter. Hierdoor heeft centrale aanvoer van de ventilatielucht, zoals bij overdrukssystemen, de voorkeur.

Verwacht mag worden dat het vrijhouden van varkens van bepaalde ziektekiemen een gunstige invloed heeft op de technische resultaten. Omdat deze vraagstelling al in andere onderzoeken aan de orde is, is daarop binnen dit onderzoek niet ingegaan. Wel zijn de resultaten van enkele onderzoeken naar luchtbehandeling met UV-C binnen een afdeling weergegeven. In vrijwel alle gevallen was de opstelling zodanig dat de varkens direct werden bestraald door de lampen. De resultaten van de onderzoeken zijn niet eenduidig: sommige onderzoekers vonden een gunstige invloed op de technische resultaten, anderen hebben geen effect aangetoond. Uit alle onderzoeken blijkt dat bij directe bestraling gewaakt moet worden voor erytheem (huidverbranding) bij de varkens. In een aantal onderzoeken konden sommige varkens zich niet handhaven in de afdeling met UV-C-bestraling. De perspectieven van systemen waarbij alleen de bovenste luchtlag van de afdeling wordt behandeld en de varkens dus niet direct worden bestraald lijken gunstiger, omdat beschadiging van dieren daarbij niet optreedt.

Desinfectie van binnenkomende ventilatielucht lijkt technisch mogelijk. Ter indicatie zijn op basis van een aantal aannames de jaarkosten berekend. Voor een vermeerde-

ringsbedrijf met 210 zeugen zijn de indicatieve jaarkosten voor het afdoden van 99% van de micro-organismen berekend op ongeveer f 140,- per zeug. Voor een vleesvarkensbedrijf met 2.600 vleesvarkens is dat f 35,50 per varken. Ruim tweederde deel van de berekende kosten zijn elektriciteitskosten. Bij dit kostenniveau is desinfectie van ventilatielucht op normale vermeerderings- en vleesvarkensbedrijven onder de huidige omstandigheden niet aantrekkelijk. Er ontbreekt echter nog veel kennis omtrent desinfectie met UV-C, waardoor er momenteel met vrij ruime veiligheidsmarges gerekend moet worden. Naarmate er meer bekend is mag de capaciteit van de UV-installatie waarschijnlijk afnemen en dan zul-

len ook de kosten afnemen. Bepalend voor de economische haalbaarheid zijn vragen als: welke ziektekiemen moeten worden geweerd; wat is het maximale aantal van deze kiemen in de buitenlucht, gegeven bepaalde scenario's van bedrijfsgrootte, afstanden tot andere bedrijven en dergelijke; tot welk aantal moet dit aantal worden teruggebracht opdat de infectie niet zal aanslaan; wat is de gevoeligheid van deze ziektekiemen voor UV-C; wat is de invloed van temperatuur, RV en veroudering van de lampen op de te installeren capaciteit; met welke range van vereiste ventilatieniveaus moet rekening worden gehouden en wat zijn de kosten van een eventuele ziekte-uitbraak.

SUMMARY

A feasibility study on air disinfection in pig houses by using UV-C radiation was done, with special attention to disinfection of the air that enters the buildings. Low-pressure mercury lamps are suitable for this.

As far as is known, all micro-organisms are sensitive to UV-C radiation. However, the dose (product of radiation intensity and duration of exposure) needed to kill 90% of the micro-organisms is dependent on the species. A UV-C dose of 30 mJ/cm² (300 J/m²) kills almost all bacteria and viruses in dry and 'clean' air.

Since excessive exposure to UV-C radiation is dangerous to humans and animals, direct exposure must be prevented. The most important harmful effects are erythema (red skin), keratitis and conjunctivitis (inflammation in the eyes). Normal glasses, preventing direct irradiation of the eyes, are effective to protect the eyes against UV-C. The face can be protected by a facial screen, and polyester clothing provides sufficient protection of the skin. However, to preclude any risks it is better to prevent human exposure to UV-C completely, including exposure by reflection. Most low-pressure mercury lamps are coated to prevent ozone-production. Ozone is a toxic gas, which is very harmful to humans and animals.

There are several methods for air-disinfection by using UV-C. To prevent airborne pathogens to enter, the incoming air must be disinfected in the ventilation ducts. Using underpressure ventilation systems, which are very common in the Netherlands, leakage of air is unavoidable. Since leaked air is untreated and leakage of air is no problem in overpressure ventilation systems, the latter systems are preferred. In underpressure ventilation systems the amount of leaked air can be reduced by sealing the buildings as hermetically as possible.

For effective air-disinfection by using UV-C, the air must contain no particles. For this reason, preceding air filtration is advised. This is easiest in ventilation systems with central air supply ducts.

It is expected that the performance of pigs which are not infected with certain common diseases is better than performance of infected pigs. As the relation between health status and performance is the subject of another study, this question has not been addressed in this study. When UV-C is not used in air ducts but inside the rooms with pigs, the goal of disinfection is not to keep the pigs free of certain infections, but to keep the level of infection acceptable. There is only literature available on this use of UV-C. In almost all these experiments, the pigs were directly exposed to UV-C radiation. The results of these experiments are not univocal: some researchers found better performance, but others could not indicate any effect. In almost all experiments erythema on the pigs was a problem. In some experiments a few pigs had to be removed from the experimental rooms, because they were too sensitive to UV-C.

At present, there is UV-C equipment that makes UV-C radiation to reach only the upper air in the room and does not directly reach the pigs. The perspectives of these systems are better, since damage of the animals by UV-C is prevented.

Technically, disinfection of incoming air by using UV-C seems possible. Based on several assumptions, indicative annual costs have been calculated. For a 210-sow farm, indicative annual costs to eliminate 99% of the airborne pathogens are about Dfl 140.00 per sow. For farms with 2,600 growing-finishing pigs annual costs are about Dfl 35.50 per pig. About 66% of all annual costs are electricity costs. Unless annual costs decrease substantially, air disinfection is financially not attractive for normal sow or pig farmers.

However, many things concerning UV-C disinfection are unknown. For this reason, firm safety margins were used when annual costs were calculated. It is expected that the more is known about UV-C disinfection, the more the capacity of the equipment and with that the annual costs may decrease. Whether or not it is economically feasible,

the following questions are to be addressed: which pathogens must be kept away, what is the maximum number of these pathogens in the open air near the pig houses, dependent on size of and distance to pig farms in the neighbourhood; what is the minimum number of pathogens, needed to create an

infection; how sensitive are these pathogens to UV-C; what are the effects of temperature, RH and altering of the lamps on the UV-C capacity that has to be installed; which ventilation levels will apply and what are the costs at farm level of a possible disease outbreak.

1 INLEIDING

Om bedrijven te vrijwaren van bepaalde ziektes moeten ze eerst van deze ziektes worden vrijgemaakt en daarna ziektevrij worden gehouden. Dit onderzoek is gericht op het ziektevrij houden van bedrijven. Insleep van ziektekiemen naar varkensbedrijven kan via vele routes verlopen. Veel van deze routes kunnen worden afgesneden door maatregelen op het gebied van bedrijfsuitrusting en bedrijfsvoering, gericht op hygiëne. Voorbeelden zijn het schone weg-vuile weg-principe, het all-in all-out-systeem, reinigen en ontsmetten et cetera. Ziekte-insleep via de lucht is nog een relatief onbeheerste infectieroute die, zeker in varkensdichte gebieden, wel van belang kan zijn. Zo kan volgens Primault (1974) het virus dat Mond- en klauwzeer veroorzaakt zonder drager over vrij grote afstanden door de lucht worden verspreid. Micro-organismen die zonder drager door de lucht verspreid kunnen worden zijn zo klein dat ze zich theoretisch als gevolg van luchtstromingen over afstanden van meer dan 100 km kunnen verplaatsen (Muller, 1981, geciteerd door IKC-Veehouderij, 1994). De meeste micro-organismen in de buitenlucht zijn echter gebonden aan (stof-)deeltjes, met een grootte van 0,5 tot meer dan 6 μm (IKC-Veehouderij, 1994), die maximaal over een afstand van enkele kilometers verplaatst worden. Vooral als bedrijven met veel dieren dicht bij elkaar staan, kunnen bepaalde ziektekiemen zich gemakkelijk via de lucht verspreiden en in korte tijd veel dieren besmetten. De lucht als infectieroute behoeft daarom aandacht. Het Praktijkonderzoek Varkenshouderij heeft al onderzoek opgestart

naar mogelijkheden om deze infectieroute via absoluutfiltratie uit te schakelen (Huijben et al., 1998). De keuze voor absoluutfiltratie als middel om de ventilatielucht te reinigen lag destijds voor de hand, gezien de ervaringen die binnen de landbouw al met (absoluut-)filtratie waren opgedaan.

Ultraviolet-straling (UV-straling), met name straling met een golflengte van 253,7 nm (UV-C), heeft een sterk desinfecterende werking. Volgens Roelofs (1996) is UV-C toepasbaar voor oppervlakte-desinfectie van materialen voordat ze varkensbedrijven binnenkomen. Het is bekend dat ook in lucht die aan ultraviolet-straling wordt blootgesteld het aantal ziektekiemen af neemt. In de buitenlucht gebeurt dit door ultraviolette straling die van de zon afkomstig is. In ventilatiesystemen kan dit met behulp van speciale lampen worden bereikt.

Het doel van dit literatuuronderzoek is het bepalen van de haalbaarheid van desinfectie van binnenkomende lucht in varkensstallen door middel van UV-straling. Daarnaast moet uit dit onderzoek blijken welke leemten in kennis nog moeten worden ingevuld voordat gefundeerde keuzes gemaakt kunnen worden omtrent benodigde capaciteit en dergelijke. Randvoorwaarde is dat de gezondheid van varkens en mensen niet in gevaar gebracht mag worden. Daarom zijn ook de effecten van blootstelling van mensen en varkens aan UV-straling en aan ozon, dat mogelijk vrij zou kunnen komen bij desinfectie door middel van UV, kort beschreven.

2 DESINFECTIE VAN LUCHT DOOR UV-STRALING

In dit hoofdstuk wordt het principe van desinfectie door middel van UV-straling en mogelijke toepassingen uiteengezet. Ook komen de effecten van ozon, dat onder invloed van UV-straling kan worden gevormd, aan de orde. Wat de effecten van blootstelling aan UV-straling zijn op mensen en varkens en wat men er tegen kan doen is beschreven in hoofdstuk 3.

2.1 UV-straling

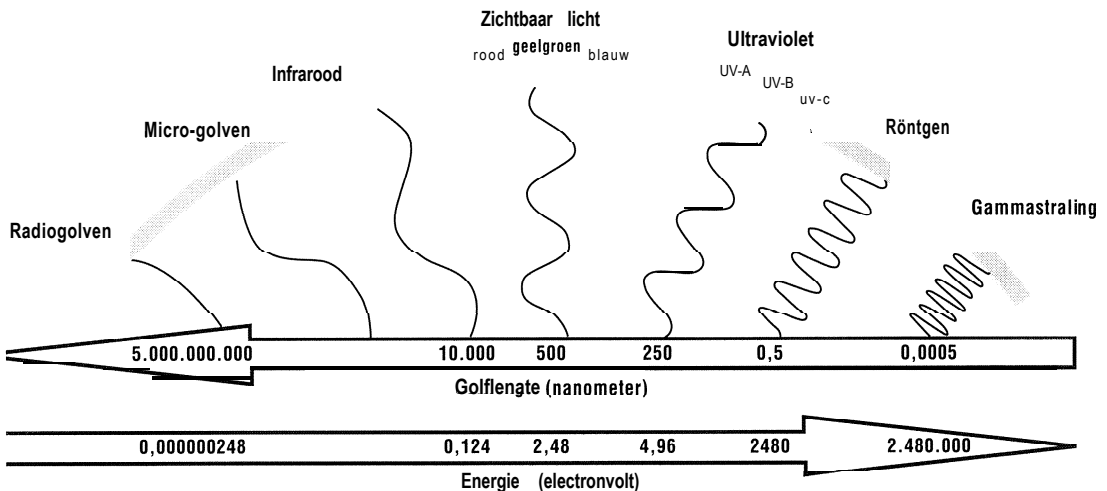
UV-straling is, net als normaal licht, een elektromagnetische straling; energie die zich voortplant door trilling van elektrische en magnetische velden. Elektromagnetische straling heeft een dualistisch karakter: enerzijds zijn het golven, anderzijds zijn het deeltjes (fotonen). De golven worden gekarakteriseerd aan de hand van de golflengte, de fotonen aan de hand van hun energie. Naarmate de golflengte korter is hebben de fotonen meer energie, en omgekeerd. Omdat gebieden met verschillende golflengten sterk verschillende eigenschappen hebben, hebben deze gebieden afzonderlijke namen gekregen (zie figuur 1).

De golflengte van UV-straling is korter dan die van normaal licht, maar bevat meer

energie. De golflengte van UV-straling ligt tussen 100 nm en 400 nm. Ultraviolette straling wordt onderverdeeld in drie soorten, namelijk UV-A, UV-B en UV-C. Verschillende auteurs hanteren verschillende grenzen van de spectra, maar de CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) hanteert de volgende indeling: UV-A van 320 nm tot 400 nm, UV-B van 280 nm tot 320 nm en UV-C van 100 nm tot 280 nm.

UV-C-straling heeft een sterke germicide (ziektekiem-dodende) werking. De kiemdodende werking is afhankelijk van de golflengte en het beste bij een golflengte van 260 tot 265 nm (zie figuur 2). DNA en RNA absorberen straling met deze golflengte maximaal en raken daardoor beschadigd. Micro-organismen met beschadigd DNA of RNA kunnen zich niet vermenigvuldigen (Marra en Gelderland, 1997).

De kiemdodende werking van zonlicht is hoofdzakelijk gebaseerd op het onderste deel van het spectrum van zonlicht, dat begint bij een golflengte van 290 nm (UV-B). Vrijwel alle biologische effecten van blootstelling aan zonlicht, waarvan de meeste schadelijk zijn, worden veroorzaakt door UV-B-straling (Diffey, 1990). Ook blootstelling aan UV-A-straling kan schadelijke effecten



Figuur 1: Golflengte en energie van verschillende typen elektromagnetische straling
Naar: Paerels, 1998

hebben op mensen en dieren, maar pas bij veel hogere doses dan UV-B.

UV-C-straling kan micro-organismen alleen doden als deze daadwerkelijk door de straling worden bereikt. Het doordringend vermogen van UV-straling is in de meeste media echter beperkt en is afhankelijk van de golflengte. Zo kan UV-C-straling de atmosfeer niet passeren, waardoor blootstelling aan UV-C altijd het gevolg is van kunstmatige bronnen (Diffey, 1990). De doorlaatbaarheid van schone lucht voor UV-straling is echter wel voldoende om bij praktische toepassing van UV-straling, waarbij een relatief korte afstand hoeft te worden afgelegd, geen rekening te hoeven houden met verliezen. In tegenstelling tot UV-C kunnen UV-A- en UV-B-straling de atmosfeer wel passeren, waardoor deze soorten UV-straling ook op natuurlijke weg het aardoppervlak bereiken. Het doordringend vermogen van de UV-straling in vloeistoffen hangt af van de samenstelling van die vloeistof. De effectieve penetratiediepte van UV-C varieert van 3 m voor gedestilleerd water via 12 cm voor normaal drinkwater tot ongeveer 0,5 mm voor melk en serum (Kennis, 1989). Bij een voldoende intensiteit is UV-C-straling geschikt om virussen in leidingwater te elimineren (Von Brodorotti en Mahnel, 1982).

