

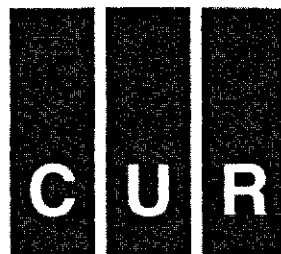
Ammoniakemissie-arme betonnen stalvloeren

Resultaten van experimenteel en toegepast
onderzoek

*Concrete floors for animal houses with low
ammonia emission
Results of experimental and applied research*

Eindredactie:
Dr.ir. C.R. Braam
Ir. C.J. van den Hoorn

imag-dlo



Dit rapport is onder de volgende trefwoorden opgenomen in het CUR-infobestand:

betonnen stalvloeren	emissies
beloopbaarheid	ammoniak
ruwheid	experimenteel onderzoek
slijtvastheid	mest(-kelders)
stroefheid	milieu(aspecten)
vloereigenschappen	modelvorming
waterindringing	opslagsystemen mest
bouwkosten	verzuring
	stallen

© IMAG-DLO

Postbus 43 - 6700 AA Wageningen

Telefoon 0317 - 476300

Telefax 0317 - 425670

E-mail postkamer@imag.dlo.nl

CUR

Postbus 420 - 2800 AK Gouda

Telefoon 0182 - 539600

Telefax 0182 - 530046

E-mail cur@cur.nl

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets van deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de CUR en IMAG-DLO.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken, mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt.

"©IMAG-DLO rapport 96-12 / CUR Rapport 188 "Ammoniakemissie-arme betonnen stalvloeren. Resultaten van experimenteel en toegepast onderzoek", november 1996, IMAG-DLO, Wageningen / CUR, Gouda."

Aansprakelijkheid

De CUR en IMAG-DLO en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en CUR en IMAG-DLO sluiten, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens de CUR, IMAG-DLO en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Voorwoord

IMAG-DLO/CUR-onderzoekcommissie D21 'Emissie-arme stalvloeren' is in 1993 ingesteld met als doel:

Het vergroten van het technisch-wetenschappelijk inzicht in de relaties tussen materiaal-technologie en stalvloerontwerp enerzijds en ammoniakemissie en het welzijn van dieren anderzijds.

De aandacht is hierbij gericht op het materiaal beton, met als doel het komen tot de ontwikkeling van stalvloeren in beton waarmee op concurrerende wijze kan worden voldaan aan strenge milieunormen en welzijnseisen voor dieren.

Voor het bereiken van dit doel heeft de onderzoekcommissie de volgende taken geformuleerd:

- het inventariseren van vloersystemen in beton ten behoeve van de huisvesting van dieren in de veehouderij;
- het systematisch opstellen van varianten voor afwerking, nabehandeling en nabewerking van betonnen vloeroppervlakken;
- het vaststellen van eigenschappen van vloeroppervlakken die naar verwachting een relevante invloed hebben op de ammoniakemissie en de beloopbaarheid van vloeren. Hierbij gebruik maken van kleinschalige proefstukken zodat een heel scala aan varianten kan worden onderzocht;
- op basis van de verkregen resultaten enige perspectiefvolle varianten onderzoeken op stalniveau. Hierbij aandacht voor ammoniakemissie en beloopbaarheid en de variabelen die invloed hebben op deze aspecten;
- het aangeven van functionele eisen voor ontwerp en uitvoering van stalvloeren; bij voorkeur 'produktónafhankelijk' geformuleerd;
- het onderzoeken van de investeringen in en de gebruikskosten van stalvloervarianten met aandacht voor de consequenties voor het totale stalontwerp en de toe te passen voorzieningen.

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is gebleken dat de processen die de grondslag vormen voor de ammoniakemissie van een stal bijzonder gecompliceerd zijn. Het onderzoek naar bronnen van ammoniakemissie van een stal heeft dan ook uitgebreid aandacht gekregen. Daartoe zijn experimenten in een rundveestal op een proefboerderij uitgevoerd.

Het onderzoek is in de periode september 1993 - augustus 1996 uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van een stuurgroep, waarvan de samenstelling als volgt was:

Ir. A.A. Jongebreur (voorzitter)	– IMAG-DLO ¹⁾
Dr.ir. C.R. Braam (secretaris)	– IMAG-DLO
Dr.ir. J.W. Frénay	– VNC

¹⁾ Zie bijlage I voor gegevens van genoemde organisaties.

Ing. J. de Jong	- Mebin
Ing. W.A. Kramer	- VNC
Dr.ir. J.H.M. Metz	- IMAG-DLO
Ir. H. Ouwerkerk	- SPOB
Prof.ir. J. Stuip	- CUR
Drs.ing. G. Westra	- ENCI

Ir. H. Ouwerkerk en ing. W.A. Kramer hebben gedurende de uitvoering van het project de taken van de heren drs. L.J.G. Dekker en mr. D. van Beekhoff overgenomen.

Het onderzoek is inhoudelijk begeleid door IMAG-DLO/CUR-onderzoekcommissie D21. De commissie was als volgt samengesteld:

Ir. G.Chr. Bouquet (voorzitter)	- VNC
Dr.ir. C.R. Braam (secretaris)	- IMAG-DLO
Prof.ir. J.H. van Loenen (mentor)	- CUR
Ir. H.P.J. Vereijken (coördinator)	- CUR
Mw. ing. J. Gerretsen	- JVZ
Ing. A. Hillebrandt	- NBC
Ir. C.J. van den Hoorn	- IMAG-DLO
Ir. N. Jonkhof	- JVZ
G.A. Martina	- David en Martina
Dr.ir. J.H.M. Metz	- IMAG-DLO
Ing. H. Stuut	- IKC-L
Ing. D. Swierstra	- IMAG-DLO
Ing. N.J.F. Vonk	- Van Nieuwpoort Beheer
Ing. R.T. de Vree (corresp. lid)	- BMC
G. van der Zanden	- DLV - BAB

De uitvoering van de activiteiten heeft plaatsgevonden binnen de werkgroepen 'Basisprincipes', 'Ter plaatse gestort beton' en 'Geprefabriceerd beton', waarin de volgende personen zitting hadden:

Ir. A.J.A. Aarnink	- IMAG-DLO
Ing. R.H.J. Albers	- ENCI
Prof.ir. H.W. Bennenk	- Spanbeton / TUE
Ir. G.Chr. Bouquet	- VNC
Dr.ir. C.R. Braam	- IMAG-DLO
Dr. A. Elzing	- IMAG-DLO
Ing. H. Gunnink	- IMAG-DLO
Ir. J.G.L. Hendriks	- PV
Ir. C.J. van den Hoorn	- IMAG-DLO
Dr.ir. J.J.M.H. Ketelaars	- AB-DLO
G.A. Martina	- David en Martina
Ing. P. Meerkerk	- Den Boer Beton
Ir. G.J. Monteny	- IMAG-DLO
Ir. H. Ouwerkerk	- SPOB
Ir. M.C.J. Smits	- IMAG-DLO
H.H.M. Soen	- Mebin

Ing. H. Stuut	– IKC-L
Ing. D. Swierstra	– IMAG-DLO
Ir. N. Verdoes	– PV
Ing. N.J.F. Vonk	– Van Nieuwpoort Beheer

De teksten zijn verzorgd door dr.ir. C.R. Braam, ing. H. Gunnink, ir. C.J. van den Hoorn, dr.ir. J.J.M.H. Ketelaars, ir. M.C.J. Smits en ing. D. Swierstra. De eindredactie is verzorgd door dr.ir. C.R. Braam en ir. C.J. van den Hoorn.

Dit onderzoek is mede mogelijk gemaakt door financiële inbreng van de Nederlandse cement- en betonmortelindustrie (VNC en SPOB) en de Collectiviteitenregeling van het Ministerie van Economische Zaken.

IMAG-DLO en CUR bedanken de leden van de stuurgroep, onderzoekcommissie en werkgroepen voor de voortvarende aanpak, die heeft geleid tot een wetenschappelijk rapport met voor de praktijk bruikbare resultaten en aanbevelingen. Voor een effectieve kennisoverdracht is een gerichte benadering van de doelgroepen nodig. Daarvoor vormt dit rapport een belangrijk basisdocument. Van dit rapport is dan ook een beknopte samenvatting verschenen in de vorm van een managementrapportage.

Wageningen / Gouda, november 1996

DLO-Instituut voor Milieu-
en Agritechniek (IMAG-DLO)

Civiltechnisch Centrum Uitvoering
Research en Regelgeving (CUR)

Ir. A.A. Jongebreur (directeur)

Het bestuur

Inhoud

Samenvatting	10
1 Ammoniakemissieproblematiek en plaatsing onderzoek	12
1.1 Inleiding	12
1.2 Agrarische sector	13
1.3 Positie van het ammoniakemissieonderzoek	15
1.4 Het onderzoek 'Ammoniakemissie-arme betonnen stalvloeren'	16
1.4.1 Inleiding	16
1.4.2 Doel	17
1.4.3 Opzet en aanpak van het onderzoek	17
1.4.4 Ten geleide	18
2 Experimenten op laboratoriumniveau	20
2.1 Inleiding	20
2.2 Doel	21
2.3 Opzet	21
2.4 Varianten	21
2.5 Bepalingen	24
2.5.1 Urease-activiteit	25
2.5.2 Gemiddelde ruwheidshoogte	27
2.5.3 Waterindringing	28
2.5.4 Stroefheid	29
2.5.5 Vloeistoflaagdikte	30
2.5.6 Slijtvastheid	31
2.6 Waarnemingen	34
2.6.1 Urease-activiteit	34
2.6.2 Gemiddelde ruwheidshoogte	35
2.6.3 Waterindringing	36
2.6.4 Stroefheid	37
2.6.5 Vloeistoflaagdikte	37
2.6.6 Slijtvastheid	38
2.7 Analyse	40
2.7.1 Inleiding	40
2.7.2 Urease-activiteit verklaard uit gemiddelde ruwheidshoogte	41
2.7.3 Urease-activiteit verklaard uit waterindringing	44
2.7.4 Urease-activiteit verklaard uit gemiddelde ruwheidshoogte en waterindringing	45
2.7.5 Clustering van proefstukken	46
2.7.6 Stroefheid verklaard uit gemiddelde ruwheidshoogte	47
2.8 Discussie	48
2.9 Conclusies	58

3	Experimenten op stalniveau	59
3.1	Inleiding	59
3.2	Doel	59
3.3	Opzet	59
3.4	Proefaccommodatie	59
3.5	Voorgaand uitgevoerd onderzoek	62
3.5.1	Inleiding	62
3.5.2	Doel	62
3.5.3	Opzet	63
3.5.4	Varianten	63
3.5.5	Bepalingen	63
3.5.6	Waarnemingen	64
3.5.7	Analyse	64
3.5.8	Conclusies	65
3.6	Experiment 1: De invloed van vloerhelling en schuifrequentie	65
3.6.1	Inleiding	65
3.6.2	Doel	66
3.6.3	Varianten	66
3.6.4	Opzet	68
3.6.5	Bepalingen	68
3.6.6	Waarnemingen	70
3.6.7	Analyse	76
3.6.8	Lange herhaling variant 3	87
3.6.9	Discussie	95
3.7	Experiment 2: De invloed van een tweezijdige helling en meerdere giergoten	97
3.7.1	Inleiding	97
3.7.2	Doel	98
3.7.3	Varianten	98
3.7.4	Opzet	99
3.7.5	Bepalingen	100
3.7.6	Waarnemingen	101
3.7.7	Analyse	108
3.7.8	Discussie	112
3.8	Conclusies	114
4	Modelvorming	116
4.1	Inleiding	116
4.2	Doel	116
4.3	Opzet	116
4.4	Modelvorming	116
4.4.1	Vloeremissie	117
4.4.2	Kelderemissie	122
4.4.3	Restemissie	123
4.4.4	Stalemissie	124
4.5	Toetsing model	124
4.5.1	Toetsing model aan eenzijdig hellende vloer	124
4.5.2	Toetsing model aan tweezijdig hellende vloer	126

4.6	Gevoeligheidsanalyse	127
4.7	Discussie	128
4.8	Conclusies	129
5	Bouwkosten ammoniakemissie arme stalvloersystemen	130
5.1	Inleiding	130
5.2	Staltypen	130
5.3	Stalgrootte	132
5.4	Vloersystemen	132
5.4.1	Systeem A: Roostervloer met mestopslag onder de stal - Referentievloersysteem	132
5.4.2	Systeem B: Dichte hellende vloer met mestopslag onder de stal	133
5.4.3	Systeem C: Dichte hellende vloer met mestopslag buiten de stal	134
5.5	Mestopslag	135
5.6	Investerings en jaarlijkse kosten	136
5.6.1	Investerings	136
5.6.2	Jaarlijkse kosten	138
5.7	Discussie	138
5.8	Conclusies	138
6	Beloopbaarheid van onderzochte varianten	140
6.1	Inleiding	140
6.2	Doel	140
6.3	Eenzijdig hellende en vlakke, dichte betonvloer	140
6.3.1	Materiaal en methode	140
6.3.2	Waarnemingen	142
6.3.3	Discussie	146
6.4	Tweezijdig hellende, dichte betonvloer	147
6.4.1	Materiaal en methode	147
6.4.2	Waarnemingen	147
6.4.3	Discussie	150
6.5	Conclusies	150
6.6	Beloopbaarheid van hellende, dichte vloeren op praktijkbedrijven	151
6.6.1	Inleiding	151
6.6.2	Doel	151
6.6.3	Opzet	152
6.6.4	Bedrijven	152
6.6.5	Resultaten	153
6.6.6	Discussie	156
7	Discussie en overwegingen	158
8	Conclusies en aanbevelingen	161
8.1	Conclusies	161
8.2	Aanbevelingen	163

Summary	168
Literatuur	170
Bijlagen	174
I Overzicht van bij het onderzoek betrokken organisaties	174
II Overzicht van de belangrijkste aspecten van varianten	176
III Waarnemingen urease-activiteit	180
IV Waarnemingen gemiddelde ruwheidshoogte	182
V Waarnemingen waterindringing	184
VI Waarnemingen stroefheid	186
VII Waarnemingen vloeistoflaagdikte	188
VIII Waarnemingen slijtvastheid	190
IX Samenstelling mestmonsters	192

Samenvatting

Het verminderen van de verzuring van het milieu is een belangrijke doelstelling van de Nederlandse overheidsbeleid die gericht is op het terugdringen van de schade toegebracht aan het milieu. Daarom is, uitgaande van het jaar 1980 als referentie, gesteld dat de ammoniakemissie in het jaar 2000 met 50% en in het jaar 2005 met 70% moet zijn gereduceerd. Aangezien 94% van de binnenlandse ammoniakemissie afkomstig is van bronnen gerelateerd aan de landbouw is het onderzoek in Nederland sterk gericht op deze sector.

Aanzienlijke reductie van ammoniakemissie is al bereikt, bijvoorbeeld door mest te injecteren in plaats van bovengronds uit te rijden en door mestopslagen af te dekken. Ten aanzien van huisvestingssystemen blijken de tot dusver ontwikkelde maatregelen in de rundveehouderij relatief grote investeringen te vergen. De introductie in de praktijk van deze systemen blijkt dan ook slechts moeizaam plaats te vinden. Indien geen verdere maatregelen worden genomen, zal in het jaar 2000 naar verwachting circa 60% van de totale ammoniakemissie van de Nederlandse landbouw afkomstig zijn uit stallen.

Ammoniak wordt onder andere gevormd bij de afbraak van ureum uit urine. Bij deze reactie fungeert het enzym urease als katalysator. Urease wordt geproduceerd door bacteriën die in de faeces aanwezig zijn. Vloeren bevuild met faeces worden bacteriologisch actief, waarbij deze activiteit in een steenachtige laag aanwezig is.

Bij het modelleren van ammoniakemissie uit stalgebouwen kunnen twee aanwijsbare bronnen worden onderscheiden, namelijk de stalvloer en de mestkelder. De ammoniakemissie uit de mestkelder wordt gereduceerd door het afdekken van de mestkelder met een dichte vloer, zodat de luchtbeveging boven het mestoppervlak wordt gereduceerd. De ammoniakemissie vanaf het vloeroppervlak kan worden gereduceerd door bijvoorbeeld te spoelen met water, de urine snel af te voeren, het vloeroppervlak te behandelen met zuur en het door de dieren bevuild vloeroppervlak te reduceren.

In het onderzoek is eerst aandacht besteed aan de eigenschappen die belangrijk werden geacht voor vloeroppervlakken in stallen. Om onderzoek aan een grote verscheidenheid aan typen oppervlakken mogelijk te maken is daarbij gebruik gemaakt van kleinschalige proefstukken. Ruwheidshoogte, waterindringing, stroefheid, effectieve vloeistoflaagdikte en urease-activiteit zijn gemeten. Een overzicht is verkregen van in de praktijk te verwachten waarden van deze eigenschappen.

Op basis van de conclusies getrokken uit de resultaten verkregen met de kleinschalige proefstukken, zijn grootschalige experimenten uitgevoerd. Deze vonden plaats in een afdeling van een onderzoekstal van een proefbedrijf, waarin rundvee was gehuisvest. De ammoniakemissie is daarbij vergeleken met de ammoniakemissie uit een referentie afdeling voorzien van een roostervloer, waaronder een mestkelder is gelegen.

In eerste instantie is gebruik gemaakt van een eenzijdig hellende en een vlakke dichte vloer, schoongeschoven door een mestschuif. Bij de vlakke vloer was nauwelijks sprake van reductie van ammoniakemissie ten opzichte van de roostervloer, terwijl bij de eenzijdig hellende vloer, afhankelijk van het rantsoen van de dieren en de stalluchttemperatuur, een reductie van ammoniakemissie met 20 - 35% is gevonden. De ammoniakemissie vanuit de mestkelder is onderzocht terwijl geen dieren in de afdeling waren gehuisvest. De waarnemingen wezen uit dat de ammoniakemissie vanuit de mestkelder niet was geëlimineerd. Ten aanzien van de urease-activiteit bleek dat de snelheid van

ontwikkeling sterk afhankelijk is van de temperatuur. In de meeste gevallen was de urease-activiteit reeds na circa een week gebruik van de vloer al niet meer beperkend voor de ammoniakemissie. De ammoniakemissie vanaf de stalvloer kan dan nog worden gereduceerd door de hoeveelheid urine die op de vloer achterblijft te beperken. Een toename van de reductie van ammoniakemissie is nagestreefd door het toepassen van een tweezijdige hellende dichte vloer, voorzien van een centrale giergoot. In beide hellende vloerdelen is een extra giergoot aangebracht. Gedurende de experimenten zijn drie gelijkmatig verdeelde giergoten of één centrale giergoot gebruikt. Tevens is het mestniveau in de mestkelder verhoogd tot vlak onder de dichte vloer. Aan beide uiteinden van de vloer zijn verticale schotten aangebracht die tot in de mest reikten. Hiermee is een situatie zonder mestkelder gesimuleerd. Tijdens enkele perioden is de vloer na schuiven besproeid met water. De ammoniakemissiereductie ten opzichte van de afdeling met de roostervloer was 50% als de tweezijdig hellende vloer alleen werd schoongeschoven. De reductie nam toe tot 65% als het vloeroppervlak tevens werd besproeid.

De beloopbaarheid van de vloeren is onderzocht door het gedrag en het aantal uitglij-incidenten van de dieren op de dichte vloeren in de experimentele afdeling te vergelijken met het gedrag en het aantal uitglij-incidenten op de roostervloer in de referentie afdeling. In beide afdelingen is een nagenoeg gelijk aantal uitglij-incidenten waargenomen. Zowel de verblijftijd als de activiteit van de dieren was op de dichte vloer in de experimentele afdeling echter wel lager dan op de roostervloer in de referentie afdeling. Dit kan worden gezien als risico-mijdend gedrag. Aangezien nog andere factoren een rol kunnen hebben gespeeld, is het niet mogelijk om op basis van dit oriënterende beloopbaarheidsonderzoek harde generaliseerbare conclusies te trekken.

Omdat vereiste investeringen een belangrijk aspect zijn bij beslissingen voor veehouders betreffende een bepaald stalsysteem, is een succesvolle introductie in de praktijk van dichte vloeren onder andere afhankelijk van de constructieve eisen die aan het toepassen van deze vloeren zijn verbonden. Daarom zijn de investeringen en de jaarlijkse kosten van deze investeringen vastgesteld voor diverse representatieve stallen. Hieruit is gebleken dat, in het geval van nieuwbouw, slechts geringe verschillen bestaan tussen een roostervloer met ondergelegen mestkelder enerzijds en hellende dichte vloeren gecombineerd met mestopslag buiten de stal anderzijds. Wanneer wordt gekozen voor een hellende dichte vloer met ondergelegen mestkelder zijn de investeringen zo'n f 770,- per koe hoger dan bij de stal met roostervloer. Bij verbouw is een investering van circa f 1000,- per koe vereist indien de roostervloer wordt vervangen door een dichte vloer en de ondergelegen mestkelder operationeel blijft. Zodra de mest niet meer wordt opgeslagen in de mestkelder, maar een mestopslag buiten de stal wordt gebouwd, neemt bij verbouw de vereiste investering toe tot ruim f 2000,- per koe.

1 Ammoniakemissieproblematiek en plaatsing onderzoek

1.1 Inleiding

In Nationale Milieubeleidsplannen is door de Nederlandse overheid voor de middellange termijn richting gegeven aan het milieubeleid. Dit beleid is gericht op het bereiken van een duurzame ontwikkeling. Gezien het feit dat het bereiken van een duurzame ontwikkeling een proces van tientallen jaren zal zijn, is ten aanzien van de lange termijn slechts globaal de richting aangegeven. Voor de planperiode van 1990 tot 1994 zijn echter concrete acties waarvan de uitvoering noodzakelijk wordt geacht uitgewerkt (NMP, 1989). Volgens deze acties dient het vrijkomen van zure stoffen, waaronder ammoniak, te worden teruggedrongen. Als concrete taakstelling voor het jaar 1994 is een reductie van ammoniakemissie met 30% ten opzichte van het jaar 1980 geformuleerd. Dit impliceert een ammoniakemissie van 177.000 ton in het jaar 1994 (253.000 ton in het jaar 1980). De doelstelling voor het jaar 2000 omvat een verdergaande reductie van ammoniakemissie tot 82.000 ton. Dit komt overeen met een reductie van ammoniakemissie van circa 70% ten opzichte van het jaar 1980. Ten aanzien van dit laatste percentage wordt gesteld dat nog moet worden gewerkt aan de technische en economische haalbaarheid. Opgemerkt wordt dat met de destijds (1989) gangbare technieken een reductie van ammoniakemissie van in elk geval 50% in het jaar 2000 mogelijk werd geacht. Ten aanzien van milieu-investeringen stelt het Nationaal Milieubeleidsplan dat deze in de landbouw zeer aanzienlijk zullen zijn. Zo is verwacht dat de totale milieu-investeringen zouden toenemen van f 300 miljoen per jaar in het jaar 1989 naar f 750 miljoen per jaar gedurende langere tijd. Daarbij komt dan nog een jaarlijkse investering van f 330 miljoen ten behoeve van mestverwerking. De jaarlijkse extra kosten ten opzichte van 1988 van de landbouw-milieumaatregelen bedragen circa f 930 miljoen in 1994. Het betreft hier extra kosten. Voor het verkrijgen van de totale kosten moeten de milieu-kosten in 1988 (circa f 460 miljoen voor de gehele sector) worden bijgeteld. Voor wat betreft de maatregelen die reductie van ammoniakemissie beogen bedragen de jaarlijkse extra milieukosten ten opzichte van 1988 circa f 160 miljoen in 1990 en f 400 miljoen in 1994. Uit deze cijfers blijkt dat de voorgestelde maatregelen op het gebied van de reductie van ammoniakemissie een belangrijk aandeel hebben in de extra milieukosten (circa 40%). Voorgesteld wordt de landbouw f 300 miljoen van de genoemde f 400 miljoen te laten bijdragen; het resterende bedrag komt voor rekening van de overheid. In het Nationaal Milieubeleidsplan-plus (NMP-plus, 1990) is het milieubeleid op een aantal punten aangescherpt om de doelstellingen van het NMP zo snel mogelijk te realiseren. De doelstellingen ten aanzien van de reductie van ammoniakemissie zijn daarin niet aangescherpt. Dit betekent dat de ammoniakemissie in het jaar 2000 beperkt moet blijven tot 82.000 ton. Wel is de kanttekening gemaakt dat "het objectgerichte beleid in de eerste plaats leidt tot lokale vermindering van piekdeposities en kan bijdragen aan het eerder bereiken van voorgenomen reducties of mogelijk zelfs aan een extra reductie van de deposities" (NMP-plus, 1990). Het Tweede Nationaal Milieubeleidsplan (NMP-2, 1994) schetst de strategie voor de periode 1995 tot en met 1998. Gemeld wordt dat de doelstelling betreffende een maximum ammoniakemissie van 82.000 ton in het jaar 2000 onveranderd gehandhaafd

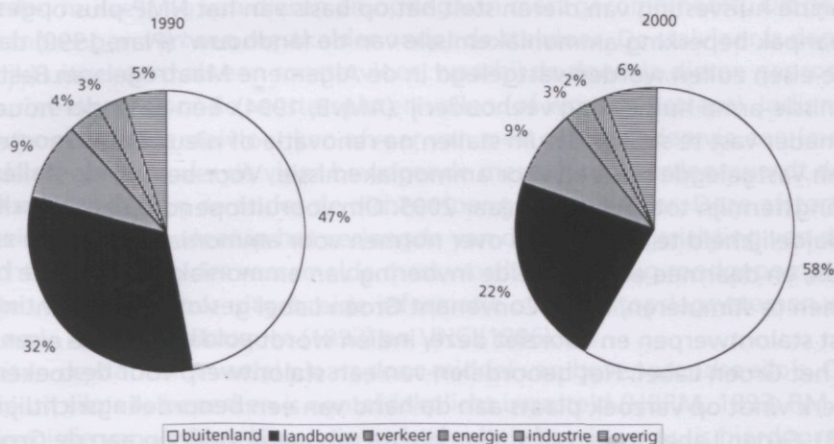
blijft. Toegevoegd wordt een doelstelling voor het jaar 2010, namelijk een reductie van ammoniakemissie van 80 - 90% ten opzichte van het jaar 1980. Op basis van het bestaand en voorgenomen beleid wordt geschat dat de ammoniakemissie in het jaar 2000 zal uitkomen op circa 86.000 ton, terwijl dit voor het jaar 2010 circa 70.000 ton zal bedragen. Dit betekent dat de geschatte reductie van ammoniakemissie in het jaar 2000 circa 4.000 ton te klein zal zijn en in het jaar 2010 circa 20.000 ton.

1.2 Agrarische sector

In NMP-2 is aangegeven welke bijdragen diverse sectoren aan het vrijkomen van zure stoffen (SO_x , NO_x , NH_x) in Nederland leveren. Figuur 1.1 toont de situatie in het jaar 1990 en geeft de voorspelling voor het jaar 2000. Gewezen wordt op het grote aandeel afkomstig van het buitenland (circa 50%), alsmede het aandeel van de landbouw, dat gelijk is aan circa 60%, resp. 50% van de totale binnenlandse bijdrage aan het vrijkomen van zure stoffen in de jaren 1990, resp. 2000 (NMP-2).

Wanneer wordt gekeken naar de relatieve bijdragen van specifieke zure stoffen ten opzichte van het vrijkomen van het totaal aan zure stoffen dan blijkt NH_x het grootste aandeel te leveren, namelijk circa 46% in het jaar 1989. Bij NH_x is de bijdrage van de binnenlandse bronnen gelijk aan circa 81%.

De agrarische sector heeft een aanzienlijk aandeel in de ammoniakemissie. Zo bleek dat van de 253.000 ton ammoniakemissie in het jaar 1980 circa 238.000 ton uit de landbouw afkomstig was, hetgeen overeenkwam met een aandeel in de ammoniakemissie van 94%. De resterende hoeveelheid was afkomstig uit de industrie (6.000 ton) en de huis-



Figuur 1.1 Procentuele bijdrage van diverse bronnen aan de zuurdepositie in Nederland (inclusief buitenlandse bronnen) in het jaar 1990 en een schatting voor het jaar 2000 (7215 resp. 2400 mol totaal zuur per hectare per jaar in 1980 resp. 2000) (NMP-2, 1994; Lekkerkerk et al., 1995).

Figure 1.1 Percentual contribution of several sources to acid deposition in The Netherlands (including cross-border sources) in the year 1990, and an estimation for the year 2000 (7215 and 2400 mol acid per hectare per year in 1980 and 2000, respectively) (NMP-2, 1994; Lekkerkerk et al., 1995).

houdens (9.000 ton). De voor het jaar 2000 nagestreefde ammoniakemissie van 82.000 ton is opgebouwd uit een bijdrage van 70.000 ton (85%) door de landbouw plus 3.000 ton (4%) door de industrie en 9.000 ton (11%) door de huishoudens (NMP-2, 1994). Het vermeende relatief grote aandeel van ammoniak in het vrijkomen van zure stoffen in combinatie met het feit dat de landbouw voor nagenoeg 100% verantwoordelijk is voor de huidige ammoniakemissie verklaart de nadruk die van overheidswege wordt gelegd op reductie van ammoniakemissie binnen deze sector.

Om een uitspraak te kunnen doen omtrent de bronnen waarop de aandacht zich zal moeten richten, dient bekend te zijn op welke wijze ammoniakemissie in de landbouw optreedt.

In het jaar 1989 veroorzaakten stal en opslag 36%, weide 10% en uitrijden 54% van de totale ammoniakemissie uit de landbouw (Oudendag & Wijnands, 1989). Met name op het gebied van het uitrijden van mest zorgen recent geïntroduceerde technieken (injecteren, onderploegen) voor een aanzienlijke reductie van ammoniakemissie. Hierdoor daalt het relatieve aandeel van de ammoniakemissie dat veroorzaakt wordt door mesttoediening tot circa 17% in het jaar 2000. Het relatieve aandeel van stal en opslag neemt hierdoor echter sterk toe tot circa 60% in het jaar 2000 (Evaluatie, 1993). Een belangrijk aspect hierbij is het feit dat de kosten per kg gereduceerde ammoniakemissie sterk variëren. Zo blijken bijvoorbeeld de jaarlijkse kosten van reductie van ammoniakemissie bij mesttoediening circa f 0,50 tot f 2,50 per kg te bedragen, terwijl dit bedrag bij huisvesting van rundvee stijgt tot circa f 35 tot f 60 per kg (Swierstra & Van Ooijen, 1995; Swierstra et al., 1995; Evaluatie, 1993).

Op basis van de cijfers uit het Tweede Nationaal Milieubeleidsplan blijkt dat het bereiken van de milieudoelstellingen in het jaar 2000 haalbaar is. Wordt echter de periode hierna beschouwd, dan blijken de gestelde doelen niet te worden gehaald. Een belangrijke oorzaak hiervan is de relatief geringe reductie van ammoniakemissie uit stallen. Ten aanzien van de huisvesting van dieren stelt het op basis van het NMP-plus opgestelde 'Plan van aanpak beperking ammoniakemissie van de landbouw' (Plan, 1990) dat ammoniakemissie-eisen zullen worden vastgelegd in de Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) 'Emissie-arme huisvesting veehouderij' (AMvB, 1994). Een en ander houdt in, dat vanaf een nader vast te stellen datum stallen na renovatie of nieuwbouw moeten voldoen aan vastgelegde normen voor ammoniakemissie. Voor bestaande stallen geldt een overgangstermijn tot en met het jaar 2005. Om vooruitlopend op het verschijnen van de AMvB duidelijkheid te verschaffen over normen voor ammoniakemissie die zullen gaan gelden, en daarmee een versnelde invoering van ammoniakemissie-arme huisvestingssystemen te stimuleren, is het Convenant Groen Label gesloten. De Stichting Groen Label toetst stalontwerpen en voorziet deze, indien wordt voldaan aan de eisen, van een keurmerk; het Groen Label. Het beoordelen van een stalontwerp voor de toekenning van het keurmerk vindt op verzoek plaats aan de hand van een beoordelingsrichtlijn (Groen Label, 1993). Groen Label-stallen of stallen die na renovatie voldoen aan de Groen Label-eisen zijn 16 jaar gevrijwaard van de verplichting tot het doorvoeren van aanpassingen aan de stallen die in verband met veranderende normen met betrekking tot ammoniakemissie noodzakelijk zouden zijn. Nadrukkelijk wordt gesteld dat het hier alleen veranderende normen met betrekking tot ammoniakemissie betreft. Eventuele verplichtingen tot aanpassingen van stallen voortkomend uit veranderende normen, bijvoorbeeld op het gebied van het dierlijk welzijn, worden door Groen Label niet ondervangen. In de Nationale Milieubeleidsplannen wordt duidelijk een relatie gelegd tussen de verzuringsproblematiek en ammoniakemissie. Onderzoekresultaten wijzen echter uit dat dit

beeld enige nuancering behoeft. Zo wordt in bossen vooral zwavel gezien als verzurende stof, terwijl stikstofverbindingen te maken hebben met de vitaliteit (De Vries, 1994). De verminderde vitaliteit komt voort uit de sterke groei van de bomen door ophoping van stikstof in de bodem. Deze sterke groei leidt onder andere tot een slecht ontwikkeld wortelstelsel, waardoor de bomen gevoelig worden voor droogte. Tevens kan de groei op een bepaald moment afgeremd worden door een relatief gebrek aan stoffen als magnesium en kalium, waardoor gebreksziekten kunnen optreden. Gesteld wordt dat in het stikstofdepositie-beleid het accent moet verschuiven van het vermijden van verzuring naar het vermijden van verdroging van het milieu.

1.3 Positie van het ammoniakemissie-onderzoek

De voorgaande paragrafen geven het algemene kader waarbinnen het ammoniak-emissie-onderzoek moet worden geplaatst. Uit de cijfers blijkt dat de Nederlandse landbouw een relatief grote bijdrage aan het vrijkomen van zure stoffen levert. Dit aandeel is vooral bij ammoniakverbindingen groot. Zo'n 46% van de totale hoeveelheid in Nederland vrijgekomen zure stoffen bestaat uit ammoniakverbindingen. Circa 81% van de totale hoeveelheid ammoniakverbindingen is afkomstig van binnenlandse bronnen en daarvan is ongeveer 94% gerelateerd aan de Nederlandse landbouw. Samengevat betekent dit dat circa $0,46 \times 0,81 \times 94\% = 35\%$ van de totale hoeveelheid in Nederland vrijgekomen zure stoffen bestaan uit ammoniakverbindingen die afkomstig zijn van de Nederlandse landbouw (Oudendag & Wijnands, 1989).

Bij het terugdringen van de ammoniakemissie uit de veehouderij dienen stalgebouwen en mestopslagen extra aandacht te krijgen omdat de reductie van ammoniakemissie in deze gevallen met hoge investeringen gepaard gaat, en daardoor achterblijft.

Veelal worden huisvesting van dieren en opslag van mest gecombineerd. Dit geschiedt door het aanbrengen van een mestkelder onder de stalfvloer. De stalfvloer is dan veelal (gedeeltelijk) uitgevoerd als een roostervloer, waarbij de door de dieren geproduceerde faeces en urine direct door de roosterspleten vallen (of worden getrapt). Indien wordt gekozen voor een dichte stalfvloer kan afvoer van mest plaatsvinden via een (met regelmatige tijdsintervallen) over de vloer bewegende mestschuif. Hierdoor wordt de mest verzameld en afgestort in de onder de dichte vloer gelegen kelder. Deze afstorten zijn aan de uiteinden van de vloer in het verlengde van de bewegingsrichting van de schuif aangebracht. De in de kelder verzamelde mest wordt regelmatig rondgepompt om ophopen te vermijden. Voor uitgebreide informatie over mestopslagsystemen wordt verwezen naar Frénay en Bouquet (1992) en VNC (1996).