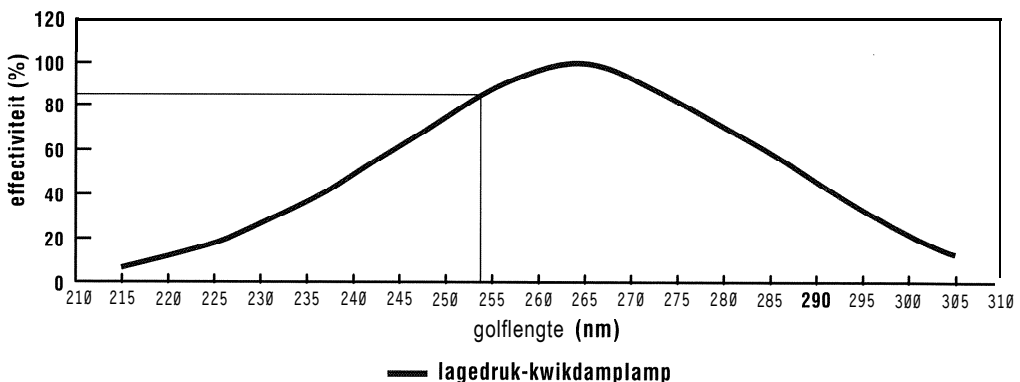
In de meeste vaste stoffen kan UV-straling helemaal niet doordringen. Bijlage 4 geeft een overzicht van de doorlaatbaarheid van een aantal materialen voor UV-C. Omdat het doordringende vermogen zo gering is, moe-

ten de micro-organismen direct door de straling worden getroffen (Kennis, 1989) en is UV-C-straling bij vaste stoffen alleen geschikt voor desinfectie van het oppervlak (Roelofs, 1996). Een ander gevolg van het gebrek aan doordringend vermogen is dat de effectiviteit in niet-schone lucht veel minder is dan in schone lucht (Kennis, 1989). Zelfs huiddeeltjes in operatiekamers, die daar drager zijn van de meeste micro-organismen, hebben een zeer negatieve invloed op de effectiviteit (Lidwell, 1994).

2.2 Soorten UV-lampen

Voor desinfectie van stallucht zijn twee soorten UV-lampen relevant, namelijk lagedruk- en middendruk-kwikdamlampen (zie bijlage 1). Lagedruk-kwikdamlampen zijn het meest efficiënt voor desinfectie. Ze zenden straling uit met een golflengte van hoofdzakelijk 254 nm (zie figuur 1.2, bijlage 1). Dit ligt redelijk dicht bij het optimum voor desinfectie (260 - 265 nm). De effectiviteit van de straling van de lagedruk-kwikdamlampen is 85%. Dit wil zeggen dat de kiemdodende werking van deze lampen gelijk is aan die van een theoretische lamp met 85% van het vermogen, maar die alleen straling uitzendt met een golflengte van 265 nm.

Naast straling met een golflengte van 254 nm ontstaat in lagedruk-kwikdamlampen ook straling met een golflengte van 185 nm. Door deze straling wordt uit zuurstof ozon gevormd. Om dit te voorkomen zijn de in bij-



Figuur 2: Effectiviteit van UV-straling als functie van de golflengte
Naar: Meutemans (1992b)

lage 1 opgenomen lagedruk-kwikdamplampen voorzien van glas dat straling met een golflengte van minder dan 200 nm niet doorlaat (bijlage 4). Verder zijn lagedruk-kwikdamplampen gevoelig voor de omgevingstemperatuur. De optimale omgevingstemperatuur voor deze lampen is ongeveer 20°C (Philips Lighting, 1992).

Middendruk-kwikdamplampen hebben als gunstige eigenschappen dat ze een hoog opeenhopend vermogen hebben (sterk geconcentreerde stralingsbundel), veel minder gevoelig zijn voor de omgevingstemperatuur en dat er door hun hoge vermogen minder lampen nodig zijn. Een nadeel van middendruk-kwikdamplampen is dat ze straling uitzenden in veel meer golflengtes, waarvan een groot deel niet effectief is voor desinfectie (zie figuur 1.4, bijlage 1). De gemiddelde UV-C-stralingsopbrengst is slechts 10 - 15% van de stralingskracht van de lamp. De effectiviteit daarvan is gemiddeld 80% (Philips Lighting, 1992). Dit betekent dat van de geleverde straling slechts 8 tot 12% effectief desinfecterend is.

2.3 Desinfectie door middel van UV-straling

Onder andere in operatiekamers van ziekenhuizen wordt UV-C gebruikt voor desinfectie van de lucht in een ruimte. Vergeleken met bepaalde gangbare filtratietechnieken is desinfectie met UV-C zeer effectief (Berg et al., 1991). Het principe van desinfectie door middel van UV-straling berust op absorptie van de UV-C-straling door het DNA en het RNA van micro-organismen. Hierdoor worden het DNA en het RNA beschadigd, waardoor de micro-organismen zich niet meer kunnen voortplanten. Behalve bacteriën en virussen (Riley, 1974) kunnen ook schimmels en gisten (Kalisvaart, 1994) met UV-straling worden bestreden. Doordat gramnegatieve bacteriën een dunner membraan hebben dan grampositieve, worden deze sneller uitgeschakeld. Sporen, die in het algemeen goed zijn ingekapseld, zijn daarentegen relatief moeilijk uit te schakelen.

Het kiemdodende effect van UV-straling is beter naarmate deze intenser is en naarmate de micro-organismen er langer aan worden blootgesteld (Marra en Gelderland, 1997). Het UV-producerende vermogen van een bron wordt uitgedrukt in Watts (W).

Afhankelijk van de spreiding van de stralingsbundel en de afstand tussen de stralingsbron en het doel bereikt een zekere hoeveelheid straling het doel (E , de bestralingssterkte). De bestralingssterkte wordt uitgedrukt in watts per vierkante meter (W/m^2). Voor de kiemdodende werking is de bestralingsdosis (H) belangrijk. De bestralingsdosis is de bestralingssterkte vermenigvuldigd met de tijd (in seconden) en wordt uitgedrukt in joules per vierkante meter (J/m^2). Volgens de wet van Bunsen-Roscoe is hier sprake van reciprociteit, wat wil zeggen dat verkorting van de bestralingstijd kan worden gecompenseerd door evenredige verhoging van de bestralingssterkte (Riley, 1974). De totale hoeveelheid energie die in de vorm van UV-straling de kiem bereikt blijft hierbij gelijk. Een gunstige eigenschap van UV-C is dat virussen, die chemisch vaak moeilijker zijn te doden er ongeveer even gevoelig voor zijn als bacteriën (Meulemans, 1992a). Ook schimmels en gisten zijn gevoelig, maar pas bij hogere doses (bijlage 2). Verder is het gunstig dat er geen resistentie tegen blootstelling aan UV-C kan optreden.

Het soort micro-organisme heeft veel invloed op de minimaal benodigde bestralingsdosis. Bij een voldoende hoge bestralingsdosis kan UV-straling de binnenkomende ventilatielucht, als deze stofvrij is, vrijwel steriliseren. In de tabel in bijlage 2 is voor een aantal micro-organismen die ziekten bij varkens kunnen veroorzaken, of die verwant zijn aan micro-organismen die dat kunnen, weergegeven met welke bestralingsdoses 90% van de desbetreffende micro-organismen in lucht onschadelijk gemaakt wordt. De tabel heeft betrekking op straling met een golflengte van 254 nm, de UV-C-straling van lagedruk-kwiklampen. Doordat niet alle micro-organismen ineens worden uitgeschakeld, maar steeds een bepaalde fractie, neemt hun aantal exponentieel af met de bestralingsdosis (Meulemans, 1992a). Zo neemt na verdubbeling van de doses in de tabel in bijlage 2 het aantal overlevende kiemen af met 99%, na een driedubbele dosis met 99,9%, enzovoort.

Uit bijlage 2 blijkt dat met een stralingsdosis van 100 J/m^2 vrijwel alle genoemde bacteriesoorten voor 90% uitgeschakeld worden. Welke reductie minimaal nodig is hangt af van het minimale aantal infectieuze eenheden dat nodig is om een infectie aan te laten

slaan en van de aanwezige infectiedruk. Volgens IKC-Veehouderij (1994) bedraagt de minimale stralingsdosis om alle relevante bacteriën en virussen uit de lucht te verwijderen 300 J/m².

In het algemeen wordt de fractie micro-organismen die blootstelling aan UV-straling overleeft beschreven met vergelijking 1.

Vergelijking 1:

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-k \cdot E_{eff} \cdot t}$$

waarbij

N_t = aantal ziektekiemen op tijd t

N_0 = aantal ziektekiemen voor de blootstelling aan UV-straling

t = blootstellingsduur, in seconden

E_{eff} = effectieve stralingssterkte, in W/m²

k = "killingrate", in m²/J. Voor een aantal micro-organismen is deze weer gegeven in bijlage 2.

Bron: Philips Lightning, 1992

Vergelijking 1 geldt alleen voor situaties met droge en schone lucht. In lucht met een RV van meer dan 80% worden kiemen beschermd door een watermantel, waardoor een hogere dosis nodig is om de kiemen onschadelijk te maken (Blendl, 1980). Ook stofdeeltjes in de lucht schermen micro-organismen af van de UV-bron. Als lucht wordt behandeld in een kanaal met meerdere lampen en reflectoren kunnen deeltjes van meerdere kanten worden bestraald en wordt de schaduwwerking gedeeltelijk teniet gedaan (Kenniss, 1989). Toch is ook dan voorfiltratie van te desinfecteren lucht gewenst (Kenniss, 1989), want daardoor worden tevens de aan stofdeeltjes gebonden micro-organismen verwijderd en worden de UV-lampen minder snel vuil.

Severin et al. (1983) hebben de gevoeligheid van een bacterie (*E. coli*), een gist (*C. parapsilosis*) en een virus (bacterial virus f2) voor UV-C onderzocht bij temperaturen van 5°C, 20°C en 35°C. Binnen dit traject bleek

de invloed van de omgevingstemperatuur op de gevoeligheid van micro-organismen voor UV-C-straling zeer beperkt.

2.4 Ozon als nevenproduct

Onder invloed van UV-C-straling met een golflengte die kleiner is dan 240 nm wordt uit lucht ozon gevormd. Met name bij gebruik van middendruk-kwiklampen, met een veel breder spectrum dan de lagedruk-kwiklampen (Philips Lighting, 1992), zal dit het geval zijn.

Ozon is een kleurloos, giftig gas en een zeer sterke oxidator, die bij afwezigheid van vocht en stof echter relatief stabiel is (Kenniss, 1989). Acute blootstelling van mensen of dieren aan een overdosis ozon verhoogt de kans op infecties en kan acute longbeschadiging veroorzaken (Koren et al., 1991). Devlin et al. (1994) rapporteren daarnaast hyperreactiviteit en een afname van de longfunctie als gevolg van blootstelling aan ozon. Het hangt af van de hoeveelheid ozon waaraan personen worden blootgesteld hoe snel en in welke mate de verschijnselen optreden (Ostro, 1993). De MAC-waarde voor ozon gedurende één uur is 0,06 ppm of 0,12 mg/m³ (Ministerie SZVV, 1999). Bij blootstelling, gedurende minder dan 10 minuten, is de Amerikaanse MAC-waarde 0,3 ppm (HSE, 1993, geciteerd door Moseley, 1994).

De halfwaardetijd van ozon in zuivere lucht is ongeveer twee uur (Marra, persoonlijke mededeling)! Daarom moet, om te voorkomen dat mensen of varkens worden blootgesteld aan een overdosis ozon, ook in het behandelingskanaal de vorming van ozon vermeden worden. Dit kan door een gerichte keuze van lagedruk-kwiklampen.

Weegen (1982) beschrijft een toepassing van UV in het luchtafvoerkanaal van varkensstallen, waarbij er juist naar wordt gestreefd om met straling met een golflengte van 185 nm ozon te vormen. Hierdoor oxyderen organische geurstoffen en neemt de stank buiten de stallen af. De lampen werden echter snel vuil en het effect was wisselend.

¹ Dr. ir. J. Marra is werkzaam bij Philips Research in Eindhoven

3 EFFECTEN VAN UV-STRALING OP MENSEN OF VARKENS

3.1 Inleiding

De zon is de belangrijkste UV-bron in het algemeen, maar omdat UV-C-straling de atmosfeer niet kan passeren is alle blootstelling aan UV-C het gevolg van kunstmatige bronnen (Diffey, 1990). Blootstelling aan UV-straling heeft verschillende effecten.

Gunstige effecten van blootstelling van de huid aan UV-C zijn de productie van vitamine D (Diffey, 1990; Ohnaka, 1993) en de preventie van Engelse ziekte bij kinderen (Ohnaka, 1993). Ongunstige effecten van UV-straling hebben vooral betrekking op de huid en de ogen.

Overmatige blootstelling aan UV-C veroorzaakt pijn, maar deze is niet blijvend (Riley, 1991). Vanwege het beperkte doordringend vermogen van UV-C-straling veroorzaakt UV-C volgens Riley (1991) geen blijvende klachten als huidkanker of cataract (bruine staar).

3.2 Blootstelling van mensen aan UV-straling

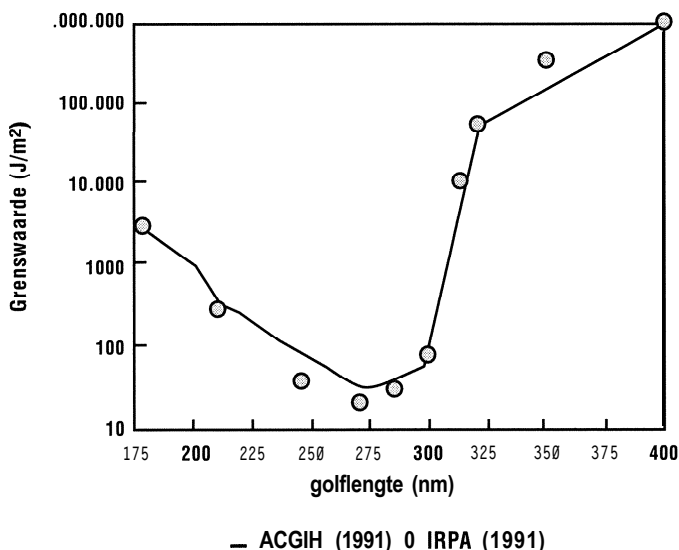
Diffey (1990) heeft een overzicht gemaakt van de blootstelling van mensen in West-

Europa aan natuurlijke en kunstmatige UV-straling, zowel vrijwillig (bijvoorbeeld om een bruine huid te verkrijgen of om medische redenen) als onvrijwillig (bijvoorbeeld beroepsmatige blootstelling).

Om te kunnen beoordelen of een bepaalde mate van blootstelling acceptabel is zijn grenswaarden gedefinieerd. Volgens Riley (1991) zijn grenswaarden voor UV-C gericht op preventie van pijn.

Het niveau van de grenswaarden is afhankelijk van de golflengte. In figuur 3 zijn grenswaarden (TLV, Threshold Limit Values) weergegeven voor blootstelling aan UV-straling gedurende een achturige werkdag. De richtlijnen volgens de ACGIH (American Congress of Governmental Industrial Hygienists) en volgens de IRPA (International Radiation Protection Association) zijn beide weergegeven.

Omdat de ogen gevoeliger zijn dan de huid moeten de grenswaarden bij blootstelling van de ogen worden gezien als een absolute grens en bij blootstelling van alleen de huid als een richtlijn (Moseley, 1994). De richtlijn voor blootstelling van de huid is alleen relevant als



Figuur 3: Grenswaarden voor blootstelling aan UV-straling gedurende een werkdag

Bron: ACGIH, 1991, geciteerd door Philips Lighting (1992)

IRPA, 1991, geciteerd door Mosely (1994)

de ogen zijn afgeschermd, zoals bij vrijwillige blootstelling. Bij onvrijwillige blootstelling, bijvoorbeeld door reflectie op de werkplek, worden de ogen vrijwel altijd blootgesteld.

De grenswaarde voor achturige blootstelling aan UV-C (254 nm) volgens NIOSH is $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Riley, 1991). Dit komt overeen met een dosis van $57,6 \text{ J}/\text{m}^2$. Deze grenswaarde is wat hoger dan de TLV volgens ACGIH (1991) en de richtlijn volgens IRPA (1991).

3.2.1 Invloed van UV-C op de huid

Het meeste onderzoek naar de effecten van humane blootstelling aan UV dat wordt uitgevoerd heeft betrekking op zonlicht. Zonlicht heeft een breed spectrum, maar straling met een golflengte van minder dan 290 nm bereikt het aardoppervlak nauwelijks. Aangezien UV-C-straling een golflengte heeft van minder dan 280 nm worden effecten van UV in zonlicht vrijwel geheel veroorzaakt door UV-A en UV-B.

Blootstelling van de huid aan een overdosis UV geeft op korte termijn een verhoogde kans op erytheem (roodkleuren van de huid), bruinverkleuring of verdikking van de huid. Hoewel Bajdik et al. (1996) in een case-control-onderzoek geen invloed van blootstelling aan kunstmatige UV-straling op huidkanker vonden, wordt vrij algemeen aangenomen dat door blootstelling aan UV op lange termijn de kans op veroudering van de huid of huidkanker toeneemt (Mosely, 1994).

In literatuur wordt niet altijd onderscheid gemaakt tussen de verschillende soorten UV-straling. Bovendien produceren sommige UV-lampen naast het gewenste UV-C ook UV-straling met andere golflengten. Daarom zijn in deze paragraaf tevens effecten van UV-A- en van UV-B-straling opgenomen.

Erytheem

Erytheem, roodkleuren van de huid ('verbranding'), kan het gevolg zijn van een overdosis UV-A, UV-B of UV-C. De gevoeligheid van individuen voor erytheem is afhankelijk van het huidtype.

De invloed van UV-B is het meest bekend: roodverkleuring begint na een half tot acht uur, is maximaal na 12 tot 24 uur en ver-

dwijnt na enkele dagen (Sayre et al., 1966, geciteerd door Mosely, 1994). Erytheem ten gevolge van UV-C is al na vijf tot acht uur maximaal en verdwijnt ook sneller dan erytheem ten gevolge van UV-B. Erytheem ten gevolge van UV-A is direct na blootstelling maximaal en verdwijnt sneller dan de andere twee vormen (Kaidbey en Kligman, 1979, geciteerd door Mosely, 1994).

Bruinverkleuring

Bruinverkleuring (pigmentatie) heeft een beschermende werking op de huid, doordat UV-straling minder diep in de huid kan doordringen (Gezondheidsraad, 1986). Bij straling met een golflengte van meer dan 300 nm is de huid even gevoelig voor erytheem als voor bruinverkleuring, maar bij kortere golflengten verbrandt de huid sneller dan dat deze bruin wordt (Parrish et al., 1982, geciteerd door Mosely, 1994). Bruinverkleuring als gevolg van blootstelling aan UV-C is zwak en verdwijnt relatief snel (Gezondheidsraad, 1986).

Verdikking van de huid

Verdikking van de huid, dit betreft zowel het levende als het dode deel van de opperhuid, is vooral het gevolg van blootstelling aan UV-B (Gezondheidsraad, 1986). Als gevolg van de verdikking worden ondergelegen cellagen beschermd tegen UV-straling.

Huidveroudering

Onder huidveroudering wordt verstaan dat de huid haar elasticiteit verliest en gaat rimpelen. Roza et al. (1989, geciteerd door Mosely, 1994) noemen met name UV-A als oorzaak van huidveroudering, maar het is niet duidelijk of andere golflengten ook invloed hebben.

Huidkanker

Bij huidkanker wordt onderscheid gemaakt tussen carcinomen (tumoren van huidcellen) en melanomen (tumoren van pigmentcellen). Carcinomen komen meer voor, maar bij melanomen is de kans op uitzaaiing groter (Gezondheidsraad, 1986). Peak en Peak (1989, geciteerd door Mosely, 1994) noemen UV-A en UV-B als oorzaken van huidkanker. Volgens Riley (1991) heeft UV-C geen invloed op het ontstaan van huidkanker.

3.2.2 Invloed van UV-C op de ogen

De ogen zijn zeer gevoelig voor UV-straling, maar eventuele schade is afhankelijk van de golflengte. Het hoornvlies is gevoelig voor UV-B en UV-C. De lens is gevoelig voor UV-B en, naarmate men ouder wordt, voor UV-A, terwijl het netvlies alleen bereikt kan worden door een deel van de UV-A-straling (Bergmanson en Söderberg, 1995). Een overdosis UV aan de ogen veroorzaakt op korte termijn een verhoogde kans op keratitis en conjunctivitis. Op lange termijn neemt het risico op cataract toe. Evenals in paragraaf 3.2.1 zijn ook in deze paragraaf enkele effecten van UV-A- en van UV-B-straling opgenomen.

Keratitis en conjunctivitis

Blootstelling aan UV-B of UV-C veroorzaakt keratitis en conjunctivitis, dit zijn ontstekingen van respectievelijk het hoornvlies en het bindvlies (Mosely, 1994). Deze pijnlijke aandoeningen worden ook wel sneeuwblindheid of lasogen genoemd. De symptomen verschijnen na enkele uren en verdwijnen doorgaans binnen 24 tot 48 uur. In zeldzame gevallen ontstaat permanente beschadiging (Pitts et al., 1977, geciteerd door Mosely, 1994). Volgens de Gezondheidsraad (1986) is permanente afname van het gezichtsvermogen mogelijk na zeer hoge bestralingsdoses.

Cataract

Cataract (bruine staar) is een gevolg van beschadiging van de lens. Omdat alleen straling met een golflengte van meer dan 295 nm het hoornvlies kan passeren, is dit doorgaans het gevolg van blootstelling aan UV-A (Pitts et al., 1977, geciteerd door Mosely, 1994).

3.2.3 Veiligheidsmaatregelen

Bij gebruik van UV-C voor desinfectie van de lucht moet zoveel mogelijk voorkomen worden dat personen worden blootgesteld aan de straling. Als UV-C wordt gebruikt voor desinfectie van de bovenste luchtlagen in een ruimte waarin wordt gewerkt is er, als gevolg van reflectie, kans op blootstelling (Kenniss, 1989). Dit kan worden voorkomen door het plafond en obstakels die door de UV-C-straling kunnen worden bereikt, te ver-

vaardigen van niet-reflecterend materiaal. Voor bescherming van de ogen tegen onvrijwillige blootstelling aan UV-C kunnen brillen met gewoon glas worden gebruikt, omdat dit glas vrijwel alle straling tot een golflengte van 300 nm tegenhoudt (zie figuur 4.1 in bijlage 4). Als bescherming geboden moet worden tegen straling met grotere golflengten (UV-A en UV-B) is speciaal glas nodig. In dit kader zijn de Europese normen EN 169 en EN 170 relevant (Moseley, 1994).

Huidkanker is in vrijwel alle gevallen het gevolg van overmatige blootstelling aan zonlicht (Moseley, 1994). Bescherming is mogelijk met zonnecremes of door de huid te bedekken. Kleding houdt echter niet alle straling tegen, maar slechts een deel ervan. Volgens Davis et al. (1997) beschermen weefsels die (gedeeltelijk) zijn gemaakt van polyester relatief goed tegen UV-straling. In het algemeen beschermen weefsels met een donkere kleur beter tegen UV-straling dan licht gekleurde weefsels en zware, dicht geweven weefsels beter dan lichtere weefsels (Davis et al., 1997). Er zijn echter zoveel factoren die de beschermingswaarde van kleding tegen UV beïnvloeden, zoals soort stof, manier van weven, dichtheid van weven, rekbaarheid van de stof en bijvoorbeeld vochtigheid, dat schattingen op basis van algemene richtlijnen riskant zijn. Het is daarom beter de beschermingswaarde daadwerkelijk te berekenen (Gies et al., 1994).

3.3 Blootstelling van varkens aan UV-straling

Paragraaf 3.3.1 gaat in op de directe effecten van UV-C op de varkens. In paragraaf 3.3.2 zijn de resultaten van enkele onderzoeken naar de invloed van desinfectie door middel van UV-C op de technische resultaten van varkens weergegeven.

3.3.1 Schadelijke effecten van UV-C op varkens

Net als bij mensen kan blootstelling aan UV-C ook bij varkens verbranding van de huid veroorzaken, maar er zijn ook dieren die niet tegen de straling kunnen. Deze varkens vreten slecht en zijn onrustig. Het is nodig met een lage stralingsduur te beginnen en deze

rustig te verhogen. Omdat de gevoeligheid per dier verschilt is individuele diercontrole noodzakelijk. Bij zeugen zijn de oren en uiers het meest gevoelig zijn voor UV-C-straling. Bos (1988) heeft onderzoek uitgevoerd in ingestrooide kraamafdelingen, waarin UV-C-lampen verticaal aan het plafond waren gehangen. Er was sprake van 'onaanvaardbaar veel' huidverbranding van de varkens, en twee zeugen in de afdeling met UV werden ziek. Hoofs (1990) heeft varkens in een niet-ingestrooide kraamafdeling op een soortgelijke manier blootgesteld aan UV-C als Bos (1988). Ook Hoofs (1990) zag regelmatig zeugen met verbrandingsverschijnselen en enkele zeugen konden zich niet handhaven in de afdeling. Bos (1988) en Hoofs (1990) zien beiden weinig perspectief voor desinfectie van stallucht waarbij de varkens direct aan UV-C worden blootgesteld.

3.3.2 Invloed van desinfectie met UV-C op technische resultaten

Kalich en Blendl (1977) hebben in ingestrooide stallen voor vleesvarkens UV-C-producerende lampen (253,7 nm) opgehangen. Onder de lampen hing een scherm om directe blootstelling van de varkens aan UV-C te voorkomen. Op de ligruimten was de bestralingssterkte aanvankelijk 40 mW/m² en later 63 mW/m², op de mestgang eerst 118 en later 147 mW/m². Het kiemgehalte van de stallucht zonder UV-C-behandeling was twee tot zeven keer hoger dan in de ruimten met UV-C-behandeling. De mate van afname was sterk beïnvloed door de bestralingsintensiteit. Kalich en Blendl (1977) vonden dat na drie weken bestraling de gramnegatieve kiemen vrijwel geheel verdwenen waren, maar dat er grampositieve kiemen, met name schimmels, waren bijgekomen. De groeisnelheid van de varkens nam met 9,5% toe, de voederconversie was iets gunstiger, de uitval lager en er waren minder longafwijkingen. Deze effecten waren sterker naarmate de bestralingsintensiteit hoger was. Op basis van deze resultaten adviseren Kalich en Blendl (1977) Deense stallen boven de ligruimten te bestralen met UV-C met een intensiteit van 150 tot 200 mW/m² en boven de mestruimten met 600 mW/m². In

1980 adviseert Blendl voor stallen met roostelwoeren een bestralingsintensiteit van 100 tot 150 mW/m². Kalich en Blendl (1977) merken op dat de lampen niet mogen branden als er mensen in de afdeling aanwezig zijn. Berger et al. (1979) refereren naar diverse publicaties (Schwab, 1927; Koschuchowski, 1958; Kliemann, 1963; Has, 1965; Romanjuk, 1973; Blechschmidt en Püttschel, 1974; Mehlhorn, 1977) waarin een gunstige invloed van UV-straling op groeisnelheid, vruchtbaarheid, uitvalspercentage en vleeskwaliteit werd waargenomen. Ze stellen op basis van literatuuronderzoek een 'eenduidig positieve invloed' vast van UV bij varkens op vermeerderingsbedrijven. Het is echter niet duidelijk welk type UV-straling het betreft. Tijdens hun eigen onderzoek hebben ze vleesvarkens periodiek blootgesteld aan straling, tot een niveau waarbij juist geen verbranding van de huid optrad. De varkens werden, verdeeld over het mesttraject, gedurende zes perioden van vijf dagen drie tot vijf minuten per dag blootgesteld aan UV. Berger et al. (1979) vonden geen enkele invloed op de technische resultaten en geen eenduidige invloed op de vleeskwaliteit. Bos (1988) heeft biggen in ingestrooide kraamafdelingen kunstmatig besmet met *Bordetella bronchiseptica* of met *Pasteurella multocida* en onderzocht of het voorkomen van Atrophische Rhinitis (AR) met UV-C kon worden onderdrukt. Hiertoe waren in de proefafdeling UV-C-lampen verticaal aan het plafond opgehangen. Bos (1988) heeft geen statistische analyses uitgevoerd. In de afdeling met UV-C-lampen was na negen weken 44% van de biggen AR-positief, in de controle-afdeling 68%. Daar staat tegenover dat in de UV-C-afdeling 16% van de biggen een scheef neusseptum had, tegenover 5% in de controle-afdeling. Bos (1988) vond geen invloed van UV-C op de groeisnelheid van de biggen. Hoofs (1990) heeft varkens in een niet-ingestrooide kraamafdeling intermitterend (bijvoorbeeld twee uur aan/één uur uit) blootgesteld aan UV-C. De bestralingssterkte en -dosis zijn niet bekend, maar ook Hoofs (1990) vond geen invloed op de technische resultaten.

4 TOEPASSING VAN UV IN STALLEN

Twee methoden van luchtdesinfectie door middel van UV-straling worden onderscheiden: desinfectie binnen de afdeling en desinfectie van binnenkomende lucht in de luchtinlaat, dus buiten de afdeling.

Bij desinfectie binnen de afdeling mogen varkens of mensen niet aan hoge doses UV worden blootgesteld. De UV-straling kan met speciale kappen en lamellen worden gebundeld en in een bepaalde richting geleid, zodat deze de varkens en eventueel aanwezige personen niet bereikt. In ziekenhuizen wordt deze methode succesvol toegepast (Kennis, 1989). Misschien is deze methode ook in varkensstallen toepasbaar om de ziektedruk te verlagen. Omdat de ziektekiemen al in de afdeling zijn voordat ze worden vernietigd, is deze methode echter ongeschikt om insleep van micro-organismen te voorkomen.

Bij luchtdesinfectie in de luchtinlaat wordt alle ventilatielucht langs UV-lampen gevoerd voordat deze de stal in gaat. De benodigde mate van desinfectie van de binnenkomende lucht hangt af van het aantal aanwezige micro-organismen en het aantal micro-organismen dat nodig is om een infectie aan te laten slaan. Als van alle relevante micro-organismen de benodigde reductie bekend is kan de vereiste dosis worden bepaald. De vereiste dosis is één van de gegevens die nodig is om het benodigde aantal lampen te berekenen.

4.1 Benodigde mate van kiemreductie

Ideaal is een reductie van het aantal kiemen met 100%, wat neerkomt op sterilisatie van de binnenkomende lucht, maar meestal mag de kiemreductie ook minder zijn. De vereiste reductie is afhankelijk van de infectiedruk van het micro-organisme dat moet worden tegengehouden in de binnenkomende lucht en de minimale infectieuze dosis voor dit

micro-organisme. De infectiedruk is onder andere afhankelijk van de varkensdichtheid in de regio, de afstand tot andere varkensbedrijven in de omgeving, de emissie van micro-organismen vanuit deze bedrijven en de verplaatsbaarheid van deze micro-organismen via de lucht. De emissie van micro-organismen hangt weer af van de omvang van de bedrijven, de ziektedruk die daar heerst en de eventuele behandeling van afgevoerde lucht. De verplaatsbaarheid via de lucht is per ziekte verschillend. Ziekten die zich zeker via de aerogene route over bedrijven kunnen verspreiden zijn de Ziekte van Aujeszky, PRRS, Mond- en klauwzeer, influenza en longontsteking als gevolg van *Mycoplasma hyopneumoniae*. Atrofische Rhinitis (snuffelziekte) en long- en borstvliesontsteking (*Actinobacillus pleuropneumoniae*) verspreiden zich ook via de lucht, maar over veel kortere afstanden. Bij *Serpulina hyodysenteriae* (diarree), *Streptococcus suis* spp. (gewrichtsontsteking) en Transmissible Gastro Enteritis (virusdiarree) is verspreiding via de lucht onwaarschijnlijk (IKC-Veehouderij, 1994).