Opslag buiten de stal vindt veelal plaats door middel van bovengrondse silo's. Om ammoniakemissie uit silo's te beperken is een afdekplicht ingesteld (HBRM, 1993; RM, 1994). De ammoniakemissie vanuit deze bron, die toch al relatief gering was, is hierdoor verder afgenomen. Dit betekent dat ten aanzien van 'stal en opslag' met name de uitvoering en inrichting van het stalgebouw de ammoniakemissie bepalen. Hierbij spelen vele aspecten een rol, zoals aantallen en soorten dieren, rantsoen, gebouwafmetingen, ventilatiewijze, vloeruitvoering en wijze van mestverwijdering.

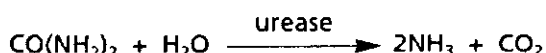
De relatie tussen ammoniakemissie en diverse van deze aspecten is en wordt uitgebreid onderzocht, zie bijvoorbeeld FOMA (1994). In deze onderzoeken is ook aandacht besteed aan de vloeruitvoering (Swierstra et al., 1994). Door de overwegend grote schaal (stal-niveau) waarop deze onderzoeken zijn uitgevoerd is echter nog onvoldoende fundamen-

teel inzicht verkregen in de wijze waarop het vloeroppervlak en de vloeruitvoering de ammoniakemissie beïnvloeden.

1.4 Het onderzoek 'Ammoniakemissie-arme betonnen stalvloeren'

1.4.1 Inleiding

Verse urine en faeces bevatten bij een normaal rantsoen slechts weinig ammoniak. De ammoniak die uit stallen vervluchtigt, moet dus eerst uit deze uitscheidingsprodukten worden gevormd. Dit gebeurt op de stalvloer en in de mestkelder. Belangrijkste reagens bij ammoniakproduktie is ureum ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dat in urine voorkomt. De omzetting van ureum in ammoniak wordt gekatalyseerd door het enzym urease en beschreven door de reactie:



1.1

Het enzym urease bevindt zich in faeces en kan zich aan oppervlakken hechten. De snelheid waarmee een oppervlak in staat is ureum om te zetten wordt bepaald door de activiteit van de op dat oppervlak gehechte urease en wordt daarom aangeduid als 'urease-activiteit'. Nadat urease zich op een oppervlak heeft gehecht, is dat oppervlak, ook zonder dat zich daar faeces op bevinden, 'urease-actief'. Dit wil zeggen dat na toevoeging van ureum ammoniakemissie optreedt vanaf zo'n oppervlak.

Uit onderzoek is gebleken dat urease-activiteit op stalvloeren die regelmatig worden bevuild met faeces en urine kan worden ingekapseld in een harde neerslag van carbonaten en fosfaten. Daarbij zijn de carbonaten en fosfaten afkomstig uit de urine en faeces. Deze zouten slaan op de stalvloer neer als gevolg van een stijging van de pH onder invloed van de hydrolyse van ureum. De mogelijke vorming van een zogenaamde urease-steenlaag op stalvloeren is afgeleid uit het ontstaan van blaas- en nierstenen na bacteriële infecties van de urinewegen (Ketelaars & Rap, 1994).

Waarschijnlijk is, als gevolg van het ontstaan van een urease-steenlaag, reiniging van stalvloeren met behulp van water onder hoge druk ontoereikend om urease-activiteit te verwijderen. Een effectieve reductie van urease-activiteit blijkt wel mogelijk door de urease-steenlaag periodiek op te lossen met behulp van (verdunde) zuren.

De gevormde neerslag kan in zeer hoge mate urease-actief zijn. Sommige op het oog schone stalvloeren zijn theoretisch in staat om per uur en per m^2 uit een overmaat ureum meer dan 5 g ammoniak te vormen. Dit is meer dan tien maal zoveel als de norm voor ammoniakemissie-arme stallen voor melkvee, die overeenkomt met circa 0,3 g ammoniak per uur en per m^2 (Groen Label-norm: 4,4 kg ammoniak per koe per jaar; stalperiode 190 dagen; 3 m^2 bevuild oppervlak per dier). Door een hoge urease-activiteit kan na een lozing van urine alle op de vloer achterblijvende ureum zeer snel worden afgebroken en als ammoniak vervluchtigen.

Tussen vloertypen zijn grote verschillen in urease-activiteit aangetoond. Ook is regelmatig op een zelfde vloer een grote ruimtelijke variatie in urease-activiteit gevonden. De precieze oorzaken van deze verschillen zijn nog niet bekend. Vermoedelijk gaat het om een samenspel van factoren waaronder oppervlakte-eigenschappen, reinheidsgraad, stal-klimaat, temperatuur, rantsoen en urinegedrag van dieren.

Afgezien van de ammoniakemissie vanaf het vloeroppervlak is ook sprake van emissie van ammoniak uit de mestkelder. Ook hier is de ureum uit de urine de verbinding waaruit ammoniak wordt gevormd. Ook uit de faeces wordt organisch gebonden stikstof langzaam omgezet in ammoniak. De luchtsnelheid direct boven de mest en de uitwisseling van lucht tussen de mestkelder en de stal zijn van grote invloed op de kelderemissie. Door het aanpassen van het vloerontwerp is invloed uit te oefenen op deze factoren. In de rundveehouderij is circa 40% van de totale stalemissie afkomstig uit de mestkelder; de resterende 60% is afkomstig van het vloeroppervlak (Ogink & Kroodsma, 1996). Dit geeft aan dat, wanneer alleen bouwkundige maatregelen worden beschouwd, het bereiken van een ammoniakemissiereductie van minstens 50% praktisch gezien slechts mogelijk is als de ammoniakemissie van beide bronnen (stalvloer en kelder) wordt gereduceerd.

1.4.2 Doel

Het doel van het onderzoek is primair het vergroten van technisch wetenschappelijk inzicht in de relatie tussen oppervlakte-eigenschappen en stalvloerontwerp enerzijds en ammoniakemissie en dierwelzijn anderzijds. Een hoger gelegen doel van het onderzoek is het ontwikkelen van betonnen stalvloeren waarmee op concurrerende wijze kan worden voldaan aan milieunormen en welzijnseisen voor dieren.

1.4.3 Opzet en aanpak van het onderzoek

Het onderzoek is gesplitst in drie fasen. In de eerste fase stonden het inventariseren en beproeven van een breed scala vloeroppervlakken centraal. In deze fase is gekozen voor het vervaardigen en beproeven van kleinschalige ($0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$) elementen die representatief zijn voor in de praktijk gebruikte en mogelijk te gebruiken typen vloeroppervlakken. De gedurende deze fase uitgevoerde beproevingen betroffen parameters die van invloed zijn op de ammoniakemissie en de beloopbaarheid van stalvloeren. De werkelijk in de praktijk te verwachten ammoniakemissie en mate van beloopbaarheid zijn daarbij niet aan de orde gekomen omdat daarvoor experimenten op stalniveau zijn vereist. Vervolgens zijn in de tweede fase van het onderzoek de ammoniakemissie en beloopbaarheid op stalniveau aan de orde gekomen. In het oorspronkelijke projectplan waren ook metingen aan 2 m^2 grote vloerelementen voorzien. Deze metingen zouden moeten worden uitgevoerd in een 'stalsimulator', waarbij ze zouden dienen als schakel tussen de kleinschalige experimenten en de experimenten op stalniveau. Met name de luchtstroming boven het vloeroppervlak en in de mestkelder zou hierbij aan de orde komen. De metingen aan de vloerelementen zijn niet uitgevoerd omdat de in de stal optredende luchtcirculatie onvoldoende nauwkeurig wordt gesimuleerd bij dit type experimenten. In de tweede fase is dan ook uitgebreid aandacht geschonken aan de ammoniakemissie op stalniveau. De experimenten hebben plaatsgevonden in een rundveestal op een proefbedrijf van IMAG-DLO. Om de volgende drie redenen is gekozen voor een rundveestal:

- de rundveehouderij is voor de betonindustrie een belangrijke afzetmarkt, omdat deze sector bijna 60% van het in de veehouderij toegepaste betonoppervlak vertegenwoordigt (Frénay & Zilverberg, 1993);

- rundveestallen zijn verantwoordelijk voor bijna de helft van de totale ammoniakemissie uit veehouderijgebouwen (Oudendag & Wijnands, 1989);
- de introductie in de praktijk van ammoniakemissie-arme stallen vindt in de rundveehouderij langzamer plaats dan in de pluimvee- en varkenshouderij.

Bij het vaststellen van de ammoniakemissie van diverse stalvloervarianten is niet alleen de emissie vanaf het vloeroppervlak, maar ook vanuit de mestkelder en andere bronnen beschouwd.

De experimenten hadden niet alleen betrekking op ammoniakemissie, maar ook op de beloopbaarheid van de stalvloer. Hiertoe is het gedrag van de dieren in een stalafdeling met een roostervloer vergeleken met het gedrag in een stalafdeling waarin de te onderzoeken vloertypen waren aangebracht.

De derde fase van het onderzoek bestond uit het vertalen van de onderzoekresultaten naar praktijksituaties. Daartoe zijn de investeringen en jaarlijkse kosten van diverse vloervarianten en mogelijke wijzen van mestopslag berekend.

Afsluitend zijn de conclusies uit het onderzoek geformuleerd, zijn aanbevelingen voor nader onderzoek gedaan en zijn oplossingsrichtingen aangegeven.

In het onderzoekvoorstel vormde in eerste instantie het onderzoek naar de eigenschappen van vloeroppervlakken en de mogelijkheid via aanpassingen in de toplaag (bijv. door het aanbrengen van coatings) de ammoniakemissie te beperken de rode draad in het onderzoek. Uit het onderzoek bleek dat de onderzochte varianten ten aanzien van urease-activiteit en vloeistoflaagdikte weinig zicht op perspectieven boden. Het onderzoek heeft zich daarna geconcentreerd op de ammoniakemissie op stalniveau. Het belang van deze accentverschuiving werd nog eens onderstreept toen bleek dat de bijdrage van de mestkelderemissie aan de totale stalemissie niet werd geëlimineerd door het toepassen van een dichte vloer met mestafstorten aan de uiteinden. Het in beeld brengen van de bijdragen van de diverse ammoniakemissiebronnen heeft dan ook uitgebreid aandacht gekregen.

1.4.4 Ten geleide

In het rapport worden alle onderzochte aspecten van vloermonsters en vloervarianten uitgebreid weergegeven. Dit betekent dat een breed onderzoekerrein wordt bestreken. Het rapport bevat dan ook niet alleen bijdragen waarin materiaalkundige en bouwtechnische aspecten aan de orde komen, maar gaat onder andere ook in op de achtergronden van ammoniakemissie en het beoordelen van de beloopbaarheid van stalvloeren. In deze paragraaf komt de inhoud van de diverse hoofdstukken in het kort aan de orde, zodat de lezer eenvoudig de voor hem/haar relevante delen uit de tekst kan vinden.

Hoofdstuk 2 'Experimenten op laboratoriumniveau' bevat een uitgebreide beschrijving van de samenstelling van de vloermonsters en de wijzen van afwerken en nabewerken. Ook komen de diverse uitgevoerde beproevingen en de beproevingsresultaten aan de orde. Afgesloten wordt met een onderzoek naar de verbanden tussen de parameters. In hoofdstuk 3 'Experimenten op stalniveau' worden de resultaten uit hoofdstuk 2 gebruikt bij het vaststellen van het toe te passen vloeroppervlak. Het onderzoek start met het vaststellen van de ammoniakemissie vanaf een vlakke, dichte vloer. De invloed

van de frequentie van mestverwijdering met een mestschuif wordt onderzocht. Tevens wordt de invloed van een eenzijdige vloerhelling onderzocht. Na afloop van de beproevingen wordt de ammoniakemissie vanuit de mestkelder in detail onderzocht.

De maatregelen die de ammoniakemissie vanuit de mestkelder en vanaf het vloeroppervlak beperken worden gecombineerd toegepast in een experiment waarin een tweezijdig hellend vloertype wordt onderzocht.

Zoals uit deze beschrijving blijkt heeft hoofdstuk 3 voornamelijk betrekking op onderzoek naar ammoniakemissie(bronnen).

De inzichten verkregen in hoofdstuk 2 en 3 worden verwerkt in hoofdstuk 4 'Modelvorming'. In dit hoofdstuk wordt een eenvoudig rekenmodel opgesteld waarmee de ammoniakemissie op stalniveau kan worden voorspeld. De waarden van de modelparameters worden daarbij afgestemd op de in hoofdstuk 3 gebruikte onderzoekstal. Het model dient om de gevolgen van ammoniakemissiebeperkende maatregelen in beeld te brengen. Aldus is op eenvoudige wijze inzicht te verkrijgen in de mate waarin maatregelen en technieken bijdragen aan het reduceren van de ammoniakemissie. Het hoofdstuk bevat tevens een gevoeligheidsanalyse waarin wordt aangegeven in welke mate de ammoniakemissie reageert op een verandering in een modelparameter. Het model is op te vatten als een set vuistregels voor ontwerpprocessen van ammoniakemissie-arme stalvloeren.

De in hoofdstukken 3 en 4 verkregen inzichten worden in hoofdstuk 5 vertaald in een aantal stalontwerpen. Ten opzichte van de gangbare uitvoering van een ligboxenstal (betonnen roostervloer met mestkelder) worden de investeringen in ammoniakemissie-arme systemen berekend met een bouwkostenprogramma. Onderscheid wordt gemaakt tussen nieuwbouw en verbouw.

In hoofdstuk 6 wordt de aandacht verschoven naar de beloopbaarheid van de onderzochte stalvloervarianten. Het gedrag van de dieren wordt beschreven en het aantal en de ernst van de uitglij-incidenten worden geteld. Het diergedrag op de standaardroostervloer dient hierbij als referentie. Tevens worden de resultaten van een enquête naar praktijkervaringen met dichte betonnen stalvloeren besproken.

De resultaten uit het gehele onderzoek worden gepresenteerd in hoofdstuk 7. Daarbij vindt tevens discussie plaats.

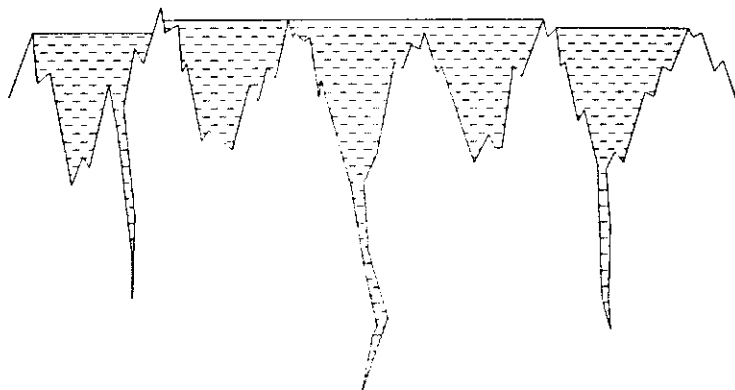
Hoofdstuk 8 geeft de conclusies uit het onderzoek. Ook worden richtingen voor nader onderzoek aangegeven in de vorm van aanbevelingen.

2 Experimenten op laboratoriumniveau

2.1 Inleiding

De totale ammoniakemissie is afkomstig van verschillende bronnen. Deze bronnen zijn de mestkelder, het vloeroppervlak en een 'rest' waarvan de bron niet direct aanwijsbaar is. In de laboratoriumfase was het vloeroppervlak als bron onder studie. In deze fase werd de relatie tussen oppervlakte-eigenschappen en urease-activiteit onderzocht en werd een inschatting gemaakt wat dat voor de ammoniakemissie betekent.

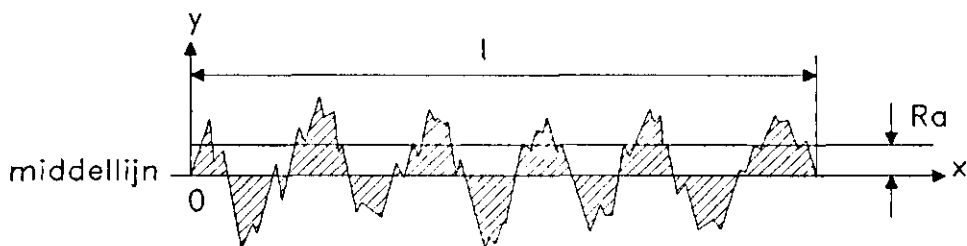
Op basis van reactievergelijking 1.1 kunnen een aantal aannamen over de relatie tussen oppervlakte-eigenschappen enerzijds en urease-activiteit en ammoniakemissie anderzijds worden gemaakt. Zo blijkt uit vergelijking 1.1 dat voor het vrijkomen van ammoniak zowel urease als ureum op dat oppervlak aanwezig moeten zijn. Het urease bevindt zich in verse faeces en in een laag op het oppervlak. Het ureum bevindt zich, in oplossing in urine, in holten van het oppervlak. Voor het hechten van urease is de aanwezigheid van een oppervlak noodzakelijk; voor het aanwezig zijn van ureum is het aanwezig zijn van een 'inhoud' noodzakelijk. Op microschaal bezien lijken ruwheid en waterindringing geschikte parameters voor het kwantificeren van zowel oppervlak als inhoud te zijn (figuur 2.1).



Figuur 2.1 Ruwheidshoogte en waterindringing als maat voor oppervlakte en inhoud.

Figure 2.1 Surface roughness and water penetration depth as a measure of surface area and content.

Om ruwheid uit te drukken zijn verschillende kentallen beschikbaar. Van deze kentallen is de gemiddelde ruwheidshoogte gebruikt. Deze keus was gebaseerd op het feit dat de gemiddelde ruwheidshoogte beschreven is in een norm (NEN 3631, 1977) en het feit dat de gemiddelde ruwheidshoogte, in tegenstelling tot veel andere ruwheidskentallen, fysisch is te interpreteren; zie figuur 2.2.



Figuur 2.2 Definitie van gemiddelde ruwheidshoogte R_a .

Figure 2.2 Definition of mean surface roughness R_a .

De gemiddelde ruwheidshoogte (R_a) is het rekenkundig gemiddelde van alle absolute afwijkingen van het ruwheidsprofiel tot de middellijn over een bepaalde meetlengte (l). De gemiddelde ruwheidshoogte is gedefinieerd als (zie ook figuur 2.2):

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad 2.1$$

2.2 Doel

Het doel van de experimenten op laboratoriumniveau was het onder geconditioneerde omstandigheden onderzoeken van de relatie tussen de oppervlakte-eigenschappen zoals gemiddelde ruwheidshoogte, waterindringing, stroefheid, slijtvastheid en effectieve vloeistoflaagdikte enerzijds en urease-activiteit en ammoniakemissie anderzijds.

2.3 Opzet

De opzet van de laboratoriumfase was als volgt: eerst werden de urease-activiteit en de oppervlakte-eigenschappen gemiddelde ruwheidshoogte, waterindringing en vloeistoflaagdikte van proefstukken bepaald. Uit het oogpunt van dierlijk welzijn werd tevens de stroefheid bepaald. Daarnaast werd een indruk van de slijtvastheid van het oppervlak verkregen met een slijtproef. Vervolgens werd met behulp van regressie-analyse getracht de gemeten urease-activiteit te verklaren uit de bepaalde oppervlakte-eigenschappen. Voor de experimenten op laboratoriumschaal werd gebruik gemaakt van proefstukken van $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$. Bij de vervaardiging van varianten werd uitgegaan van materialen en methoden waarvan werd verwacht dat daarmee voldoende spreiding in waarden van te onderzoeken oppervlakte-eigenschappen werd verkregen.

2.4 Varianten

Een variant werd opgevat als een systeem van een basis (vaak beton) met een bepaalde samenstelling, waarop achtereenvolgens de activiteiten 'afwerken', 'nabehandelen' en 'nabewerken' konden worden uitgevoerd. De genoemde activiteiten werden als volgt

omschreven:

Afwerken

Activiteiten die werden ondernomen gedurende de fase waarin het basismateriaal nog plastisch was.

Voorbeelden van afwerken zijn:

- schuren;
- bezemen;
- vlinderen.

Nabehandelen

Activiteiten die werden uitgevoerd om te verhinderen dat het basismateriaal te snel uitdroogde.

Voorbeelden van nabehandelen zijn:

- het aanbrengen van een curing compound;
- het afdekken met een folie;
- het nat houden.

Nabewerken

Activiteiten die werden uitgevoerd om materiaal op de basis aan te brengen nadat de vereiste nabehandelingstijd van de basis was verstreken.

In de praktijk worden deze produkten aangebracht om de prestaties van een oppervlak te verbeteren of het te beschermen tegen de invloeden van agressieve stoffen. Meestal is sprake van het aanbrengen van een oppervlaktelaag. Onderscheid tussen de diverse technieken kan worden gemaakt op basis van de dikte van de aangebrachte laag:

- Hydrofoberen

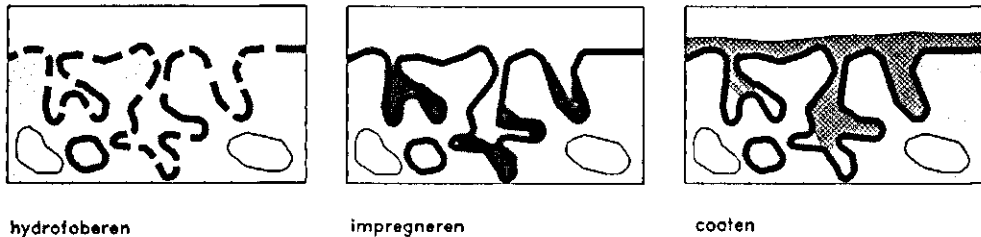
Hierbij wordt een waterafstotend middel aangebracht. Door het waterafstotende karakter blijven water-, c.q. urinedruppels op het oppervlak achter zodat zij hiervan gemakkelijk te verwijderen zijn. Het transport van waterdamp vanuit het beton naar de omgeving vindt daarentegen onbelemmerd plaats. De dikte van de aangebrachte laag is verwaarloosbaar klein (zie ook figuur 2.3);

- Impregneren

Bij deze behandeling worden de poriën geheel of gedeeltelijk gevuld met een impregneermiddel. In de praktijk bezitten impregneren vaak ook hydrofoberende eigenschappen, zodat niet alleen sprake is van het vullen, maar ook van het waterafstotend maken van de poriën. Het is moeilijk hier een laagdikte aan te geven, enerzijds omdat de poriestructuur moeilijk in beeld te brengen is, anderzijds omdat een aantal impregneermiddelen reageert met de ondergrond. Desondanks kan men stellen dat de laagdikte een orde van grootte van circa 0,05 mm heeft (zie ook figuur 2.3);

- Coaten

Bij coating staat het afsluiten van het oppervlak voorop. Dit betekent dat de onder de coating aanwezige poriën niet per se geheel hoeven te worden gevuld. De coating wordt meestal aangebracht in meerdere lagen, waardoor de totale laagdikte kan oplopen tot circa 1 - 2 mm. De minimale laagdikte heeft een orde van grootte van 0,1 - 0,2 mm (zie ook figuur 2.3);



Figuur 2.3 Enkele technieken voor het beschermen van een betonoppervlak (Frénay & Zilverberg, 1993; Sasse, 1994).

Figure 2.3 Some techniques to protect a concrete surface (Frénay & Zilverberg, 1993; Sasse, 1994).

– Gietvloeren

Deze zijn vergelijkbaar met coatings, maar de totale laagdikte varieert nu tussen de 2 en 6 mm. Het produkt wordt uitgegoten over het oppervlak en vervolgens met een wisser verder verspreid. Als verder geen bewerkingen plaatsvinden wordt een bijzonder glad oppervlak verkregen. Een voldoende stroefheid kan worden verkregen door instrooien met een granulaat, gevolgd door het aanbrengen van een coating;

– Troffelvloer

Bij de troffelvloeren is sprake van een laagdikte van circa 6 mm. Het materiaal wordt met een spaan aangebracht. Door de aanzienlijke laagdikte is het enigszins mogelijk hoogteverschillen in het oppervlak op te vangen. Ook hier wordt kunststof als bindmiddel gebruikt. Als vulstoffen kunnen minerale vulstoffen (bijv. kwarts) dienst doen. Door de hardheid van deze materialen af te stemmen op de specifieke toepassing kan de slijtvastheid worden beïnvloed;

– Dekvloeren

De laagdikte bedraagt meer dan 25 mm. Uit kostenoverwegingen worden bij toenemende laagdikte de harsen, c.q. kunststoffen als bindmiddel steeds meer vervangen door cement. Daardoor wordt een overgang naar cementgebonden kunsthars gemodificeerde dekvloeren verkregen, waarbij uiteindelijk volledig cementgebonden dekvloeren ontstaan. Binnen deze laatste categorie wordt op basis van de druksterkte van de laag onderscheid tussen de diverse produkten gemaakt. Deze sterkte varieert normaal gesproken tussen circa 15 - 75 N/mm², hoewel hogere sterkten mogelijk zijn. Ook hier zijn de eigenschappen van de toplaag te beïnvloeden door het aanbrengen van strooilag.

Bij de selectie van op laboratoriumniveau te onderzoeken varianten werd uitgegaan van materialen, afwerk- en nabewerkmethoden die enerzijds de stand der techniek goed weergaven en waarvan anderzijds werd verwacht dat daarmee voldoende spreiding in waarden van te onderzoeken eigenschappen werd verkregen.

De geselecteerde varianten konden ruwweg worden ingedeeld in twee categorieën:

- varianten waarvan werd verondersteld dat de basis van invloed kon zijn op de resultaten van de experimenten;
- varianten waarvan werd verondersteld dat op de basis een zodanige nabewerking werd uitgevoerd dat de basis niet van invloed kon zijn op de resultaten van de experi-

menten, dan wel varianten waarbij een materiaal was aangebracht op een basis die niet representatief was voor het in de praktijk toegepaste beton voor stalvloeren. Het onderscheid tussen beide categorieën werd voornamelijk bepaald door het soort materiaal dat werd aangebracht tijdens het nabewerken. Bij het opstellen van de proevenreeks werd gesteld dat bij hydrofoberen en impregneren de basis van invloed kon zijn op de resultaten van de experimenten. Bij deze varianten was ook de wijze waarop het oppervlak werd afgewerkt van belang.

Bij varianten waarbij werd verondersteld dat de basis van invloed kon zijn op de experimentele resultaten leidde dit tot de volgende variaties:

- de sterkteklasse van het beton, variërend van B35 tot B95;
- de wijze van afwerken: schuren, bezemen, vlinderen of uitwassen;
- de nabehandelingstijd, variërend van drie tot zeven dagen;
- de wijze van nabewerking (hydrofobeer- en/of impregneermiddelen);
- het beproeven van de stort-, dan wel de malzijde.

Bij varianten waarbij werd verondersteld dat de basis niet van invloed kon zijn op de experimentele resultaten leidde dit tot de volgende variaties:

- drie varianten waarbij een naderhand met slijtmateriaal ingestrooide dekvloer op een ondergrond van kifbeton werd aangebracht. Het onderscheid tussen de drie varianten werd bepaald door de wijze van afwerken;
- nabewerking met epoxy-gebonden lagen;
- één variant bestaande uit emulsiebeton;
- één variant bestaande uit gietasfalt.

De belangrijkste eigenschappen van de onderzochte varianten zijn weergegeven in bijlage II.

2.5 Bepalingen

Van alle 56 varianten werd, per variant, een zestal proefstukken vervaardigd. Deze proefstukken werden willekeurig gecodeerd met de letters A tot en met F. Van iedere variant werden consequent op het proefstuk met een bepaalde code bepalingen uitgevoerd. De verdeling van de bepalingen over de proefstukken is gegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Bepalingen uitgevoerd op proefstukken.

Table 2.1 *Experiments performed on samples.*

proefstuk	experiment(en)
A	gemiddelde ruwheidshoogte, stroefheid, urease-activiteit
B	gemiddelde ruwheidshoogte, stroefheid, urease-activiteit
C	gemiddelde ruwheidshoogte, stroefheid, slijtvastheid, gemiddelde ruwheidshoogte, stroefheid
D	vloeistoflaagdikte
E	archief
F	waterindringing

2.5.1 Urease-activiteit

Definitie

De urease-activiteit is gedefinieerd als de snelheid waarmee ammoniak uit een overmaat ureum wordt gevormd. De urease-activiteit wordt uitgedrukt in $\text{mg (NH}_3\text{-N) / m}^2 \text{ uur}$. Voor het verkrijgen van een indruk van de mate waarin een oppervlak urease-actief kan zijn moet dat oppervlak in aanraking met faeces en urine zijn geweest; het oppervlak moet zijn bevuild. Om het bevuilen van oppervlakken zo goed mogelijk reproduceerbaar uit te voeren werd een bevuilingsprotocol opgesteld. Dit bevuilingsprotocol werd toegepast op laboratoriumniveau. Op stalniveau bevuilt het vee de vloer.

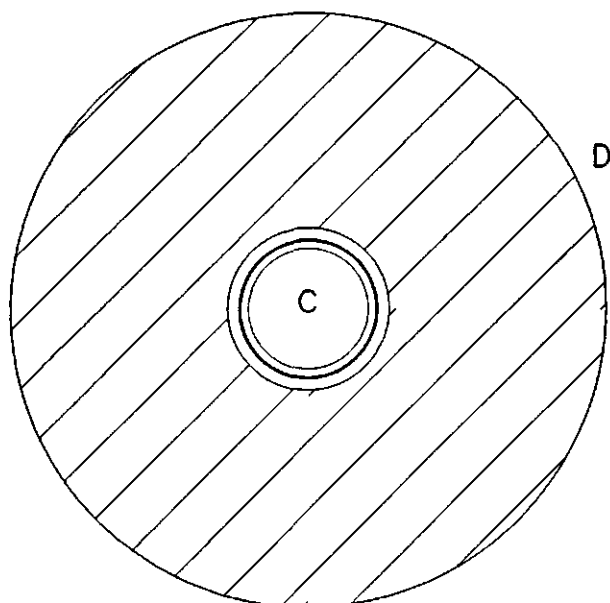
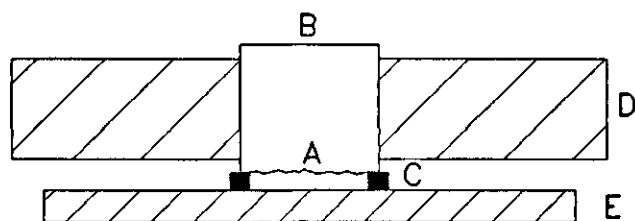
Bevuilingsprotocol

Urine en faeces van melkvee werden gescheiden opgevangen. De urine van het melkvee bevatte circa 8 g ureum-N / kg en een totaal stikstofgehalte van circa 9,5 g / kg. De ureumconcentratie werd door toevoeging van ureum verhoogd naar 10 g ureum-N / kg. De eerste twee dagen van de in totaal 15 dagen durende bevuilingsperiode werd 's ochtends met een borstel een laag faeces op het te onderzoeken oppervlak aangebracht. Voor het aanbrengen van een nieuwe laag faeces op de ochtend van de tweede dag werd de oude laag faeces van de eerste dag met een handtrekker met rubberstrip verwijderd. De op de ochtend van de tweede dag aangebrachte laag faeces bleef tot aan het eind van de bevuilingsperiode aanwezig. Vanaf de eerste tot en met de 15e dag werd zowel 's ochtends als 's middags een overmaat (100 ml) urine over de laag faeces gespreid.

Omdat nogal wat spreiding in urease-activiteit werd gevonden, werden de bepalingen in duplo uitgevoerd. Ook werd getracht de bevuiling zo uit te voeren, dat de omgevingsfactoren gedurende de bevuilingsperiode zo homogeen mogelijk waren. Dit hield onder andere het plaatsen van schermen naast de proefstukken in, waardoor de luchtbeweging over de proefstukken gelijk was. Ook werden de proefstukken zo goed mogelijk horizontaal gesteld. Tijdens de bevuilingsperiode bevonden de proefstukken zich in een ruimte met een geconditioneerde temperatuur van 15 °C en relatieve luchtvochtigheid van 70%.

Meetmethode

Voor het bepalen van de urease-activiteit van proefstukken werd gebruik gemaakt van een methode die op vrijwel alle oppervlakken is uit te voeren. De methode is gebaseerd op het gedurende een bepaalde tijd aanbieden van een overmaat ureum. Hierdoor wordt de hoeveelheid omgezet ureum geheel bepaald door de snelheid waarmee het urease in staat is deze overmaat om te zetten in ammoniak. Door middel van spectrofotometrie werd de hoeveelheid gevormd ammoniak bepaald. In figuur 2.4 is een mogelijke uitvoering van de meetopstelling afgebeeld. Een afsluitbare kunststof cilinder met daaromheen een betonnen ballastgewicht van circa 9,5 kg werd op het te beproeven oppervlak geplaatst. Een afdichtring van celrubber verbond de cilinder waterdicht met het te beproeven oppervlak.



Figuur 2.4 Instrument om urease-activiteit te bepalen (Elzing et al., 1995).

A: ureumoplossing; B: afsluitbare cilinder; C: afdichtring; D: ballastgewicht; E: proefstuk.

Figure 2.4 Instrument to measure the urease activity (Elzing et al., 1995).

A: urea solution; B: cylinder to be shut off; C: rubber ring; D: ballast weight; E: test sample.

Meetprotocol

Een ureumoplossing van 50 ml met een concentratie van 10 g/l werd in de afgesloten cilinder gedurende een uur met het te beproeven oppervlak in contact gebracht (contact-oppervlak 5000 mm²). Hierna werd, na zeer uitvoerig en gedegen roeren, met een automatische handpipet een monster van 5 ml uit de oplossing genomen. Dit monster werd direct in een zoutzuur-oplossing (1 ml 1,0 M HCl) gebracht om verdere chemische reacties te voorkomen. De hoeveelheid ammonium in de oplossing werd door middel van spectrofotometrie bepaald. Aan de hand van de bepaalde ammoniumconcentratie werden de overeenkomstige hoeveelheid ammoniak en de daaruit volgende vormings-snelheid van ammoniak berekend.

2.5.2 Gemiddelde ruwheidshoogte

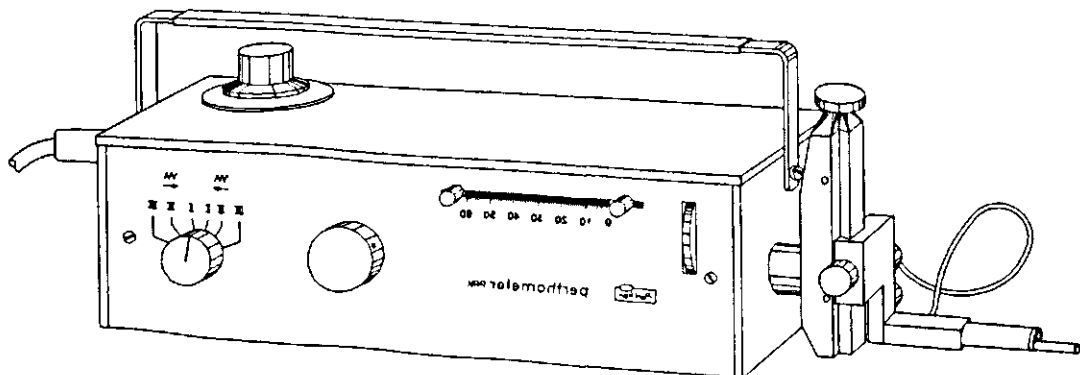
Definitie

De gemiddelde ruwheidshoogte is gedefinieerd als het rekenkundig gemiddelde van alle absolute afwijkingen van het ruwheidsprofiel tot de middellijn over een bepaalde meet-lengte (NEN 3631, 1977). De gemiddelde ruwheidshoogte werd uitgedrukt in μm .

Meetmethode

De gemiddelde ruwheidshoogte werd bepaald conform NEN 3632 (1986). Gebruik werd gemaakt van een ruwheidsmeter volgens het tasterprincipe. Volgens dit principe wordt een ruwheidsprofiel afgetast door een tasternaald die het oppervlak volgt met een hori-zontaal eenparige snelheid. De ruwheidsmeter bestaat uit drie delen (zie figuur 2.5):

- een meettaster met tasternaald die het ruwheidsprofiel volgt en waarvan de bewe-gingen door een signaalopwekkend systeem worden omgezet in een elektrisch signaal;
- een aandrijfeenheid die zorgt voor een horizontaal eenparige voortbeweging van de meettaster;
- een verwerkings- en registratie-eenheid die de signalen van het signaalopwekkend systeem versterken, filteren en verwerken en de berekende waarden afdrukken.



Figuur 2.5 Instrument om de gemiddelde ruwheidshoogte te bepalen.

Figure 2.5 Instrument to measure the average surface roughness.

Meetprotocol

Nadat de tasternaald op het oppervlak was neergelaten werd deze door de aandrijfeenheid over een horizontale afstand van 48 mm bewogen. De verwerkings- en registratie-eenheid berekende de gemiddelde ruwheidshoogte automatisch en drukte de gemiddelde ruwheidshoogte en de door de naald afgelegde weg vergroot af.

Per proefstuk werden vijf gemiddelde ruwheidshoogte bepalingen uitgevoerd. Hiervoor werd de gemiddelde ruwheidshoogte van een proefstuk in de richting van het middelpunt bepaald. Na iedere bepaling werd het proefstuk circa 70 graden gedraaid.

Vervolgens werd het rekenkundig gemiddelde van de vijf bepalingen, afgerond op een geheel aantal micrometers, berekend. Dit gemiddelde was de gemiddelde ruwheidshoogte van het te beproeven proefstuk.

2.5.3 Waterindringing

Definitie

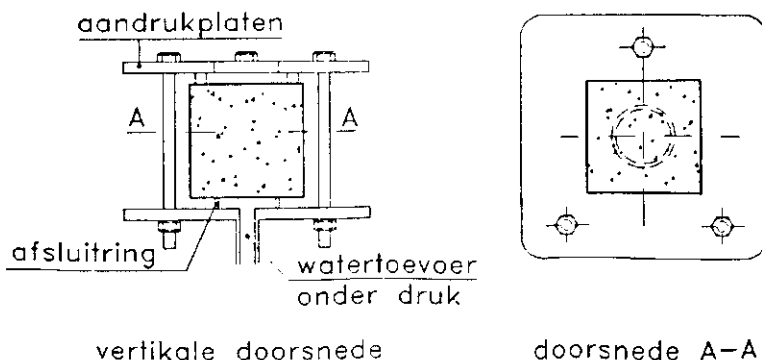
De waterindringing was gedefinieerd als de maximale indringdiepte van een waterfront dat achterbleef nadat het aanbrengen van waterdruk had plaatsgevonden. De waterindringing werd uitgedrukt in mm.

Meetmethode

Voor het bepalen van de waterindringing van proefstukken werd gebruik gemaakt van ISO/DIS 7031 (1983). De daarin omschreven meetmethode bestaat uit het gedurende een bepaalde tijd onderwerpen van een element aan een bepaalde waterdruk (zie figuur 2.6) en het vervolgens vaststellen van de maximale indringdiepte van het waterfront.

Meetprotocol

De proefstukken werden tot het moment van bepaling bewaard in een ruimte met een RV van minimaal 95%. Uit de proefstukken werd een deel gezaagd met een breedte van



Figuur 2.6 Detail van het instrument om waterindringing te bepalen (ISO/DIS 7031, 1983).

Figure 2.6 Detail of the instrument to measure the water penetration depth under pressure (ISO/DIS 7031, 1983).

circa 150 mm. Het aldus ontstane element werd met de te beproeven zijde naar beneden in het instrument geplaatst. Vervolgens werd waterdruk aangebracht op de te beproeven zijde. Gedurende in totaal 96 uur werd het proefstuk onderworpen aan een vloeistofdruk die toename van $0,1 \text{ N/mm}^2$ (1 bar; 48 uur) tot $0,3 \text{ N/mm}^2$ (24 uur) en $0,7 \text{ N/mm}^2$ (24 uur). Nadat het element uit het instrument was verwijderd, werd het oppervlak afgeveegd en het element gespleten. Vervolgens werd het waterindringingsfront gemerkt, waarna de maximale indringdiepte werd vastgesteld.

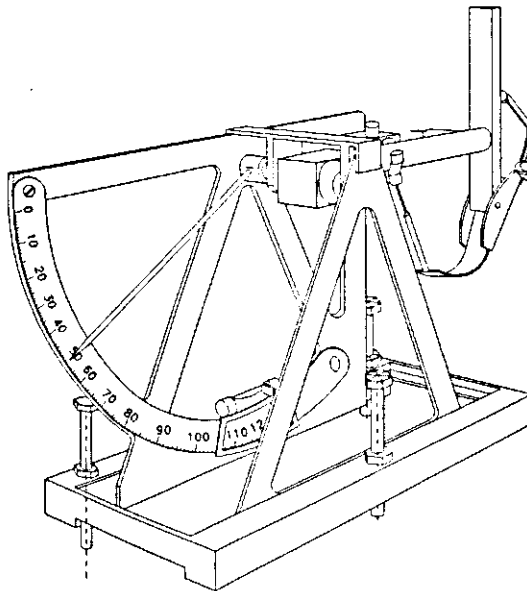
2.5.4 Stroefheid

Definitie

De stroefheid werd gedefinieerd als de procentuele vermindering van de stijghoogte van een slinger als gevolg van de wrijving van die slinger over een te beproeven oppervlak. De stroefheid werd uitgedrukt in %.

Meetmethode

Voor het bepalen van de stroefheid van proefstukken werd gebruik gemaakt van NEN 2873 (1982). De bepaling werd uitgevoerd met een stroefheidsmeter volgens het slingerprincipe van Leroux (zie figuur 2.7), waarbij de stroefheid werd uitgedrukt in een Lerouxgetal op een schaal van 0 tot 100. Dit getal geeft het percentage van de potentiële (gravitatie) energie dat is gebruikt om de wrijving tussen de slinger en het te beproeven oppervlak te overwinnen. Hierbij is 0 de uitkomst als de slinger geen energie over het oppervlak verliest. Bij een waarde gelijk aan 100 is de potentiële gravitatie-energie ontoereikend om de wrijving te overwinnen.



Figuur 2.7 Instrument de om stroefheid van een oppervlak te bepalen (NEN 2873, 1982).

Figure 2.7 Instrument to measure the skid resistance of a surface (NEN 2873, 1982).

Meetprotocol

Na het met water schoonmaken van het te beproeven oppervlak, het instellen van de wrijvingsweg en het bevochtigen van het te beproeven oppervlak en de rubber contactstrook van de slinger, werden vijf slingeringen uitgevoerd. Na de vijfde slingering werd de aangegeven waarde op 0,5 schaaldelen afgelezen. Dit was het Lerouxgetal van één bepaling.

Per proefstuk werden vijf stroefheid bepalingen uitgevoerd. Hiervoor werd de stroefheid van een proefstuk in de richting van het middelpunt bepaald. Na iedere bepaling werd het proefstuk circa 70 graden gedraaid. Vervolgens werd het rekenkundig gemiddelde van de vijf bepalingen, afgerond op een geheel getal, berekend. Dit was de stroefheid van het te beproeven proefstuk. Naast de gemiddelde waarde werden de minimale waarden en de standaardafwijkingen vastgesteld.

2.5.5 Vloeistoflaagdikte

Definitie

De vloeistoflaagdikte werd gedefinieerd als de dikte van een vloeistoflaag die op een oppervlak achterbleef, nadat het oppervlak was bevochtigd. De vloeistoflaagdikte werd uitgedrukt in mm.

Meetmethode

Voor het bepalen van de vloeistoflaagdikte van proefstukken werd gebruik gemaakt van een meetinstrument en meetprotocol die speciaal voor dit onderzoek werden ontwikkeld (Dekker, 1995). De methode gaat uit van het met een bekende overmaat aan vloeistof bevochtigen van een oppervlak en het vaststellen van de hoeveelheid vloeistof die van het oppervlak afstroomt. De vloeistoflaagdikte wordt dan berekend uit de bekende hoeveelheid opgegoten vloeistof minus de vastgestelde opgevangen hoeveelheid vloeistof gedeeld door de grootte van het oppervlak.

Om de vloeistof op het proefstuk te brengen werd een frame ontwikkeld waarin 36 spuitpunten waren gemonteerd (zie figuur 2.8). De 36 spuitpunten zorgden voor een gelijkmatige verdeling van een reproduceerbare hoeveelheid vloeistof.

Het proefstuk werd via de zijanten in een frame geklemd. Tussen het frame en de zijkant van het proefstuk werd een rubber profiel gemonteerd om de afstromende vloeistof te geleiden (zie figuur 2.9). De vloeistof liep nu van het te beproeven oppervlak via het profiel in de opvangbak. Invloed van de zij- en onderkanten was hierdoor voorkomen. Om het afstromen van de vloeistof te bevorderen werden de profielen ingespoten met siliconenspray.

Het frame lag op vier stelschroeven. De stelschroeven dienden om het proefstukoppervlak waterpas te stellen. De vier stelschroeven waren in een draaibaar frame geplaatst om de proefstukken onder een helling te kunnen plaatsen. Het bepalen van de vloeistoflaagdikte van proefstukken onder verschillende mate van helling was aldus mogelijk. Nadat het water van de profielen was afgestroomd, werd het opgevangen in een op een weegschaal geplaatste bak. De weegschaal was verbonden met een computer. Via een programma werd de data van de weegschaal uitgelezen en opgeslagen in een bestand.

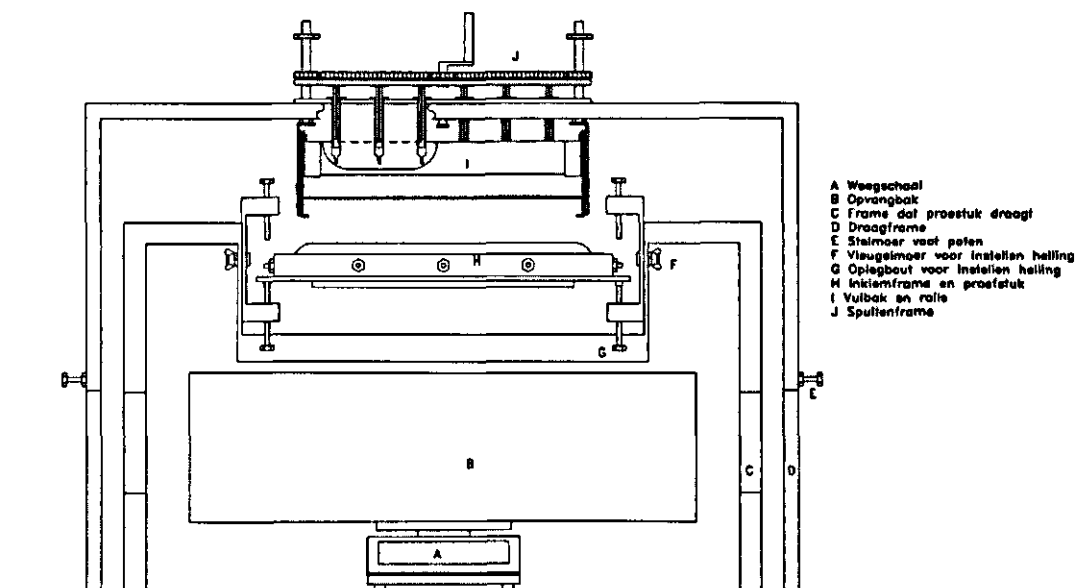
Meetprotocol

Nadat het proefstuk was ingeklemd en onder de juiste hoek gesteld, werden de spuitpunten

gevuld. Zodra de spuiten waren gevuld, werd de weegschaal gecalibreerd. Vervolgens werd het proefstuk bevochtigd door de spuiten te legen. Wanneer geen vloeistof meer van de tegel afstroomde werd de hoeveelheid afgestroomde vloeistof gewogen. Uit de bekende overmaat vloeistof minus de afgestroomde hoeveelheid vloeistof gedeeld door het oppervlak van het proefstuk werd de vloeistoflaagdikte berekend. Dit was de vloeistoflaagdikte van één bepaling bij één helling.

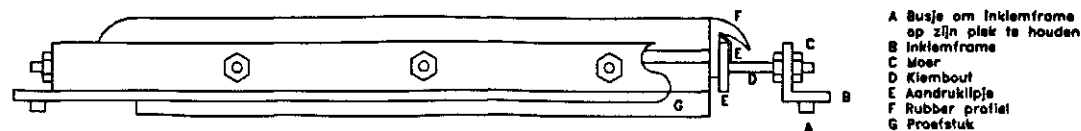
Per proefstuk werden tien vloeistoflaagdikte bepalingen per helling uitgevoerd.

Vervolgens werd het rekenkundig gemiddelde van deze tien bepalingen berekend. Dit gemiddelde was de vloeistoflaagdikte van het te beproeven proefstuk voor de betreffende helling. De vloeistoflaagdikte werd bepaald bij 0, 1, 3 en 5 % helling. Uit de waarnemingen bij 1, 3 en 5 % helling is met behulp van niet-lineaire interpolatie een waarde voor 2 en 4 % helling verkregen.



Figuur 2.8 Instrument om de dikte van vloeistoflaag op een oppervlak te bepalen (Dekker, 1995).

Figure 2.8 Instrument to determine the thickness of a liquid layer on a surface (Dekker, 1995).



Figuur 2.9 Detail van wijze van inkleppen van een proefstuk en het rubber profiel (Dekker, 1995).

Figure 2.9 Detail of the clamping of a test sample and the rubber profile (Dekker, 1995).

2.5.6 Slijtvastheid

Definitie

De slijtvastheid werd gedefinieerd door twee kentallen. Deze kentallen waren de procentuele verandering in gemiddelde ruwheidshoogte en de procentuele verandering in

stroefheid; beide ten gevolge van dezelfde gestandaardiseerde slijtbelasting. De slijtvastheid werd uitgedrukt in %. Een positief percentage betekende dat de waarde van het betreffende kenmerk toenam als gevolg van de belasting; een negatieve waarde betekende dat de waarde van het betreffende kenmerk afnam als gevolg van de belasting.

Meetprotocol

De slijtvastheid van proefstukken werd bepaald met behulp van een instrument dat oorspronkelijk was ontworpen voor vergelijkend onderzoek naar de slijtvastheid van stalmatten. Het instrument bestaat uit een mechanisch deel en een hydraulisch deel. Het mechanisch gedeelte zorgde voor de beweging waarmee slijtsloffen over het te beproeven oppervlak werden getrokken. Het hydraulisch gedeelte zorgde voor het constant houden van de kracht waarmee de slijtsloffen op het proefstuk werden gedrukt. De druk was zo ingesteld, dat de slijtsloffen met een kracht van circa 800 N (80 kg) op het proefstuk werden gedrukt wanneer ze hierover werden getrokken. Het instrument heeft twee slijtslofhouders. In elke slijtslofhouder werden twee slijtsloffen bevestigd. Over één proefstuk sleten dus twee slijtsloffen. Op elk proefstuk ontstonden zo twee slijtsproen met een lengte van circa 300 mm en een breedte van circa 50 mm. De slijtvastheid werd steeds van twee proefstukken tegelijk bepaald. De slijtsloffen waren vervaardigd van staal en waren 100 mm lang, 50 mm breed en 20 mm dik. Voor iedere bepaling werden nieuwe slijtsloffen in de houders gezet om telkens een zelfde uitgangssituatie te verkrijgen. De slijtsloffen werden permanent gekoeld met koud water dat door de slijtslofhouders stroomde.

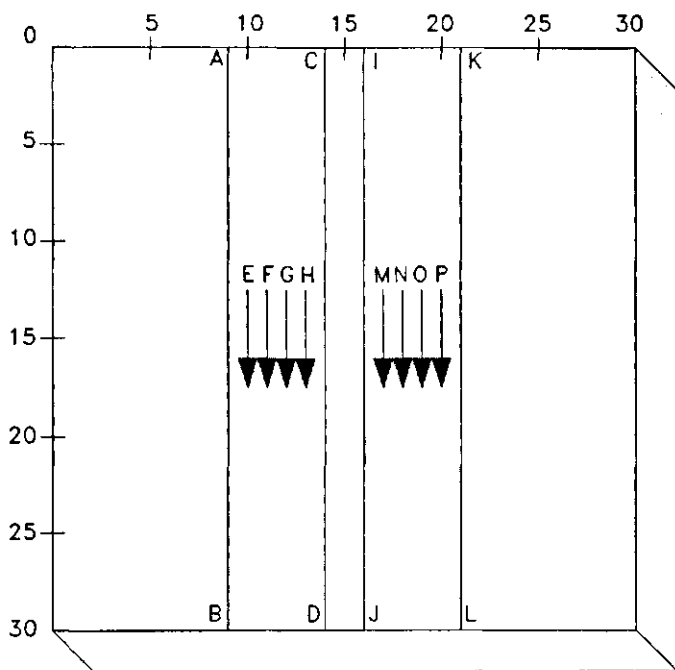
Meetprotocol

Voordat een proefstuk werd belast, werd het met lucht schoongeblazen. Hiervoor werd gebruik gemaakt van een compressor. De opening van de luchtslang werd op een afstand van circa 1 cm boven het proefstuk heen en weer bewogen. De beweging was zodanig dat na enige tijd het hele proefstuk was schoongeblazen. Op ieder proefstuk werden vanuit de linkerbovenhoek een aantal coördinaten uitgezet. De coördinaten zijn in tabel 2.2 weergegeven als de afstand van links naar rechts (horizontaal) en de afstand van boven naar beneden (verticaal). De afstanden zijn in centimeters en gelden bij een proefstuk van $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$. In figuur 2.10 zijn de meetpunten schematisch weergegeven.

Tabel 2.2 Coördinaten van de meetpunten op een proefstuk [cm].

Table 2.2 Coordinates of the measuring points on a test sample [cm].

meetpunt	horizontaal	verticaal	meetpunt	horizontaal	verticaal
A	9	0	I	16	0
B	9	30	J	16	30
C	14	0	K	21	0
D	14	30	L	21	30
E	10	12,5	M	17	12,5
F	11	12,5	N	18	12,5
G	12	12,5	O	19	12,5
H	13	12,5	P	20	12,5



Figuur 2.10 Coördinaten van meetpunten op een proefstuk (dimensies [cm]).

Figure 2.10 Coordinates of measuring points on a test sample (dimensions [cm]).

Voor proefstukken met standaardafmetingen ($0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$) was een mal beschikbaar om de meetpunten te bepalen. Wanneer een proefstuk afwijkende maten had, was enig rekenwerk vereist om de coördinaten van de meetpunten te bepalen. Hiervoor werden de breedte en de lengte van het afwijkende proefstuk van de standaardmaten afgetrokken. De verschillen die dit gaf werden door twee gedeeld. Het resultaat van deze deling werd van de afstanden in tabel 2.2 afgetrokken. Ter verduidelijking het volgende voorbeeld. Bij een proefstuk van $25 \times 35 \text{ cm}^2$ werden de horizontale afstanden (breedte) verminderd met $(30 - 25) / 2 = 2,5 \text{ cm}$ en de verticale afstanden (lengte) met $(30 - 35) / 2 = -2,5 \text{ cm}$.

Na het schoonblazen en het uitzetten van de coördinaten werden tussen de punten A - B, C - D, I - J, K - L lijnen getrokken. Hierdoor ontstonden twee banen van 50 mm breed.

Binnen deze banen werd de stroefheid met het toestel van Leroux bepaald: zie paragraaf 2.5.4 'Stroefheid' voor methode en protocol van de bepaling van de stroefheid. Vanuit de punten E, F, G, H, M, N, O en P werd over een meetlengte van 48 mm de gemiddelde ruwheidshoogte bepaald (zie figuur 2.10): zie paragraaf 2.5.2 'Gemiddelde ruwheidshoogte' voor methode en protocol van de bepaling van de gemiddelde ruwheidshoogte. Nadat stroefheid en gemiddelde ruwheidshoogte waren bepaald, werd het proefstuk zodanig op de werktafel van het instrument gelegd, dat de slijtsloffen zo goed mogelijk door de gemarkeerde banen liepen en de linkerbovenhoek van het proefstuk linksboven op de tafel lag.

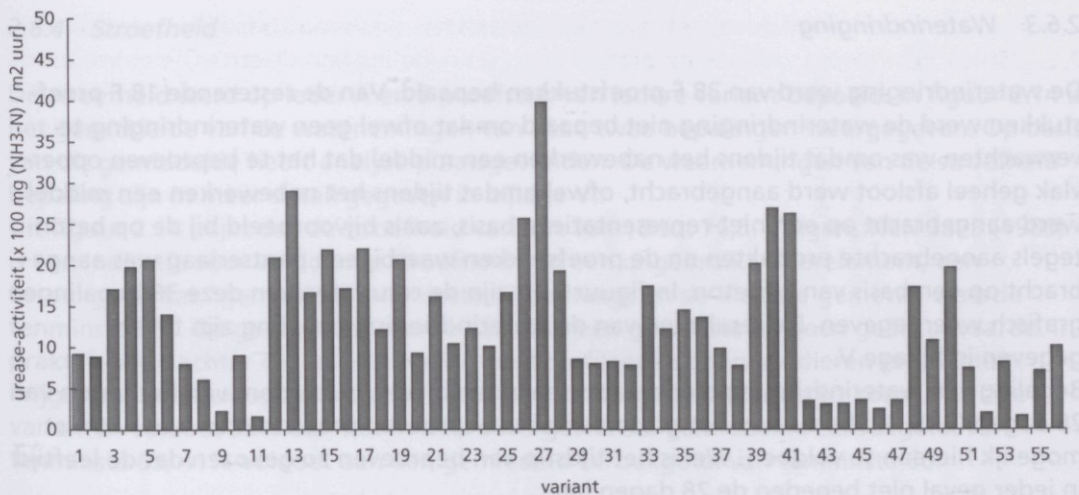
Nadat de proefstukken op het instrument waren bevestigd en nieuwe slijtsloffen waren gemonteerd werd met slijten begonnen. Op het instrument was een teller aangebracht die het aantal bewegingen over het oppervlak registreerde. Voordat de slijtbelasting werd uitgevoerd, werd de tellerstand genoteerd. Tevens werd de koeling van de slijtsloffen in werking gesteld. Het starttijdstip van de slijtbelasting werd genoteerd, evenals de oliedruk van het hydraulische gedeelte. Deze werd afgelezen op de manometer die onder de werktafel was gesitueerd. De slijtsloffen werden gedurende 17 uur en 30 minuten over het proefstuk getrokken. Dit kwam overeen met circa 20.000 bewegingen over het proefstuk. Na de voorgeschreven testduur werd het instrument door middel van een tijd klok uitgeschakeld. Vervolgens werden beide proefstukken van het instrument gehaald en werd de tellerstand ter controle opgenomen. Nadat de proefstukken van het instrument waren verwijderd, werden ze weer met lucht schoongeblazen. Dit werd op dezelfde manier gedaan als bij de voorbehandeling. Aansluitend werden op dezelfde wijze en op dezelfde plaatsen wederom de gemiddelde ruwheidshoogte en stroefheid bepaald. Het verschil tussen de uitkomsten van de eerste bepaling en de tweede bepaling werd uitgedrukt als een percentage van de eerste bepaling.

2.6 Waarnemingen

2.6.1 Urease-activiteit

De urease-activiteit werd op ieder A en B proefstuk van iedere variant in duplo bepaald. In figuur 2.11 is het gemiddelde van de waarnemingen van deze vier bepalingen weergegeven. Op basis van dit gemiddelde heeft analyse plaatsgevonden. De waarnemingen van de urease-activiteitsbepaling zijn in meer detail gegeven in bijlage III.

Uit figuur 2.11 blijkt dat de urease-activiteit varieert van circa 100 tot circa 3900 mg $(\text{NH}_3 - \text{N}) / \text{m}^2$ uur. Een urease-activiteit van 100 mg $(\text{NH}_3 - \text{N}) / \text{m}^2$ uur betekent dat 1 m^2 van dat oppervlak in 1 uur maximaal circa $17/14 \cdot 100 = 121$ mg ammoniak (NH_3) kan produceren. Ter indicatie wordt gemeld dat de Groen Label-norm voor ammoniak-emissie-arme rundveestallen met een maximum van circa 300 mg ammoniak per uur en per m^2 overeenkomt (4,4 kg NH_3 per dier per jaar bij een stalperiode van 190 dagen en 3 m^2 bevuild vloeroppervlak per dier) als de totale ammoniakemissie vanaf het vloeroppervlak afkomstig is.

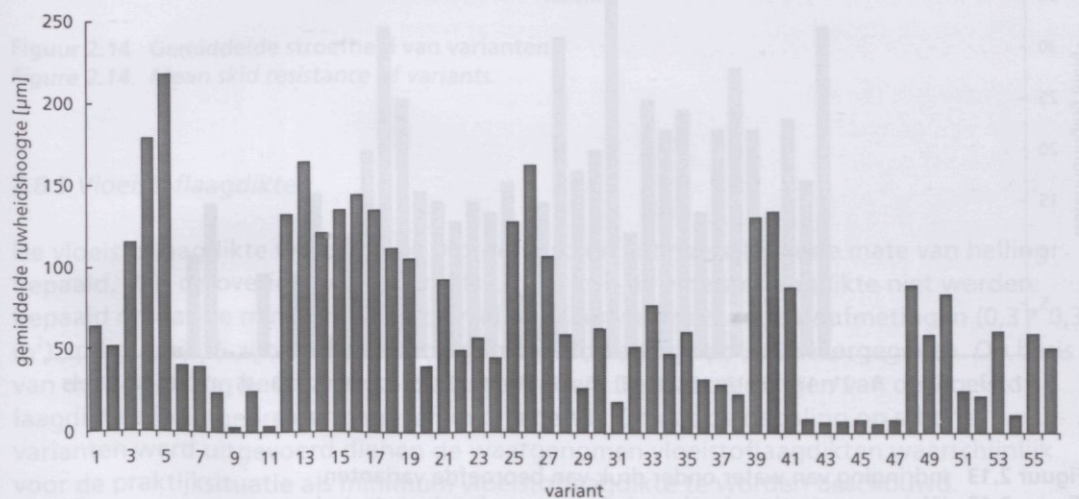


Figuur 2.11 Gemiddelde urease-activiteit van varianten.

Figure 2.11 Mean urease activity of variants.

2.6.2 Gemiddelde ruwheidshoogte

De gemiddelde ruwheidshoogte werd op ieder A en B proefstuk van iedere variant bepaald. In figuur 2.12 is het gemiddelde van de waarnemingen van deze twee bepalingen weergegeven. Op basis van dit gemiddelde heeft analyse plaatsgevonden. De waarnemingen van de gemiddelde ruwheidshoogte bepaling zijn in meer detail gegeven bijlage IV. Uit figuur 2.12 blijkt dat de gemiddelde ruwheidshoogte varieert van 3 tot circa 380 μm . Ter indicatie wordt gemeld dat de gemiddelde ruwheidshoogte van een spiegel circa 2 μm bedraagt.



Figuur 2.12 Gemiddelde ruwheidshoogte van varianten.

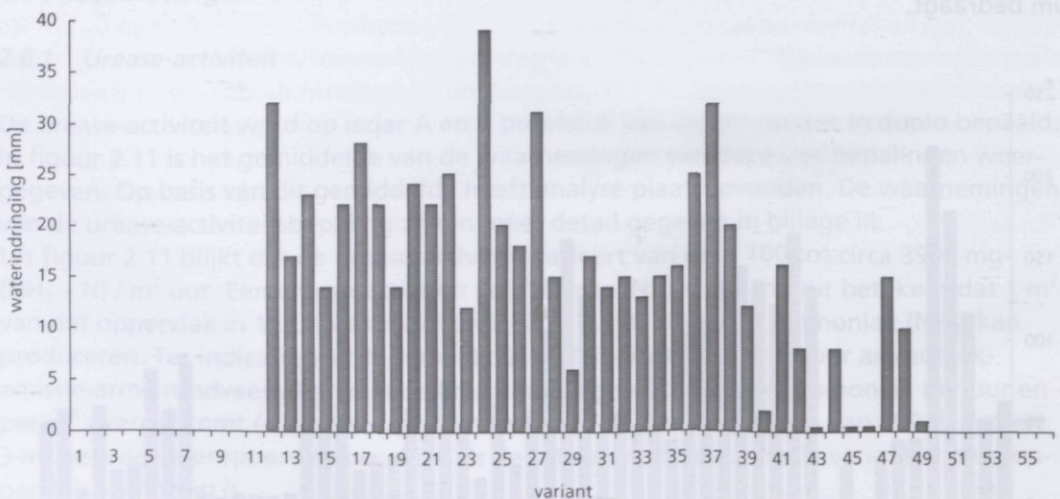
Figure 2.12 Mean surface roughness of variants.

2.6.3 Waterindringing

De waterindringing werd van 38 F proefstukken bepaald. Van de resterende 18 F proefstukken werd de waterindringing niet bepaald omdat ofwel geen waterindringing te verwachten was omdat tijdens het nabewerken een middel dat het te beproeven oppervlak geheel afsloot werd aangebracht, ofwel omdat tijdens het nabewerken een middel werd aangebracht op een niet-representatieve basis, zoals bijvoorbeeld bij de op betontegels aangebrachte produkten en de proefstukken waarbij een pantserlaag was aangebracht op een basis van kifbeton. In figuur 2.13 zijn de resultaten van deze 38 bepalingen grafisch weergegeven. De resultaten van de waterindringing bepaling zijn tevens gegeven in bijlage V.

Bepaling van waterindringing dient plaats te vinden bij een ouderdom van het beton van 28 dagen (BRL, 1996). Gezien het grote aantal te beproeven proefstukken was het niet mogelijk hieraan te voldoen. Wel is het tijdstip van beproeven zo gekozen dat de leeftijd in ieder geval niet beneden de 28 dagen lag.

Uit figuur 2.13 blijkt dat de indringdiepte varieert van minder dan 1 tot 39 mm. Ter illustratie wordt gemeld dat van waterdicht beton wordt gesproken indien de indringdiepte beperkt blijft tot maximaal 50 mm (BRL, 1994; Betoniek, 1992). Aangezien in de betreffende beoordelingsrichtlijn (BRL, 1996) wordt uitgegaan van een leeftijd bij beproeven van 28 dagen, zijn tevens de stort- en beproevingsdata opgenomen. Enige variatie in de leeftijd bij beproeven heeft een relatief geringe invloed op de proefresultaten, mits het beton ouder is dan circa 28 dagen. Zo blijkt bijvoorbeeld dat de waterindringing bij een water-cementfactor van 0,45 toeneemt met circa 30% als met portlandcement vervaardigd beton wordt beproefd na 180 in plaats van 28 dagen opslag in de lucht (Reinhardt, 1985). De langste tijd tussen vervaardiging en bepaling was 116 dagen (variant 22).



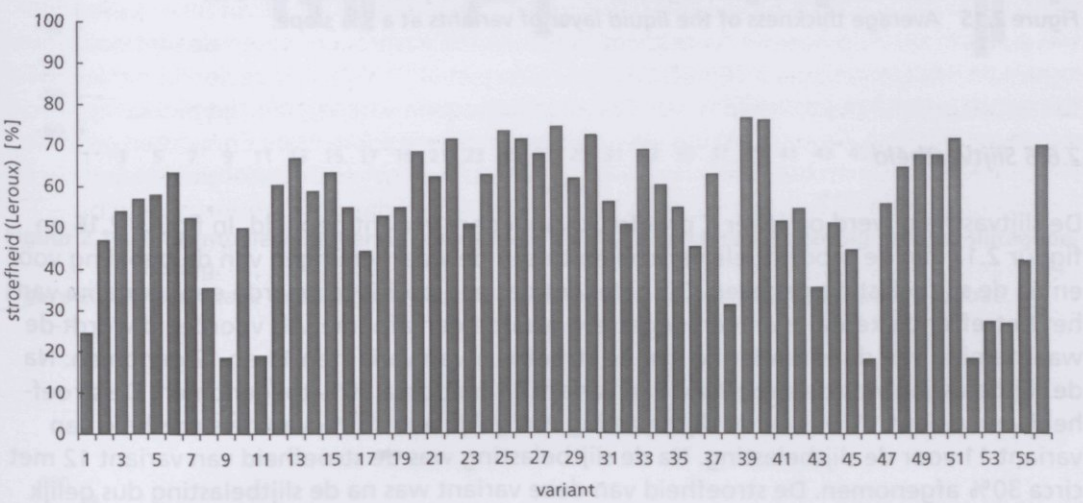
Figuur 2.13 Indringing van water onder druk van beproefde varianten.

Figure 2.13 Water penetration depth under pressure of variants tested.

2.6.4 Stroefheid

De stroefheid werd op ieder A en B proefstuk van iedere variant bepaald. In figuur 2.14 is het gemiddelde van de waarnemingen van deze twee bepalingen weergegeven. Op basis van dit gemiddelde heeft analyse plaatsgevonden. De waarnemingen van de stroefheid bepaling zijn in meer detail gegeven in bijlage VI.

Uit figuur 2.14 blijkt dat de stroefheid varieert van 18 tot 76,5. Volgens NEN 3873 (1989) is een indicatie voor voldoende stroefheid van een ongebruikt vloerelement, een Lerouxgetal dat "gemiddeld ten minste 63 bedraagt en de kleinste gemeten waarde tenminste 58". De genoemde waarde van 63 is een gewenste en geen geëiste waarde. In praktijk blijkt echter dat bij een verder ongeprofileerd oppervlak dieren problemen krijgen met de beloopbaarheid wanneer het Lerouxgetal onder de 60 komt. Van alle varianten voldoet 35% aan het in NEN 3873 gewenste gemiddelde Lerouxgetal van tenminste 63; 41% voldoet aan een gemiddeld Lerouxgetal van tenminste 60.

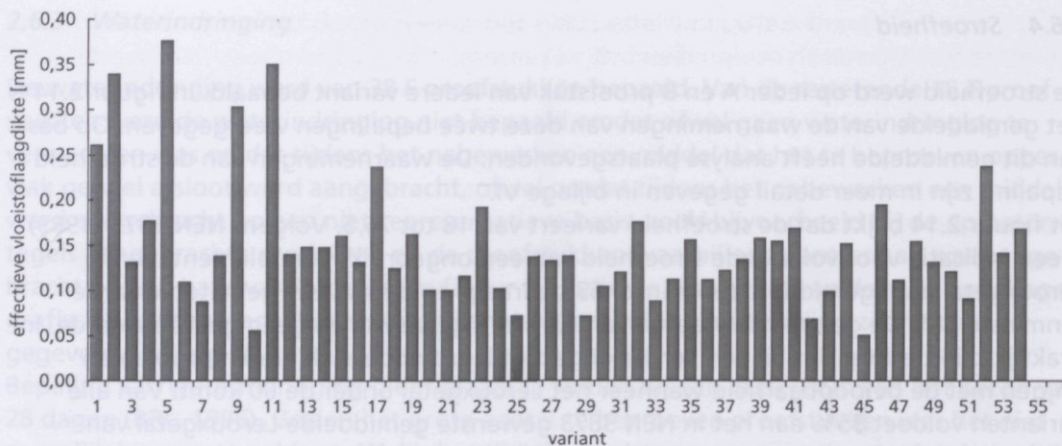


Figuur 2.14 Gemiddelde stroefheid van varianten.