De minimale infectieuze dosis, die bepaalt hoeveel kiemen in de behandelde lucht mogen achterblijven, is afhankelijk van het micro-organisme en van de weerstand van de varkens. Voor ziekten als Mond- en klauwzeer en de Ziekte van Aujeszky zijn enkele virusdeeltjes al in staat om een infectie op te leveren (Bianchi, persoonlijke mededeling)², terwijl van sommige andere ziekteverwekkers een hogere dosis nodig is om een ziekte-uitbraak te veroorzaken. Tenslotte is ook de economische schade die een ziekte-uitbraak kan aanrichten van belang bij het bepalen van de gewenste inspanning om het aantal kiemen te reduceren.

Uit het voorgaande blijkt dat er geen algemene richtlijn gegeven kan worden voor de te realiseren reductie van het aantal kiemen.

² Dr. A.T.J. Bianchi is werkzaam bij ID-DL0 te Lelystad

4.2 Benodigd aantal lampen

Uit vergelijking 1 (paragraaf 2.3) blijkt dat er een relatie is tussen enerzijds de relatieve afname van het aantal kiemen en anderzijds de effectieve stralingssterkte (onder andere afhankelijk van de afstand tot de lamp) en de tijd. Als bekend is hoeveel UV-straling de lamp geeft per meter lengte kan het benodigde aantal meters lamp worden berekend met vergelijking 2. (In bijlage 5 is weergegeven hoe deze vergelijking is afgeleid.)

Vergelijking 2:

$$l = \frac{-4 \cdot \phi_L \cdot \ln \frac{N_t}{N_0} \cdot (1-R)}{d \cdot k \cdot \eta_{\text{germ}} \cdot Y}$$

waarbij

- l = lengte van de buis
- ϕ_L = ventilatiecapaciteit (m^3/s)
- N_t/N_0 = gewenste relatieve afname van het aantal kiemen
- R = reflectiewaarde van de binnenste buiswand (bijlage 3)
- d = diameter van de buis (m)
- k = "killing rate" (m^2/J) van de te elimineren micro-organismen (bijlage 2)
- η_{germ} = kiemdodende effectiviteit van de UV-straling (ten opzichte van straling van 265 nm)
- Y = UV-productie met meter lamplengte (W/m)

Bron: Philips Lightning, 1992

Uit de berekende vereiste lengte van het behandelingskanaal en de lengte van de lampen blijkt het benodigde aantal lampen.

Hierbij moet worden bedacht dat:

- de UV-productie (Y) geldt voor schone lampen. Daarom moet, bijvoorbeeld met stoffilters vóór de lampen, voorkomen worden dat de lampen snel vuil worden en moeten ze regelmatig worden schoongemaakt.
- de lucht stofvrij moet zijn, omdat stofdeeltjes micro-organismen afschermen van de UV-C-bron.
- de RV van de binnenkomende lucht invloed heeft op de killing rate (k). Bij een

RV van meer dan 65% (Riley, 1974) of 80% (Blendl, 1980) is een hogere dosis nodig, dus wordt k kleiner.

- er gestreefd moet worden naar turbulentie in het behandelingskanaal. Volgens Severin et al. (1984) is bij desinfectie van water met behulp van UV-C een laminaire stroming ongewenst. Door de schaduwwerking van kleine vaste deeltjes in de lucht is het aannemelijk dat ook bij desinfectie van lucht turbulentie gewenst is. Turbulentie voorkomt dat deeltjes zich tijdens de passage van het UV-kanaal voortdurend in de schaduw van andere deeltjes bevinden of slechts aan één kant worden bestraald. Beweging van de lucht in radiale richting is dan zeer gunstig, maar beweging in longitudinale richting niet. Omdat het aannemelijk is dat in behandelingskanalen voor binnenkomende stallucht met een lengte van tientallen meters de longitudinale bewegingen in voorwaartse en in achterwaartse richting elkaar redelijk opheffen, zullen de voordelen van turbulentie de nadelen overheersen.
- in de formules geen rekening is gehouden met het volume van de lampen. In ventilatiekanalen met een grote diameter is deze wellicht te verwaarlozen, maar bij smallere ventilatiekanalen veroorzaakt dit een onderschatting van de stroomsnelheid van de lucht door het kanaal, waardoor de dosis kleiner is dan de berekende dosis (Van der Veer en Zagt, 1997).
- de UV-lampen jaarlijks moeten worden vervangen. Ze branden dan nog wel, maar met nog slechts 70% van hun vermogen (Philips Lighting, 1992).
- UV-installaties voor desinfectie voorzien zouden moeten zijn van UV-meters om de bestralingsintensiteit te kunnen controleren (in de praktijk zijn ze dat zelden).

4.3 Implementatie in een ventilatiesysteem

IKC-Veehouderij (1994) heeft een aantal criteria geformuleerd waaraan een systeem voor desinfectie van binnenkomende lucht moet voldoen.

Ten eerste moet het ventilatiesysteem met overdruk werken. Bij een onderdrukstelsel komt lucht, behalve via de luchtinlaat, ook binnen door open deuren kieren en andere

openingen. Deze lucht, de zogenaamde leklucht, is niet behandeld. Bij overdrukventilatie komt alle lucht gecontroleerd de stal binnen en kan alle lucht effectief worden voorbehandeld. Als volledige sterilisatie geen voorwaarde is kan luchtbehandeling met UV-C ook in stallen met overdrukventilatie worden toegepast. Als vuistregel om de hoeveelheid leklucht in goed onderhouden stallen met overdrukventilatie te schatten kan gerekend worden met 2 tot 5% bij plafondventilatie en 10 tot 15% bij grondbuizen (Huijben, persoonlijke mededeling)³. Als in de lucht die binnenkomt via het ventilatiesysteem bijvoorbeeld 99,9% van de kiemen is verwijderd, zal het aantal kiemen dat de afdelingen binnenkomt in deze gevallen afnemen met 95 tot 98% respectievelijk 85 tot 90%. Een mogelijkheid om de invloed van leklucht te beperken is het behandelen van de lucht die naar de centrale gangen gaat. Als bovendien in de centrale gang een kleine overdruk wordt gerealiseerd, komt er bij het openen van de buitendeuren geen onbehandelde lucht naar binnen, maar stroomt behandelde lucht naar buiten. Hierdoor zal de hoeveelheid lucht die onbehandeld in de afdelingen komt sterk verminderen. Luchtbehandeling met UV-C in de centrale gangen kan alleen als er geen mensen of dieren in aanwezig zijn. Vervolgens moet de capaciteit van de UV-installatie voldoende zijn. Bij het berekenen van het benodigde desinfecterende vermogen is de norm voor maximale ventilatie

maatgevend, en deze verschilt per diercategorie. In tabel 1 zijn de te realiseren normen voor maximale ventilatie weergegeven.

De desinfectie van de lucht kan plaatsvinden in een centrale behandelunit of per afdeling. IKC-Veehouderij (1994) beschrijft drie mogelijke systemen, waarvan één met een centrale behandelunit en twee met een eindbehandeling per afdeling. De systemen zijn echter vooral gericht op desinfectie van de lucht door middel van absoluutfiltratie. Omdat er in de door IKC-Veehouderij (1994) beschreven systemen geen kanalen voorkomen waar de lucht lang genoeg kan worden blootgesteld aan UV-straling, zijn aanpassingen noodzakelijk. Hetzelfde zal gelden bij inpassing in de meeste bestaande stallen.

4.4 Kosten van het toepassen van UV-straling

De kosten van desinfectie van stallucht met UV-C bestaan uit kosten voor een kanaal waarin de lucht wordt behandeld, een stoffiltersysteem, kosten voor de elektrische installatie met UV-lampen (inclusief aanlegkosten), elektriciteitskosten en kosten voor het periodiek reinigen van de lampen. Deze kosten hangen met elkaar samen. Zo heeft de doorsnede van het luchtbehandelingskanaal invloed op het aantal lampen dat nodig is voor desinfectie en op de reinigingskosten. Verder hebben de gewenste mate van desinfectie, de keuze voor onder-

Tabel 1: Normen¹ voor maximale ventilatie (te realiseren m³/uur/dier)

diercategorie	algemene norm	systemen met centrale afzuiging ²
zeugen met biggen	250	200
guste en drachtige zeugen	150	150
gespeende biggen	25	20
vleesvarkens	80	60

¹ bij luchtcooling mag de capaciteit onder bepaalde voorwaarden 15% lager zijn

² alleen onder door Klimaatplatform (1997) geformuleerde voorwaarden

Bron: Klimaatplatform, 1997

³ Ing. J.J.H. Huijben is werkzaam op het Praktijkonderzoek Varkenshouderij in Rosmalen

druk- of overdrukventilatie, de benodigde ventilatiecapaciteit en het wel of niet voorfilteren van de binnenkomende lucht invloed op de kosten.

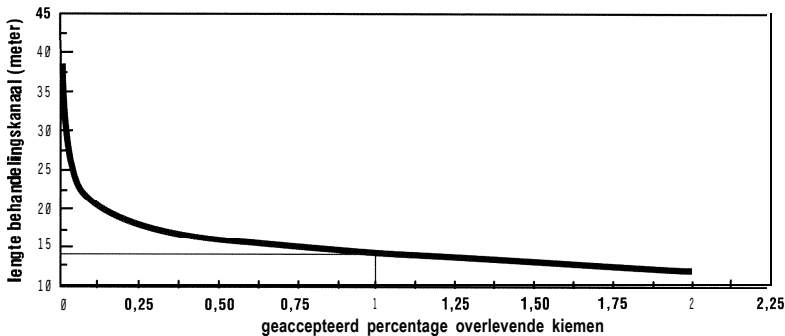
In deze paragraaf is de invloed weergegeven van de diameter van het behandelingskanaal en van de gewenste mate van desinfectie op het benodigde aantal lampen. Vervolgens zijn ter indicatie voor een vermeerderingsbedrijf en een vleesvarkensbedrijf de benodigde investering en de jaar-kosten berekend.

Samenhang tussen diameter van het behandelingskanaal, gewenste relatieve afname van het aantal kiemen en de lengte van het behandelingskanaal

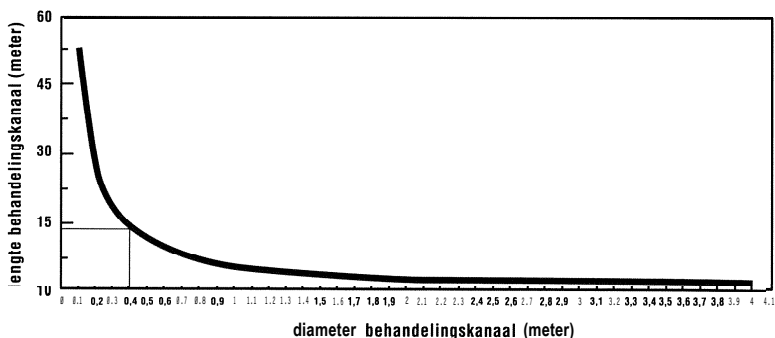
Uit vergelijking 2 (paragraaf 4.2) blijkt dat de benodigde lengte van het behandelingskanaal onder andere afhangt van de gewenste mate van afname van het aantal kiemen

(N_t/N_0). In figuur 4 is deze relatie grafisch weergegeven. Hierbij is uitgegaan van 99% afdoening in een biggenopfokafdeling voor 80 biggen, die is doorgerekend in bijlage 5, met gebruik van de 'TUV 115W VHO' lamp (met $Y \times l = 32$ Watt, zie tabel 1.1 in bijlage 1). Verder is aangenomen dat de vereiste bestralingsdosis voor 90% reductie van het aantal kiemen bij een golflengte van 254 nm 80 J/m² bedraagt ($k = 0,034$). De diameter van het ronde behandelingskanaal is 0,4 m.

Uit figuur 4 blijkt dat het behandelingskanaal langer moet zijn naarmate het geaccepteerde percentage overlevende kiemen kleiner is. Met name als minder dan 1promille overleving wordt geaccepteerd neemt de benodigde dosis, en daarmee de benodigde lengte van het behandelingskanaal, sterk toe. De waarde onder welke de benodigde dosis sterk gaat toenemen is onder andere afhan-



Figuur 4: Verband tussen benodigde kiemreductie en lengte van het behandelingskanaal



Figuur 5: Relatie tussen de diameter en de lengte van het behandelingskanaal

kelijk van de killingrate (k) en daarmee van het te bestrijden micro-organisme.

Een tweede factor die de benodigde lengte van het behandelingskanaal sterk beïnvloed is de diameter van het kanaal. Dit komt doordat de lucht langzamer door het kanaal gaat naarmate de doorsnede groter is, waardoor de bestralingstijd toeneemt. De relatie tussen de diameter van een (rond) kanaal en de benodigde lengte is grafisch weergegeven in figuur 5. De uitgangspunten zijn gelijk aan die in figuur 4, maar nu is het overlevingspercentage constant gesteld op 1%.

Figuur 5 illustreert dat de benodigde lengte van het behandelingskanaal afneemt naarmate de diameter groter is. Ook bij deze relatie wordt de plaats waar de curve steiler omhoog gaat lopen (in dit voorbeeld bij een diameter van ongeveer 0,4 meter) beïnvloed door de killing-rate van het te weren micro-organisme.

Voorbeeldberekening

Op een vermeerderingsbedrijf met 210 zeugen zijn aanwezig: 165 guste of drachtige zeugen, 45 zeugen in de kraamstal en 80 gespeende biggen. Bij een ventilatiesysteem met centrale afzuiging en luchtkoeling, conform de door Klimaatplatform (1997) gestelde voorwaarden, is de totale maximale ventilatiebehoefte voor dit bedrijf, berekend met behulp van tabel 1 (paragraaf 4.3), 42.290 m³ per uur, ofwel 11,75 m³ per seconde.

Om te berekenen hoeveel Philips TUV 115W VHO-lampen nodig zijn om 99% van de

micro-organismen onschadelijk te maken in een kanaal met een doorsnede van 2 m en een reflectiewaarde van 0,6 kan in eerste instantie vergelijking 5.2 (bijlage 5) worden gebruikt:

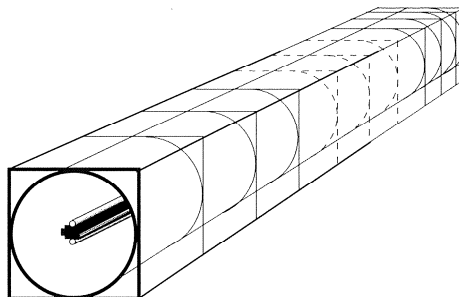
$$n = \frac{4 \cdot \phi_L \cdot H \cdot (1 - R)}{d \cdot E} = \frac{4 \cdot 11,75 \cdot H \cdot (1 - 0,6)}{2 \cdot 32} = \frac{H}{3,404}$$

De waarde van H/3,404 is het aantal lampen dat nodig is voor 90% reductie. Het aantal benodigde lampen is nu nog afhankelijk van H. Als bekend is welke micro-organismen bestreden moeten worden kan uit bijlage 2 de bijbehorende waarde voor H worden afgelezen. Voor de meeste micro-organismen is deze kleiner dan 80 J/m², dus met deze dosis worden de meeste micro-organismen met minimaal 90% gereduceerd. Hiervoor zijn 80/3,404 = 23,5 lampen nodig. Voor 99% reductie zijn dan 47 lampen nodig.

Als deze lampen paarsgewijs, met de achterkanten van de armaturen tegen elkaar, in het midden van de ronde ventilatiekoker worden opgehangen, heeft deze koker een lengte van 1,20 m x 24 lampen = 28,80 meter (figuur 6).

De jaarlijkse kosten van een dergelijke luchtbehandelingssysteem voor een volledig vermeerderingsbedrijf met 210 zeugen bedragen naar schatting f 33.075,- en zes uur arbeid (bijlage 6). Inclusief arbeid worden de jaarlijkse kosten van dit systeem geschat op f 33.300,-.