Figure 2.14 Mean skid resistance of variants.

2.6.5 Vloeistoflaagdikte

De vloeistoflaagdikte werd van 54 D proefstukken voor verschillende mate van helling bepaald. Van de overige twee D proefstukken kon de vloeistoflaagdikte niet worden bepaald omdat de maten hiervan te veel afweken van de standaardafmetingen (0,3 * 0,3 m²). In figuur 2.15 zijn de waarnemingen bij een helling van 3 % weergegeven. Op basis van deze bepaling heeft analyse plaatsgevonden. De waarnemingen van de vloeistoflaagdikte zijn uitgebreider gegeven in bijlage VII. Omdat de bepaling op schone varianten werd uitgevoerd dienen de waargenomen vloeistoflaagdikten waarschijnlijk voor de praktijksituatie als minimum vloeistoflaagdikte te worden beschouwd.



Figuur 2.15 Gemiddelde vloeistoflaagdikte van varianten bij een helling van 3%.

Figure 2.15 Average thickness of the liquid layer of variants at a 3% slope.

2.6.6 Slijtvastheid

De slijtvastheid werd op ieder C proefstuk van iedere variant bepaald. In figuur 2.16 en figuur 2.17 zijn de procentuele verschillen tussen de waarnemingen van de bepaling voor en na de slijtbelasting gegeven. Dit betekent dat een positieve waarde een toename van het betreffende kental is en een negatieve waarde een afname. Als voorbeeld wordt de waarneming van de verandering van de stroefheid van varianten 11 en 12 genomen: Na de slijtbelasting was de stroefheid van variant 11 met circa 30% toegenomen. De stroefheid van variant 11 was na de slijtbelasting dus gelijk aan 130% van de stroefheid van variant 11 voor de slijtbelasting. Na de slijtbelasting was de stroefheid van variant 12 met circa 30% afgenomen. De stroefheid van deze variant was na de slijtbelasting dus gelijk aan 70% van de stroefheid voordat de slijtbelasting werd aangebracht.

Deze bepaling is ter indicatie en werd niet meegenomen in de analyse. De gegeven waarden zijn gemiddelden van die meetpunten die zowel voor als na slijtage een meetbare uitkomst gaven. De waarnemingen van de slijtvastheid bepaling zijn ook gegeven in bijlage VIII.

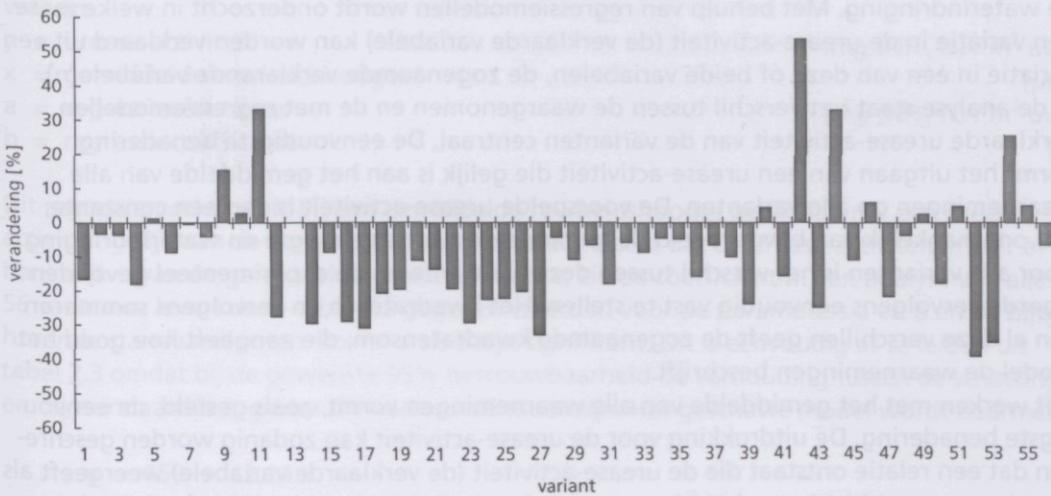
De temperatuur van de hydraulische olie nam tijdens het slijten enigszins toe. Hierdoor nam de kracht waarmee de slijtsloffen op het proefstuk werden gedrukt enigszins af. Dit deed zich bij alle proefstukken in nagenoeg even sterke mate voor.

De afwerking van de proefstukken was niet altijd zuiver vlak. Hierdoor was niet overal sprake van contact tussen de slijtblokken en het proefstuk. Alleen bij variant 13 was de onvlakheid dusdanig groot, dat dit gevolgen had voor de bepalingen. Variant 13 heeft daardoor geen meetpunten die zowel voor als na de slijtage een meetbare uitslag van de gemiddelde ruwheidshoogte gaven.

Tijdens het beproeven van variant 42 is de rechter slijtslof uit de houder gevallen. De bepalingen uit deze slijtbaan zijn dan ook niet opgenomen in de berekeningen.

De afwerklaag van variant 54 is geheel afgesleten van de ondergrond waarop deze was

aangebracht. Al kort na aanvang van het belasten van dit proefstuk was duidelijk dat dit zou optreden. De meetwaarden die na slijtage werden gevonden, waren niet van de afwerklaag maar van de ondergrond zodat vergelijken van de meetwaarden geen zin heeft.



Figuur 2.16 Procentuele verandering van de stroefheid van varianten als gevolg van een slijtagebelasting.

Figure 2.16 Percentage of change in skid resistance of variants as a result of a wear-out load.



Figuur 2.17 Procentuele verandering van de gemiddelde ruwheidshoogte van varianten als gevolg van een slijtagebelasting.

Figure 2.17 Percentage of change in surface roughness of variants as a result of a wear-out load.

2.7 Analyse

2.7.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt onderzocht in hoeverre de experimenteel gevonden urease-activiteit kan worden verklaard met behulp van de gemeten gemiddelde ruwheidshoogte en de waterindringing. Met behulp van regressiemodellen wordt onderzocht in welke mate een variatie in de urease-activiteit (de verklaarde variabele) kan worden verklaard uit een variatie in één van deze of beide variabelen, de zogenaamde verklarende variabele(n). In de analyse staat het verschil tussen de waargenomen en de met regressiemodellen verklaarde urease-activiteit van de varianten centraal. De eenvoudigste benadering vormt het uitgaan van een urease-activiteit die gelijk is aan het gemiddelde van alle waarnemingen op alle varianten. De voorspelde urease-activiteit is dan een constante, dus onafhankelijk van bijvoorbeeld de gemiddelde ruwheidshoogte en waterindringing. Voor alle varianten is het verschil tussen deze constante en de experimenteel gevonden waarde vervolgens eenvoudig vast te stellen. Het kwadrateren en vervolgens sommeren van al deze verschillen geeft de zogenaamde kwadratensom, die aangeeft hoe goed het model de waarnemingen beschrijft.

Het werken met het gemiddelde van alle waarnemingen vormt, zoals gesteld, de eenvoudigste benadering. De uitdrukking voor de urease-activiteit kan zodanig worden geschreven dat een relatie ontstaat die de urease-activiteit (de verklaarde variabele) weergeeft als functie van gemiddelde ruwheidshoogte en/of waterindringing (de verklarende variabele(n)) en één of meerdere constanten. Deze constanten kunnen vervolgens met behulp van beschikbare standaardprogrammatuur zodanig worden vastgesteld, dat met de gekozen relatie sprake is van een zo goed mogelijke afstemming tussen de waargenomen en de voorspelde urease-activiteit. Door de bijbehorende kwadratensom te vergelijken met de kwadratensom behorende bij een constant veronderstelde urease-activiteit wordt het verklarend vermogen van de relatie gevonden. Het verklarend vermogen wordt weergegeven als het percentage waarmee de gekozen relatie de kwadratensom behorende bij een constant veronderstelde urease-activiteit doet afnemen. Bij een waarde gelijk aan 0% levert de relatie geen meerwaarde ten opzichte van de constante waarde; bij een waarde gelijk aan 100% komen de voorspellingen exact overeen met de waarnemingen.

Voorgaande beschouwing omtrent de kwadratensom geldt voor de gekozen relatie als geheel. Het is dan nog de vraag in welke mate de diverse in de relatie gebruikte constanten werkelijk bijdragen aan (lees: significant zijn voor) het reduceren van de kwadratensom. Daartoe wordt voor iedere constante een toets uitgevoerd, waarmee de significantie wordt vastgesteld. Gekozen wordt voor een toets met 5% onbetrouwbaarheidsdrempel, hetgeen betekent dat de kans 5% is dat de constante ten onrechte als significant wordt aangemerkt. In de toets wordt op basis van de verhouding tussen de grootte van de schatter en de bijbehorende standaardfout beoordeeld of de parameter afwijkt van nul.

De veronderstelde relatie tussen de verklaarde en de verklarende variabelen moet bij voorkeur gebaseerd zijn op een causaal verband. In het onderzoek was het echter technisch niet mogelijk een bewuste variatie in of instelling van verklarende variabelen aan te brengen. Dit betekent dat niet altijd sprake zal zijn van een causaal verband. Het is echter wel mogelijk op basis van de aard van de relatie en de inzichten in de verklarende variabelen aan te geven of globaal sprake is van een zeker causaal verband. Bij iedere gekozen relatie zal dan ook kort worden ingegaan op deze achtergronden.

2.7.2 Urease-activiteit verklaard uit gemiddelde ruwheidshoogte

In eerste instantie wordt gekozen voor de volgende relatie:

$$y = a + b x \quad 2.2$$

waarin:

y = urease-activiteit	[mg (NH ₃ -N) / m ² uur]
x = gemiddelde ruwheidshoogte	[µm]
a = regressieconstante	[mg (NH ₃ -N) / m ² uur]
b = regressiecoëfficiënt	[-]

Dit regressiemodel geeft bij een gemiddelde ruwheidshoogte gelijk aan nul een urease-activiteit gelijk aan de constante a. Verondersteld wordt dat de urease-activiteit lineair afhankelijk is van de gemiddelde ruwheidshoogte; zie de coëfficiënt b. Een analyse van alle 56 varianten levert de in tabel 2.3 gegeven waarden voor de parameters a en b en de bijbehorende standaardfouten. Zowel a als b zijn significant. Dit is eenvoudig af te leiden uit tabel 2.3 omdat bij de gewenste 95% betrouwbaarheid de verhouding tussen de schatting en de standaardfout groter dan circa twee moet zijn. Het geschatte model wordt daarmee:

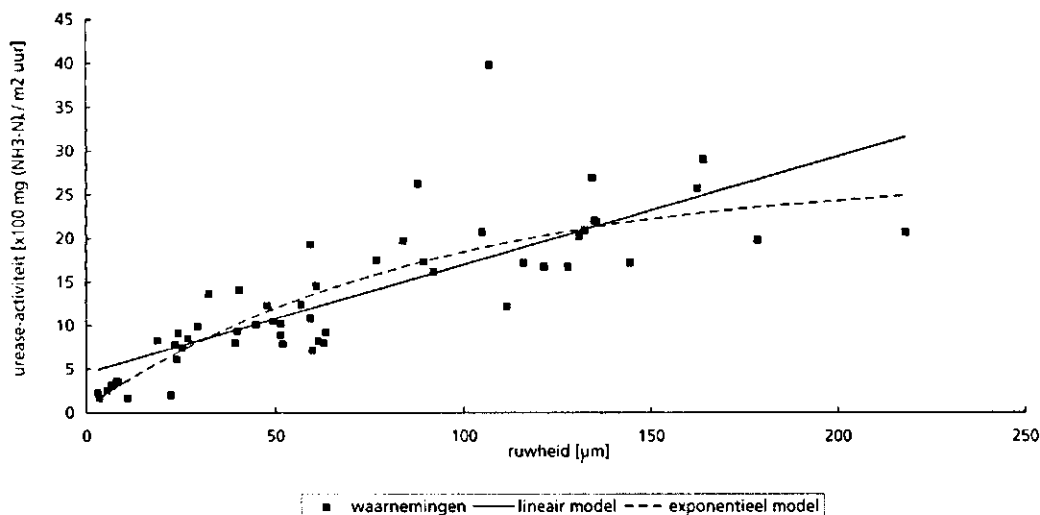
$$y = 459 + 12,14 x$$

Tabel 2.3 Schattingen van parameters en standaardfouten van model 2.2 op basis van de volledige set varianten.

Table 2.3 Estimation of parameters and standard errors of model 2.2 on the basis of a complete set of variants.

parameter	schatting	standaardfout
a	459	109
b	12,14	1,26

Het verklarend vermogen van dit model bedraagt 65%. Figuur 2.18 toont de waarnemingen en het lineaire model.



Figuur 2.18 Verbanden tussen urease-activiteit en gemiddelde ruwheidshoogte.

Figure 2.18 Relationships between urease activity and surface roughness.

Omdat de lineaire modellering vooral in het gebied met kleine gemiddelde ruwheidshoogte afwijkt van de waargenomen gemiddelde ruwheidshoogte ligt het voor de hand vergelijking 2.2 uit te breiden met een extra term (bijvoorbeeld een kwadratische) of te kiezen voor bijvoorbeeld een exponentiële functie. Een keuze tussen beide mogelijkheden is moeilijk te maken omdat onvoldoende bekend is omtrent de achtergronden van de relatie tussen urease-activiteit en gemiddelde ruwheidshoogte. Gekozen is voor de volgende exponentiële functie:

$$y = a - b c^x \quad 2.3$$

waarin:

y	= urease-activiteit	[mg (NH ₃ -N) / m ² uur]
x	= gemiddelde ruwheidshoogte	[µm]
a	= regressieconstante	[mg (NH ₃ -N) / m ² uur]
b, c	= regressiecoëfficiënt	[-]

Het verschil tussen de parameters a en b geeft het intercept met de y-as. De parameter c is de krommingsparameter. Als c gelijk is aan één, is de urease-activiteit bij elke gemiddelde ruwheidshoogte gelijk aan a minus b. Is c groter dan één, dan neemt de urease-activiteit af als de gemiddelde ruwheidshoogte toeneemt. De in figuur 2.18 getoonde meetpunten geven duidelijk aan dat sprake is van een toename van de urease-activiteit bij toenemende gemiddelde ruwheidshoogte. Naar verwachting is c dan ook kleiner dan één. Het regressiemodel geeft dan een bovengrens voor de urease-activiteit (een horizontale asymptoot) die gelijk is aan a.

Tabel 2.4 toont de resultaten van de analyse op basis van alle beschikbare waarnemingen. Alle parameters zijn significant. Het verklarend vermogen is gelijk aan ruim 69%. Het niet-lineaire model is:

$$y = 2738 - 2665 \cdot 0,989^x$$

Tabel 2.4 Schattingen van parameters en standaardfouten van model 2.3 op basis van de volledige set varianten.

Table 2.4 Estimation of parameters and standard errors of model 2.3 on the basis of a complete set of variants.

parameter	schatting	standaardfout
a	2737	450
b	2665	391
c	0,989	0,004

De door dit model gegeven relatie tussen urease-activiteit en gemiddelde ruwheidshoogte is eveneens weergegeven in figuur 2.18.

Een ander niet-lineair model wordt gevormd door een machtsfunctie:

$$y = a x^b \quad 2.4$$

In log-notatie luidt dit model:

$$\ln(y) = \ln(a) + b \ln(x)$$

waarin:

y	= urease-activiteit	[mg (NH ₃ -N) / m ² uur]
x	= gemiddelde ruwheidshoogte	[µm]
a, b	= regressiecoëfficiënt	[-]

Ten opzichte van de twee eerder besproken modellen is in dit model geen sprake van een intercept met de y-as. Dit betekent dat bij een gemiddelde ruwheidshoogte gelijk aan nul, geen urease-activiteit wordt gevonden. De waarden van de parameters a en b uit relatie 2.3 geven echter aan dat de waarnemingen niet wijzen op een hoge urease-activiteit bij lage gemiddelde ruwheidshoogte. Immers, de curve blijkt nagenoeg in de oorsprong te beginnen.

Het werken in log-notatie biedt onder andere de volgende twee voordelen. Ten eerste is er het feit dat de spreiding in de fout beter wordt meegenomen. Uit figuur 2.18 blijkt dat de band waarbinnen de waarnemingen vallen breder wordt naarmate de gemiddelde ruwheidshoogte toeneemt. Door te werken in log-notatie wordt hiermee rekening gehouden. Ten tweede is er het voordeel dat deze wijze van noteren het zeer gemakkelijk maakt extra verklarende variabelen toe te voegen.

Een analyse levert de in tabel 2.5 gegeven waarden voor de parameters. Het verklarend vermogen van het model is ruim 68%.

Tabel 2.5 Schattingen van parameters en standaardfouten van model 2.4 op basis van de volledige set varianten.

Table 2.5 Estimation of parameters and standard errors of model 2.4 on the basis of a complete set of variants.

parameter	schatting	standaardfout
ln(a)	4,420	0,165
b	0,656	0,042

Het exponentiële model wordt aldus:

$$y = 83,1 x^{0,656}$$

In figuur 2.18 is deze relatie niet weergegeven omdat deze nagenoeg samenvalt met het eerder besproken (en wel in figuur 2.18 weergegeven) andere exponentiële model.

2.7.3 Urease-activiteit verklaard uit waterindringing

In paragraaf 2.7.2 is getracht de urease-activiteit te verklaren uit de gemiddelde ruwheidshoogte. In deze paragraaf wordt de waterindringing gehanteerd als verklarende variabele. Een complicatie hierbij is dat niet bij alle varianten de waterindringing is bepaald. Daarom worden in de analyse alleen die varianten beschouwd, waarvan de waterindringing bekend is. Dit betekent dat de varianten 12 tot en met 49 in de analyse worden betrokken.

Het toepassen van een lineair model overeenkomstig relatie 2.2 levert:

$$y = a + b x \quad 2.5$$

waarin:

y = urease-activiteit	[mg (NH ₃ -N) / m ² uur]
x = waterindringing	[mm]
a = regressieconstante	[mg (NH ₃ -N) / m ² uur]
b = regressiecoëfficiënt	[-]

Tabel 2.6 Schattingen van parameters en standaardfouten van model 2.5 op basis van de volledige set varianten.

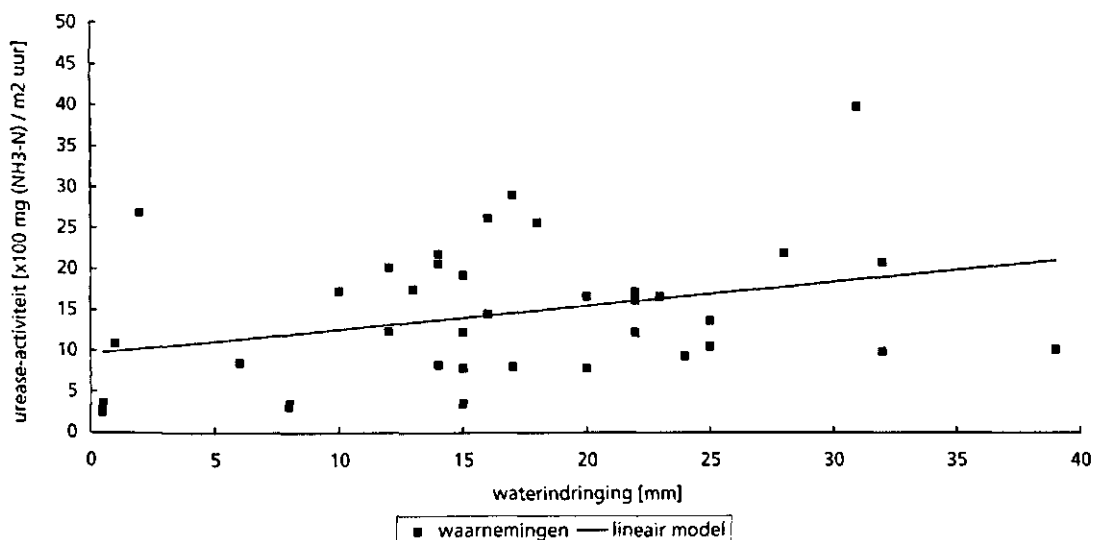
Table 2.6 Estimation of parameters and standard errors of model 2.5 on the basis of a complete set of variants.

parameter	schatting	standaardfout
a	965	266
b	29,4	14,1

Beide parameters zijn significant. Het geschatte lineaire model is:

$$y = 965 + 29,4 x$$

Het verklarend vermogen is gelijk aan slechts 8,3%. Figuur 2.19 geeft dit aan, omdat sprake blijkt te zijn van een nagenoeg horizontale lijn. De in deze figuur getoonde waarnemingen liggen dermate verspreid, dat een niet-lineaire relatie nauwelijks tot een beter resultaat zal leiden.



Figuur 2.19 Lineair verband tussen urease-activiteit en waterindringing op basis van een onvolledige set varianten.

Figure 2.19 Linear relationship between urease activity and water penetration depth under pressure on the basis of an incomplete set of variants.

2.7.4 Urease-activiteit verklaard uit gemiddelde ruwheidshoogte en waterindringing

In paragraaf 2.7.3 is gebleken dat het hanteren van alleen de waterindringing als verklarende variabele nauwelijks leidt tot een afname van de kwadratensom. In paragraaf 2.7.2 bleek daarentegen dat het gebruik van de gemiddelde ruwheidshoogte als verklarende variabele de kwadratensom met circa 70% reduceert. Om de significantie van de waterindringing in combinatie met de gemiddelde ruwheidshoogte te onderzoeken is de niet-lineaire relatie 2.4 uitgebreid met een term waarin de waterindringing is opgenomen. Uitwerking van deze relatie in log-notatie leidt tot de volgende uitdrukking:

$$\ln(y) = \ln(a) + b \ln(x_1) + c \ln(x_2) \quad 2.6$$

waarin:

y	= urease-activiteit	[mg (NH ₃ -N) / m ² uur]
x ₁	= gemiddelde ruwheidshoogte	[μm]
x ₂	= waterindringing	[mm]
a	= regressieconstante	[—]
b, c	= regressiecoëfficiënt	[—]

Een nadeel van deze relatie is het feit dat deze niet goed fysisch interpreteerbaar is.

Uit de regressie-analyse op de onvolledige set varianten blijkt dat de coëfficiënt behorende bij de waterindringing niet significant is, zie ook tabel 2.7.

Tabel 2.7 Schattingen van parameters en standaardfouten van model 2.6 op basis van de onvolledige set varianten.

Table 2.7 Estimation of parameters and standard errors of model 2.6 on the basis of an incomplete set of variants.

parameter	schatting	standaardfout
ln(a)	4,558	0,166
b	0,624	0,047
c	0,029	0,047

Het verklarend vermogen van relatie 2.6 is gelijk aan ruim 69%, hetgeen nagenoeg gelijk is aan de circa 68% gevonden met relatie 2.4. Relaties 2.4 en 2.6 zijn in dit opzicht goed onderling vergelijkbaar omdat beide een identieke vorm hebben.

Geconcludeerd kan worden dat de waterindringing geen toegevoegde waarde heeft daar waar het het verklaren van de urease-activiteit betreft.

2.7.5 Clustering van proefstukken

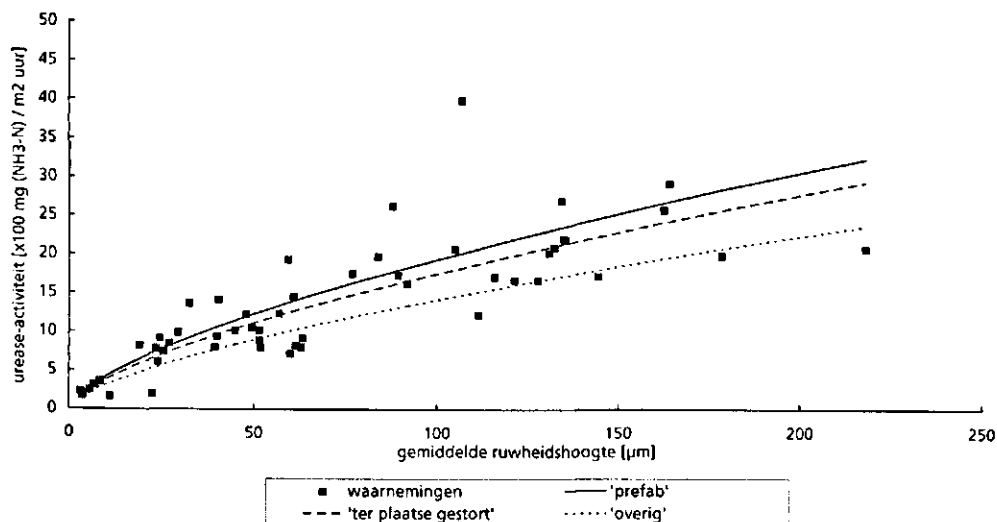
Bij het vaststellen van de relatie tussen de urease-activiteit en de gemiddelde ruwheidshoogte in paragraaf 2.7.2 is de volledige set varianten beschouwd. Het totaal van varianten kan worden ingedeeld in een drietal clusters, te weten:

- varianten bestaande uit een basislaag die niet representatief is voor beton, al of niet voorzien van een nabewerking;
- varianten vervaardigd conform 'ter plaatse gestort beton';
- varianten vervaardigd conform 'geprefabriceerd beton'.

Het eerstgenoemde cluster omvat de varianten 1 tot en met 11 en 50 tot en met 56; het cluster 'ter plaatse gestort beton' de varianten 12 tot en met 27 en het cluster 'geprefabriceerd beton' de varianten 28 tot en met 49.

Op basis van het niet-lineaire model weergegeven middels relatie 2.4 is de gehele set varianten onderzocht en is verondersteld dat de regressiecoëfficiënt b voor alle drie clusters dezelfde waarde heeft. Deze waarde is 0,656. Voor de clusters 'ter plaatse gestort beton' en 'geprefabriceerd beton' is de parameter a gelijk aan respectievelijk 94,2 en 85,5. Het verschil in de voorspelde urease-activiteit van beide clusters is relatief gering, namelijk circa 10%. Voor het cluster met de niet-representatieve basislaag geldt dat a gelijk is aan 69,1. Ten opzichte van de andere twee clusters is dus sprake van een relatief groot verschil, namelijk circa 25%. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de varianten 52 en 54, die een urease-activiteit vertonen die, gerelateerd aan de gemiddelde ruwheidshoogte, relatief laag is. In figuur 2.20 zijn de waarnemingen en de drie regressiecurven weergegeven.

De voorgaande beschouwing is gebaseerd op een analyse waarin is uitgegaan van dezelfde waarde voor de regressiecoëfficiënt b voor alle drie clusters. Vergelijkbare berekeningen zijn uitgevoerd waarin a constant is gehouden. Geconcludeerd werd dat ook hier nauwelijks sprake was van grote verschillen tussen de clusters. Een analyse waarin zowel a als b tussen de clusters onderling konden variëren toonde hetzelfde beeld.



Figuur 2.20 Verbanden tussen urease-activiteit en gemiddelde ruwheidshoogte op basis van clusters van varianten.

Figure 2.20 Relationships between urease activity and surface roughness on the basis of clusters of variants.

2.7.6 Stroefheid verklaard uit gemiddelde ruwheidshoogte

Figuur 2.21 toont de waargenomen stroefheden en gemiddelde ruwheidshoogten. Indien op deze waarnemingen een regressie-analyse met een lineair model (analoog aan relaties 2.2 en 2.5) wordt toegepast geldt:

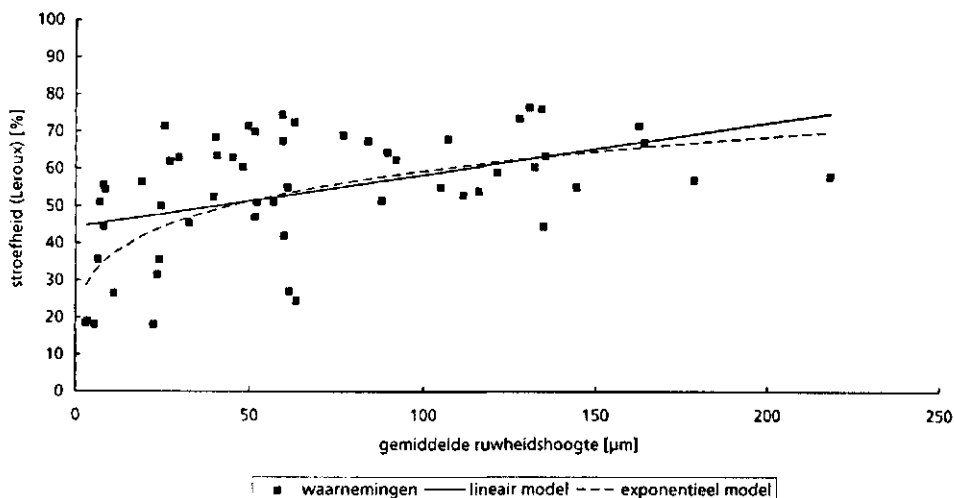
$$y = 44,4 + 0,14 x$$

waarin:

y = stroefheid (Leroux) [%]
 x = gemiddelde ruwheidshoogte [μm]

Beide parameters in deze relatie zijn significant, maar het verklarend vermogen is slechts gelijk aan ruim 18%. Het gebruik van een machtsfunctie leidt tot een beter resultaat, namelijk een verklarend vermogen van 28%. De bijbehorende relatie luidt:

$$y = 22,6 x^{0,21}$$



Figuur 2.21 Verbanden tussen stroefheid en gemiddelde ruwheidshoogte van varianten.
Figure 2.21 Relationships between skid resistance and surface roughness of variants.

2.8 Discussie

Ten behoeve van het onderzoek op laboratoriumniveau zijn in totaal 56 varianten vervaardigd. Bij 18 varianten was sprake van ofwel een zodanige wijze van nabewerken dat de betonnen ondergrond geen invloed uitoefende, ofwel was sprake van een ondergrond die niet representatief was voor het in stalvloeren toegepaste beton. De 36 andere varianten kunnen worden ingedeeld in een tweetal clusters, te weten 'ter plaatse gestort beton' en 'geprefabriceerd beton'. Het grote verschil tussen beide clusters betreft de wijze van nabehandelen. Het ter plaatse gestort beton is gedurende één week met folie afgedekt, terwijl de nabewerking bij de prefab elementen drie dagen duurde. In alle gevallen is gebruik gemaakt van proefstukken van $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$. De aldus vervaardigde varianten zijn vervolgens al dan niet aan een nabewerking onderworpen. Deze nabewerking bestond uit het aanbrengen van produkten met impregnerende en/of hydrofoberende eigenschappen. Bij enkele geprefabriceerde platen was een vertrager op de stalen bekisting aangebracht, zodat na ontkisten en afsprengen met water onder hoge druk een 'uitgewassen' beton werd verkregen. Het geprefabriceerd beton biedt de mogelijkheid in de praktijk de oorspronkelijke malzijde van het produkt als loopoppervlak voor de dieren te gebruiken. Daarom zijn ook experimenten verricht op de malzijde van geprefabriceerde varianten.

Urease-activiteit

Ammoniakemissie vindt zijn oorsprong in de omzetting van ureum uit de urine van dieren in ammoniak. Bij deze reactie treedt het enzym urease als katalysator op (zie ook paragraaf 1.4.1). Het enzym urease bevindt zich in bacteriën die aanwezig zijn op een oppervlak. Deze bacteriën bevinden zich in de faeces van de dieren. Zodra een vloeroppervlak in aanraking komt met deze bacteriën wordt urease-activiteit opgebouwd omdat de bacteriën zich op het vloeroppervlak gaan hechten. Bij de omzetting van

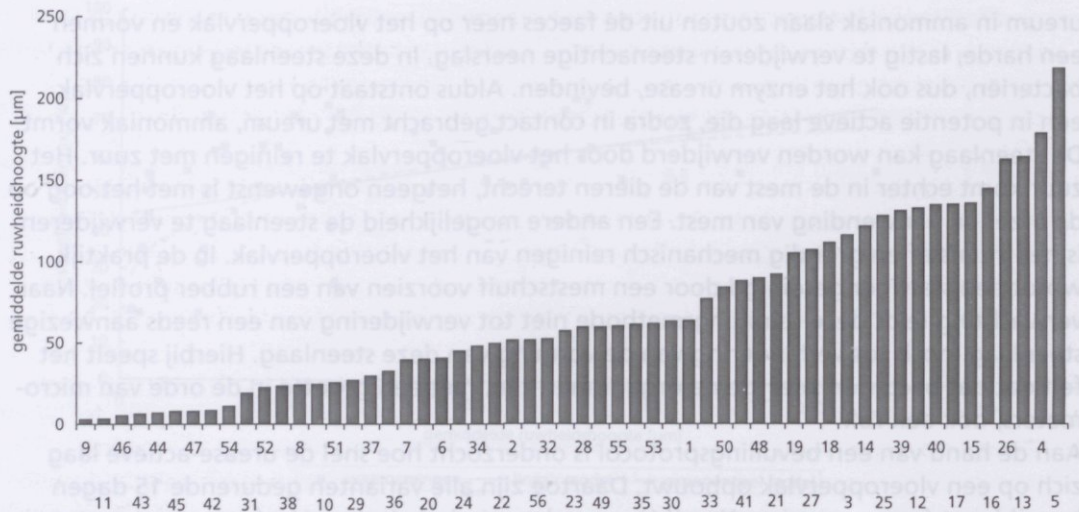
ureum in ammoniak slaan zouten uit de faeces neer op het vloeroppervlak en vormen een harde, lastig te verwijderen steenachtige neerslag. In deze steenlaag kunnen zich bacteriën, dus ook het enzym urease, bevinden. Aldus ontstaat op het vloeroppervlak een in potentie actieve laag die, zodra in contact gebracht met ureum, ammoniak vormt. De steenlaag kan worden verwijderd door het vloeroppervlak te reinigen met zuur. Het zuur komt echter in de mest van de dieren terecht, hetgeen ongewenst is met het oog op de afzet en aanwending van mest. Een andere mogelijkheid de steenlaag te verwijderen is het intensief en grondig mechanisch reinigen van het vloeroppervlak. In de praktijk wordt een stalvloer gereinigd door een mestschuif voorzien van een rubber profiel. Naar verwachting leidt deze reinigingsmethode niet tot verwijdering van een reeds aanwezige steenlaag, noch tot verhindering van de vorming van deze steenlaag. Hierbij speelt het feit dat dat bacteriën zeer kleine organismen zijn, met een grootte in de orde van micrometers, ook een rol.

Aan de hand van een bevuilingsprotocol is onderzocht hoe snel de urease-actieve laag zich op een vloeroppervlak opbouwt. Daartoe zijn alle varianten gedurende 15 dagen bevuild met faeces en urine. Na afloop van deze periode is de urine-faeces laag met een handtrekker met rubber strip verwijderd en is de urease-activiteit bepaald.

Gemiddelde ruwheidshoogte

Bij het bespreken van de urease-activiteit is ingegaan op de hechting van bacteriën op een vloeroppervlak. Daarbij is gewezen op de geringe grootte van de bacteriën, waardoor deze zich kunnen hechten in kleine oneffenheden in een vloeroppervlak. Om een indruk te krijgen van de hechtingsmogelijkheden van de bacteriën is de gemiddelde ruwheidshoogte van alle 56 varianten vastgesteld. De gemiddelde ruwheidshoogte is hierbij gedefinieerd als het gemiddelde van de absolute waarden van de afstand tussen een meetpunt en een referentielijn. De referentielijn is zodanig vastgesteld, dat het gemiddelde van de afstanden tussen de referentielijn en de meetpunten gelijk is aan nul. Figuur 2.22 toont de varianten in volgorde van oplopende gemiddelde ruwheidshoogte. Het volgende overzicht geeft een indruk van de bij de diverse afwerk- en nabewerkmethoden waargenomen gemiddelde ruwheidshoogte:

- zelf-nivellerende coating: 3 μm ;
- malzijde van proefstukken gestort in een stalen mal: 5 - 10 μm ;
- gevulderd ter plaatse gestort oppervlak en epoxytroffelvloeren: 25 - 60 μm ;
- geprefabriceerd beton, handmatig ingeschuurd als betonroosters: 20 - 80 μm ;
- ter plaatse gestort beton, handmatig ingeschuurd: 100 - 145 μm ;
- ter plaatse gestort beton, gebezemd: 90 - 160 μm .



Figuur 2.22 Varianten gerangschikt in volgorde van toenemende gemiddelde ruwheidshoogte.
Figure 2.22 Variants ranked in order of increasing surface roughness.

Waterindringing

De aanwezigheid van zowel urine als bron van ureum, als urease als katalysator bij de reactie is voor de vorming van ammoniak vereist. De waterindringing van een oppervlak kan invloed hebben op beide aspecten. Enerzijds neemt mogelijk het potentieel hechtend oppervlak voor het enzym urease toe bij toename van de waterindringing. Anderzijds leidt een toename van de waterindringing mogelijk tot een toename van de hoeveelheid urine die op een oppervlak achterblijft.

De waterindringing is alleen vastgesteld voor de proefstukken vervaardigd volgens de omschrijvingen 'ter plaatse gestort' en 'geprefabriceerd' beton. De andere varianten zijn niet beschouwd omdat ofwel sprake is van een ondoorlatende toplaag (bijv. een coating), ofwel sprake is van een ondergrond die niet representatief is voor het in vloeren toegepaste betonmengsel. Daarom zijn alleen de varianten 12 tot en met 49 onderworpen aan dit experiment. Uit de waarnemingen vermeld in bijlage V blijkt dat sprake is van een maximale indringing van 39 mm; de minimale indringing is kleiner dan 1 mm. In de praktijk wordt bij een indringing van maximaal 50 mm gesproken van 'vloei-stofdicht beton' (Betoniek, 1992).

Bij het ter plaatse gestort beton bedraagt de indringdiepte van de proefstukken met een kubusdruksterkte van 99 N/mm² circa 12 - 22 mm (vier waarnemingen), terwijl dat bij het beton met een druksterkte van 56 N/mm², 18 - 39 mm is (twaalf waarnemingen).

Bij het geprefabriceerd beton varieert de indringdiepte tussen 32 mm en minder dan 1 mm. De zeer geringe indringdiepten treden op bij proefstukken waarvan de malzijde is beproefd. Hierbij wordt opgemerkt dat gebruik is gemaakt van stalen mallen. Bij de 14 proefstukken waarvan de stortzijde is beproefd, varieerde de indringdiepte tussen de 2 en 32 mm; het beproeven van de malzijde (acht waarnemingen) gaf waarden van kleiner dan 1 tot 15 mm. Bij deze laatste waarden blijkt dat bij een druksterkte van 96 N/mm² geen indringdiepte groter dan 1 mm is vastgesteld (drie waarnemingen).

In deze beschouwing is de invloed van op het verharde beton aangebrachte impregne-

rende en/of hydrofoberende produkten niet meegenomen. Dit is gedaan omdat op alle varianten slechts één meting is uitgevoerd, waardoor onderlinge vergelijkingen met de nodige voorzichtigheid moeten worden uitgevoerd. Desondanks kunnen, onder verwijzing naar deze nuancering, wel enkele uitspraken omtrent de invloed van deze produkten worden gedaan.

Bij het ter plaatse gestort beton is bij de varianten met een druksterkte van 56 N/mm² sprake van een indringing van 32 mm (variant 12) als geen additionele produkten zijn aangebracht. Is dit wel het geval, dan neemt de waterindringing af tot 22 - 28 mm (varianten 14 en 16 tot en met 19). Anderzijds is bij de gevlinderde proefstukken juist sprake van een toename van de waterindringing: Van 24 mm (variant 20) naar 25 en 39 mm (varianten 22 en 24).

Bij het geprefabriceerd beton is sprake van een wat gelijkmatiger beeld, maar ook daar lijken de additionele produkten geen significante invloed op de waterindringing te hebben. Zo geeft bijvoorbeeld de niet-afgewerkte variant (nummer 28; druksterkte 64 N/mm²) een waterindringing van 15 mm, die nagenoeg niet verandert als additionele produkten worden aangebracht (13 - 17 mm voor varianten 30 en 32 tot en met 35). Een zelfde beeld treedt op bij de varianten met een druksterkte gelijk aan 50 en 56 N/mm². In het eerste geval is de waterindringing vóór, respectievelijk ná nabewerken gelijk aan 25 mm (variant 36), respectievelijk 20 en 32 mm (varianten 38 en 37). In het tweede geval is sprake van 12 mm (variant 39), respectievelijk 2 en 16 mm (varianten 40 en 41).

Stroefheid

De stroefheid wordt gezien als maat voor de beloopbaarheid van een 'ongeprofileerd' vloeroppervlak. Hierbij geeft 'ongeprofileerd' aan dat de beloopbaarheid niet alleen van de materiaaleigenschappen afhankelijk is, maar ook afhankelijk is van de geometrie van het oppervlak. Zo kan bijvoorbeeld een op zich glad, moeilijk beloopbaar materiaal goed beloopbaar worden gemaakt door het aanbrengen van een profilering (bijv. een 'tranenplaat') of door het toepassen van spleten waardoor een glijdende beweging wordt afgeremd (bijv. bij roostervloeren). Bij het vaststellen van de stroefheid is in de experimenten alleen gekeken naar de stroefheid van het materiaal zelf, en is de invloed van aanvullende maatregelen (profilering, spleten enz.) buiten beschouwing gelaten.

De norm voor geprefabriceerde betonnen roostervloeren (NEN 3873, 1989) beveelt een gemiddeld Lerouxgetal van tenminste 63 aan. Circa één op de drie varianten (35%) bleek aan deze aanbeveling te voldoen. Door meer in detail naar de herkomst van de varianten te kijken kan de invloed van de diverse typen afwerkingen en nabewerkingen worden beoordeeld.

Van het cluster ter plaatse gestort beton zijn zes varianten met een kubusdruksterkte van circa 56 N/mm² met de hand ingeschuurd (varianten 12, 14, 16 tot en met 19). De stroefheid bedraagt gemiddeld 55 (min. 45; max. 61). Bij de gevlinderde proefstukken blijkt de stroefheid gemiddeld 68 te bedragen (varianten 20, 22, 24; min. 63; max. 72); bij de gebezemde proefstukken gemiddeld 71 (varianten 25 tot en met 27; min. 68; max. 74). De vier varianten van het hoge sterkte beton-mengsel geven een stroefheid van circa 66 (varianten 13 (67) en 15 (64)) als het oppervlak niet wordt afgewerkt; vindt dit afwerken plaats door inschuren met de hand nadat het oppervlak is bevochtigd (varianten 21 en 23), dan daalt de gemiddelde stroefheid tot 57 (waarnemingen: 63, resp. 51). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat het handmatig afwerken van beton met deze sterkteklasse moeilijk is, omdat tijdens het verharden een 'vel' ontstaat, waaronder zich nog plastische specie bevindt. Het handmatig afwerken van dit vel is, vanwege de nog plastische onder-

grond, niet eenvoudig. Tevens treedt tijdens het inschuren al snel beschadiging van het oppervlak op.

Wat betreft het cluster 'geprefabriceerd beton' is de stroefheid van de ingeschuurde varianten (28 tot en met 35) gemiddeld genomen gelijk aan 63 (min. 51; max. 75). Bij de gevulderde, respectievelijk gebezemde varianten bedraagt deze 47 (varianten 36 tot en met 38; min. 32; max. 63) respectievelijk 68 (varianten 39 tot en met 41; min. 52; max. 77). Het betreft hier varianten waarvan de stortzijde is beproefd. Van varianten 42 tot en met 47 is de malzijde beproefd, hetgeen een gemiddelde stroefheid van 44 leverde. De beide varianten (40 en 41) met een uitgewassen oppervlak geven een gemiddelde stroefheid van 67.

Het cluster bestaande uit met coatings en dergelijke nabewerkte oppervlakken toont een breed scala aan stroefheden. Dit wordt veroorzaakt door de aard van de proefstukken, die varieert van uitvloeiende, zelf-nivellerende coatings tot ingestrooide coatings, epoxytroffellagen en dergelijke. Het is dan ook niet mogelijk omtrent de stroefheid van deze proefstukken harde conclusies te trekken. Ter indicatie kunnen echter de volgende waarden worden genoemd: De zelf-nivellerende coatings geven een zeer vlak, nagenoeg spiegelend oppervlak waarvan de stroefheid gelijk is aan circa 19 (varianten 9, 11 en 52). Vier varianten (6, 7, 10 en 55) met een epoxytroffellaag vertonen een gemiddelde stroefheid van circa 52 (min. 42; max. 64). Samenvattend levert dit voor de stroefheid:

- ter plaatse gestort beton;
 - handmatig ingeschuurd: 56;
 - gevulderd: 68;
 - gebezemd: 71.
- geprefabriceerd beton;
 - handmatig ingeschuurd: 63;
 - gevulderd: 47;
 - gebezemd: 68;
 - malzijde: 44.
- zelf-nivellerende coatings: 19;
- epoxytroffellaag: 52.

Slijtvastheid

De slijtvastheid van de varianten is vastgesteld door twee stalen 'slijtsloffen' (elk 100 mm lang en 50 mm breed) circa 20.000 maal over het oppervlak te bewegen. Hierbij drukken beide sloffen met een totale kracht van 800 N op het oppervlak. Na het uitvoeren van de experimenten zijn de gemiddelde ruwheidshoogte en slijtvastheid vastgesteld. In figuren 2.16 en 2.17 (paragraaf 2.6.6) zijn de waarnemingen gegeven. Daarbij is aangegeven met welk percentage ten opzichte van de uitgangssituatie (de situatie voor beproeven) een eigenschap is gewijzigd.

Verandering in gemiddelde ruwheidshoogte ten gevolge van slijtbelasting

De experimenten geven aan dat de gemiddelde ruwheidshoogte van nagenoeg alle proefstukken afneemt (zie figuur 2.16). Dit is een resultaat dat in overeenstemming is met de verwachtingen, omdat de stalen platen vooral de scherpe, uitstekende delen van een oppervlak zullen afslijten.

Bij enkele varianten, met name bij degenen binnen het cluster 'geprefabriceerd beton' waarvan de malzijde is beproefd (42 tot en met 47), blijkt sprake te zijn van een toename van de gemiddelde ruwheidshoogte. Hier moet echter worden opgemerkt

dat bij deze proefstukken veelal sprake is van een zodanig geringe gemiddelde ruwheidshoogte, dat deze al nagenoeg buiten het meetbereik van het meetinstrument valt. Tevens leidt een kleine waargenomen variatie bij deze geringe ruwheden al snel tot een grote procentuele verandering.

Verandering in stroefheid ten gevolge van slijtbelasting

De waarnemingen betreffende de stroefheid geven aan dat bij de betonnen varianten (12 tot en met 49) nagenoeg altijd sprake is van een afname van de stroefheid. Bij varianten behorend tot het cluster 'ter plaatse gestort beton' (12 tot en met 27) was de afname gelijk aan circa 20. Deze afname was geringer bij het cluster 'geprefabriceerd beton', waar de afname circa 10 (varianten 28 tot en met 41) was. Bij de varianten binnen dit cluster waarvan de malzijde is beproefd, blijkt een grilliger beeld te ontstaan, waarbij in enkele gevallen sprake blijkt te zijn van een duidelijke toename van de stroefheid.

Een vergelijkbaar beeld doet zich voor bij de resterende varianten (1 tot en met 11 en 50 tot en met 56), maar is daar mede te verklaren uit de grote verscheidenheid aan varianten.

Vloeistoflaagdikte

De hoeveelheid ureum die kan worden omgezet in ammoniak wordt bepaald door de hoeveelheid urine die op een vloeroppervlak aanwezig is. Daarom zijn experimenten uitgevoerd waarbij de dikte van een op een oppervlak achterblijvende laag water is vastgesteld. In totaal 54 van de 56 varianten zijn onderworpen aan deze experimenten. Twee varianten konden vanwege te grote maatafwijkingen niet in het meetframe worden geplaatst. Op basis van enerzijds praktische overwegingen en anderzijds de nagenoeg gelijke oppervlaktetenspanning en viscositeit, is gekozen voor experimenten met water in plaats van urine.

De dikte van de laag water die een urinelaag symboliseert, blijkt sterk afhankelijk van de helling waaronder het oppervlak wordt geplaatst. Zo blijkt voor de vier ingestelde hellingen (0, 1, 3 en 5%) de vloeistoflaagdikte voor de 54 varianten gemiddeld gelijk te zijn aan 0,58 mm; 0,24 mm; 0,15 mm en 0,12 mm (bijlage VII). Een vloerhelling van 3% lijkt in dit opzicht een optimum tussen vloeistoflaagdikte enerzijds en uitvoerbaarheid in de praktijk anderzijds.

Diverse varianten zijn nabewerkt met hydrofoberende en/of impregnerende produkten. Bij het cluster 'ter plaatse gestort beton' blijkt bij de met de hand geschuurde variant de vloeistoflaagdikte gelijk te zijn aan 0,14 mm bij een vloerhelling van 3%. Overeenkomstige varianten nabewerkt met één van de eerder genoemde produkten (14, 16 tot en met 19) geven een vloeistoflaagdikte van gemiddeld 0,16 mm (min. 0,12 mm; max. 0,24 mm). Hydrofoberen en/of impregneren heeft daarmee geen significante invloed op de hoeveelheid vloeistof die op het oppervlak achterblijft. Bij de gevulderde (20, 22, 24) en de gebezemde varianten (25 tot en met 27) is de vloeistoflaagdikte gemiddeld 0,11 mm. Bij het cluster 'geprefabriceerd beton' geeft de ingeschoorde, niet-nabewerkte variant (28) een vloeistoflaagdikte van 0,14 mm bij 3% vloerhelling. Het uitvoeren van nabewerkingen (varianten 30, 32 tot en met 35) leidt tot een gemiddelde vloeistoflaagdikte van 0,13 mm (min. 0,09 mm; max. 0,18 mm). Vliederen (varianten 36 tot en met 38) en bezemen (varianten 39 tot en met 41) leidt tot gemiddelde vloeistoflaagdikten van respectievelijk 0,12 mm en 0,16 mm. Het beproeven van de malzijde leidt tot een vloeistoflaagdikte van gemiddeld 0,11 mm (varianten 42 tot en met 47). Alle genoemde

waarden zijn waargenomen bij een helling van 3%.

De drie beproefde varianten voorzien van een epoxytroffellaag (6, 7 en 10) toonden een vloeistoflaagdikte van gemiddeld 0,09 mm bij 3% helling (min. 0,06 mm; max. 0,11 mm). Drie varianten voorzien van een zelf-nivellerende coating (9, 11, 52) geven een aanzienlijk hogere waarde, namelijk 0,30 mm. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de invloed die dit materiaal heeft op de oppervlaktespanning van de vloeistof.

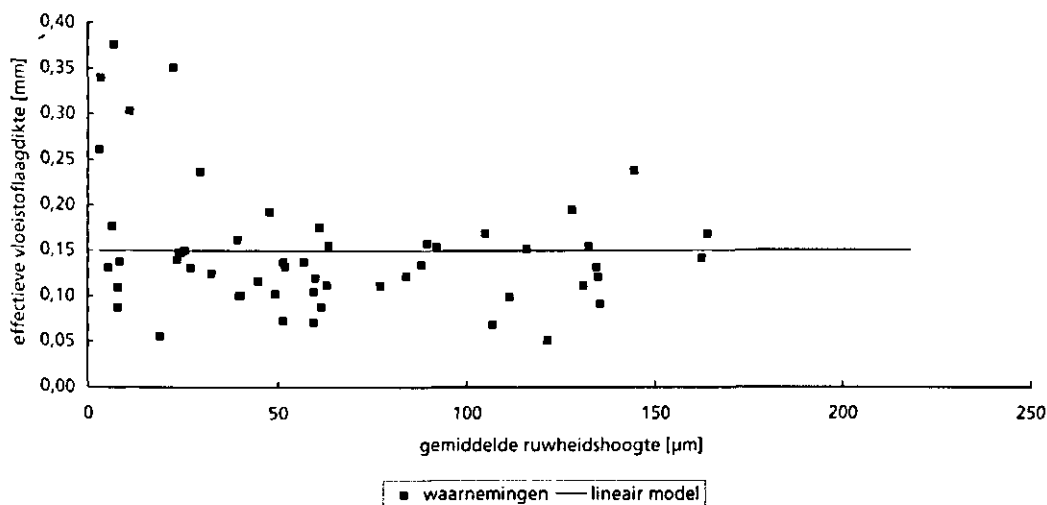
Samenvattend levert dit voor de vloeistoflaagdikte bij een helling van 3% van het oppervlak:

- ter plaatse gestort beton;
 - handmatig ingeschuurd: 0,16 mm;
 - gevlinderd: 0,11 mm;
 - gebezemd: 0,11 mm.
- geprefabriceerd beton;
 - handmatig ingeschuurd: 0,13 mm;
 - gevlinderd: 0,12 mm;
 - gebezemd: 0,16 mm;
 - malzijde: 0,11 mm.
- zelf-nivellerende coatings: 0,30 mm;
- epoxytroffellaag: 0,09 mm.

Het ligt voor de hand bij het zoeken van een relatie tussen de vloeistoflaagdikte en een eigenschap van het vloeroppervlak de aandacht te concentreren op de gemiddelde ruwheidshoogte. Immers, de gemiddelde ruwheidshoogte is een maat voor het optreden van 'bergen' en 'dalen' in het vloeroppervlak. Deze kleinschalige 'oneffenheden' maken het mede mogelijk dat vloeistof op het oppervlak achterblijft. Uit figuur 2.23 blijkt echter dat geen sprake is van een hoge correlatie tussen de vloeistoflaagdikte bij 3% helling en de gemiddelde ruwheidshoogte. Dit wordt mogelijk verklaard door de relatief geringe gemiddelde ruwheidshoogte van de varianten, waardoor het water zich niet zozeer 'tussen' de oneffenheden in het oppervlak bevindt, maar zich meer vanwege de oppervlaktespanning van de vloeistof 'op' het oppervlak bevindt.

Vanuit het oogpunt van vloeistoflaagdikte is dus niet duidelijk te concluderen dat een bepaalde nabewerking de voorkeur verdient. Wel wordt gewezen op de relatief geringe dikte bij de epoxytroffellagen. Hierbij moet dan wel worden opgemerkt dat in de praktijk een stalvloer in meer of mindere mate bevuild zal zijn door faeces. Op de beproefde schone, niet door dieren belopen oppervlakken blijkt sprake te zijn van relatief geringe vloeistoflaagdikten, die in beperkte mate wordt beïnvloed door het type materiaal.

Zodra een oppervlak wordt bevuild met faeces zal de invloed van de eigenschappen van het vloeroppervlak steeds geringer worden en zal het absorberend vermogen van de aan het oppervlak hechtende laag mest steeds meer bepalend worden voor de vloeistoflaagdikte. Vanuit dit oogpunt is een goede reinigende werking van een mestschuif gunstig voor het beperken van de 'vloeistoflaagdikte' die in de praktijk op een oppervlak achterblijft.



Figuur 2.23 Verband tussen vloeistoflaagdikte bij een helling van 3% en de gemiddelde ruwheidshoogte.

Figure 2.23 Relationship between thickness of liquid layer on the surface at a 3% slope and the surface roughness.

Gemiddelde ruwheidshoogte en stroefheid

Bij de statistische analyse (paragraaf 2.7.6) bleek dat de gemiddelde ruwheidshoogte van een oppervlak de stroefheid slechts in beperkte mate verklaart. Dit lijkt een verrassend resultaat, maar op basis van inzichten in de meetmethoden kan hiervoor mogelijk toch een verklaring worden gevonden. Bij het vaststellen van de gemiddelde ruwheidshoogte wordt namelijk het gehele betonoppervlak afgetast, waardoor zowel 'bergen' als 'dalen' in het profiel worden meegenomen. Bij het vaststellen van de stroefheid komt bij het slingeren het rubber blok voornamelijk in contact met de uitstekende delen van het oppervlak. Daarbij speelt ook de grootte van het contactoppervlak tussen het rubber blok op de slinger en de beproefde variant een grote rol. Het is aldus mogelijk dat een zeer ruw oppervlak met relatief weinig contactpunten een geringere stroefheid geeft dan een zeer glad oppervlak dat nagenoeg geheel in contact komt met het rubber blok. De experimenteel gevonden waarnemingen wijzen uit dat deze extreme situatie niet optreedt, omdat wel sprake is van de tendens dat de stroefheid toeneemt als de gemiddelde ruwheidshoogte toeneemt. Dit neemt echter niet weg dat het voorspellen van een stroefheid uit een bekende gemiddelde ruwheidshoogte een relatief onbetrouwbaar resultaat geeft.

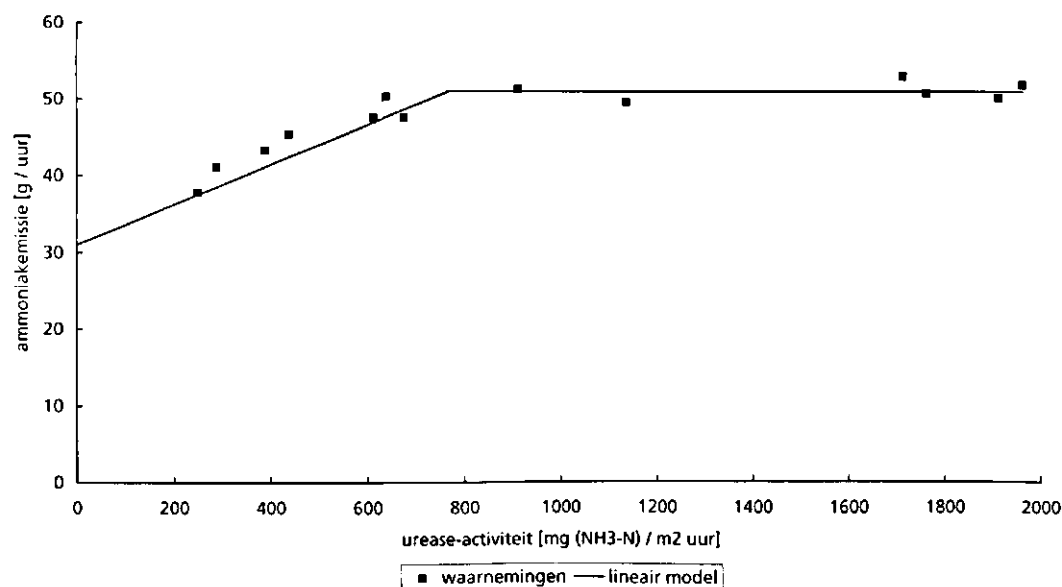
Gemiddelde ruwheidshoogte en urease-activiteit

Door statistische analyse is vastgesteld dat met behulp van de gemiddelde ruwheidshoogte de urease-activiteit kan worden verklaard. De variantie blijkt bij enkele niet-lineaire relaties met circa 70% af te nemen. Bij het bespreken van de gemiddelde ruwheidshoogte van de varianten is de orde van grootte van de gemiddelde ruwheidshoogte voor diverse typen afwerkingen en nabewerkingen aangegeven. Bij toenemende gemiddelde ruwheidshoogte blijkt de urease-activiteit toe te nemen. Bij het bespreken van het ontstaan van urease-activiteit is gewezen op de steenachtige neerslag waarin deze hecht. Conform het bevuilingsprotocol zijn de varianten gedurende 15 dagen bevuild met faeces en urine. Vergeleken met gangbare stalperioden (globaal november tot en met

april) is dit relatief kort. Als geen maatregelen worden genomen om de urease-actieve laag tussentijds te verwijderen, wordt verwacht dat zelfs zeer gladde oppervlakken urease-actief worden. Dit duidt op een urease-activiteit die, naarmate de bevuilingsperiode langer duurt, minder afhankelijk wordt van de gemiddelde ruwheidshoogte.

Urease-activiteit, ammoniakemissie en stroefheid

In figuur 2.24 is ter indicatie een experimenteel vastgestelde relatie tussen ammoniakemissie en urease-activiteit in een praktijksituatie op stalniveau gegeven (Ketelaars *et al.*, 1995). In het stijgende gedeelte van deze figuur is de urease-activiteit beperkend voor de ammoniakemissie. In het horizontale deel heeft een toename van de urease-activiteit geen toename van de ammoniakemissie meer tot gevolg. Hier is niet de urease-activiteit, maar de beschikbare hoeveelheid ureum de factor die de ammoniakemissie beperkt. Om ammoniakemissie via reductie van urease-activiteit te reduceren moet de urease-activiteit volgens figuur 2.24 lager zijn dan circa 750 mg (NH₃-N) / m² uur. Uiteraard zal deze grens per staluitvoering variëren en afhankelijk zijn van factoren als ventilatie, staltemperatuur, rantsoen en dergelijke. De orde van grootte van de grenswaarde van de urease-activiteit lijkt echter zeer realistisch, omdat een theoretisch model dat de ammoniakemissie van een urineplas beschrijft een nagenoeg gelijkblijvende ammoniakemissie geeft bij urease-activiteiten boven circa 1000 mg (NH₃-N) / m² uur (Monteny *et al.*, 1996).

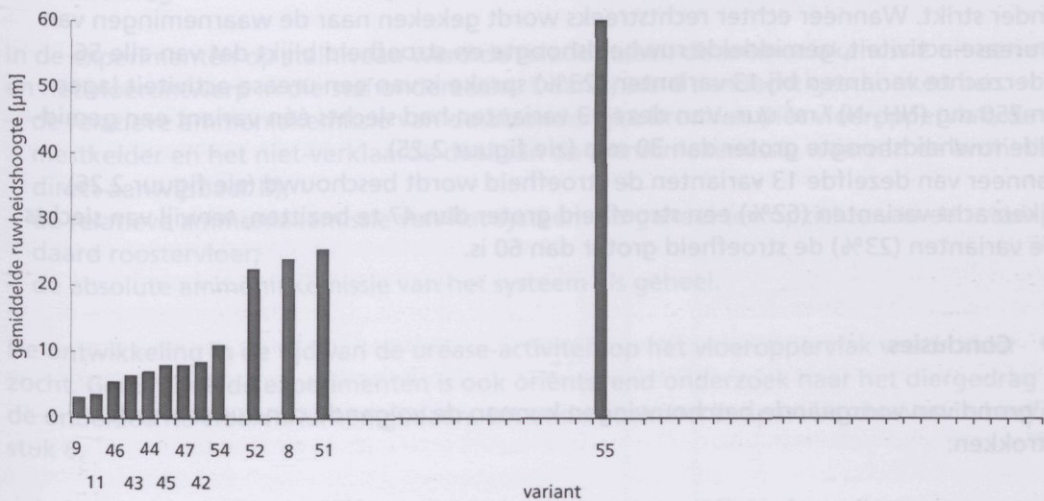


Figuur 2.24 Experimenteel vastgesteld verband tussen de urease-activiteit en de totale ammoniakemissie bij een ligboxenstal (Ketelaars *et al.*, 1995).

Figure 2.24 Experimentally observed relationship between urease activity and ammonia emission from a cubicle house (Ketelaars *et al.*, 1995).

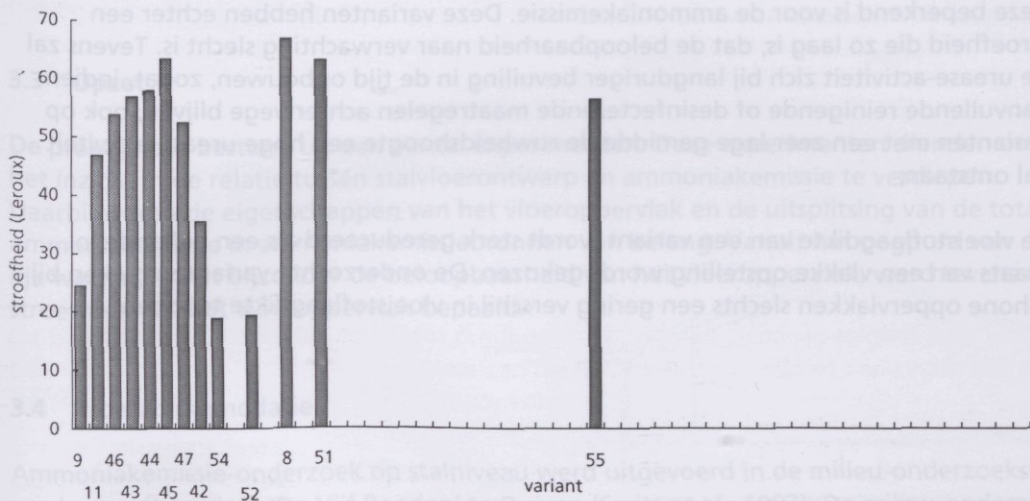
Op basis van relatie 2.4 blijkt een urease-activiteit lager dan circa 750 mg (NH₃-N) / m² uur overeen te komen met een gemiddelde ruwheidshoogte kleiner dan circa 30 µm. Het merendeel van de proefstukken voldoet niet aan deze grens voor de gemiddelde ruwheidshoogte. Als de eerder uitgesproken verwachting dat langduriger bevuiling tot

hogere urease-activiteit leidt correct is, zal deze grenswaarde voor de gemiddelde ruwheidshoogte nog lager liggen. Bij deze lage gemiddelde ruwheidshoogte kan de beloopbaarheid een probleem vormen, omdat het Lerouxgetal dan veelal ruim onder de streefwaarde van 63 ligt, zie ook figuur 2.25 in combinatie met figuur 2.26.



Figuur 2.25 Gemiddelde ruwheidshoogte van varianten met een urease-activiteit kleiner dan 750 mg (NH₃-N) / m² uur.

Figure 2.25 Surface roughness of variants with urease activity less than 750 mg (NH₃-N) / m² h.



Figuur 2.26 Stroefheid van varianten met een urease-activiteit kleiner dan 750 mg (NH₃-N) / m² uur.

Figure 2.26 Skid resistance of variants with urease activity less than 750 mg (NH₃-N) / m² h.

Hieruit blijkt dat de voor een beloopbaar oppervlak noodzakelijke gemiddelde ruwheidshoogte niet samengaat met de voor een lage ammoniakemissie vereiste gemiddelde ruwheidshoogte.

Het verklarend vermogen van modellen die stroefheid verklaren uit de gemiddelde ruwheidshoogte is gering, zie paragraaf 2.7.6. Hierdoor lijken bovenstaande grenzen minder strikt. Wanneer echter rechtstreeks wordt gekeken naar de waarnemingen van de urease-activiteit, gemiddelde ruwheidshoogte en stroefheid blijkt dat van alle 56 onderzochte varianten bij 13 varianten (23%) sprake is van een urease-activiteit lager dan $750 \text{ mg (NH}_3\text{-N) / m}^2 \text{ uur}$. Van deze 13 varianten had slechts één variant een gemiddelde ruwheidshoogte groter dan 30 mm (zie figuur 2.25).

Wanneer van dezelfde 13 varianten de stroefheid wordt beschouwd (zie figuur 2.26), blijken acht varianten (62%) een stroefheid groter dan 47 te bezitten, terwijl van slechts drie varianten (23%) de stroefheid groter dan 60 is.

2.9 Conclusies

Op grond van voorgaande beschouwingen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- op nagenoeg alle onderzochte varianten heeft zich in zodanige mate urease-activiteit ontwikkeld, dat deze niet beperkend zal zijn voor ammoniakemissie vanaf het vloeroppervlak;
- alleen op varianten met een zeer lage gemiddelde ruwheidshoogte ontwikkelt zich gedurende een 15-daags bevuilingsprotocol een zodanig geringe urease-activiteit, dat deze beperkend is voor de ammoniakemissie. Deze varianten hebben echter een stroefheid die zo laag is, dat de beloopbaarheid naar verwachting slecht is. Tevens zal de urease-activiteit zich bij langduriger bevuiling in de tijd opbouwen, zodat, indien aanvullende reinigende of desinfecterende maatregelen achterwege blijven, ook op varianten met een zeer lage gemiddelde ruwheidshoogte een hoge urease-activiteit zal ontstaan;
- de vloeistoflaagdikte van een variant wordt sterk gereduceerd als een hellende in plaats van een vlakke opstelling wordt gekozen. De onderzochte varianten bleken bij schone oppervlakken slechts een gering verschil in vloeistoflaagdikte te tonen.

3 Experimenten op stalniveau

3.1 Inleiding

In de experimenten op stalniveau werd de relatie tussen de ammoniakemissie uit een stal en het vloerontwerp in die stal onderzocht. Daarbij werd aandacht geschonken aan:

- de relatieve ammoniakemissie van de afzonderlijke bronnen (het vloeroppervlak, de mestkelder en het niet-verklaarde deel van de ammoniakemissie waarvan de bron niet direct aanwijsbaar is);
- de relatieve ammoniakemissie van het systeem als geheel ten opzichte van een standaard roostervloer;
- de absolute ammoniakemissie van het systeem als geheel.

De ontwikkeling in de tijd van de urease-activiteit op het vloeroppervlak werd onderzocht. Gedurende de experimenten is ook oriënterend onderzoek naar het diergedrag op de onderzochte vloervarianten gedaan. Dit onderzoek wordt apart beschreven in hoofdstuk 6.

3.2 Doel

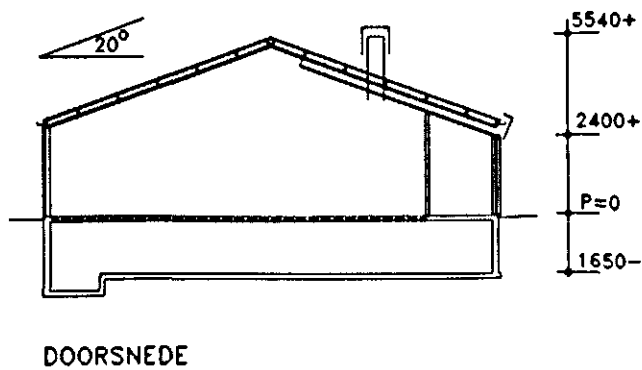
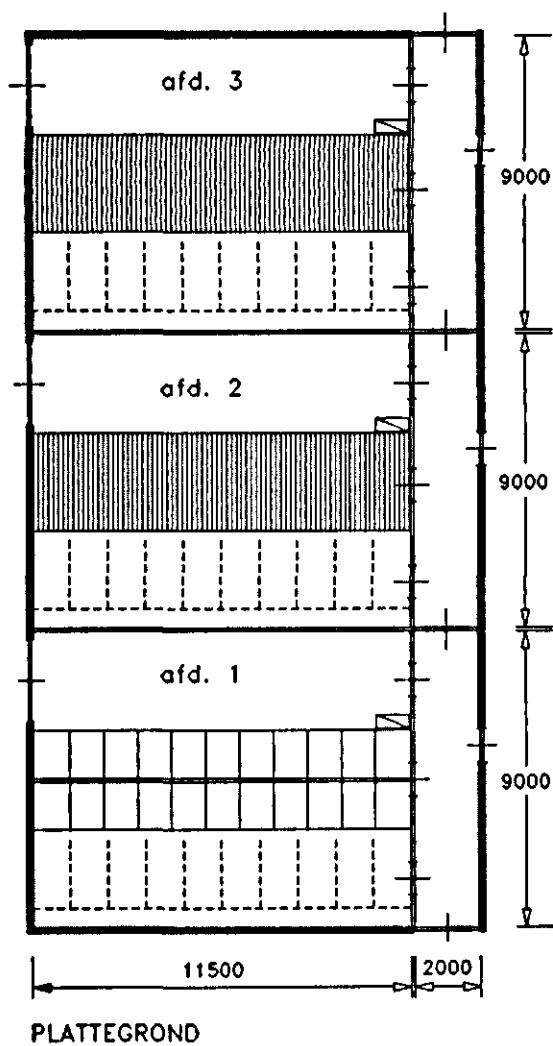
Het doel van de experimenten op stalniveau was het onder praktijkomstandigheden onderzoeken van de relatie tussen stalvloerontwerp enerzijds en urease-activiteit en ammoniakemissie anderzijds.