Voor een bedrijf met 2.600 vleesvarkens be-



Figuur 6: Schematische weergave van de ventilatiekoker. De filterunit (EU4) met steunventilator bij de ingang van de koker is niet afgebeeld

draagt de vereiste ventilatiecapaciteit bij centrale afzuiging en luchtkoeling 132.600 m³ per uur (tabel 1), ofwel 36,8 m³ per seconde. Als deze hoeveelheid lucht wordt behandeld op dezelfde manier als is beschreven

voor het vermeerderingsbedrijf bedragen de geschatte jaarlijkse kosten f 103.525,- en 19 uur arbeid. Inclusief arbeid worden de jaarlijkse kosten van dit systeem geschat op f 104.300,-.

5 DISCUSSIE

Het doel van desinfectie van binnenkomende ventilatielucht is de kans op ziekte-insleep te beperken. Dit past in het streven naar vrijwaring van bepaalde ziekten.

Andere besmettingsroutes dan die via de lucht zijn echter zeker zo belangrijk.

Sommige ziekten zijn op veel bedrijven endemisch aanwezig. Met betrekking tot de insleep van ziekten op bedrijven die daar vrij van zijn, zijn volgens De Jong (persoonlijke mededeling)⁴ zelfs bij ziekten die goed via de lucht kunnen worden verspreid, zoals influenza en *Actinobacillus pleuropneumoniae* (éénzijdige longontsteking), andere infectieroutes dan die via de lucht veel waarschijnlijker. Andere belangrijke infectieroutes zijn aangekochte dieren, bezoekers, huisdieren, ratten, muizen, gereedschap en insecten. Pas als deze andere infectieroutes zijn afgesloten zijn relatief dure maatregelen, zoals desinfectie van binnenkomende lucht, relevant.

Bij de afweging om binnenkomende lucht wel of niet te behandelen speelt ook de maatschappelijke acceptatie een rol. Als consumenten of vertegenwoordigers van maatschappelijke organisaties luchtzuivering zien als een onderdeel van een onnatuurlijke productiemethode kan dat negatieve gevolgen hebben. Ook het sterk toenemende energieverbruik roept vragen op met betrekking tot de acceptatie van luchtbehandeling. Het is zinvol om dergelijke afwegingen mee te nemen bij eventuele introductie van systemen om de lucht te zuiveren.

Bij de praktische toepasbaarheid van lucht-desinfectie met UV-C speelt tenslotte ook de bereikbaarheid van de UV-lampen een rol, omdat ze regelmatig schoongemaakt en jaarlijks vervangen moeten worden.

5.1 Toepassing in stallen

Voordat systemen voor desinfectie van stal-lucht kunnen worden ingebouwd moet worden berekend welke UV-C-capaciteit nodig

is. Deze vraag hangt onder andere samen met het ventilatiesysteem.

Benodigde UV-C-capaciteit

Voor het berekenen van de benodigde UV-C-capaciteit voor een concrete stal is veel informatie nodig, die momenteel nog niet allemaal beschikbaar is. Eerst moet zorgvuldig bepaald worden welke ziekten geweerd moeten worden. Dan moet per relevante ziekteverwekker bekend zijn in welke concentratie deze maximaal in de omgevingslucht van de desbetreffende stal verwacht kan worden. Waarschijnlijk is deze concentratie maximaal als de ziekte op de bedrijven in de omgeving heerst. De ziektedruk in die situatie kan dan als uitgangspunt genomen worden. Verder moet de gevoeligheid van het micro-organisme voor UV-C bekend zijn, en ook dat is voor veel ziekteverwekkers bij varkens niet het geval. Hetzelfde geldt voor het aantal ziektekiemen dat nodig is om een ziekte-uitbraak te forceren. Tenslotte is het waarschijnlijk dat de benodigde ventilatiecapaciteit omlaag gebracht kan worden als de verse lucht direct bij de dieren wordt gebracht. Op basis van deze gegevens, die nog vastgesteld moeten worden, en van gegevens die al wel bekend zijn moet de benodigde UV-C-capaciteit worden berekend.

In paragraaf 2.2 is gesteld dat lagedruk-kwiklampen temperatuursgevoelig zijn. Bij lage temperaturen leveren ze minder UV-C-straling dan bij hogere temperaturen. Hoewel de invloed van de omgevingstemperatuur op de gevoeligheid van micro-organismen voor UV-C zeer beperkt is (Severin et al., 1983) heeft de temperatuur daarom toch invloed op het overlevingspercentage. Bij het berekenen van de benodigde capaciteit voor behandeling van ventilatielucht in varkensstallen heeft dit waarschijnlijk geen invloed, omdat het ventilatieniveau in de winter veel lager is dan in de zomer.

⁴ Dr. ir. M.C.M. de Jong is epidernioloog bij ID-DLO in Lelystad

Bij de berekeningen in bijlage 5 en bijlage 6 is geen rekening gehouden met de RV. Meer dan de helft van het jaar is de RV in de buitenlucht hoger dan 80% (Lund, 1984), hetgeen een ongunstige invloed heeft op het afdodingspercentage. Een hoge RV komt echter vooral in de winter veel voor, en dan is de kans groot dat de lucht al in het ventilatiekanaal iets opwarmt waardoor de RV zou dalen. Waarschijnlijk zal de RV daarom in de praktijk niet veel invloed hebben, maar meer duidelijkheid hierover is gewenst.

Bij de berekeningen is ook geen rekening gehouden met het geleidelijk afnemen van de capaciteit van de lampen. De firma GLA bouwt om deze reden een overcapaciteit van circa 20% in haar installaties. Hierdoor is de werkelijke capaciteit na een jaar nog steeds voldoende (Ter Stege, persoonlijke mededeling).

Kalich en Blendl (1977) vonden dat na drie weken bestraling in afdelingen met varkens de gramnegatieve kiemen vrijwel geheel verdwenen waren, maar dat er grampositieve kiemen en met name schimmels waren bijgekomen. Dit is in overeenstemming met de theorie in paragraaf 2.3: gramnegatieve bacteriën hebben dunne membranen waardoor ze gevoeliger zijn voor UV-C. Dit is gunstig, omdat de benodigde bestralingsdoses voor veel schadelijke bacteriën dan relatief laag zullen zijn.

Ventilatiesysteem

Bij desinfectie van binnenkomende ventilatielucht is een overdruksysteem optimaal. In de huidige varkensstallen wordt echter vrijwel overal onderdrukventilatie toegepast. Naar schatting komt er bij onderdrukventilatie in een systeem met grondbuizen 10 - 15% leklucht in een afdeling. Bij traditionele plafondventilatie is dat 2 - 5%. Bij andere systemen om de lucht te koelen, bijvoorbeeld het systeem met grondwater, is de hoeveelheid leklucht onbekend. Zonder verdere maatregelen zal de hoeveelheid leklucht echter toenemen als de luchtweer-

stand toeneemt door het conditioneren van de lucht. Naarmate de afdelingen beter luchtdicht zijn en de deuren beter gesloten blijven is de hoeveelheid leklucht kleiner. Het hogere percentage leklucht bij koeling van de ventilatielucht hoeft niet te betekenen dat luchtkoeling een extra handicap is bij het inpassen van luchtbehandeling met UV-C. Bij luchtkoeling hoeft er immers minder geventileerd te worden, waardoor de benodigde UV-capaciteit kleiner is.

Naast deze bestaande ventilatiesystemen is er een ander ventilatiesysteem in ontwikkeling waarbij de verse lucht rechtstreeks naar de dieren wordt gebracht. De ventilatiehoeveelheid voor zeugen met biggen kan hierbij waarschijnlijk met 45% worden teruggebracht, en die bij guste en drachtige zeugen met 33% (Van Wagenberg, persoonlijke mededeling)⁵. Hierdoor zouden de benodigde UV-C-capaciteit en daarmee de kosten van de behandeling sterk kunnen worden teruggebracht.

In dit onderzoeksverslag is geprobeerd de minimale bestralingsdosis te berekenen waaraan micro-organismen in een luchtbehandelingskanaal zouden worden blootgesteld. Deze is doorgaans aanzienlijk lager dan de gemiddelde bestralingsdosis. In een meetopstelling voor desinfectie van water bedroeg deze verhouding 1,72 (Van der Veer en Zagt, 1997). Het is daarom belangrijk om bij toepassing van desinfectie van ventilatielucht met UV-C de werkelijke bestralingsdosis te meten.

Rentabiliteit van de investering

De voorbeeldberekening in dit onderzoeksverslag is opgenomen om inzicht te krijgen in de aspecten waarmee rekening gehouden moet worden en om een indruk te krijgen van de kosten.

Opgemerkt moet worden dat de berekening in paragraaf 4.4 een niet-optimale situatie betreft. De benodigde capaciteit van de installatie moet worden berekend aan de hand van de eerder in dit hoofdstuk vermelde criteria. Omdat er nog teveel kennis ont-

⁵ Ir. A.V. van Wagenberg is onderzoeker Klimaat op het Praktijkonderzoek Varkenshouderij in Rosmalen

breekt is in de berekening een aantal aannames gedaan, die waarschijnlijk resulteren in een overcapaciteit van de installatie. Op basis van een gevoeligheidsanalyse kan worden bepaald welke onbekende variabelen veel invloed hebben op de jaarkosten. Vooral bij deze variabelen is nader onderzoek gewenst om de kosten te kunnen minimaliseren. Bij variabelen die weinig invloed hebben op de jaarkosten kunnen ruimere marges worden gehanteerd.

De bouwkosten van het behandelingskanaal kunnen waarschijnlijk op verschillende manieren worden beperkt. Allereerst is optimalisatie van de diameter van het kanaal in relatie tot de lengte ervan gewenst. In het algemeen heeft een kanaal met een grote diameter een aantal praktische voordelen ten opzichte van een smaller kanaal. In een smal kanaal is het zeer moeilijk om de lampen te reinigen en te vervangen, terwijl dit in een kanaal waar doorheen gelopen kan worden vrij eenvoudig is. Een tweede voordeel van een breed luchtbehandelingskanaal is de veel lagere luchtsnelheid in het kanaal. Hierdoor is de drukval in het kanaal lager, wat gunstig is voor het elektriciteitsverbruik. Verder is de plaats van het kanaal (in de nok van de stal, boven de afdelingen) vrij willekeurig gekozen. Misschien is een plaats onder de stal of langs de centrale gang financieel aantrekkelijker. Ook kan gebruik van middendruk-kwiklampen overwogen worden. Hoewel het spectrum van deze lampen veel ongunstiger is dan dat van lage-druk-kwiklampen, is het vermogen zoveel groter dat het luchtbehandelingskanaal waarschijnlijk korter kan worden uitgevoerd (Meulemans, 1992b). Tenslotte hebben ook de vorm van het kanaal (in de berekening buisvormig) en de plaatsing van de lampen invloed op bouwkosten en capaciteit.

De elektriciteitskosten vormen volgens de berekening in bijlage 6 tweederde van de totale kosten, maar zijn mogelijk overschat. Volgens elektriciteitsmaatschappijen is de elektriciteitsprijs voor varkenshouders meestal lager dan het in de berekening gehanteerde normbedrag volgens Projectgroep KWIN-V (1998). Omdat ze relatief veel stroom gebruiken is een kostprijs van

$f 0,20/kWh$ aannemelijker dan de $f 0,24/kWh$ waarmee is gerekend. De jaarkosten voor het vermeerderingsbedrijf zijn dan $f 3.858,-$ lager en komen uit op $f 29.500,-$ per jaar ofwel $f 140,-$ per zeugenplaats. Voor het vleesvarkensbedrijf zijn de berekende kosten dan $f 92.333,-$ per jaar, ofwel $f 35,50$ per vleesvarkensplaats.

De kosten voor het vermeerderingsbedrijf zijn vergelijkbaar met die van desinfectie van lucht door middel van absoluutfiltratie. Volgens een globale kostenberekening van IKC-Veehouderij (1994) bedragen de jaarkosten hiervoor $f 132,-$ per zeugenplaats. Bij absoluutfiltratie zijn de investeringskosten veel hoger dan bij desinfectie met UV-C, maar het begrote elektriciteitsverbruik was bijna vier keer lager. De begrote jaarkosten voor de vleesvarkensstal ($f 35,50$ per vleesvarkensplaats) zijn aanzienlijk lager dan de $f 50,-$ meerkosten per vleesvarkensplaats die nodig zijn in een stal met absoluutfiltratie (Huijben et al., 1998).

Het is nog niet bekend in hoeverre deze meerkosten kunnen worden terugverdiend door betere technische resultaten en lagere kosten voor gezondheidszorg. De waardeeringsnormen voor de productiegetallen groei, voederconversie en uitval bij vleesvarkens bedragen respectievelijk $f 0,06$ per gram groei, $f 0,35$ per 0,01 EW en $f 1,59$ per procent uitval per afgeleverd vleesvarken (Kuunders en Mandersloot, 1999). Dit betekent dat het saldo per vleesvarken met de genoemde bedragen verbetert als de technische resultaten met 1 gram groei, 0,01EW of 1% uitval verbeteren. Dit betreft marginale waarden bij het huidige Nederlandse productieniveau. Extrapolatie naar extreme technische resultaten is riskant. Onderzoek dat momenteel wordt uitgevoerd door Bruininx et al. (1998) zal meer inzicht geven in de relatie tussen gezondheidsstatus en technische en economische resultaten.

5.2 Veiligheid

Toepassing van UV in het ventilatiekanaal en voorkomen dat ozon wordt gevormd of dat straling via reflectie in de afdeling kan komen, maken dat er in de afdeling nauwelijks risico's met betrekking tot de gezondheid van de varkenshouder of van de var-

kens zijn. De UV-C-installatie moet echter regelmatig worden gecontroleerd en schoongemaakt. Om te voorkomen dat micro-organismen dan alsnog de stal binnenkomen mag de installatie dan niet worden uitgeschakeld.

Voor de varkenshouder bedraagt de grenswaarde ongeveer 30 J/m^2 , terwijl de bestralingdosis om alle soorten bacteriën en virussen uit de lucht te verwijderen 300 J/m^2 is. Zonder beschermingsmiddelen moet de varkenshouder daarom minimaal 10 keer sneller klaar zijn met het reinigen van de lampen dan de tijd dat de te behandelen lucht door het kanaal gaat. Omdat dit vrijwel zeker onhaalbaar is, zal de varkenshouder zijn ogen en de hele huid (inclusief hals en handen) effectief moeten beschermen tegen de UV-C-straling.

Ook bij toepassing van UV-C-straling binnen de afdelingen moet worden voorkomen dat de varkenshouder of varkens aan een te hoge bestralingdosis worden blootgesteld. In dat geval is het risico op een acute overdosis weliswaar relatief klein, maar kan de bestralingdosis gedurende de hele werkweek relatief gemakkelijk oplopen.

5.3 Betekenis voor de praktijk

Dit onderzoek toont leemten aan in de kennis die nodig is voor een rationele opzet van een installatie waarmee ventilatielucht kan worden gedesinfecteerd. Nadat is bepaald welke ziekten uit de stallen moeten worden geweerd is informatie nodig over de verdeling en de maximale concentratie van de bijbehorende micro-organismen in de buitenlucht en over de specifieke gevoeligheid van deze micro-organismen voor UV-C. Op basis van deze gegevens en van het minimale aantal micro-organismen dat ziekte kan veroorzaken moet worden bepaald hoe ver het aantal kiemen moet worden teruggebracht om de kans op besmetting via de lucht effectief te minimaliseren. Wie nu stallen wil voorzien van een installatie om binnenkommende lucht te desinfecteren kan niet

goed inschatten welke desinfecterende capaciteit daarvoor nodig is. Waarschijnlijk is het voor varkenshouders momenteel beter om alle aandacht te richten op preventie van ziekte-insleep via andere routes, zoals via aangekochte varkens, huisdieren, ongedierte, bezoekers en materiaal dat meegenomen wordt naar het bedrijf.