3.3 Opzet

De praktijkfase bestond uit een aantal experimenten. Deze experimenten dienden om het inzicht in de relatie tussen stalvloerontwerp en ammoniakemissie te verdiepen. Daarbij waren de eigenschappen van het vloeroppervlak en de uitsplitsing van de totale ammoniakemissie in ammoniakemissiebronnen van belang. Vanuit het oogpunt van dierlijk welzijn, in het bijzonder de beloopbaarheid van het vloeroppervlak, werd tevens de stroefheid van het vloeroppervlak bepaald.

3.4 Proefaccommodatie

Ammoniakemissie-onderzoek op stalniveau werd uitgevoerd in de milieu-onderzoekstal op de proefboerderij 'De Vijf Roeden' te Duiven (Smits *et al.*, 1993). De milieu-onderzoekstal is opgebouwd uit drie identieke afdelingen waarvan de mechanische ventilatiesystemen strikt zijn gescheiden. In figuur 3.1 zijn de plattegrond en de doorsnede van de stal gegeven. Iedere afdeling heeft een mestkelder met een diepte van 1,65 meter onder het loopgedeelte en het voerpad.



Figuur 3.1 Plattegrond en doorsnede van de milieu-onderzoekstal met drie afdelingen voor elk 10 koeien van proefboerderij 'De Vijf Roeden' te Duiven (dimensies [mm]).

Figure 3.1 Layout and cross-section of environmental research cow shed with three compartments for 10 cows each at 'De Vijf Roeden' experimental farm at Duiven (dimensions [mm]).

Tijdens de experimenten waren per afdeling 10 niet-lacterende koeien gehuisvest. Bij de aanvang van proefperioden werden de dieren zo verdeeld, dat het gezamenlijk gewicht per afdeling zo goed mogelijk gelijk was. Het vloeroppervlak per dier bedroeg 3,45 m² en het stalvolume boven vloerniveau 46,2 m³ per dier. Het rantsoen bestond uit een mengsel van grassilage, perspulp en krachtvoer en werd tweemaal daags (rond 8.30 uur en rond 16.30 uur) verstrekt. Gedurende een proefperiode kregen alle dieren een constant rantsoen. Van het voer werden eenmaal per week twee monsters genomen ter bepaling van de gehalten aan ds, N-tot en K (drogestof, totaal-stikstof en kalium). Het onderzoek dat hier wordt beschreven is in afdeling één uitgevoerd. Deze afdeling wordt in het vervolg als 'de experimentele afdeling' aangeduid. In afdeling twee zijn in het kader van ander onderzoek onder andere mestbehandelingssystemen (spoelen, aanzuren) en huisvestingssystemen (voerligboxen en grupstal) onderzocht. Afdeling drie is steeds als referentie afdeling gebruikt. Deze afdeling was ingericht als ligboxenstal met in de looppaden een standaard roostervloer. Deze afdeling wordt in het vervolg als 'referentie afdeling' aangeduid.

In de milieu-onderzoekstal is een meetsysteem gebouwd waarmee van iedere afdeling een indruk van de ammoniakemissie kan worden verkregen. Het principe van dit systeem komt neer op het mechanisch forceren van een luchtstroming door de afdeling. Van de ingaande luchtstroom werd de ammoniakconcentratie bepaald. Van de uitgaande luchtstroom werden het debiet en de ammoniakconcentratie bepaald. Het produkt van het gemeten debiet en het verschil tussen de ammoniakconcentratie in de uitgaande en ingaande lucht geeft de hoeveelheid ammoniak die per tijdseenheid in de afdeling is vrijgekomen.

Debietbepaling

De bepaling van het debiet vond plaats met een meetventilator die in de uitgaande luchtstroom was geplaatst.

Ammoniakconcentratiebepaling

De ammoniakconcentratiebepaling geschiedde indirect door middel van NO_x analyse op basis van lichtbepaling. Hiervoor werd de in de bemonsterde lucht aanwezige ammoniak eerst omgezet in NO_x. Deze katalytische omzetting vond in een converter bij hoge temperatuur (775 °C) plaats volgens de reactie:



De bemonsterde lucht met de daarin omgezette ammoniak werd vervolgens naar een NO_x monitor geleid. In de reactiekamer van de NO_x monitor werd het verkregen NO door toevoeging van O₃ omgezet in NO₂ en O₂ volgens:



De NO₂^{*} die daarbij ontstond was geïoniseerd. Bij terugval naar de energetisch neutrale toestand werden fotonen uitgestoten volgens:



De uitgestoten fotonen werden met een lichtgevoelige cel gemeten. Door de druk en

temperatuur in de reactiekamer constant te houden, was de fotonenstroom evenredig met de NO_2 produktie en, via de aanwezige NO concentratie, met de hoeveelheid aanwezige ammoniak (Ouwerkerk (red), 1993).

Naast de NO_x monitor bestond het meetsysteem uit een meetpuntomschakelaar en een computer. De meetpuntomschakelaar bevond zich tussen de NO_x monitor en de monsterpunten. De meetpuntomschakelaar bestond uit een aantal kleppen die werden aangestuurd door een meetprogramma op de computer. Via de kleppen werd bewerkstelligd dat lucht van een bepaald aanzuigpunt door de reactiekamer van de monitor werd geleid. De lucht van de overige aanzuigpunten werd via een bypasspomp afgevoerd. Door deze bypasspomp was het mogelijk continu lucht van de monsternamelpunten aan te zuigen. Hierdoor stond de lucht in de monsternameleidingen niet stil en werd 'verse' lucht door de reactiekamer van de NO_x monitor geleid.

De aansturing van de meetpuntomschakelaar vond plaats via een computer. Hiervoor was een meetprogramma geïnstalleerd. De NH_3 concentratie van de ingaande lucht werd iedere minuut gemeten. De gebruikte NO_x monitor beschikte namelijk over twee reactiekamers. Eén reactiekamer werd gebruikt voor de NH_3 concentratiebepaling van de uitgaande lucht; de andere reactiekamer werd gebruikt voor de NH_3 concentratiebepaling van de ingaande lucht. De NH_3 concentratie van de ingaande lucht werd voor alle afdelingen centraal gemeten.

Van verzamelde waarden werd ieder uur het gemiddelde berekend. Deze uurgemiddelden werden in een bestand in de computer opgeslagen.

3.5 Voorgaand uitgevoerd onderzoek

3.5.1 Inleiding

In het verleden zijn reeds een aantal vloersystemen in de milieu-onderzoekstal onderzocht (Swierstra *et al.*, 1994a, 1994b en 1994c). Dit vond plaats als onderdeel van een project dat beoogde praktische stalsystemen op stalniveau te toetsen. Om snel inzicht te krijgen in perspectievolle oplossingsrichtingen zijn eerst de ammoniakemissies van een aantal duidelijk verschillende stalsystemen met elkaar vergeleken. Vervolgens zijn bij vloersystemen die een substantieel lagere ammoniakemissie opleverden dan de referentie afdeling aspecten onderzocht, die tot een nog lagere ammoniakemissie zouden kunnen leiden of andere voordelen hadden, zoals een lagere prijs of een mogelijk betere beloopbaarheid.

Aanvankelijk is geen fundamenteel onderzoek verricht naar de (deel)processen die bij ammoniakemissie een rol spelen. Wel leverden de resultaten van dit vergelijkende onderzoek en de waarnemingen en indrukken die daarbij zijn verkregen, aanwijzingen voor de gevoeligheid van de ammoniakemissie voor variaties in parameters die het ammoniakemissieproces beïnvloeden, zoals de staltemperatuur, de ventilatie en de rantsoenafhankelijke mest- en urinesamenstelling.

3.5.2 Doel

Het doel van het onderzoek was het kwantificeren van het verschil in ammoniakemissie tussen een tweezijdig hellende, dichte vloer met een centrale giergoot en een referentie

roostervloer en het kwantificeren van het effect van enkele wijzen van nabewerken van de dichte vloer. Tevens is onderzocht of de nabewerkingen de beloopbaarheid en de slijt-
vastheid van de vloer verbeterden.

3.5.3 Opzet

De ammoniakemissie van een aantal varianten van een tweezijdig hellende dichte vloer met centrale giergoot en de ammoniakemissie van een referentie roostervloer zijn gemeten. Daarnaast is de stroefheid van elke variant voor en na ieder experiment bepaald om een indruk van de beloopbaarheid en slijtvastheid van de vloer te krijgen. Met behulp van een mestschuif zijn elk uur de faeces die zich op de vloer bevonden naar de uiteinden van de afdeling geschoven. Op de staluiteinden is de mest afgestort in de mestkelder die zich onder de vloer en de voergang bevond.

3.5.4 Varianten

De onderzochte varianten bestonden uit geprefabriceerde betonnen basiselementen waarop verschillende nabewerkingen zijn uitgevoerd. De basiselementen hadden een tweezijdige helling van 3% naar het midden. In het midden waren de elementen voorzien van een verzamelgoot, die verder wordt aangeduid met de term 'giergoot'. De belangrijkste eigenschappen van onderzochte varianten zijn gegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Belangrijkste eigenschappen van vloervarianten.

Table 3.1 Main properties of floor variants.

variant	basis	afwerken	nabewerking
0	rooster	spanen	geen
1	dicht	gritstralen	geen
2	dicht	spanen	epoxytroffel A (6 mm)
3	dicht	spanen	epoxytroffel B (2-3 mm)
4	dicht	spanen	gietasfalt (25mm)

De elementen zijn in een mal vervaardigd. Het loopvlak van de elementen was de malzijde. Dit oppervlak was verder onbehandeld. Om de elementen beloopbaar te maken voor de dieren en om als hechtingondergrond voor de later aan te brengen nabewerkingslagen te dienen, waren de elementen gegritstraald.

3.5.5 Bepalingen

Ammoniakemissie

De ammoniakemissie werd met het in paragraaf 3.4 beschreven meetsysteem continu gemeten. De data van deze continue metingen werden omgerekend naar uurgemiddelden. Deze uurgemiddelden werden omgerekend naar daggemiddelden. Op basis van deze daggemiddelden heeft analyse plaatsgevonden.

Stroefheid

De stroefheid werd volgens de in paragraaf 2.5.4 beschreven meetmethode en meetprotocol bepaald. Deze bepaling heeft bij alle varianten voor ingebruikname en aan het eind van iedere proefperiode plaatsgevonden.

3.5.6 Waarnemingen

In tabel 3.2 zijn de verschillen in ammoniakemissie tussen de onderzochte varianten en de referentie afdeling gegeven. De onder- en bovengrenzen van de bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsintervallen zijn eveneens vermeld. De uitkomsten van de stroefheid bepaling voor ingebruikname ($t=0$) en na circa 6 maanden ($t = 180$) zijn ook in tabel 3.2 gegeven. De vermelde gegevens zijn ontleend aan Swierstra *et al.* (1994a, 1994b en 1994c).

Tabel 3.2 Verschil (Δ) in ammoniakemissie van varianten uitgedrukt als percentage van de ammoniakemissie van de referentie afdeling en het bijbehorende 95% betrouwbaarheidsinterval (btbh-i); het aantal meetdagen (n) waarop het betrouwbaarheidsinterval is gebaseerd en de stroefheid voor ingebruikname (Leroux $t = 0$) en een half jaar na ingebruikname (Leroux $t = 180$).

Table 3.2 Difference (Δ) in ammonia emission of variants as a percentage of the ammonia emission of the reference compartment and the corresponding 95% confidence interval (btbh-i), the number of days (n) on which the confidence interval is based, and the skid resistance before the experiment (Leroux $t = 0$) and 6 months after starting the experiment (Leroux $t = 180$).

variant	Leroux ($t = 0$) [%]	Leroux ($t = 180$) [%]	ΔNH_3 [%]	btbh-i [%]	n [-]
0	56	49	0	–	–
1	71	37	–48	(–43, –53)	8
2	60	52	–52	(–46, –57)	88
3	51	–	–49	(–32, –61)	14
4	76	63	–50	(–48, –52)	82

De dieren gleden veel uit op variant 1. Hierdoor is het experiment met variant 1 vroegtijdig beëindigd. Als gevolg hiervan is het bijbehorende 95%-betrouwbaarheidsinterval onderschat. Als in de statistische analyse rekening was gehouden met de zeer korte meetperiode zou het betrouwbaarheidsinterval waarschijnlijk minstens zo groot zijn geweest als bij het 14 dagen durende experiment.

3.5.7 Analyse

Uit tabel 3.2 blijkt dat alle onderzochte varianten ten opzichte van de referentie rooster-vloer een reductie van ammoniakemissie van circa 50% realiseerden. De reductie van ammoniakemissie van varianten bleek onderling niet significant te verschillen. Dit houdt in dat de onderzochte wijzen van nabewerken geen significante invloed op de ammoniakemissie hebben gehad.

Bij de varianten die van een nabewerklaag waren voorzien, was de afname van de stroefheid in het eerste halve jaar beperkt. Epoxytroffel A was afkomstig van een andere leverancier dan epoxytroffel B. De stroefheid van de vloer met epoxytroffel B (laag-

dikte 2-3 mm) is niet na een half jaar gemeten. Deze vloer is slechts gedurende een korte periode onderzocht. De stroefheid van de gegritstraalde, dichte vloer, die niet van een nabewerklaag was voorzien, bleek sterk af te nemen. Het experiment met deze vloer is vroegtijdig beëindigd: de dieren gleden te veel uit op de vloer (Smits & Swierstra, 1993). Op deze vloer is aansluitend een experiment uitgevoerd waarbij regelmatig is gespoeld. De vermelde stroefheid na 180 dagen is vastgesteld bij dit vervollexperiment.

3.5.8 Conclusies

Alle onderzochte varianten hadden ten opzichte van de referentie roostervloer een reductie van ammoniakemissie van circa 50%. De ammoniakemissie van de onderzochte varianten bleek niet significant te verschillen. Dit betekent dat de onderzochte nabewerkingen de ammoniakemissie niet significant hebben beïnvloed. Dit komt overeen met wat in de laboratoriumfase ten aanzien van de urease-activiteit en de vloeistoflaagdikte op een aanzienlijk groter aantal vloeroppervlakvarianten is gevonden (zie hoofdstuk 2).

3.6 Experiment 1: De invloed van vloerhelling en schuiffrequentie

3.6.1 Inleiding

Bij een vloer opgebouwd uit betonroosters bedraagt de ammoniakemissie vanuit de kelder circa 40% van de totale ammoniakemissie; de resterende 60% van de ammoniakemissie is afkomstig vanaf het loopoppervlak van de roosters en de zijanten van de roosterbalken. Door de kelder met een dichte betonvloer af te sluiten wordt de luchtstroming boven de mest in de kelder sterk gereduceerd, waardoor zich een evenwicht instelt tussen de ammoniakconcentraties in de lucht en de mest. Hierdoor wordt vervluchtiging van ammoniak uit de mest in de kelder teruggedrongen.

Afgezien van dit aspect komt bij het vergelijken van dichte vloeren en roostervloeren nog een ander verschil naar voren, namelijk de wijze van mestverwijdering. Bij een roostervloer trappen de dieren de mest door de roosterspleten, waarna het in de mestkelder wordt opgevangen. Bij een dichte vloer blijft de mest op de vloer liggen, waarna het met een mestschuif wordt verzameld en in de mestkelder verdwijnt via afstorten die aan de uiteinden van de vloer zijn aangebracht. Door frequent schuiven is het wellicht mogelijk dat de op het vloeroppervlak beschikbare hoeveelheid ureum wordt gereduceerd. Daarnaast is het wellicht mogelijk ook op een andere wijze het ureum aanbod te reduceren, namelijk door de stalvloer hellend uit te voeren. Aldus wordt vooral urine afgevoerd. Meestal wordt daartoe een giergoot in de vloer aangebracht. Via een 'klepel' aan de schuif wordt voorkomen dat de giergoot verstopt raakt met mest.

Zowel in beschreven voorgaand uitgevoerd praktijkonderzoek (paragraaf 3.5) als in de experimentele fase (hoofdstuk 2) is geen invloed van de eigenschappen van het vloeroppervlak op de ammoniakemissie gevonden.

De hiervoor geschetste inzichten hebben geleid tot het uitvoeren van onderzoek aan een niet-nabewerkte dichte betonnen vloer waarbij de invloed van helling en schuiffrequentie werden onderzocht. Verder is in de experimentele fase gebleken dat het in onderzoek naar ammoniakemissie-arme vloersystemen van belang is aandacht te besteden aan de relatie tussen urease-activiteit en ammoniakemissie. Dit heeft geleid tot een proefopzet

waarbij aan het begin van elke proefperiode de urease-activiteit op het vloeroppervlak tot nagenoeg nul werd gereduceerd. Hiertoe werd het vloeroppervlak gereinigd met water onder hoge druk en gedesinfecteerd met verdund zoutzuur. Gedurende elke proefperiode werd vervolgens de opbouw van urease-activiteit gemeten en gerelateerd aan de ammoniakemissie uit de stal. Op deze manier werd een antwoord gezocht op de volgende vragen:

- hoe snel verloopt de opbouw van urease-activiteit afhankelijk van de gekozen variant (hellingspercentage en schuiffrequentie);
- hoe verschilt de relatie tussen urease-activiteit en totale ammoniakemissie tussen vloer-varianten.

Vloeroppervlakdesinfectie

Aan het begin van elke proefperiode is het vloeroppervlak op de volgende wijze gedesinfecteerd. Het vloeroppervlak werd per helft schoongespoten met water onder hoge druk. Vervolgens werd per helft 25 l van 2 N zoutzuur uitgegoten met behulp van een gieter. Daarna werd een half uur gewacht en vervolgens werd het vloeroppervlak nogmaals schoongespoten met water onder hoge druk. Meteen daarna vond de eerste meting van de urease-activiteit plaats om te controleren of de desinfectie voldoende effectief was geweest.

3.6.2 Doel

Doel van het experiment was om de reductie van ammoniakemissie ten opzichte van een referentie roostervloer vast te stellen van een stal met een vlakke dichte vloer (helling 0%) en een vlakke eenzijdig hellende (helling 3%) dichte vloer; beiden bij een lage en een hoge schuiffrequentie. Naast een gelijktijdige vergelijking van de ammoniakemissie met de referentie roostervloer werden de opeenvolgende varianten in de experimentele afdeling in de tijd onderling vergeleken. Tevens werd onderzocht of de snelheid van opbouw van de urease-activiteit van de waterpas en de onder een helling van 3% liggende dichte vloer van elkaar verschilden en of de schuiffrequentie hierop invloed had. Tenslotte werd onderzocht in hoeverre er een relatie was tussen de urease-activiteit van de verschillende varianten en de totale ammoniakemissie.

3.6.3 Varianten

In het onderzoek zijn twee principes van vloeruitvoering vergeleken:

- vloer zonder helling met afvoer van mest en urine via een mestschuif naar de staluiteinden;
- eenzijdig hellende vloer met helling van 3% (1:33), aflopend vanaf het voerhek naar de zijde met de ligboxen, voorzien van een giergoot en afvoer van (urine en) faeces via een mestschuif naar de staluiteinden.

Bij beide principes van vloeruitvoering zijn een lage (12 x per etmaal) en een hoge (96 x per etmaal) schuiffrequentie onderzocht.

Op basis van het combineren van de helling en de schuiffrequentie ontstonden de varianten die zijn weergegeven in tabel 3.3.

Tabel 3.3 Belangrijkste eigenschappen van varianten.

Table 3.3 Main properties of variants.

variant	helling [%]	schuifrequentie [/ etmaal]
1	0	12
2	0	96
3	3	12
4	3	96

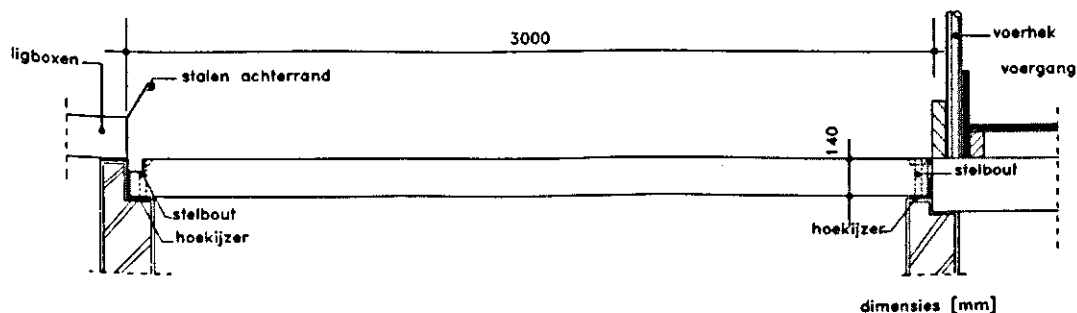
De vloer was opgebouwd uit geprefabriceerde betonnen vloerelementen met afmetingen van 2,97 m * 1,0 m * 0,14 m. Het betonmengsel was als volgt samengesteld:

- zand	38%
- grind 2-8 mm	31%
- grind 8-16 mm	31%
- portlandcement CEM I 42,5 R	345 kg / m ³
- superplastificeerder Betomix	1,5%
- totale hoeveelheid fijn materiaal (< 250 µm)	134 l

De elementen waren verdicht op een triltafel. Na het opstijven van het beton waren ze afgewerkt met een houten schuurbord. Het vloeroppervlak was ingeschuurd met een zand-cement mengsel (één deel cement en drie delen zand). De platen waren na 24 uur ontkist en in de buitenlucht opgeslagen. De gemiddelde druksterkte na 28 dagen bedroeg 65,0 N/mm². Nabewerken heeft niet plaatsgevonden.

De oplegzijden van de elementen waren 50 mm vanaf de rand voorzien van drie stelbouts (zie figuur 3.2). Met deze bouten konden de elementen nauwkeurig op hoogte worden gesteld.

In verband met de dichtheid van de vloer waren de onderlinge aansluitvoegen tussen de elementen met een waterafdunbare acrylaatkit gevoegd. Aan één oplegzijde was in de elementen een sparing van 50 * 50 mm² aangebracht, waarin een stalen U-profiel voor de gierafvoer werd geplaatst (de 'giergoot'). Aan de achterrand van de boxen was een stalen profiel aangebracht om te voorkomen dat de koeien vanuit de boxen in de giergoot konden mesten.



Figuur 3.2 Dwarsdoorsnede van in de hoogte verstelbare dichte betonvloer.

Figure 3.2 Cross-section of the solid concrete floor the vertical position of which is adjustable.

3.6.4 Opzet

Het experiment was opgedeeld in 8 proefperiodes. In iedere proefperiode werd één van de vier varianten onderzocht. Dit betekent dat iedere variant tweemaal werd onderzocht.

Proefperiode 1 is op 14 maart 1995 begonnen met desinfectie van het vloeroppervlak. De dieren hadden toen vier dagen op de vloer gelopen. Iedere proefperiode duurde twee weken. In totaal betekende dit 8 proefperiodes (4 maanden) gedurende 14 maart tot en met 4 juli 1995 (zie tabel 3.4). In iedere proefperiode hebben de bepalingen plaatsgevonden op meetdagen. Deze meetdagen waren dag 1 (na vloeroppervlakdesinfectie), 2, 4, 8, 11 en 1 (voor vloeroppervlakdesinfectie in de volgende proefperiode) van iedere proefperiode.

Faeces en eventueel achtergebleven urine zijn weggeschoven met een mestschuif naar afstorten aan de uiteinden van de stalvloer. De schuif was voorzien van een schuifstrip van natuurrubber. De aandrijving van de mestschuif vond plaats door middel van een staalkabel. Deze kabel was geplastificeerd om klauwgebreken bij de dieren te voorkomen. De rubberstrip van de mestschuif werd na elke proefperiode vervangen door een nieuw exemplaar. Om stortkegels in de mestkelder te voorkomen werd de mest in de kelder dagelijks tweemaal (13.00 uur en 1.00 uur) met een automatische elektrische dompelmixer gemengd.

Tabel 3.4 Proefschema.

Table 3.4 Experimental plan.

proefperiode	1	2	3	4	5	6	7	8
variant	1	2	3	4	2	1	4	3
begindatum	14/3	28/3	11/4	25/4	9/5	23/5	6/6	20/6
einddatum	28/3	11/4	25/4	9/5	23/5	6/6	20/6	4/7

3.6.5 Bepalingen

Vlakheid

Na het voor de eerste keer plaatsen van de vloerdelen werd de vlakheid van het vloeroppervlak volgens het in NEN 2741 (1982) beschreven meetmethode en protocol bepaald.

Gemiddelde ruwheidshoogte

Op iedere meetdag werd de gemiddelde ruwheidshoogte van twee vloerplaten volgens de in paragraaf 2.5.2 beschreven meetmethode en meetprotocol bepaald. De gemiddelde ruwheidshoogte werd bepaald op die platen waarvan ook de urease-activiteit en stroefheid werden bepaald.

Stroefheid

Voor de ingebruikname van de vloer werd de stroefheid gemeten volgens de in paragraaf 2.5.4 beschreven meetmethode en meetprotocol. Daarnaast werd op iedere meetdag de stroefheid van twee vloerplaten bepaald. De stroefheid werd bepaald op die platen waarop ook de gemiddelde ruwheidshoogte en urease-activiteit werden bepaald.

Urease-activiteit

De urease-activiteit werd op het vloeroppervlak in de loopgang bepaald. Per proefperiode werden deze bepalingen verricht op iedere meetdag. Met uitzondering van de urease-activiteit bepaling op dag één hebben alle bepalingen plaatsgevonden na het passeren van de mestschuif, zonder verdere behandeling van het vloeroppervlak. De urease-activiteit werd bepaald volgens het in paragraaf 2.5.1 beschreven meetprincipe. Hiervoor zijn vijf cilinders gebruikt. Deze vijf cilinders waren samen in een ballastblok gegoten. Per blok werden vier cilinders gevuld met 50 ml ureumoplossing en één met een zelfde hoeveelheid gedemineraliseerd water. Hierdoor kon het effect van het aanbieden van extra ureum worden meegenomen, zodat was vast te stellen of de urease-activiteit of de beschikbaarheid van ureum de beperkende factor voor ammoniakemissie was. Op iedere meetdag werd de urease-activiteit van twee vloerplaten bepaald door per plaat vier blokken gelijkelijk verdeeld over de breedte van de mestgang te plaatsen. In totaal werden zo gegevens verzameld van 32 cilinders gevuld met ureum-oplossing en 8 gevuld met gedemineraliseerd water. De urease-activiteit werd bepaald op die platen waarop ook de gemiddelde ruwheidshoogte en stroefheid werden bepaald.

Ammoniakemissie

De ammoniakemissie werd gemeten met het in paragraaf 3.4 beschreven meetsysteem. Daarbij werd de ammoniakemissie in eerste instantie gemiddeld per uur vastgelegd. Ammoniakemissies die werden gemeten terwijl activiteiten plaatsvonden die het ammoniakemissieproces in de stal beïnvloedden, gaven geen goed beeld van de normale ammoniakemissie en werden derhalve beschouwd als ontbrekende waarnemingen bij het bepalen van de reductie van ammoniakemissie. Daarnaast ontbraken door technische storingen nog een aantal waarnemingen. Om een uitspraak te kunnen doen over de reductie van ammoniakemissie in de experimentele afdeling ten opzichte van de referentie afdeling, werden ontbrekende uurgemiddelden door interpolatie met behulp van tijdreeksanalyse (De Boer, 1993) geschat. Dag 1 van iedere proefperiode werd buiten beschouwing gelaten, aangezien op deze dag de schuifrequentie en/of helling werd gewijzigd en bovendien het vloeroppervlak op deze dag een zuurbehandeling onderging.

Nadat ontbrekende urengegevens waren geschat, werden daggemiddelden van de ammoniakemissie per afdeling berekend. Vervolgens werden de daggemiddelden van de experimentele afdeling uitgedrukt als percentage van die van de referentie afdeling : $e_{1,3}$ (%).

Oppervlakte van urineplekken

De oppervlakte van urineplekken werd gemeten door visuele waarnemingen met behulp van een raster met vakjes van 1 dm^2 . Per urineplek werd geschat hoeveel dm^2 in totaal werd bedekt met urine. Daarbij werd tevens de afstand van het lozingspunt tot de giergoot bepaald.

Urine-retentie

De urine-retentie werd, nadat de dieren waren afgevoerd, bepaald door op een representatieve afstand vanaf de giergoot met een gieter een urinelozing van 1,5 l (water) na te bootsen en vervolgens het deel dat in 15 minuten afstroomde in de giergoot op te vangen. Door van deze kunstmatige urineplekken ook het oppervlak te bepalen kon de urineretentie per m^2 bevochtigd vloeroppervlak worden geschat.

Aantal urinelozingen en ureumconcentratie

Voor informatie over het aantal urinelozingen en over de stikstofconcentratie in de urine werd gebruik gemaakt van gegevens uit de referentie afdeling uit dezelfde periode met soortgelijke dieren en een zelfde rantsoen.

Ammoniakemissie van het vloeroppervlak

De maximale ammoniakemissie vanaf een vloeroppervlak wordt beperkt door het aanbod van urinestikstof, ervan uitgaande dat meststikstof bij gemiddelde staltemperaturen geen grote bijdrage levert aan de vorming van ammoniak op het vloeroppervlak. Voor de hellende vloervarianten werd vastgesteld hoe groot het aanbod van urinestikstof was, door de grootte van urineplekken te bepalen en de hoeveelheid vloeistof die daarin achterbleef en de uitkomsten van die bepalingen te combineren met gegevens over het aantal urinelozingen en de stikstofconcentratie in de urine.

Ammoniakemissie van andere bronnen

Voor een nadere schatting van de bijdrage van bronnen van ammoniakemissie anders dan het vloeroppervlak en de mestkelder werd na afloop van de proef, in de periode 9 tot en met 17 juli 1995, de ammoniakemissie gemeten in afwezigheid van dieren in de stal. In deze periode werden op drie dagen (10, 12 en 13 juli) de afstorten van de kelder zorgvuldig afgedicht om luchtuitwisseling tussen kelder en stal zoveel mogelijk te vermijden. Op 13 juli werden bovendien nog de kieren van de deur tussen stal en centrale gang afgedicht om ook het aanzuigen van lucht uit de centrale gang te verhinderen.

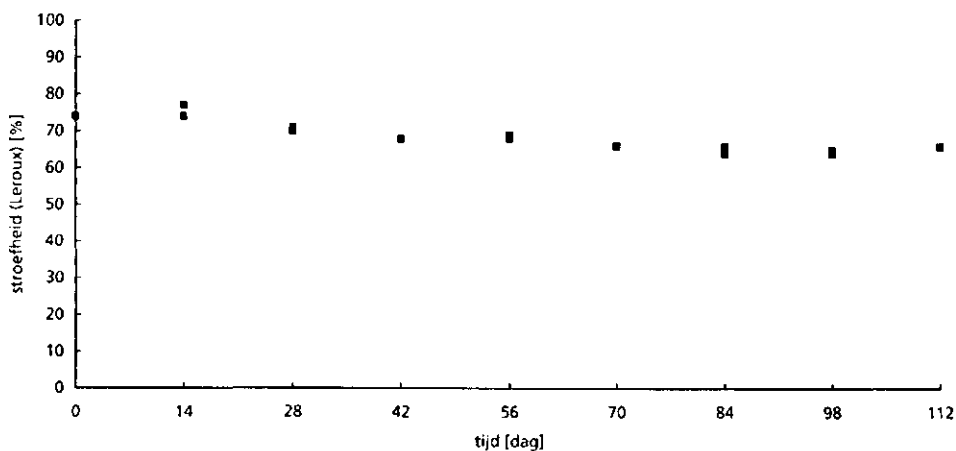
3.6.6 Waarnemingen

Vlakheid

Nadat de betonelementen voor de eerste proefperiode zonder helling waren gelegd, werd de vlakheid gemeten. Het hoogteverschil tussen twee naast elkaar liggende elementen werd per voeg op drie plaatsen bepaald. De volgende verschillen werden gemeten: 7 maal 0-1 mm; 19 maal 1-2 mm en 7 maal 2-3 mm. Hiermee voldeed de vlakheid ruimschoots aan het volgens NEN 3873 maximaal toegestane hoogteverschil van 4 mm. In de overspanningsrichting bedroeg het gemeten hoogteverschil 4 maal 0-1 mm; 5 maal 1-2 mm en 3 maal 2-3 mm.

Stroefheid

In figuur 3.3 zijn de resultaten van de stroefheid bepalingen gegeven. Op dag 14 van iedere proefperiode hebben de bepalingen tweemaal plaatsgevonden, namelijk vóór en ná desinfecteren. De gemeten stroefheidswaarden lijken licht te dalen, maar liggen boven de gewenste waarde van 63. Het verschil tussen gemiddelde en minimale waarden is relatief klein.

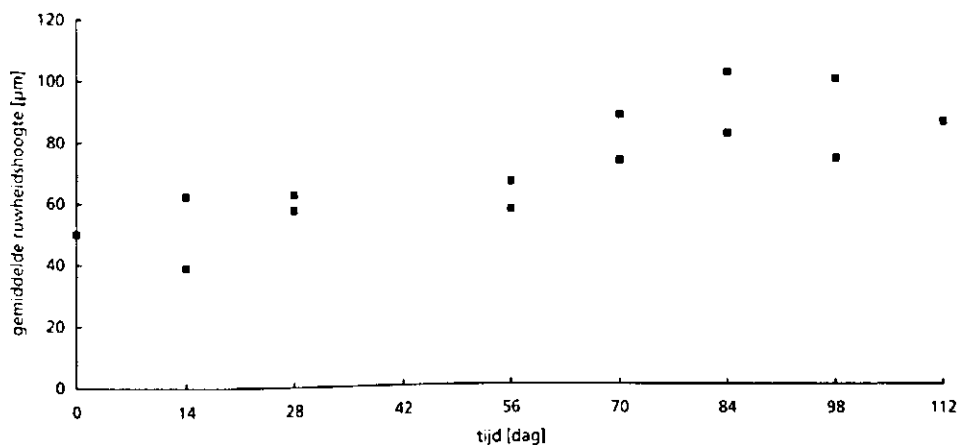


Figuur 3.3 Stroefheid van vloeroppervlak.

Figure 3.3 Skid resistance of floor surface.

Gemiddelde ruwheidshoogte

In figuur 3.4 zijn de resultaten van de gemiddelde ruwheidshoogte bepalingen gegeven. Op dag 14 van iedere proefperiode hebben de bepalingen tweemaal plaatsgevonden, namelijk vóór en ná desinfecteren. Bij twee meetwaarden op dezelfde dag betreft de grootste waarde steeds de meting na de vloerdesinfectie. De gemiddelde ruwheidshoogte neemt in de tijd enigszins af en neemt weer toe na desinfectie. Wegens een defect aan het meetinstrument ontbreken de resultaten van dag 42.



Figuur 3.4 Gemiddelde ruwheidshoogte van vloeroppervlak.

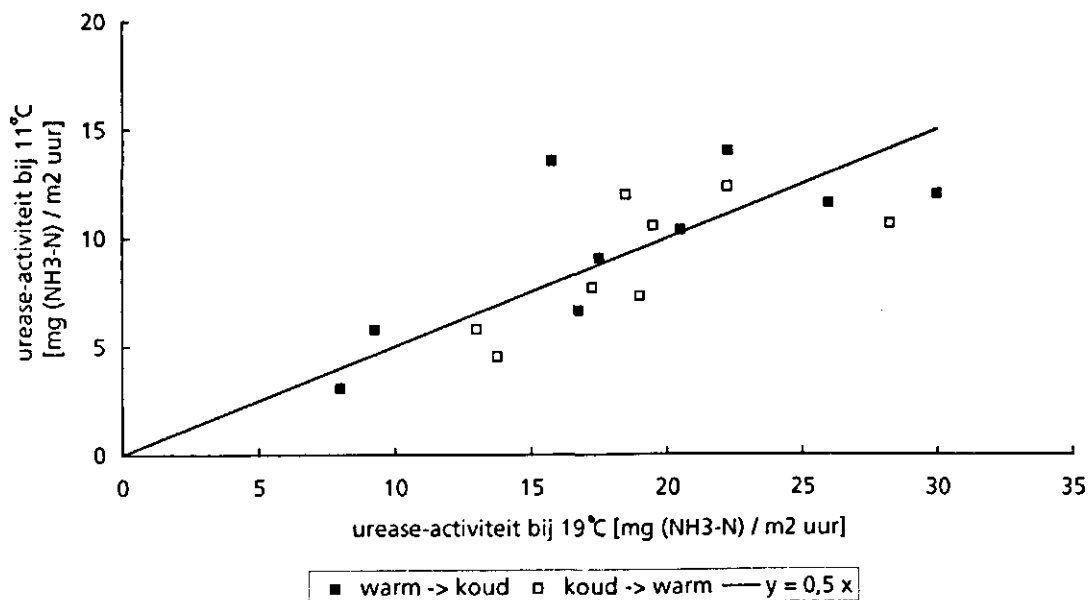
Figure 3.4 Surface roughness of floor surface.

Aantal urinelozingen en ureumconcentratie

Het aantal urinelozingen bedroeg 7 per dier per etmaal en de concentratie van urinestikstof gemiddeld 6,4 g (N) / l waarvan 4,9 g (ureum-N) / l (gemiddelde van ochtend- en middaganalyse op 11/4/95).

Urease-activiteit

Het effect van de temperatuur op de momentaan gemeten enzym-activiteit wordt door Ketelaars et al. (1995) beschreven en wordt geïllustreerd door de in figuur 3.5 gegeven waarnemingen bij 11 °C en 19 °C. Tussen beide genoemde temperaturen steeg de urease-activiteit gemiddeld met een factor twee. De volgorde van metingen, van warm naar koud of omgekeerd, lijkt geen invloed te hebben op het temperatuureffect.



Figuur 3.5 Effect van temperatuur op de urease-activiteit. Gegevens van een epoxyvloer op proefboerderij 'Droevendaal'.

Figure 3.5 Effect of temperature on the urease activity. Data from an epoxy coated floor at the 'Droevendaal' experimental farm.

Op basis van de metingen in figuur 3.5 kan het effect van temperatuur voor een breder traject van temperaturen worden geschat. Het verband tussen de urease-activiteit k en de temperatuur T wordt beschreven door de Arrhenius-vergelijking:

$$k = A e^{-E_{act} / RT}$$

3.4

waarin:

k = urease-activiteit

[mg (NH₃-N) / m² uur]

A = constante

[-]

E_{act} = activeringsenergie van de reactie

[J / mol]

R = universele gasconstante (8,31)

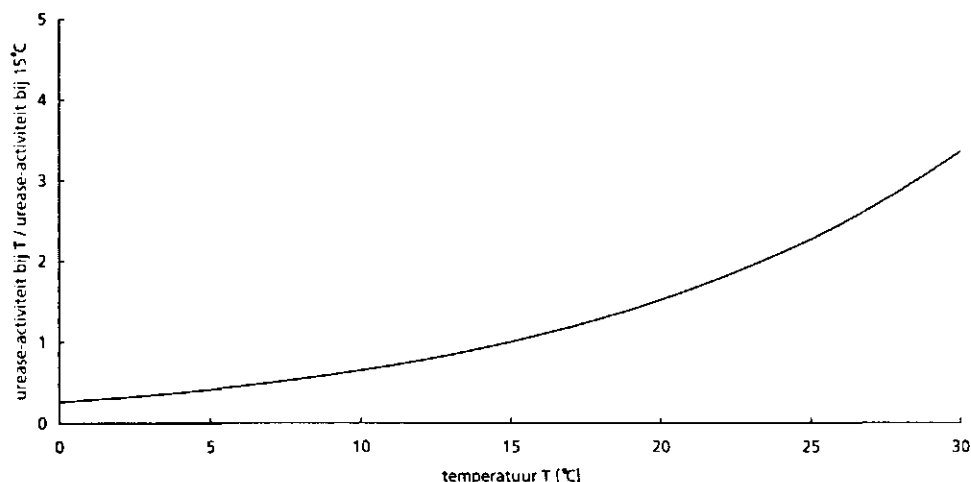
[J / mol K]

T = temperatuur

[K]

Met deze vergelijking werd voor A de waarde $6,557 \cdot 10^{13} \text{ mg (NH}_3\text{-N) / m}^2 \text{ uur}$ berekend en voor de activeringsenergie 58926 J/mol .

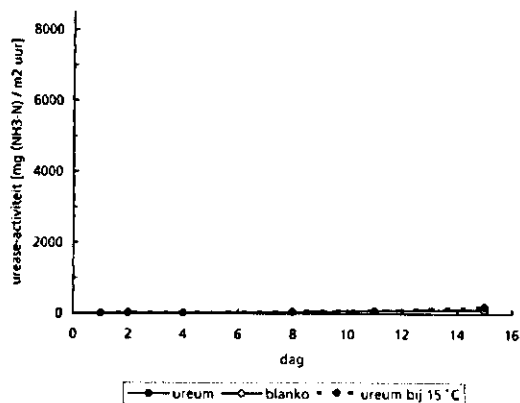
De op basis van vergelijking 3.4 bepaalde temperatuursafhankelijkheid van de urease-activiteitsmeting is weergegeven in figuur 3.6. Duidelijk is dat in het traject van gangbare staltemperaturen de urease-activiteit sterk wordt beïnvloed door de heersende temperatuur: bij 7°C is de momentaan gemeten urease-activiteit slechts de helft van de waarde gemeten bij 15°C , terwijl bij 23°C de waarde tweemaal zo hoog is als bij 15°C . Deze invloed moet goed worden onderscheiden van het effect van temperatuur op de snelheid van opbouw van urease-activiteit.



Figuur 3.6 De verhouding tussen de urease-activiteit bij een willekeurige temperatuur en de urease-activiteit bij 15°C .

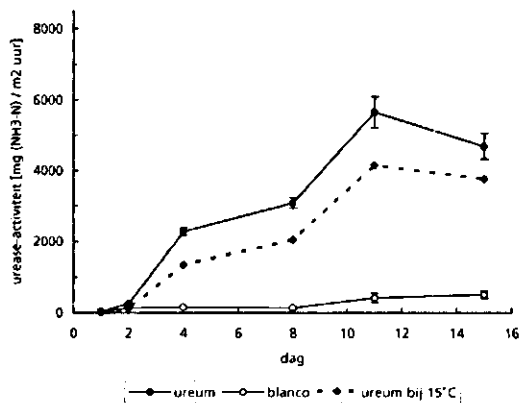
Figure 3.6 The ratio between the urease activity at a random temperature and the urease activity at 15°C .

De opbouw van urease-activiteit op het vloeroppervlak is per variant en per proefperiode weergegeven in figuur 3.7 tot en met figuur 3.14. Bepalingen zijn verricht op vier plaatsen tussen voerhek en ligboxen. Gegeven waarden betreffen het gemiddelde van 4 (blanco) en 32 (met ureum toevoeging) bepalingen. De stippellijn geeft de waarden gecorrigeerd naar een temperatuur van 15°C . Het gemiddelde verloop is gebruikt om voor de dagen waarop niet werd gemeten, de urease-activiteit te schatten.



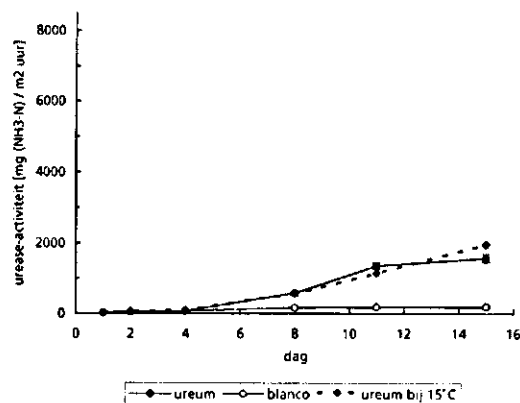
Figuur 3.7 De ontwikkeling van urease-activiteit op het vloeroppervlak van variant 1 in herhaling 1.

Figure 3.7 The development of urease activity on the floor surface of variant 1 in replication 1.



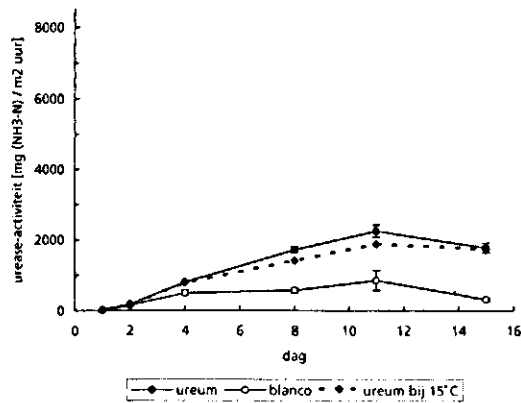
Figuur 3.8 De ontwikkeling van urease-activiteit op het vloeroppervlak van variant 1 in herhaling 2.

Figure 3.8 The development of urease activity on the floor surface of variant 1 in replication 2.



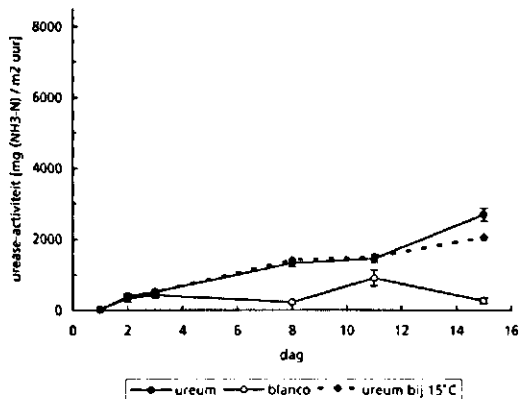
Figuur 3.9 De ontwikkeling van urease-activiteit op het vloeroppervlak van variant 2 in herhaling 1.

Figure 3.9 The development of urease activity on the floor surface of variant 2 in replication 1.



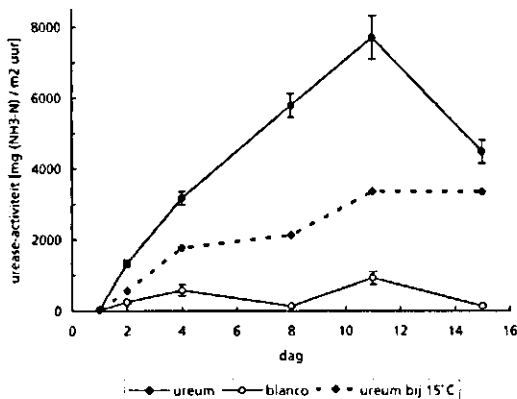
Figuur 3.10 De ontwikkeling van urease-activiteit op het vloeroppervlak van variant 2 in herhaling 2.

Figure 3.10 The development of urease activity on the floor surface of variant 2 in replication 2.



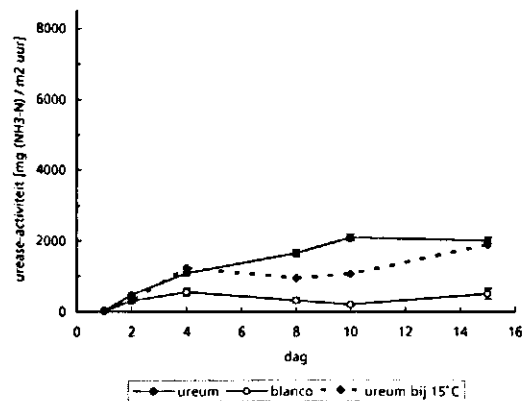
Figuur 3.11 De ontwikkeling van urease-activiteit op het vloeroppervlak van variant 3 in herhaling 1.

Figure 3.11 The development of urease activity on the floor surface of variant 3 in replication 1.



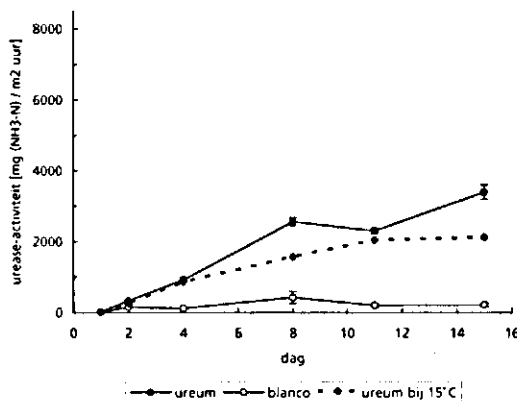
Figuur 3.12 De ontwikkeling van urease-activiteit op het vloeroppervlak van variant 3 in herhaling 2.

Figure 3.12 The development of urease activity on the floor surface of variant 3 in replication 2.



Figuur 3.13 De ontwikkeling van urease-activiteit op het vloeroppervlak van variant 4 in herhaling 1.

Figure 3.13 The development of urease activity on the floor surface of variant 4 in replication 1.



Figuur 3.14 De ontwikkeling van urease-activiteit op het vloeroppervlak van variant 4 in herhaling 2.

Figure 3.14 The development of urease activity on the floor surface of variant 4 in replication 2.

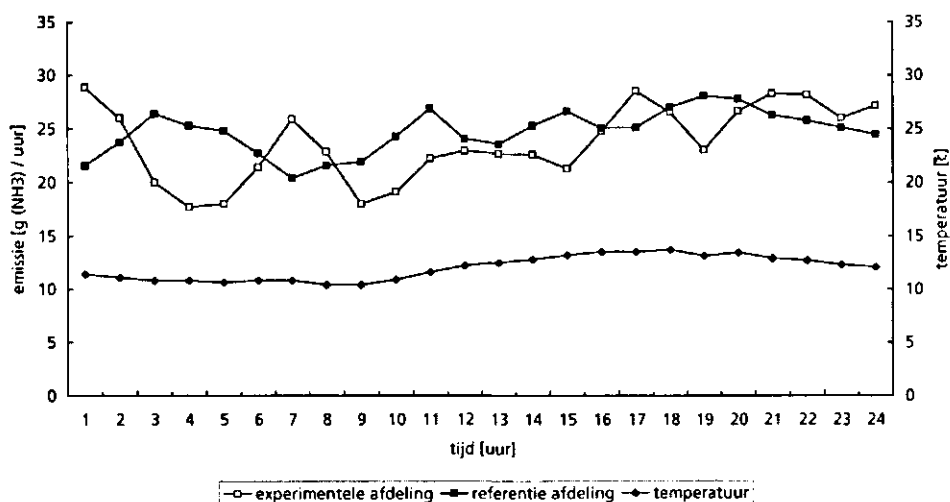
Aan het begin van iedere proefperiode, dat wil zeggen meteen na reinigen en desinfecteren van het vloeroppervlak, was de urease-activiteit zeer laag met een maximale variatie tussen 8 en 33 mg (NH₃-N) / m² uur. Per proefperiode verschilden de snelheid van opbouw aanzienlijk, wat blijkt uit de eindwaarden na twee weken. Deze eindwaarden zijn gegeven in tabel 3.5 en varieerden tussen 132 mg (NH₃-N) / m² uur voor variant 1, herhaling 1 in proefperiode 1 en maximaal 4674 mg (NH₃-N) / m² uur voor variant 3, herhaling 2 in proefperiode 8.

Tabel 3.5 Urease-activiteit op het vloeroppervlak aan het eind van elke proefperiode.**Table 3.5** Urease activity on the floor surface at the end of each period.

variant	urease-activiteit [$\text{mg}(\text{NH}_3\text{-N}) / \text{m}^2 \text{ uur}$]	
	herhaling 1	herhaling 2
1	132	4721
2	1583	1761
3	2698	4674
4	2026	3433

Ammoniakemissie

In figuur 3.15 zijn als voorbeeld de ammoniakemissie per uur in de experimentele afdeling en de referentie afdeling op een willekeurige dag weergegeven. De verhouding tussen de ammoniakemissie van de experimentele afdeling en de referentie afdeling is niet constant binnen een dag. Hieruit blijkt dat ontbrekende urengegevens goed moeten worden ingeschat, alvorens daggemiddelden te berekenen.



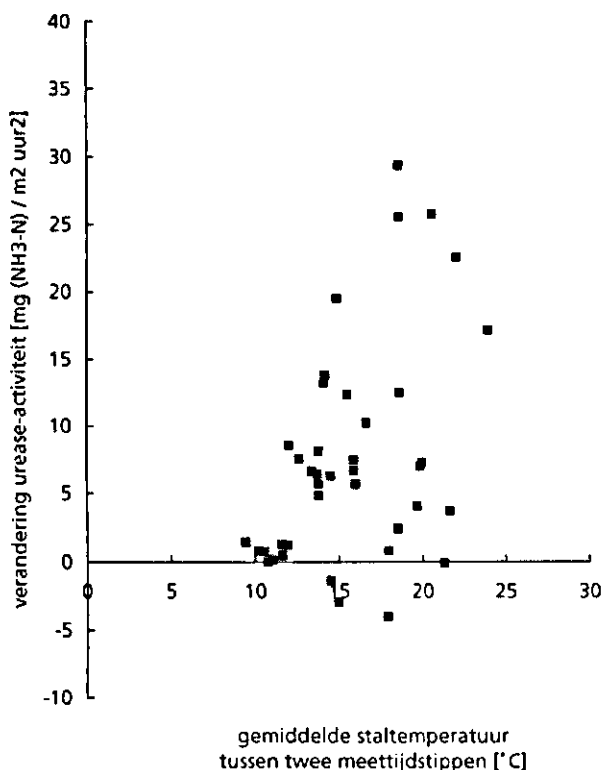
Figuur 3.15 De ammoniakemissie en temperatuur per uur in de experimentele afdeling en de referentie afdeling op een willekeurige dag (dag 27: 10 april 1995).

Figure 3.15 Ammonia emission and temperature per hour in the experimental and the reference compartments on a random day (day 27: April 10th, 1995).

3.6.7 Analyse

Urease-activiteit

Vergelijking van de waarnemingen van afzonderlijke herhalingen laat grote verschillen zien. Zo werd voor variant 1 in proefperiode 1 een niveau van $132 \text{ mg}(\text{NH}_3\text{-N}) / \text{m}^2 \text{ uur}$ bereikt, terwijl dezelfde variant in proefperiode 6 een eindniveau van $4721 \text{ mg}(\text{NH}_3\text{-N}) / \text{m}^2 \text{ uur}$ bereikte. Deze verschillen in opbouwsnelheid tussen herhalingen zijn vermoedelijk het gevolg van verschillen in temperatuur tussen proefperiodes. In figuur 3.16 zijn de



Figuur 3.16 De verandering in urease-activiteit in relatie tot de gemiddelde staltemperatuur tussen twee opeenvolgende metingen.

Figure 3.16 The change in urease activity related to the average animal house temperature between two successive measurements.

resultaten van de urease-activiteit metingen getoond op een wijze die laat zien hoe de toename in urease-activiteit samenhangt met de gemiddelde staltemperatuur tussen twee meettijdstippen. De opbouw van urease-activiteit lijkt beneden 10 °C zeer traag te verlopen; boven de 10 °C is er een zeer grote variatie in opbouwsnelheid zonder duidelijke verschillen tussen vloervarianten.

Relatie urease-activiteit en totale ammoniakemissie

De relatie tussen urease-activiteit en totale ammoniakemissie is in een overzicht voor alle varianten grafisch weergegeven in figuur 3.17. De gegevens van beide herhalingen zijn gebruikt om een niet-lineair verband te schatten met het volgende model:

$$y = A(1 - e^{-kx}) + C \quad 3.5$$

waarin:

y = ammoniakemissie

x = urease-activiteit

A = maximale vloeroppervlakkbijdrage

C = maximale bijdrage andere bronnen

k = constante

[g (NH₃) / uur]

[mg (NH₃-N) / m² uur]

[g (NH₃) / uur]

[g (NH₃) / uur]

[-]

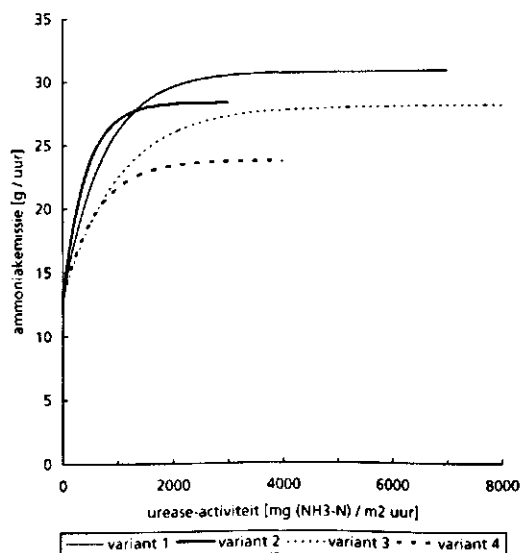
De waarde van C in dit model staat voor de ammoniakemissie die niet afkomstig is vanaf het vloeroppervlak, maar van andere bronnen, waaronder vermoedelijk de kelder de belangrijkste is. De waarde van A is de vloeroppervlakbijdrage aan de ammoniakemissie op het moment dat de urease-activiteit op het vloeroppervlak niet meer beperkend is voor de ammoniakemissie vanaf het vloeroppervlak. De waarde (A+C) is derhalve een maat voor de totale ammoniakemissie wanneer de urease-activiteit op het vloeroppervlak niet meer beperkend is.

Alleen de gegevens voor de vlakke vloervarianten bleken bruikbaar voor een betrouwbare schatting van C. Voor variant 1 leverde dit een waarde van 14 g (NH₃) / uur op; voor variant 2 een waarde van 12 g (NH₃) / uur. Aangezien deze niet significant verschillend waren, is besloten het gemiddelde van deze twee waarden (13 g (NH₃) / uur) te gebruiken voor het fitten van de curves voor alle varianten. Schattingen voor de vloerbijdrage en voor de totale ammoniakemissie zijn per vloervariant vermeld in tabel 3.6. De gefitte curves zijn gegeven in figuur 3.17.

Tabel 3.6 Schattingen van de totale ammoniakemissie en van de bijdrage van het vloeroppervlak bij niet-beperkende urease-activiteit, onder zomerse omstandigheden.

Table 3.6 *Estimations of the total animal house ammonia emission and the contribution of the floor surface in case of non-limiting urease activity, during summer.*

variant	ammoniakemissie [g / uur]		
	vloeroppervlak	overig	totaal
1	18	13	31
2	15	13	28
3	15	13	28
4	11	13	24



Figuur 3.17 De relatie tussen de urease-activiteit op het vloeroppervlak en de ammoniakemissie uit de stal voor elke variant.

Figure 3.17 *The relationship between the urease activity on the floor surface and the ammonia emission from the animal house for each variant.*

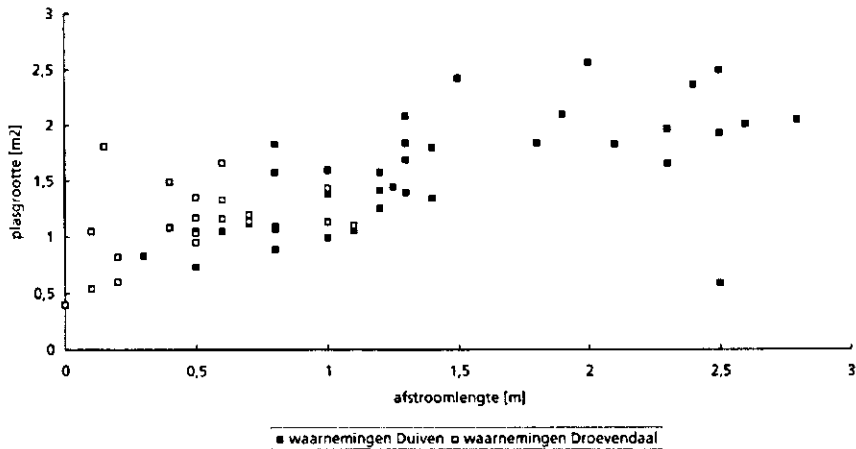
De bijdrage van het vloeroppervlak was het grootst bij variant 1 (vlakke vloer, laag frequent schuiven; 18 g (NH₃) / uur) en het kleinst bij variant 4 (hellende vloer, hoog frequent schuiven; 11 g (NH₃) / uur). De totale ammoniakemissie was daardoor ook het laagst op de hellende vloer bij hoog frequent schuiven. Het verschil tussen beide extremen in totale ammoniakemissie bedroeg echter slechts 23%.

Bepaling ammoniakemissie vanaf het vloeroppervlak

Figuur 3.18 toont gegevens van de grootte van individuele urineplekken in relatie tot de afstand tot de giergoot. Gemiddeld genomen werd een urinelozing op 1,35 m vanaf de giergoot gedeponeerd. Hierbij werd 1,57 m² vloeroppervlak bevochtigd. Ter vergelijking zijn soortgelijke gegevens opgenomen uit de ligboxenstal van proefboerderij Droevendaal: Bij een mestgangbreedte van 2,5 m en een tweezijdig hellende vloer bedroeg de gemiddelde grootte van een urineplek 1,14 m² bij een gemiddelde afstroomlengte van 0,49 m. Het verschil tussen beide stallen is geheel toe te schrijven aan een verschil in lengte van de afstromingsweg van de urine.

Bepalingen van de vloeistofretentie leverden waarden op tussen 301 en 430 ml / m² met een gemiddelde van 7 metingen gelijk aan 387 ml / m².

De totale hoeveelheid urine die op de hellende vloervarianten per uur achterbleef kan nu worden geschat met de aanvullende informatie over het aantal lozingen (7 per dier per etmaal) en de concentratie van urinestikstof (6,4 g N / l waarvan 4,9 g ureum-N) in de urine van dieren uit de referentie afdeling. De totaal door de dieren geproduceerde hoeveelheid urinestikstof bedroeg 11,6 g / uur waarvan 8,8 g als ureum-N. De potentiële bijdrage van urinestikstof aan de ammoniakemissie wordt daarmee geschat op 11-14 g (NH₃) / uur, afhankelijk van de vraag of alle urinestikstof omgezet wordt in NH₃ of alleen de ureumstikstof. Deze schattingen liggen in dezelfde orde van grootte als de schattingen van de ammoniakemissie vanaf de vloer voor de hellende vloervarianten uit tabel 3.6.

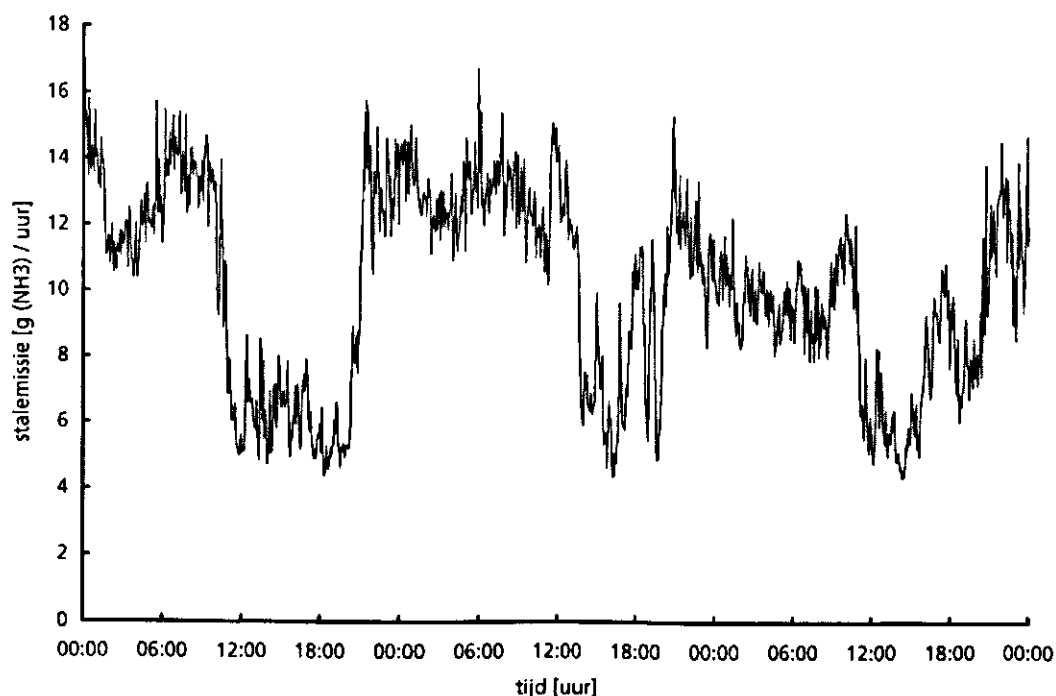


Figuur 3.18 Plasgrootte per urinelozing in relatie tot de afstroomlengte. Gegevens van een eenzijdig hellende vloer van 3 m breed (de experimentele afdeling Duiven; dichte symbolen) en gegevens van een tweezijdig hellende vloer van 2,5 meter breed (ligboxenstal Droevendaal; open symbolen).

Figure 3.18 Size of a urine puddle related to the distance between the centre of the urine puddle and the urine gutter. Data from a one-sided sloped floor with a span of 3 m (experimental compartment Duiven; closed symbols) and data from a two-sided sloped floor with a span of 2.5 m (cubicle house Droevendaal, open symbols).

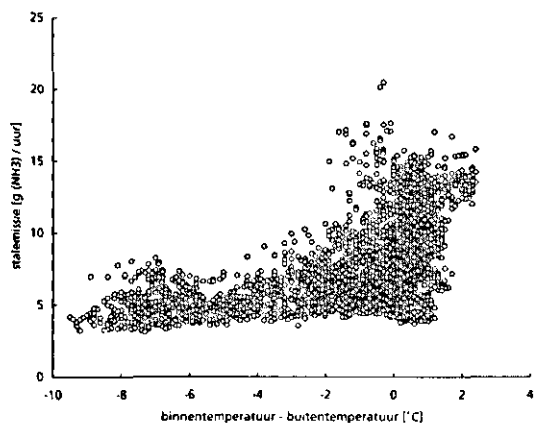
Bepaling ammoniakemissie van andere bronnen

De bepaling van ammoniakemissie van andere bronnen is in eerste instantie in de periode van 15 juli tot en met 18 juli in afwezigheid van dieren onderzocht. De waargenomen ammoniakemissie is weergegeven in figuur 3.19. De totale ammoniakemissie varieerde tussen 5 en 15 g / uur met een duidelijk dag-nachtritme: 's nachts werden de hoogste waarden waargenomen en overdag de laagste. Deze variatie hing vermoedelijk samen met het verschil in temperatuur tussen de stal en de omgeving, zoals figuur 3.20 laat zien: op momenten dat het buiten kouder was dan binnen, nam de ammoniakemissie sterk toe. Deze stijging werd evenwel verhinderd door het afdichten van de kelderafstorten. Het dichtplakken van de kieren rond de deur tussen stal en centrale gang had geen duidelijk effect op de ammoniakemissie. Ervan uitgaande dat het vloeroppervlak in de betreffende periode geen noemenswaardige bijdrage zal hebben geleverd aan de ammoniakemissie, bedroeg de totale bijdrage van andere bronnen op dat moment tussen 4 en 16 g (NH₃) / uur. Hiervan kon circa 10 g (NH₃) / uur worden onderdrukt door zorgvuldige afdichting van de mestafstorten. Dit wil zeggen dat de ammoniakemissie van de kelder maximaal circa 10 g / uur was. Uit figuur 3.21 blijkt dat na het afdichten van de mestkelder nog steeds ammoniakemissie optrad. Deze ammoniakemissie wordt opgevat als restemissie. De grootte van deze restemissie wordt als het gemiddelde van de in figuur 3.21 weergegeven waarnemingen geschat op 5,4 g (NH₃) / uur.



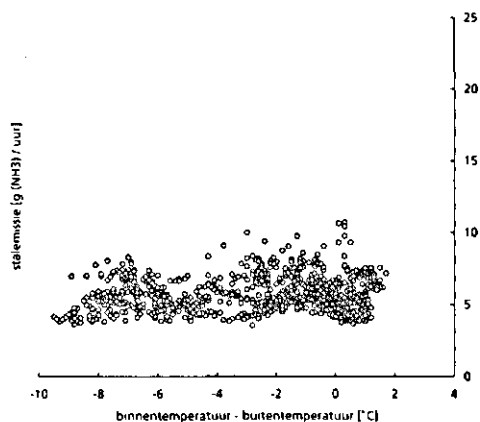
Figuur 3.19 Totale ammoniakemissie in afwezigheid van dieren in de periode 15-17 juli 1995 in de experimentele afdeling.

Figure 3.19 Total ammonia emission in the absence of animals, in the experimental compartment in the period of July 15th-17th, 1995.



Figuur 3.20 Ammoniakemissie in afwezigheid van dieren in relatie tot het verschil in binnen- en buitentemperatuur. Gegevens uit periode 9-17 juli 1995 van de experimentele afdeling. Mestafstorten niet afgedicht.

Figure 3.20 Ammonia emission in the absence of animals in relation to the difference between indoor and outdoor temperatures. Results for the experimental compartment for the period of July 9th-17th, 1995. Manure discharge openings in the floor not covered.



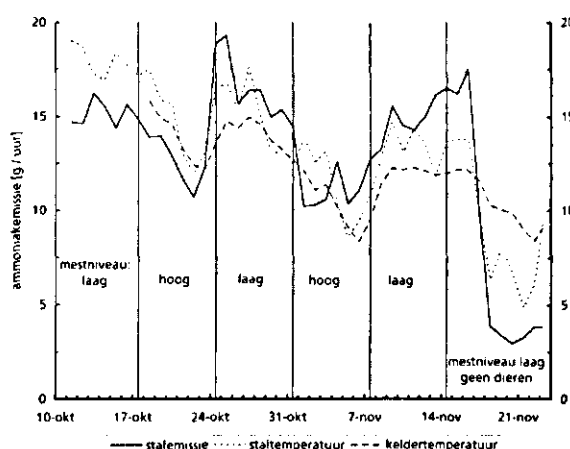
Figuur 3.21 Ammoniakemissie in afwezigheid van dieren in relatie tot het verschil in binnen- en buitentemperatuur. Gegevens uit periode 9-17 juli 1995 van de experimentele afdeling. Mestafstorten afgedicht.

Figure 3.21 Ammonia emission in the absence of animals in relation to the difference between indoor and outdoor temperatures. Results for the experimental compartment for the period July 9th-17th, 1995. Manure discharge openings in floor covered.