Het nut van desinfectie van binnenkommende ventilatielucht kan echter toenemen wanneer Nederland vrij raakt van de Ziekte van Aujeszky. Bij deze ziekte is, evenals bij Mond en klauwzeer, de aerogene infectieroute van groot belang. Bovendien zijn juist van deze ziekteverwekkers slechts enkele virusdeeltjes al voldoende om een infectie te veroorzaken. Als er na het bereiken van de ziekte-vrij-status voor Aujeszky niet meer tegen deze ziekten mag worden geënt nemen de kansen op aerogene besmetting, afhankelijk van de situatie in omliggende landen, toe. Afhankelijk van de toekomstige regelgeving en verzekeringsmogelijkheden rond dierziekten kan het nut van desinfectie van de lucht dan toenemen; niet zozeer ter verbetering van de technische resultaten maar eerder als maatregel om de kans op een ziekte-uitbraak te beperken.

Desinfectie van de lucht binnen de afdeling is niet gericht op het weren van ziekten, maar op het beheersen van ziekten. Bij deze toepassing wordt getracht ziektedoorbraken te voorkomen door de infectiedruk van ziekten die al op het bedrijf aanwezig zijn laag te houden. De resultaten met deze vorm van desinfectie van lucht met behulp van UV-C zijn wisselend. De waarde van UV-straling voor desinfectie binnen de afdeling wordt daarom als gering ingeschat.

De varkenshouder, maar ook de varkens mogen niet worden blootgesteld aan directe straling. Dit kan worden voorkomen door het gebruik van speciale armaturen, waardoor alleen de bovenste luchtlag wordt behandeld. Hierbij moet worden voorkomen dat de UV-straling via reflectie alsnog de varkens of de varkenshouder bereikt.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Op basis van deze literatuurstudie worden de volgende conclusies getrokken.

- Desinfectie met UV-C van binnenkomende ventilatielucht in varkensstallen om aerogene ziekte-insleep te voorkomen is technisch mogelijk, maar er is nog onvoldoende kennis om de benodigde bestralingsdoses te kunnen berekenen.
- Het onschadelijk maken van meer dan 90% van de ziekteverwekkers is technisch alleen mogelijk in klimaatsystemen met overdrukventilatie of bij een aanzienlijke beperking van de hoeveelheid leklucht bij onderdrukventilatie.
- Behalve de eisen die aan een UV-C-installatie worden gesteld heeft ook het technische ontwerp van de installatie veel invloed op de kosten. Het ontwerp van een UV-C-installatie voor behandeling van ventilatielucht kan daarom het beste worden overgelaten aan specialisten, die de installatie ook kunnen doormeten,
- Desinfectie van de bovenste luchtlaag in afdelingen is veel eenvoudiger toepasbaar dan desinfectie van ventilatielucht, maar er zijn geen eenduidige resultaten over de effectiviteit. Bovendien moet directe bestraling van mensen of varkens, eventueel via reflectie, worden voorkomen in verband met voor de gezondheid schadelijke neveneffecten.

- De kosten van desinfectie van ventilatielucht met UV-C nemen exponentieel toe met het vereiste afdodingspercentage van ziekteverwekkers. Een ruwe indicatie van de jaarkosten voor 99% afdoding van de kiemen in de ventilatielucht voor een volledig vermeerderingsbedrijf met 210 zeugen bedraagt f 140,- per zeug. Voor een vleesvarkensbedrijf met 2.600 varkens zijn de indicatieve jaarkosten f 35,50 per varkensplaats. De werkelijke kosten zullen echter sterk afhankelijk zijn van de specifieke kenmerken van de UV-C-installatie.

Voordat ventilatielucht voor varkensstallen in de praktijk kan worden gedesinfecteerd met UV-C moeten de volgende fundamentele vragen worden beantwoord.

- Hoe is de gevoeligheid van relevante micro-organismen voor UV-C?
- Wat is de maximale concentratie van deze micro-organismen in de buitenlucht?
- Hoe ver kan de maximale ventilatiebehoefte worden teruggebracht?
- Hoeveel micro-organismen zijn nodig om een ziekte-uitbraak te veroorzaken?
- Wat is de invloed van een lagere ziektedruk op de technische en economische resultaten?

LITERATUUR

- Adams, J.H.A.N., C.E.P. van Brakel, G.B.C. Backus en P.A.M. Bens 1998. *Investeringskosten van standaardstallen voor varkens anno 1996*. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag P 1.214.
- Bajdik, C.D., R.P. Gallagher, G. Astrakianakis, G.B. Hill, S. Fincham en D.I. McLean 1996. *Non-solar ultraviolet radiation and the risk of basal and squamous cell skin*. In: British Journal of Cancer (73), pp. 1612-1614.
- Berg, M., B. Bergman en J. Hoborn 1991. *Ultraviolet radiation compared to an ultraclean air enclosure*. In: The journal of bone and joint surgery (73), pp. 811-815.
- Berger, K., G. v. Lengerken en A. Kather 1979. *Der Einfluß der UV-Bestrahlung während der Mast von Schweinen auf Zunahmen und Fleischqualität*. In: Monatshefte für Veterinärmedizin (34), nr. 23, pp. 905-910.
- Bergmanson, J.P.G. en P.G. Söderberg 1995. *The significance of ultraviolet radiation for eye diseases: A review with comments on the efficacy of UV-blocking contact lenses*. In: Ophthalmic and physiological optics. (15) nr 2 pp 83-91.
- Blendl, H.M. 1980. *UV-bestrahlung in der Schweinemast*. In: Die landtechnische Zeitschrift (31), pp. 362-363.
- Bos, M. 1988. *Bescherming van biggen d.m.v. UV-C bestraling tegen een kunstmatige AR-challenge*. Gezondheidsdienst voor Dieren in Noord-Brabant, rapportno. VA 88.009, Boxtel.
- Brodorotti, H.S. von en H. Mahnel 1982. *Vergleichende Untersuchungen zur UV-Empfindlichkeit von Viren*. In: Zentralblatt für Veterinärmedizin B (29), pp. 129-136.
- Bruininx, E.M.A.M., P.C. Vesseur en D.J.P.H. van de Loo 1998. *Effect van luchtbehandeling en de daarmee verbonden ziektevrijstatus op technische resultaten van vleesvarkens*. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, Proefplan 3.1.04.0.
- Consulentschap in Algemene Dienst voor Varkenshouderij 1985. *Handboek voor de varkenshouderij*. 4^e druk, Utrecht.
- Cripps, D.J. 1981. *Natural and artificial photoprotection*. In: Journal of investigation and dermatology (77) pp. 154-157.
- Davis, S., L. Capjack, N. Kerr en R. Fedosejevs 1997. *Clothing as protection from ultraviolet radiation: Which fabric is most effective?* In: International journal of dermatology (36) nr 5 pp. 374-379.
- Devlin, R.B., K.P. McKinnon, T. Noah, S. Becker en H. Koren 1994. *Ozone-induced release of cytokines and fibronectin by alveolar macrophages and airway epithelial cells*. In: American Journal of Physiology (266), pp. L612-L619.
- Diffey, B.L. 1990. *Human exposure to Ultraviolet Radiation*. In: Seminars in Dermatology (9), nr. 1, pp. 2-10.
- Doorn, A.J. van, W.A. van de Grind en J.J. Koenderink 1984. *Limits in perception*. VNU science press, Utrecht.
- Gezondheidsraad 1986. *UV-straling: blootstelling van de mens aan ultraviolette straling*. Ministerie VROM.
- Gies, H.P., C.R. Roy, G. Elliot en W. Zongli 1994. *Ultraviolet radiation protection factors for clothing*. In: Health physics (67), nr. 2, pp. 131-139.
- Grant, R. 1998. *The "light fantastic" solves aquaculture purification problems*. In: Water conditioning & purification (40), nr. 2, pp. 44-46.
- Hoofs, A. 1990. *UVC-straling in de afdeling biedt weinig perspectief*. In: Praktijkonderzoek Varkenshouderij (4) nr. 3, pp. 11-14.

- Huijben, J.J.H., D.J.P.H. van de Loo, A.V. van Wagenberg, J.W.G.M. Swinkels en P.C. Vesseur 1998. *Technisch functioneren van de Air Pathogen Free (APF)-stal: luchtbehandeling en hygiënemaatregelen*. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag PI .209.
- IKC-Veehouderij 1994. *De aerogene infectieroute; microbiologische zuivering van binnenkomende ventilatielucht bij varkensstallen*. Informatie en Kenniscentrum Veehouderij, afdeling Varkenshouderij, Publikatie G13, Rosmalen.
- Kalich, J. en H.M. Blendl 1977. *Der Einfluß der künstlichen UV-Bestrahlung auf den Keimegehalt der Stallluft sowie die Mastleistung der Schweine*. In: Tierärztliche Umschau (32), nr 11 pp. 567-571, nr 12 pp. 677-687 en (1978) nr 1 pp. 49-53.
- Kalisvaart, B.F. 1994. *UV-Licht entkeimt Verpackungsmaterialien*. In: Die Ernährungsindustrie, nr. 4, pp. 62-63.
- Kennis, H.M. 1989. *Ultraviolette straling en desinfectie*. Katholieke Universiteit, afdeling veiligheidsdienst, Nijmegen.
- Klimaatplatform 1997. *Normen maximale ventilatie varkens, vastgesteld september 1997*. Notitie Klimaatplatform, secretariaat Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.
- Koren, H.S., RB. Devlin, S. Becker, R. Perez en W.F. McDonnell 1991. *Time-dependent changes of markers associated with inflammation in the lungs of humans exposed to ambient levels of ozone*. In: Toxicologic pathology (19), nr. 4, pp. 406-411.
- Kuunders, L. en F. Mandersloot 1999. *Nieuwe waarderingsnormen voor de rentabiliteitsindex 1998 en het productiegetal 1999 voor vleesvarkens*. In: Praktijkonderzoek Varkenshouderij (13), nr. 3, pp.16-17.
- Lerman, S. 1986. *Radiant energy and the eye*. New York.
- Lidwell, O.M. 1994. *Ultraviolet radiation and the control of airborne contamination in the operating room*. In: The hospital infection society (28), pp. 245-248.
- LTO-Nederland 1998. *Landelijk Biggenprijzenschema*. Ingangsdatum 6 juli 1998.
- Lund, H. 1984. *Short reference years; test reference years*. Report /EUR no. 9402 EN, Commission of European Communities, Luxembourg.
- Marra, J. en S.M.R. Gelderland 1997. *Domestic drinking quality, treatment and purification: scope, significance and applicable technologies*. Philips research report, nat. lab. Technical note 214/97.
- Meulemans, C.C.E. 1992a. *Desinfectie met UV-C in de voedings- en genotmiddelenindustrie*. In: Voedingmiddelentechnologie (22), nr 26, pp. 18-19.
- Meulemans, C.C.E. 1992b. *Desinfecteren in der Lebensmittelindustrie mit UV-Bestrahlung*. In: ZFL, nr. 10, pp. 17-19.
- Ministerie SZW 1999. *Nationale MAC-lijst 1999*. SDU uitgevers, Den Haag.
- Moseley, H. 1994. *Ultraviolet and laser radiation safety* In: Physics in medicine and biology (39) nr. 11, pp. 1765-1799.
- Ohnaka 1993. *Health effects of ultraviolet radiation*. In: Annals of physiological anthropology (12), nr. 1, pp. 1-10.
- Ostro, B.D. 1993. *Examining acute health outcomes due to ozone exposure and their subsequent relationship to chronic disease outcome*. Environmental health perspectives (101) suppl. 4 pp. 213-216.
- Paerels 1998. *Röntgenogen voor de astronomie*. In: Natuur en techniek (66), nr. 12, pp. 63-71.

- Parrish, J.A., R.R. Anderson, F.Urbach en D. Pitts 1978. *UVA, biological effects of ultraviolet radiation with emphasis on human responses to longwave ultraviolet*. John Wiley and sons.
- Philips Lighting 1992. *Disinfection by UV-radiation*. Philips Lighting, Roosendaal.
- Primault, B. 1974. *La propagation d'une épidémie du fièvre aphteuse dépend-elle des conditions météorologiques?* In: Schweizer Archiv für Tierheilkunde (116), nr 1, pp. 7-19.
- Projectgroep KWIN-V 98-99 1998. *Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1998- 1999*. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- PolyTechnisch zakboekje* 1993. Koninklijke PBNA bv, Arnhem.
- Projectgroep KWIN-V 1998. *Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1998- 1999*. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- Riley, R.L. 1974. *Airborne infection*. In: The American journal of medicine (57), pp. 466-475.
- Riley, R.L. 1991. *Principles of UV air disinfection*. Niet gepubliceerd. In 1972 geschreven en in 1991 herziene notitie.
- Roelofs, P.F.M.M. 1996. *Desinfectie van bedrijfsvreemd materiaal door blootstelling aan UV-C*. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen, Proefverslag P1. 166.
- Severin, B.F., M.T. Suidan en R.S. Engelbrecht 1983. *Effects of temperature on ultraviolet light disinfection*. In: Environmental science and technology (17), nr. 12, pp. 717-721.
- Severin, B.F., M.T. Suidan en R.S. Engelbrecht 1984. *Mixing effects in UV disinfection*. In: Journal WPCF (56), nr. 7, pp. 881-889.
- Veer, A.J. van der en C.E. Zagt 1997. *Het ontwerp van een UV-reactor*. In H_2O (30), pp. 806-810.
- Weegen, J. 1982. *Wenn die Schweine stinken, mit UV-Bestrahlung Abluft reinigen?* In: Die Landtechnische Zeitschrift (33), nr. 1, pp. 54-57.
- World Health Organization (Geneva) 1979. *Ultraviolet radiation, en vironmen tal health criteria, no. 14*. WHO/EHG/1979.
- World Health Organization (Geneva) 1994. *The effects of solar U V radiation on the eye: report of an informal consultation*. WHO/EHG/94.1.
- World Health Organization (Geneva) 1995. *Protection against exposure to ultraviolet radiation*. WHO/EHG/95.17.

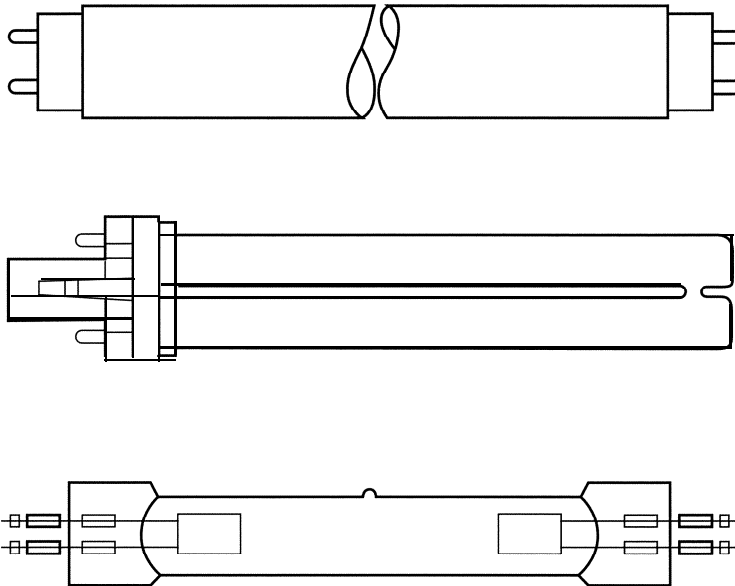
BIJLAGEN

Bijlage 1: Overzicht van UV-C-producerende lampen

UV-C-producerende lampen worden onderscheiden in lagedruk-, middendruk- en hogedruk-kwikdamlampen. Voor desinfectie van stallucht zijn alleen lage- en middendruk-kwikdamlampen relevant.

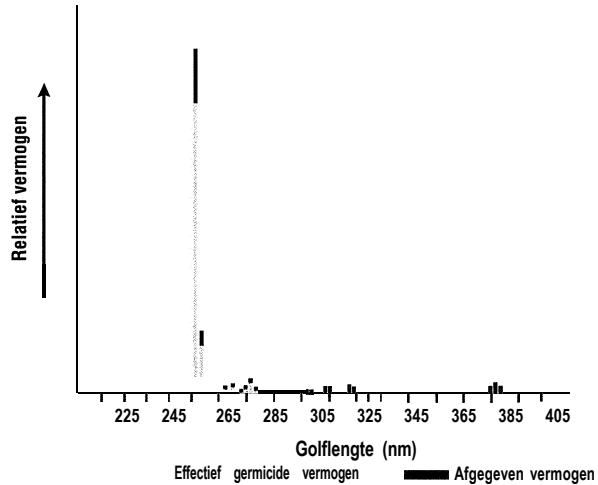
Lagedruk-kwikdamlampen

De UV-producerende lagedruk-kwikdamlampen van Philips worden onderscheiden in TUV-lampen, TUV PLS-lampen en HUV-lampen. De drie typen zijn afgebeeld in figuur 1 .1. Het spectrum van de TUV-lampen wordt weergegeven in figuur 1.2. In tabel 1.1 wordt een overzicht gegeven van de verkrijgbare lagedruk UV-producerende lampen van Philips.



Figuur 1 .1 : Overzicht van TUV-lampen (boven), TUV PLS-lampen (midden) en HUV-lampen (onder)

Bron: Philips Lighting, 1992

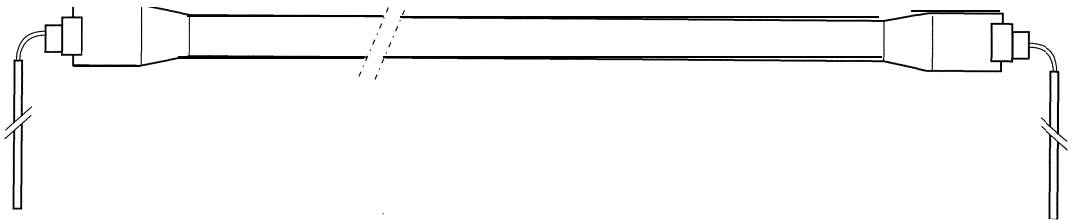


Figuur 1.2: Spectrum van TUV-lampen, met in grijs de effectieve germicide werking
Bron: Philips Lighting, 1992

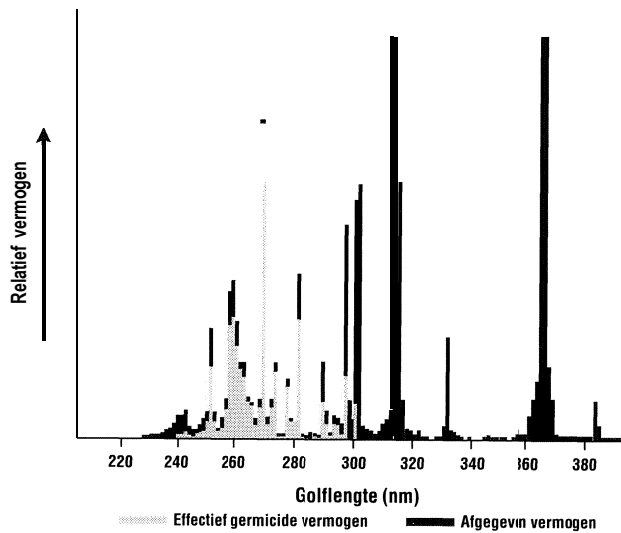
Tabel 1.1: Overzicht van verkrijgbare lagedruk-kwikdamplampen

Type lamp	lengte van de lamp (mm)	diameter (mm)	afgegeven vermogen uv-c (W)
TUV 4W	140	16	0,5
TUV 6W	210	16	1,2
TUV 8W	290	16	1,8
TUV 15W	450	26	4'
TUV 30W	900	26	10
TUV 36W	1.200	26	14
TUV 55W HO	900	26	17
TUV 75W HO	1.200	26	25
TUV 115W VHO	1.200	38	32
TUV PLS 9W	210	2x 10	2,5
HUV 5W	100	15	0,1

Bron: Philips Lighting, 1992



Figuur 1.3: Overzicht van HOK-lampen (boven) en HTK-lampen (onder)
Bron: Philips Lighting, 1992



Figuur 1.4: Spectrum van HOK- en HTK-lampen, met in grijs de effectieve germicide werking
Naar: Philips Lighting, 1992

Tabel 1.2: Overzicht van verkrijgbare middendruk-kwikdamplampen

Type lamp	lengte van de lamp (mm)	diameter (mm)	afgegeven vermogen uv-c (W)
HOK 4/120	105	13	0,4
HOK 20/120	252	24	2,0
HOK 35/120	375	24	4,3
HOK 50/120	532	24	3,0
HOK 65/120	669	24	8,0
HOK 80/120	832	24	9,6
HOK 90/120	938	24	11,0
HOK 105/120	1.089	24	12,0
HOK 140/120	1.439	24	17,0
HTK 7/30	760	13	2,0
HTK 7/60	760	13	4,0

Bron: Philips Lighting, 1992

Bijlage 2: Benodigde bestralingsdoses (bij een golflengte van 254 nm) voor 90% afdoding van een aantal voor varkens schadelijke micro-organismen¹

agens	dosis (J/m ²)	door (verwant) agens veroorzaakte aandoeningen bij het varken
bacteriën		
<i>Bacillus anthracis</i>	45 ² 293 ^{3,4}	miltvuur (zeldzaam bij varkens)
<i>Bacillus sup tiliis</i>	71 ² 373 ^{3,4}	
<i>Bacillus subtilis</i> (sporen)	120 ² 733 1934	
<i>Clostridium tetani</i>	74 ^{3,4}	<i>C. perfringens</i> : diarree/bloeddiarree
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	34 ² 22 ^{3,4}	
<i>Escherichia coli</i>	30 ² 24 ^{3,4}	diarree/slingerziekte/oedeemziekte
<i>Leptospira spp.</i>	203	algemeen ziek/onvruchtbaarheid/abortus
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	33 ^{3,4}	<i>M. avium</i> : aviaire tuberculose
<i>Proteus vulgaris</i>	26 ² 22 ^{3,4}	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	55 ² 35 ^{3,4}	
<i>Salmonella en teritidis</i>	40 ² 26 ^{3,4}	<i>S. spp.</i> : Samonellose/paratyfus
<i>Salmonella para typhi</i>	32 ² 21 ^{3,4}	
<i>Salmonella thyphimurium</i>	80 ² 51 ^{3,4}	
<i>Salmonella thyphi</i>		
<i>Salmonella thyphosa</i>	143 204	
<i>Staphylococcus albus</i>	18 ² 19 ³	<i>S. hyicus</i> : smeerpokken/smeerwrag
<i>Staphylococcus aureus</i>	26 ² 233 244	
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	22 ² 19 ^{3,4}	<i>S. suis</i> : hersenvlies-/gewrichtsontsteking
<i>Streptococcus lactus</i>	62 ² 29 ^{3,4}	
<i>Streptococcus viridans</i>	20 ² 133	
virussen		
infectieuze hepatitis	27 ^{3,4}	
influenza	22 ^{3,4}	influenza

¹ indien van micro-organismen die bij varkens schade kunnen veroorzaken geen benodigde doses bekend zijn is een verwant agens in de tabel opgenomen

² bron: IES Lighting Handbook (1987), geciteerd door Philips Lighting (1992)

³ naar: General Electric Corp. (1967), geciteerd door Grant (1998). Grant (1998) geeft doses voor 99,9% afdoding, deze doses zijn hier gedeeld door drie (zie tekst).

⁴ bron: AC Engineering (1997)

In het algemeen liggen de bestralingsdoses die nodig zijn voor het voor 90% onschadelijk maken van bacteriën en gisten tussen 15 en 80 J/m², met uitschieters naar 100 J/m² (*Micrococcus sphaeroides*) en 197 J/m² (*Sarcina lutea*) (Philips Lighting, 1992). Voor de meeste virussen zijn doses tussen 20 en 30 J/m² vereist (General Electric Corp. 1967, geciteerd door Grant, 1998), maar voor bijvoorbeeld het tabaks-mosaic-virus is de vereiste dosis 147 J/m². Voor sporen van schimmels zijn in het algemeen hogere doses nodig: in het overzicht van Philips Lighting (1992) worden naast eenmaal 50 J/m² waarden van 130 tot 1.320 J/m² weergegeven.

Na verdubbeling van de dosis waarbij 90% onschadelijk wordt gemaakt neemt het aantal overlevende kiemen opnieuw met 90% af en is 99% onschadelijk gemaakt. Na verdrievoudiging is 99,9% uitgeschakeld enzovoort. Op deze manier kan voor elk gewenst afdodingspercentage de benodigde dosis worden berekend.

Bijlage 3: Reflectiewaarden

De reflectiewaarde van een materiaal is sterk afhankelijk van de golflengte van de straling. In tabel 3.1 zijn reflectiewaarden vermeld voor UV-straling met een golflengte van 254 nm en bij loodrechte inval. Bij een invalshoek van 30° of meer wordt de reflectie snel groter. Materialen met een hoge reflectiewaarde kunnen worden gebruikt in ruimten waar reflectie wordt nagestreefd, bijvoorbeeld een behandelingskanaal. Materialen met een lage reflectiewaarde kunnen worden gebruikt op plaatsen waar UV-straling ongewenst is, bijvoorbeeld bij de overgang naar de afdeling.

Tabel 3.1: Reflectiewaarden van enkele materialen

materiaal	R-waarde
Aluminium ('onbehandeld' oppervlak)	0,40 tot 0,60
('behandeld' oppervlak)	0,60 tot 0,89
(als metaallaagje op glas)	0,75 tot 0,85
('Alzak' behandeld)	0,65 tot 0,75
('Duralumin')	0,16
Aluminiumverf	0,40 tot 0,75
Roestvast staal/vertind metaal	0,25 tot 0,30
Verchroomd metaal	0,39
Wit pleisterwerk	0,40 tot 0,60
Nieuw wit pleisterwerk	0,55 tot 0,60
Witte verf op oliebasis	0,03 tot 0,10
Witte verf op waterbasis	0,10 tot 0,35
Calciumcarbonaat	0,70 tot 0,80
Zwart emaille	0,05
Linnen	0,17
Gebleekte wol	0,04
Gebleekte katoen	0,30

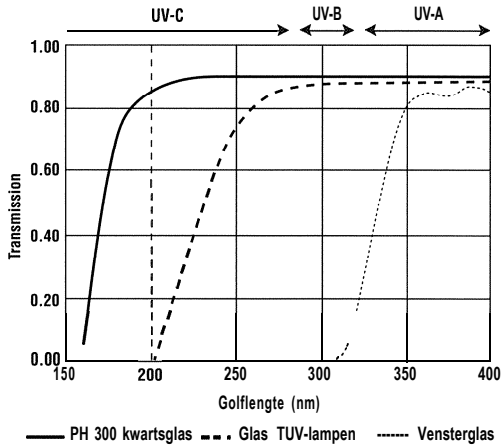
Bron: Philips Lighting, 1992

Bijlage 4: Transmissie (doorlaatbaarheid) van enkele materialen voor UV-straling (254 nm)

materiaal	dikte (mm)	transmissie (%)
flessenglas, bruin	3	0
lexan	6	0
loodglas	4,5	0
nylon	0,5	0
perspex	1	0
perspex, oranje	5	0
perspex, UV-doorlatend	5	0,9
PE wit (hoogmoleculair)	2	0
PE zwart (hoge druk, zacht)	2	0
PE zwart (lage druk, hard)	2	0
polystyreen	0,05	65
polystyreen (rigid)	1	0
PVC, zwart	1,8	0
PVC, grijs	2	0
PVCF (polyvinylideenfluoride)	1	0,1
pyrex	2	0
rookglas	8	0
teflon	1	0
vensterglas	2	0
wegwerp-laboratoriummaterialen:		
plastic pot	1	0,1
petrischaal	0,7	0
cultuurfles (Costar)	1,6	0
cultuurbuis (25 ml)	1	1,6
bloedbuis (10 ml)	1	0
schaaltje (B-D)	1	0
transparante plastic verpakkingen	0,05	35-53
	0,02	55
	0,1	48

Bron: Kennis, 1989

In figuur 4.1 is de doorlaatbaarheid van enkele glassoorten in relatie tot de golflengte van de UV-straling weergegeven.



Figuur 4.1: Transmissie (doorlaatbaarheid) van drie soorten glas (1 mm dikte) in relatie tot de golflengte (nm) van UV-straling
Naar: Philips Lighting, 1992

Het glas in TUV-lampen absorbeert alle straling met een golflengte die kleiner is dan 200 nm, waardoor ozonvorming wordt voorkomen. Normaal vensterglas absorbeert alle straling met een golflengte die kleiner is dan 350 nm. Hierdoor kan UV-C dit glas niet passeren, maar UV-A en een klein deel van de UV-B-straling kunnen dit wel.

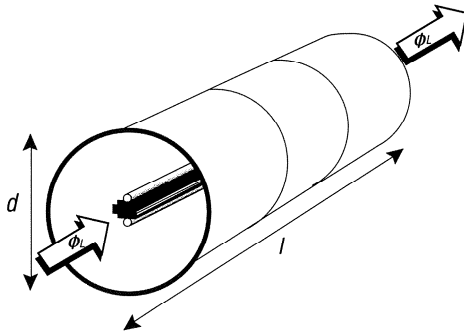
Bijlage 5: Berekening van het benodigde aantal lampen⁶

In de berekening wordt aangenomen dat de te behandelen lucht door een ronde buis stroomt. Berekend wordt hoe lang de buis moet zijn waarin de lucht wordt gedesinfecteerd. De berekening is gebaseerd op Philips Lighting (1994).

Omdat H_{eff} is gedefinieerd als $E_{eff} \times t$ kan de hoofdformule $N_t/N_0 = e^{-k \times E_{eff} \times t}$ worden herschreven tot $H_{eff} = -1/k \times \ln(N_t/N_0) = -\ln(N_t/N_0)/k$.

Als de lampen op de middellijn van de ventilatiebuis hangen is de effectieve bestralingssterkte (E_{eff}) het kleinst bij de wand van de buis, omdat daar de straling wordt verspreid over het grootste oppervlak. De effectieve bestralingssterkte bij de wand ($E_{eff, w}$) wordt berekend met de formule $E_{eff, w} = E_{eff} / (\pi \times d \times (1-R))$, of, per meter, $Y_{eff, w} = Y_{eff} / (\pi \cdot d \cdot (1-R))$. De bestralingsdosis $H_{eff} = E_{eff} \times t$, dus $t = H_{eff} / E_{eff}$, en als $Y = E / I$ geldt per meter $t = H_{eff} / Y_{eff}$, wat kan worden herschreven tot $t = -(\ln(N_t/N_0) \times \pi \times d \times (1-R)) / (k \times Y_{eff})$.

De luchtsnelheid in het kanaal (v) is gelijk aan de ventilatiecapaciteit (ϕ_L) gedeeld door de oppervlakte (A) van de doorsnede van de buis. Oppervlakte $A = \pi \times d^2 / 4$ (figuur 5.1), zodat $v = \phi_L / (\pi \times d^2 / 4)$. De bestralingstijd is gelijk aan de lengte van het kanaal gedeeld door de luchtsnelheid ($t = l/v$), ofwel $v = l/t$. Hieruit volgt dat $l = 4 \times \phi_L \times t / (\pi \times d^2)$, dus naarmate het kanaal breder is mag het korter zijn.



Figuur 5.1: Schematische weergave van een ventilatiekanaal

⁶ Verklaring van de gebruikte symbolen:

- A = oppervlakte (m^2)
- ϕ_L = ventilatiecapaciteit (m^3/s)
- N_t/N_0 = relatieve afname van het aantal kiemen
- R = reflectiewaarde van de binnenste buiswand
- d = diameter van de buis (m)
- E_{eff} = effectieve stralingssterkte (W/m^2)
- H = bestralingsdosis (J/m^2)
- η_{germ} = kiemdodende effectiviteit van de UV-straling (ten opzichte van straling met golflengte 265 nm).
Voor lagedruk-kwiklampen geldt dat $\eta_{germ} = 0,85$
- k = "killingrate" van de te elimineren micro-organismen (m^2/J)
- l = lengte van de buis (m)
- t = blootstellingsduur (s)
- v = luchtsnelheid (m/s)
- Y_{eff} = $\eta_{germ} \times Y$
- Y = UV-productie met meter lampenlengte ($J = Nm = Ws$)
- n = benodigde aantal lampen

De vereiste lengte van het behandelingskanaal is dan gelijk aan:

Vergelijking 5.1:

$$l = \frac{-4 \cdot \phi_L \cdot \ln \frac{N_t}{N_0} \cdot (1-R)}{d \cdot k \cdot \eta_{\text{germ}} \cdot Y}$$

Uit de berekende vereiste lengte van het behandelingskanaal en de lengte van de lampen blijkt het benodigde aantal lampen.

Formule voor lagedruk-kwiklampen

Om het aantal lampen te berekenen dat nodig is voor het afdoden van 90% van de micro-organismen met lagedruk-kwiklampen kan vergelijking 5.1 worden vereenvoudigd. De waarde van η_{germ} is dan 0,85 (Philips Lighting, 1994), en $\ln(N_t/N_0)$ is -2,3025. Door vervolgens Y (de bestralingssterkte per meter lampenlengte) te vervangen door E (het UV-producerende vermogen van de lamp) wordt het benodigde aantal lampen (n) berekend met de formule:

$$n = \frac{-4 \cdot \phi_L \cdot -2,3025 \cdot (1-R)}{d \cdot k \cdot 0,85 \cdot E} = \frac{-4 \cdot \phi_L \cdot -2,709 \cdot (1-R)}{d \cdot k \cdot E}$$

De meeste literatuurbronnen vermelden geen killing rates, maar bestralingsdoses (H) die nodig zijn voor 90% reductie met straling met een golflengte van 254 nm. Omdat de killing rate (k) gelijk is aan $-(\ln(N_t/N_0)/\eta_{\text{germ}})/H$ geldt in deze situatie $k = -2,3025/0,85 / H = -2,709 / H$, zodat

Vergelijking 5.2:

$$n = \frac{4 \cdot \phi_L \cdot H \cdot (1-R)}{d \cdot E}$$

Om een afdodingspercentage van 99% te bereiken moet van de resterende 10% micro-organismen opnieuw 90% onschadelijk worden gemaakt. Daarom zijn voor een afdodingspercentage van 99% tweemaal zoveel lampen nodig als voor 90% afdoding. Op dezelfde manier kan worden afgeleid dat met driemaal, viermaal of vijfmaal zoveel lampen afdodingspercentages van respectievelijk 99,9%, 99,99% en 99,999% kunnen worden gerealiseerd.

Deze redenering geldt voor zover de micro-organismen door de straling kunnen worden bereikt. Micro-organismen die niet kunnen worden bereikt door de straling, bijvoorbeeld omdat ze zijn afgeschermd door stofdeeltjes, zullen de UV-lampen onbeschadigd passeren.

Voorbeeldberekening

Hoeveel 'TUV 115W VHO'-lampen zijn nodig voor 99% reductie van de meeste voorkomende bacteriën in de binnenkomende lucht voor een afdeling met 80 biggen?

Gegevens: $H = 80 \text{ J/m}^2$ (volgens bijlage 2 is H voor de meeste bacteriën lager dan 80)
 $\phi_L = 0,556 \text{ m}^3/\text{s}$ (2.000 m^3/h ; zie tabel 1)
 $d = 0,40 \text{ m}$ (aanname)
 $R = 0,60$ (aanname)
 $E = 32 \text{ W}$ (tabel 1.1)

Met behulp van vergelijking 5.2 wordt het aantal lampen berekend dat nodig is voor 90% reductie:

$$n = \frac{4 \cdot 0,556 \cdot 80 \cdot 0,4}{0,4 \cdot 32} = 5,56$$

Voor 99% reductie zijn tweemaal zoveel lampen nodig, dat is 11,12 lampen, ofwel 12 lampen.

Als alle relevante bacteriën en virussen verwijderd moeten worden is volgens IKC-Veehouderij (1984) een bestralingsdosis (H) van 300 J/m^2 nodig. De uitkomst van vergelijking 5.2 is dan 20,85, zodat 21 lampen nodig zijn voor "volledige" desinfectie van de binnenkomende lucht.

Bijlage 6: Berekening van de jaarkosten voor een luchtbehandelingskanaal⁷

Het luchtbehandelingskanaal voor een vermeerderingsstal met 210 zeugen bestaat uit een rechthoekig frame met een lengte van 30 m, waarin met aluminium platen een ronde koker met een diameter van 3 m is gebouwd. Om condensatie te voorkomen is het geheel geïsoleerd met 50 mm wand-plafondisolatieplaten. In dit voorbeeld is het kanaal gebouwd in de ruimte tussen de plafonds van de afdelingen en de nok van de stal. Om het effect van luchtkoeling te behouden is plafondventilatie ongewenst, maar moet de lucht onder in de afdelingen worden gebracht. De kosten hiervoor zijn gelijk gesteld aan de kosten om lucht te verdeelen in een gangbaar ventilatiesysteem.

Bij de berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

- Een 'TUV 115W VHO-lamp' kost f 240,85 (exclusief BTW en exclusief armatuur)
- Montage van de lampen kost, inclusief klein materiaal, f 50,- per lamp.
- De kosten voor stroomverbruik zijn f 0,24 per kWh (Projectgroep KWIN-V, 1998).
- De arbeidskosten bedragen f 38,54 per uur. (LTO-Nederland, 1998).

De extra investering voor het geschetste UV-C-ventilatiekanaal is bij benadering als volgt:

frame ventilatiekoker (30 m lang)	f	876,-
aluminium ten behoeve van koker (2,25 m breed, 88,20 m à f 90,-/meter)	f	7.938,-
30 m steunprofiel voor montage UV-lampen	f	40,-
30 m loopplank, voor controle en reinigen UV-lampen	f	240,-
montagekosten ventilatiekoker	f	800,-
steuventilator (40.000 m ³ /uur, 300 Pa, 5,5 kW)	f	2.000,-
frame filterunit (16 stuks à f 66,- inclusief 35% korting)	f	686,-
48 TL-armaturen, inclusief montage	f	4.800,-
subtotaal	f	17.380,-
48 lampen (Philips TUV 115W VHO), inclusief staffelkorting	f	5.760,-
filters voorfilter met 16 EU4 fijnfilters	f	944,-
totale investering	f	24.084,-

De levensduur van het ventilatiesysteem, exclusief de lampen en filters, kan worden gesteld op 20 jaar (Adams et al., 1998). De jaarkosten (6% rente, 5% afschrijving en 2% onderhoud en verzekering, Projectgroep KWIN-V 98-99, 1998) van dit deel van de investering bedragen dan f 2.260,-. De lampen moeten jaarlijks worden vervangen. De kosten hiervan bedragen f 5.760,-. De verwachte standtijd van de filters is bij deze toepassing 6 maanden, zodat er jaarlijks voor f 1.890,- aan filters nodig is.

Het elektriciteitsverbruik van het continu werkende systeem is 11.020 Watt x 8.760 uur = 96.535 kWh. De elektriciteitskosten (f 0,24/kWh, Projectgroep KWIN-V 98-99, 1998) bedragen dan f 23.165,-.

De som van deze kosten is f 33.075,- per jaar.

Tenslotte is er extra arbeid nodig voor het jaarlijks vervangen van de 48 lampen en voor het naar schatting maandelijks reinigen van de lampen, waarbij beschermende kleding moet worden gedragen. In de berekening is aangenomen dat deze kleding beschikbaar is. De arbeidsbehoefte is naar schatting zes uur per jaar. Als de arbeid f 38,54 per uur kost (Projectgroep KWIN-V 98-99, 1998) zijn de totale arbeidskosten ongeveer f 230,- per jaar.

⁷ De begroting is indicatief. De meeste bedragen zijn stelposten (Huijben, persoonlijke mededeling). Verder zijn de afmetingen van het luchtbehandelingskanaal niet geoptimaliseerd en zullen ook door gebruik van andere materialen de werkelijke kosten afwijken van deze voorbeeldberekening.

REEDSEERDERVERSCHENEN PROEFVERSLAGEN

Proefverslag P 1.198

Technische en economische resultaten van bedrijven met vleesvarkens in 1996. C.E.P. van Brakel, Lubben, J. en Bens, P.A.M., maart 1998.

Proefverslag P 1.199

Kraamhoktype en uitmestfrequentie bij scharrelvarkens: technische resultaten, arbeid en ammoniakemissie. J.H. Huiskes, Plagge, J.G., Roelofs, P.F.M.M., Vermeer, H.M., Vonk, M.C., Binnendijk, G.P. en Brakel, C.E.P. van, maart 1998.

Proefverslag P 1.200

Gezondheidsmanagement op zeugenbedrijven. E.R. ter Elst-Wahle, Vaessen, M.A., Binnendijk, G.P., Vos, H.J.P.M., Huirne, R.B.M. en Backus, G.B.C., april 1998.

Proefverslag P 1.201

Ammoniakemissie in kraamafdelingen met mestpannen. A.J.A.M. van Zeeland en Verdoes, N., april 1998.

Proefverslag P 1.202

Energiegebruik en technische resultaten van zeugen en biggen bij verlagen van de instelling van de ruimtetemperatuur in kraamafdelingen. P.J.W.M. Geurts, Binnendijk, G.P., Huijben, J.J.H. en Swinkels, J.W.G.M., april 1998.

Proefverslag P 1.203

Hoktype en welzijn van K.I.-beren. E. M.A.M. Bruininx, Vermeer, H.M., Vereijken, P.F.G., Wassenaar, T. en Swinkels, J.W.G.M., mei 1998.

Proefverslag P 1.204

Situatie en aanpassingsmogelijkheden op varkensbedrijven in Deurne en Ysselsteyn op het gebied van gezondheid, welzijn en milieu. M.A. van der Gaag, Aa, H.J.M. van der en Backus, G.B.C., mei 1998.

Proefverslag P 1.205

Reinigingsplaatsen voor veewagens op varkensbedrijven. P.F.M.M. Roelofs en Nijskens, J.J.W., mei 1998.

Proefverslag P 1.206

Brijvoer via Vario-Mix of lange trog bij vleesvarkens. A.I.J. Hoofs en Scholten, R.H.J., juni 1998.

Proefverslag P 1.207

Emissie-arme huisvesting bij grote groepen gespeende biggen. A.J.A.M. van Zeeland en Verdoes, N., juni 1998.

Proefverslag P 1.208

Vliegenbestrijding in varkensstallen. P.F.M.M. Roelofs, Nijskens, J.J.W., Vesseur, P.C. en Plagge, J.G., juli 1998.

Proefverslag P 1.209

Technisch functioneren van de Air Pathogen Free (A PF)-stal: luchtbehandeling en hygiënemaatregelen. J.J.H. Huijben, Loo, D.J.P.H. van de, Wagenberg, A.V. van, Swinkels, J.W.G.M. en Vesseur, P.C., augustus 1998.

Proefverslag P 1.210

Het gebruik van vochtrijke bijproducten. Een literatuuroverzicht. R.H.J. Scholten en Rijnen, M.M.J.A., augustus 1998.

Proefverslag P 1.211

Fermentatie van brijvoerders en bijproducten tijdens opslag. M.M.J.A. Rijnen en Scholten, R.H.J., augustus 1998.

Proefverslag P 1.212

Invloed van benzoëzuur in het voer op de technische resultaten en urine-pH van vleesvarkens. C.M.C. van der Peet-Schwering, Verdoes, N. en Plagge, J.G., september 1998.

Proefverslag P 1.213

Verdamping van water uit dierlijke mest met behulp van zonne-energie. J.J.H. Huijben en Wagenberg, A.V. van, oktober 1998.

Proefverslag P 1.214

Investeringskosten van standaardstallen voor varkens anno 1996. J.H.A.N. Adams, Brakel, C.E.P. van, Backus, G.B.C. en Bens P.A.M., november 1998.

- Proefverslag P 1.215
Los of in het mengvoer verstrekken van 50% tarwe en gerst aan vleesvarkens. M.M. J.A. Rijnen, Scholten, R.H.J. en Plagge, J.G., december 1998.
- Proefverslag P 1.216
Reinigen van varkensstallen na inweken met schuim of met water; kosten en kwaliteit. P.F.M.M. Roelofs en Plagge, J.G., januari 1999.
- Proefverslag P 1.217
Arbeidsbelasting, fysieke klachten en ziekte-verzuim bij varkenshouders. E. Hartman, Oude Vrielink, H.H.E. en Roelofs, P.F.M.M., januari 1999.
- Proefverslag P 1.218
Uitroeiing van schurft op varkensbedrijven. P.C. Vesseur (Ed.), Bokma-Bakker, M.H., Rambags, P.G.M., Hunneman, W.A., Heijden, H.M.J.F. van der, Smeding, T., Pieke, E. en Binnendijk, G.P., maart 1999.
- Proefverslag P 1.219
Reconstructie vanaf de basis. Fase 1: toekomstverkenningen van Limburgse varkenshouders. W.P.J. Stroucken-Steeghs, Vleuten, C.W.J.M. van der, Hoff, H.M. en Backus, G.B.C., maart 1999.
- Proefverslag P 1.220
De invloed van geboorte-inductie en het tijdstip van vlekziekte-vaccinatie tijdens de zoogperiode op het interval spenen-bronst van zeugen, M.C. Vonk, Binnendijk, G.P. en Vesseur, P.C., maart 1999.
- Proefverslag P 1.221
Model MINERALENSTROOM. C.P.A. van Wagenberg en Backus G.B.C., april 1999.
- Proefverslag P 1.222
Doelstellingen, inrichting en fasering van de Dierveiligheidsindex. M.H. Bokma-Bakker en Vesseur, P.C., april 1999.
- Proefverslag P 1.223
Scharrelvarkens bij verschillende houderij-systemen, hokuitvoeringen en koppelgroottes. J.H. Huiskes, Roelofs, P.F.M.M., Altena, H., Plagge, J.G. en Scholten, R.H.J., april 1999.
- Proefverslag P 1.224
Ammoniakemissie van grote groepen gespeende biggen met een hokoppervlak van 0,4 m² per dier. A.J.A.M. van Zeeland, Brok, G.M. den, Asseldonk, M.G.A.M. van en Verdoes, N., april 1999.
- Proefverslag P 1.225
Technische en economische resultaten van bedrijven met vleesvarkens 1997. L.M.C.J. Kuunders, Mandersloot, F. en Lubben, J., mei 1999.
- Proefverslag P 1.226
Technische en economische resultaten van bedrijven met zeugen 1997. L.M.C.J. Kuunders, Mandersloot, F. en Lubben, J., mei 1999.
- Proefverslag P 1.227
Vernevelen van water voor koeling in varkensstallen. A.V. van Wagenberg en Zeeland, A.J.A.M. van, juni 1999.
- Proefverslag P 1.228
Gedeeltelijk spenen van eerste- en tweede-worpszeugen. P.C. Vesseur, Binnendijk, G.P. en Hoofs, A.I.J., augustus 1999.
- Proefverslag P 1.229
Vleesvarkens in een alternatief houderijsysteem met of zonder voerbepaarders. J.H. Huiskes en Plagge, J.G., augustus 1999.

Exemplaren van proefverslagen kunnen worden verkregen door f 25,- per verslag (m.u.v. P 1.117, deze kost f 50,-) over te maken op Postbanknummer 51.73.462 ten name van het Proefstation voor de Varkenshouderij, Lunerkampweg 7, 5245 NB ROSMALEN, onder vermelding van het gewenste verslagnummer. Buitenlandse abonnees betalen f 30,- per P 1-verslag (dit is inclusief verzendkosten) én f 15,- administratiekosten per bestelling (m.u.v. P 1.117, deze kost f 75,-). Ook bestaat de mogelijkheid een abonnement te nemen op de proefverslagen voor f 300,- per jaar Buitenlandse abonnees betalen f 375,- per jaar.