In de periode van 10 oktober tot 14 november 1995 werd nader onderzocht wat de bijdrage was van de mestkelder aan de ammoniakemissie uit de experimentele afdeling. Hiertoe werd de ammoniakemissie gedurende controleperiodes vergeleken met de ammoniakemissie gedurende periodes waarin het afwezig zijn van de mestkelder werd gesimuleerd door te trachten de kelderemissie zover mogelijk te beperken. In de controleperiodes was de situatie vergelijkbaar met variant 3: een eenzijdig hellende vloer met een schuiffrequentie van 12 maal per etmaal en een normaal mestniveau (mesthoogte circa 0,4 m). De ingreep om het afwezig zijn van de kelder te simuleren bestond uit het verhogen van het mestniveau nagenoeg tot aan de onderzijde van de vloer (circa 1,5 m vanaf de kelderbodem) en het aanbrengen van verticale steekschotten vanaf de rand van de mestafstorten om luchtbeweging over het mestoppervlak tegen te gaan. Voor het vullen van de kelder aan het begin van de proef en voor het bijvullen tijdens de proef werd mest van elders aangevoerd. De controleperiode wordt hier verder aangeduid als 'mestniveau laag' en de simulatie als 'mestniveau hoog'.

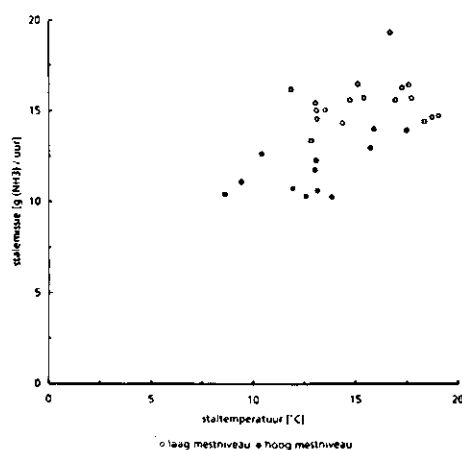
Gedurende de proef huisvestte de stal 10 koeien. Wekelijks werden voer en mest bemonsterd en geanalyseerd op respectievelijk gehalten aan ds, N-totaal en K (voer) en gehalten aan ds, N-totaal en $\text{NH}_4\text{-N}$ (mest). Iedere week stond gelijk aan één meetperiode. Na afloop van periode 5 werden op 17 november 1995 de koeien uit de stal verwijderd. Het verloop van ammoniakemissie, stal- en keldertemperatuur gedurende dit onderzoek is weergegeven in figuur 3.22. Tussen periodes waren er grote verschillen in waargenomen temperaturen. Hierdoor is de waargenomen ammoniakemissie niet direct verge-

lijkbaar tussen periodes. In figuur 3.23 zijn om die reden de daggemiddelden van de ammoniakemissie gerelateerd aan de daggemiddelden van de staltemperatuur. De gegevens van de eerste dag van elke periode werden buiten beschouwing gelaten. Figuur 3.23 laat zien dat de ammoniakemissie bij een zelfde temperatuur bij een simulatie van het afwezig zijn van de kelder lager is dan bij een situatie zonder simulatie. Het simuleren van het afwezig zijn van de mestkelder is dus in zekere mate succesvol geweest. Het verschil tussen 'laag mestniveau' en 'hoog mestniveau' was echter betrekkelijk klein, namelijk 3 tot 4 g (NH₃) / uur. De werkelijke bijdrage van de kelder aan de stalemissie is vermoedelijk hoger omdat de afstorten wellicht niet volledig waren afgedicht en er mogelijk ammoniak via kieren in de vloer is ontsnapt; hoeveel hoger is op grond van de beschikbare kennis niet te zeggen.



Figuur 3.22 Het verloop van de ammoniakemissie en de stal- en keldertemperatuur

Figure 3.22 Pattern of ammonia emission and temperature in the animal house and slurry pit.



Figuur 3.23 Ammoniakemissie tijdens de simulaties 'met' en 'zonder kelder' (resp. 'laag' en 'hoog' mestniveau).

Figure 3.23 Ammonia emission during the simulations 'with slurry pit' and 'without slurry pit' ('normal' and 'high' slurry levels, respectively).

Ammoniakemissie ten opzichte van de referentie afdeling

Het niveau van ammoniakemissie van de experimentele afdeling kan met het niveau van ammoniakemissie van de referentie afdeling worden vergeleken wanneer de ammoniakemissies van beide afdelingen in een stabiele toestand verkeren. Met een stabiele toestand wordt bedoeld, dat geen verdere opbouw van ammoniakemissie plaatsvindt. Om te beoordelen of een min of meer stabiele situatie was ontstaan, werd per proefperiode een regressie-analyse uitgevoerd. Daarbij werd getracht om het verloop in de tijd van de procentuele verhouding tussen de experimentele afdeling en referentie afdeling ($e_{1,3}$) te beschrijven met een exponentiële curve:

$$e_{1,3} = a + b \cdot r^t$$

waarin:

- $e_{1:3}$ = verhouding tussen de ammoniakemissie uit de experimentele afdeling en de referentie afdeling [%]
 t = tijd [dag]
 a, b, r = uit waarnemingen te schatten parameter

De parameters a , b en r werden geschat uit de waarnemingen. De waarde van b was negatief.

Als $e_{1:3}$ niet (meer) systematisch afnam in de tweede week van een proefperiode leek het redelijk om de ammoniakemissie van de variant op lange termijn te baseren op het gemiddelde en de variatie rond het gemiddelde in de tweede week. Als $e_{1:3}$ nog wel afnam kon nog geen uitspraak worden gedaan over de ammoniakemissie van de in onderzoek zijnde variant.

In een tweede vooranalyse is onderzocht of de herhalingen van de verschillende varianten vergelijkbare waarnemingen hadden opgeleverd. Hiertoe werd het gemiddelde niveau in de tweede week van elke proefperiode geschat in een tijdreeksanalyse. Uit deze vooranalyses bleek dat in de eerste proefperiode geen stabiel niveau werd bereikt en dat de herhaling van de variant die in de eerste proefperiode werd toegepast in proefperiode 6 sterk afwijkende waarnemingen opleverde. In de overige proefperioden werd na één week wel een min of meer stabiel niveau bereikt. Op grond van de waarnemingen in vooranalyses werd in de verdere analyse de eerste proefperiode buiten beschouwing gelaten: De ammoniakemissie van de experimentele afdeling ten opzichte van de referentie afdeling kon in de eerste proefperiode nog niet goed worden beoordeeld.

De effecten van de vier onderzochte varianten in de experimentele afdeling konden worden onderscheiden in een effect van de vloerhelling (op twee niveaus getest) en een effect van de schuiffrequentie (eveneens op twee niveaus getest). Aangezien alle combinaties (2×2) werden uitgetest, konden zowel de afzonderlijke effecten van vloerhelling en van schuiffrequentie, alsook een eventueel interactie-effect worden onderzocht. In de analyse werden het effect van een helling van 3% ten opzichte van een helling van 0% en het effect van een schuiffrequentie van 96 maal per etmaal ten opzichte van een schuiffrequentie van 12 maal per etmaal onderzocht. Het verschil tussen de ammoniakemissie van de experimentele afdeling op log schaal en de ammoniakemissie van de referentie afdeling op log schaal werd per dag berekend als: $\log(e_1) - \log(e_3) = \log(e_1/e_3)$. Het analysemodel luidde als volgt:

$$\log(e_1/e_3)_{(t)} = C + H_{0,3(t)} + S_{L,H(t)} + v_{(t)} \quad 3.7$$

waarin:

- C = een basisniveau op logschaal waarbij een helling van 0% (H_0) en een schuiffrequentie van 12 maal per etmaal (S_L) wordt toegepast [-]
 $H_{0,3(t)}$ = het effect van een helling van 3% (H_3) ten opzichte van een helling van 0% (H_0), op dag t [-]
 $S_{L,H(t)}$ = het effect van een schuiffrequentie van 96 maal per etmaal (S_H) ten opzichte van 12 maal per etmaal (S_L), op dag t [-]
 $v(t)$ = de niet-verklaarde rest (v) op dag t [-]

Ten aanzien van $v(t)$ werd een afhankelijkheid in de tijd verondersteld, die beschreven werd met behulp van een autoregressief proces van orde 1. Het daartoe gedefinieerde

tijdreeksmodel luidde:

$$v_{(t)} = b v_{(t-1)} + a_{(t)} \quad 3.8$$

waarin:

- $v_{(t)}$ = de niet-verklaarde rest (v) op dag t [-]
- b = de regressiecoëfficiënt die aangeeft welk deel van de restterm van de voorgaande dag (t-1) op dag t meeweegt in de rest [-]
- $a_{(t)}$ = een onafhankelijke innovatie op dag t, dat wil zeggen het deel van de niet-verklaarde rest op dag t dat niet uit de rest op dag t-1 volgt [-]

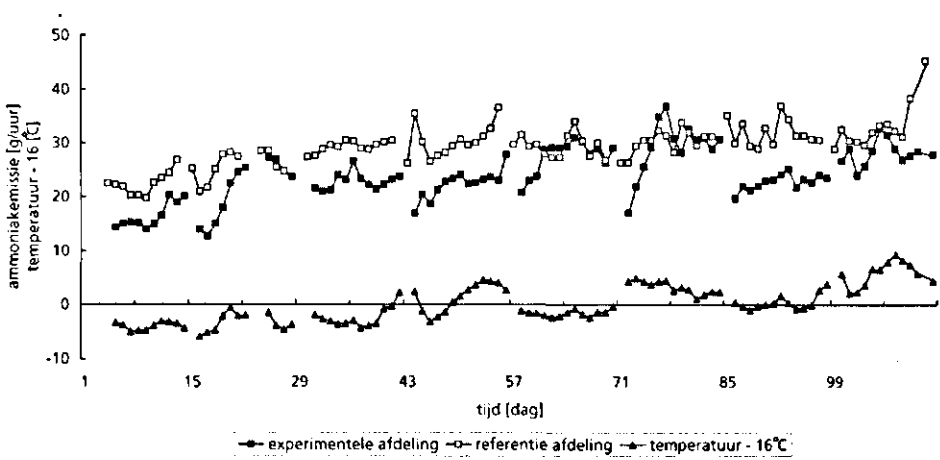
Waarnemingen die op opeenvolgende dagen aan dezelfde experimentele eenheid zijn ontleend, mogen niet als onafhankelijke waarnemingen worden opgevat (De Boer, 1993). Door het tijdreeksmodel voor de restterm wordt de invloed van variatiebronnen ingecalculeerd die niet nader zijn gekwantificeerd, maar die wel doorwerken in de opeenvolgende waarnemingen.

Het verloop van de ammoniakemissie in de experimentele afdeling en de referentie afdeling en de staltemperatuur is weergegeven in figuur 3.24. De temperaturen in de experimentele afdeling en de referentie afdeling waren steeds vrijwel gelijk. In de figuur is daarom uitsluitend de temperatuur in de referentie afdeling weergegeven. De ammoniakemissie in de referentie afdeling vertoont een uitzonderlijke piek op dag 112. Deze afwijkende waarde zou veroorzaakt kunnen zijn door een snelle daling van de temperatuur van de buitenlucht en in de stal, terwijl de temperatuur van de mest in de kelder zich slechts langzaam aanpaste. Dientengevolge zou er relatief veel ammoniak vanuit de mest kunnen worden gevormd, veel stallucht over het mestoppervlak kunnen stromen en daarbij veel ammoniak kunnen worden afgevoerd. Aangezien dit een uitzonderlijke situatie was, werd deze dag bij de verdere analyse als ontbrekend beschouwd.

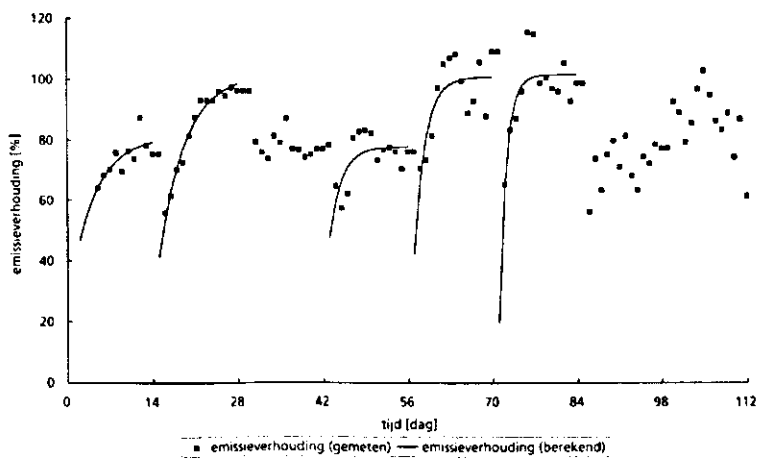
In figuur 3.25 is het verloop in de tijd van de procentuele verhouding tussen de experimentele afdeling en de referentie afdeling weergegeven, alsmede de regressiecurves voorzover de verhouding tussen de ammoniakemissie in de experimentele afdeling en de referentie afdeling als een exponentiële functie van de tijd te beschrijven was. In de proefperioden 1, 2, 4, 5, en 6 nam de ammoniakemissie in de experimentele afdeling aanvankelijk exponentieel toe. Daarna nam in deze proefperioden de relatieve toename geleidelijk af. De regressielijn (exponentiële curve) blijkt in proefperiode 1 na twee weken nog duidelijk te stijgen. Het is ook niet zeker of in proefperiode 2 na twee weken al een stabiel niveau was bereikt. De curves suggereren dat in de proefperioden 4, 5 en 6 na twee weken bijna geen toename meer optrad.

In proefperiode 2 bleek de ammoniakemissie op dag 24 in de experimentele afdeling 20% hoger te zijn dan in de referentie afdeling. De voorgaande dag was de ammoniakemissie in deze afdeling ook al enigszins verhoogd. Oorzaak van deze afwijkingen was een defecte schuif. Hieruit blijkt hoe belangrijk bij dit vloersysteem de bedrijfszekerheid van de schuif is. Deze verklaarbare, afwijkende waarnemingen zijn overigens verder buiten de analyse gehouden en ook niet in de figuur weergegeven. De ammoniakemissie op deze dagen is uitsluitend door interpolatie geschat om vergelijkbare (afvlakkende) curves als in de andere proefperioden te verkrijgen. In proefperiode 1 was op dag 12 de ammoniakemissie in de experimentele afdeling ook duidelijk hoger dan op grond van het verdere verloop te verwachten was, maar hier is geen duidelijke oorzaak voor gevonden.

Het verloop in de proefperioden 3, 7 en 8 kon niet goed met regressielijnen worden beschreven. De ammoniakemissie op de hellende vloer was alleen de eerste dagen na de zuurbehandeling verlaagd. Al vrij snel leek echter een min of meer stabiel niveau te zijn bereikt. De ammoniakemissie bleef bij de hellende vloer echter nogal fluctueren tussen dagen. Wellicht is de ammoniakemissie vanaf de hellende vloer gevoeliger voor veranderingen in de omgeving, de werking van de schuif en het aantal urinelozingen en defaecaties dan de vlakke vloer.



Figuur 3.24 Het verloop van de ammoniakemissie in de experimentele afdeling en de referentie afdeling en de staltemperatuur.
Figure 3.24 Pattern of ammonia emission and temperature in the experimental and reference compartments.



Figuur 3.25 Het verloop in de tijd van de gemeten procentuele verhouding tussen de ammoniak-emissies uit de experimentele afdeling en de referentie afdeling, alsmede de gefitte curves voorzover de verhouding tussen de ammoniakemissie als een exponentiële functie in de tijd te beschrijven was.
Figure 3.25 Pattern of the ratio between ammonia emissions from the experimental and reference compartments. Curves are presented provided the course could be described by an exponential curve.

In tabel 3.7 is de gemiddelde reductie van ammoniakemissie ten opzichte van de referentie afdeling in de tweede week, per behandeling en per proefperiode gegeven. Uit tabel 3.7 blijkt dat de herhaling van variant 1 sterk afwijkende waarnemingen opleverde. Aangezien uit het verloop van de exponentiële regressiecurve in proefperiode 1 ook al bleek dat in proefperiode 1 de ammoniakemissie van de experimentele afdeling nog toenam ten opzichte van die in de referentie afdeling, kan worden geconcludeerd dat deze proefperiode niet bruikbaar was om de ammoniakemissie van variant 1 te beoordelen. De gemiddelde reductie van ammoniakemissie van proefperiode 1 en proefperiode 6 in tabel 3.7 geeft dan ook een vertekend beeld van de ammoniakemissie van variant 1. De herhalingen van de overige behandelingen gaven wel redelijk tot goed vergelijkbare waarnemingen. In de verdere analyse is de eerste proefperiode buiten beschouwing gelaten.

Tabel 3.7 De gemiddelde procentuele reductie van ammoniakemissie van de experimentele afdeling ten opzichte van de referentie afdeling in de tweede week, per herhaling en per variant.

Table 3.7 The average percentual reduction of ammonia emission from the experimental compartment relative to the reference compartment in the second week, per experiment and variant.

variant	herhaling 1 [%]	herhaling 2 [%]	gemiddeld [%]
1	23	2	13
2	4	4	4
3	24	17	20
4	25	28	27

In tabel 3.8 zijn de schattingen voor C (de verhouding tussen de ammoniakemissies uit de experimentele afdeling en de referentie afdeling op log-schaal, bij een vlakke vloer en een schuiffrequentie van 12 maal per etmaal), H (het effect van een helling van 3% ten opzichte van een vlakke vloer) en S (het effect van een schuiffrequentie van 96 maal per etmaal ten opzichte van 12 maal per etmaal) weergegeven, alsmede de bijbehorende standaardfouten.

Tabel 3.8 De modelschattingen op log-schaal voor de modelparameters C, H en S, alsmede de bijbehorende standaard fouten (se).

Table 3.8 Estimation of model parameters C, H and S on a log-scale, and associated errors (se).

modelparameter	schatting (se)
C	0,002 (0,02)
H	-0,24 (0,02)
S	-0,06 (0,02)

Uit de modelschattingen volgen de in tabel 3.9 gegeven schattingen voor de verschillende varianten op de oorspronkelijke schaal.

Tabel 3.9 Ammoniakemissiereductie berekend uit de modelschattingen voor de uitgeteste behandelingen.

Table 3.9 Reduction of ammonia emission calculated with the model parameters of the variants tested.

variant	reductie [%]
1	0,0
2	5,0
3	21,0
4	26,0

Een analyse waarbij de vier varianten als afzonderlijke niveau's werden geschat, leverde geen significante verschillen op met de vermelde schattingen in tabel 3.9. Aangezien aanwijzingen voor een interactie-effect ($H \times S$) niet zijn gevonden, kunnen de afzonderlijke effecten van de helling en de schuiffrequentie bij elkaar worden opgeteld. Bij de onderzochte niveau's bleek de invloed van de helling groter te zijn dan die van de schuiffrequentie. Aangezien beide variaties slechts op twee niveaus zijn uitgetest, mogen de waarnemingen niet geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd worden naar andere niveaus. Indien er duidelijke redenen zijn om aan te nemen dat het verband tussen H of S en de reductie van ammoniakemissie volgens een bepaalde (bijvoorbeeld lineaire) functie zou kunnen worden beschreven, zou uit de vermelde reductie van ammoniakemissie wel een ruwe indicatie van de effecten bij andere niveaus kunnen worden afgeleid. Om betrouwbare schattingen te verkrijgen, zou de functie met behulp van regressie-analyse moeten worden vastgesteld op basis van metingen bij meer dan twee niveau's (bij een lineaire functie bij vijf of meer niveaus, afhankelijk van de variatie).

3.6.8 Lange herhaling variant 3

Doel

In de voor de zomer van 1995 uitgevoerde experimenten, werden gedurende acht perioden van twee weken verschillende varianten afgewisseld. Varianten waren een dichte vloer met of zonder eenzijdige helling gecombineerd met een lage of een hoge schuiffrequentie.

In de eerste proefperiode was na twee weken nog geen stabiele situatie met een constante ammoniakemissie ontstaan. In de latere proefperioden was dit veelal bij benadering na één week wel het geval. De ammoniakemissie werd beoordeeld op basis van de waarnemingen gedurende zeven opeenvolgende dagen per variant. Langere termijn variaties konden daardoor niet worden gekwantificeerd. Om een indruk te krijgen van de optredende variaties in reductie van ammoniakemissie en de daarmee samenhangende herhaalbaarheid van het proefresultaat werd één variant gedurende een langere periode na de zomer herhaald. De variant die herhaald werd, is variant 3; de variant met een helling van 3% en een schuiffrequentie van 12 maal per etmaal. Deze keuze was ingegeven door het feit dat de helling in het eerdere experiment het grootste effect op de ammoniakemissie had en de schuiffrequentie slechts een gering effect had. Bij de lage schuiffrequentie is er minder slijtage en is de kans op storingen aan het schuifstelsel kleiner. De lage schuiffrequentie heeft dus praktische voordelen.

Bevuiling

In de experimentele afdeling waren tussen begin juli en half augustus 1995 geen dieren gehuisvest. Vanaf 17 augustus 1995 werden er weer 10 dieren in deze afdeling gehuisvest. Vanaf 29 augustus werd de ammoniakemissie in de experimentele afdeling en de referentie afdeling gemeten. Voor die datum werd het jaarlijks noodzakelijke groot onderhoud aan de meetapparatuur verricht. Gedurende de 11 dagen tussen 17 en 29 augustus werd de stalvloer door de dieren bevuild, zodat de urease-activiteit op de stalvloer zich weer op kon bouwen.

Rantsoen, urine en mest

Op 28 augustus werd de mest in de kelder op hetzelfde uitgangsniveau (0,4 m mest) gebracht als bij de experimenten in de maanden april tot en met juli 1995. Daartoe werd wederom mest vanuit een andere stal aangevoerd. De samenstelling van de mest is weer gegeven in bijlage IX. Ter vergelijking zijn in deze bijlage tevens de mestsamenstellingen bij afsluiting van eerdere proefperiodes (op 25 april 1995 en 4 juli 1995) met dezelfde variant in de experimentele afdeling weergegeven.

Het ds-gehalte van de mest nam tijdens de proef toe. De aangevoerde mest bevatte blijkbaar meer water dan de tijdens het experiment geproduceerde mest of er trad meer verdamping op dan tijdens het voorgaande experiment. Bij afsluiting van een eerdere proefperiode op 25/4 had de mengmest circa 25% hogere ammonium- en totaalstikstofgehalten, dan bij afsluiting van een proefperiode op 5/10. Op 4/7 waren de gehalten vergelijkbaar met die op 5/10.

Het dagelijks rantsoen per dier bestond uit gras (15,3 kg; 54% ds) en krachtvoer (1,25 kg; 90% ds) met een speciale samenstelling. De samenstelling van de graskuil week sterk af van die in het voorjaar. Om toch nog een redelijk vergelijkbare energie- en stikstofopname te kunnen realiseren werd in tegenstelling tot in het voorjaar geen perspulp, maar meer gras gevoerd. De berekende opname aan nutriënten per dag bedroeg per koe (tussen haakjes staat de corresponderende waarde in het voorjaar) 8300 VEM¹ (8200), 680 g Darm Verteerbaar Eiwit (670), 200 g stikstof (206), 52 g natrium (40) en 230 g kalium (140). Om een vergelijkbare voerwateropname te realiseren als bij het eerdere rantsoen (21 l) werd 14 l water in het gemengde rantsoen verstrekt. Tussen beide rantsoenen was er een groot verschil in kaliumopname. Voor het overige waren de verschillen klein.

De hogere K-overmaat, die door de koe via de urine moet worden afgevoerd, kan leiden tot een grotere urineproductie. Een grotere urineproductie heeft een daling van de ureum- en totaalstikstofconcentratie in de urine tot gevolg en kan tot een groter aantal urinelozingen leiden en/of tot een groter volume per lozing. Een lagere ureumconcentratie in de urine leidt tot een lagere ammoniakemissie. Door een groter aantal urinelozingen wordt dit effect op de ammoniakemissie echter afgezwakt (Smits et al., 1996). De drinkwateropname per koe bedroeg circa 18 l/dag (voorzomer: 12,5 l/dag). Naast een grotere urineproductie (indicatie: +0,1 l water per g kaliumovermaat) kan ook het stalklimaat (afgifte van warmte door verdamping) tot verschillen in drinkwateropname hebben geleid.

De urinesamenstelling werd gedurende de proef op 3/10 steekproefsgewijs bepaald. Een maand later (op 6/11) werden bij hetzelfde rantsoen nogmaals urinemonsters genomen.

¹) 1 VEM = 1 Voeder Eenheid Melk = 6,9 kJ netto energie voor melkkoeien

De gemiddelde samenstelling van de urine per monsterdatum is weergegeven in tabel 3.10. Ter vergelijking zijn ook de waarden van monsters in het eerdere onderzoek vermeld.

Tabel 3.10 Samenstelling van urinemonsters: pH, totaal-N en ureum-N concentraties in urinemonsters genomen in de ochtenduren (7-9 uur) en in de middaguren (14-16 uur).

Table 3.10 Composition of urine samples: pH, total-N and urea-N in samples taken in the morning (7-9 h) and in the afternoon (14-16 h).

datum	ureum-N [g / l]		N-totaal [g / l]		pH [-]	
	7-9 h	14-16 h	7-9 h	14-16 h	7-9 h	14-16 h
11/4/95	3,1	6,7	4,0	9,0	8,1	8,3
09/6/95 ¹⁾	3,1	4,8			8,4	8,4
03/10/95	3,1	4,2	5,5	6,5	8,4	8,3
06/11/95 ²⁾	3,6	4,2	5,4	5,8	8,2	8,3

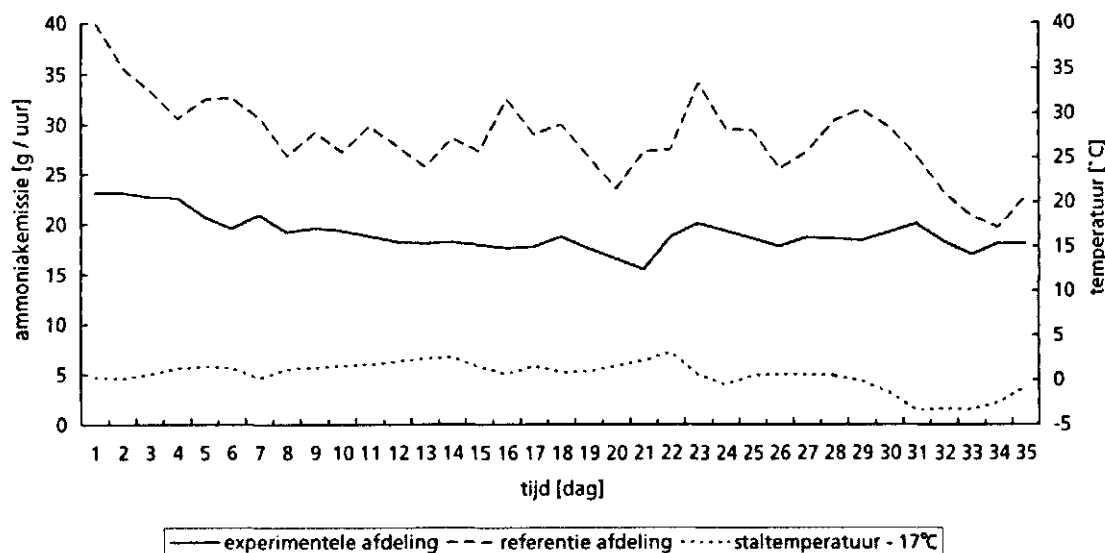
¹⁾ zowel in ochtend- als in middagmonsters van 9/6 was 10% van de ureum-N omgezet in ammonium-N; op andere dagen 1 à 2% ammonium-N.

²⁾ monsters 's ochtends tussen 8 en 12 uur genomen.

Uit tabel 3.10 blijkt dat de samenstelling van de urine in de ochtend vergelijkbaar was met die in het eerdere onderzoek. In de middagmonsters waren de concentraties lager. Deze lagere concentraties kunnen ondermeer zijn veroorzaakt door de grotere kaliumomvermaat in het rantsoen.

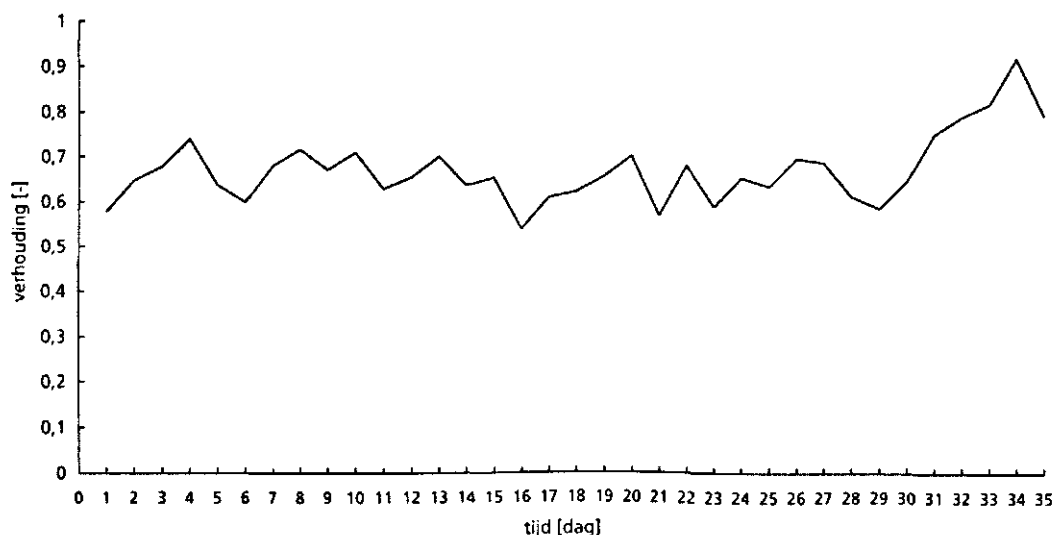
Het verloop van de ammoniakemissie gedurende de proef

Het verloop van de per dag gemiddelde ammoniakemissie, uitgedrukt in g/uur, in de experimentele afdeling en de referentie afdeling en de per dag gemiddelde staltemperatuur van 29 augustus tot 3 oktober zijn weergegeven in figuur 3.26. De gemiddelde staltemperatuur gedurende de proef was 17,1 °C. In figuur 3.26 is dit gemiddelde van de daggemiddelden van de temperaturen afgetrokken, zodat de afwijking van dit proefgemiddelde (ten opzichte van de x-as) zichtbaar wordt. Bovendien wordt hiermee voorkomen dat de weergave van de ammoniakemissie in de experimentele afdeling en de temperatuur samenvallen. Het verloop van de procentuele verhouding tussen de ammoniakemissie van de experimentele afdeling en de referentie afdeling gedurende de proef is weergegeven in figuur 3.27.



Figuur 3.26 Het verloop van de per dag gemiddelde ammoniakemissie [g / uur] in de experimentele afdeling en de referentie afdeling en de per dag gemiddelde staltemperatuur minus 17,1 °C gedurende de proef van 29 augustus tot 3 oktober 1995.

Figure 3.26 Pattern of mean daily ammonia emissions [g / h] from the experimental and reference compartments and the mean daily temperature in the house minus 17,1 °C during the experiment from August 29th to October 3rd, 1995.



Figuur 3.27 Het verloop van de verhouding tussen de ammoniakemissie van de experimentele afdeling en de referentie afdeling gedurende de proef van 29 augustus tot 3 oktober 1995.

Figure 3.27 Pattern of the ratio between ammonia emissions from the experimental and reference compartments during the experiment from August 29th to October 3rd, 1995.

Gedurende enkele dagen in de laatste week was de staltemperatuur laag in vergelijking met de rest van de proef. Op de daaraan voorafgaande en volgende dagen deed zich een vrij abrupte wisseling van de temperatuur voor. De ammoniakemissie in de referentie afdeling bleek sterk te dalen bij de lagere staltemperaturen, terwijl de ammoniakemissie van de experimentele afdeling een veel minder geprononceerd beeld liet zien. Hieruit volgde een veel minder grote reductie in ammoniakemissie dan in de rest van de proef. Om de gemiddelde reductie van ammoniakemissie en de variatie rond dit gemiddelde te berekenen en de eventuele invloed van temperatuurparameters te kwantificeren werd gebruik gemaakt van het volgende model:

$$\log(a_{\text{exp}}/a_{\text{ref}})_{(t)} = C + b_1 (T_{\text{stal}}(t) - 17,1) + v_{(t)} \quad 3.9$$

waarin:

- a_{exp} = ammoniakemissie in de experimentele afdeling [g / uur]
- a_{ref} = ammoniakemissie in de referentie afdeling [g / uur]
- C = de verhouding tussen de ammoniakemissie in de experimentele en de referentie afdeling op logaritmische schaal bij $T_{\text{stal}} = 17,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ [-]
- b_1 = regressiecoëfficiënt die de verandering van de verhouding in ammoniakemissie per graad Celsius verschil ten opzichte van de gemiddelde staltemperatuur weergeeft [1 / $^\circ\text{C}$]
- $T_{\text{stal}}(t)$ = de gemiddelde staltemperatuur op dag t [$^\circ\text{C}$]
- $v_{(t)}$ = de niet-verklaarde rest (v) op dag t [-]

De te verklaren variabele in dit model is de natuurlijke logaritme van het quotiënt van de ammoniakemissie van de experimentele afdeling en die van de referentie afdeling. De staltemperatuur was gecorreleerd met de buitentemperatuur ($r = 0,98$) en met het verschil tussen de buitentemperatuur en de staltemperatuur ($r = 0,76$). Door deze temperatuurparameters op te nemen naast of in plaats van de staltemperatuur werd het model niet verbeterd.

Ten aanzien van v_t werd een afhankelijkheid in de tijd verondersteld, die beschreven werd met behulp van een autoregressief proces van orde 1. Het daartoe gebruikte tijdreeksmodel was hetzelfde als het in paragraaf 3.6.7 gebruikte tijdreeksmodel:

$$v_{(t)} = b v_{(t-1)} + a_{(t)}$$

waarin:

- $v_{(t)}$ = de niet-verklaarde rest (v) op dag t [-]
- b = de regressiecoëfficiënt die aangeeft welk deel van de restterm van de voorgaande dag ($t-1$) op dag t meeweegt in de rest [-]
- $a_{(t)}$ = een onafhankelijke innovatie op dag t , dat wil zeggen het deel van de niet-verklaarde rest op dag t dat niet uit de rest op dag $t-1$ volgt [-]

Gemiddeld was de reductie in ammoniakemissie 33 % (betrouwbaarheidsinterval 30 tot 36 %). Het temperatuureffect was -3% per graad Celsius (betrouwbaarheidsinterval: -5,2 tot -0,4 %). Bij een temperatuur boven 17,1 $^\circ\text{C}$ nam de reductie van ammoniakemissie dus toe; bij een lagere temperatuur nam de reductie af. De staltemperatuur had naast een direct effect op de ammoniakemissie waarschijnlijk ook indirecte effecten, zoals de mate waarin lucht door spleten in de vloer door de kelder stroomde, warmteuitwisseling

tussen stallucht en stalvloer en tussen stallucht en temperatuur in de kelder. Deze processen konden de ammoniakemissie ook beïnvloeden. De indirecte effecten werden waarschijnlijk slechts in beperkte mate beschreven door de veronderstelde lineaire relatie tussen het daggemiddelde van de staltemperatuur en het daggemiddelde van de ammoniakemissie. Het betrouwbaarheidsinterval rond het temperatuureffect is waarschijnlijk mede daardoor vrij groot.

In het onderzoek in het voorjaar werd bij dezelfde variant in de experimentele afdeling een gemiddelde reductie van ammoniakemissie van 21 % gevonden. In de afzonderlijke perioden van dat eerdere onderzoek van 18/4-25/4 en van 28/6-4/7 waren de reducties respectievelijk 24 en 17 % bij staltemperatuurranges (daggemiddelden) van respectievelijk 10-15 °C en 20-25 °C. In het onderhavige onderzoek werd een wat hogere reductie gevonden. Het verschil tussen de proefresultaten voor en na de zomer is significant. Een ondubbelzinnige verklaring hiervoor is niet te geven. Meetfouten, rantsoenverschillen en daarmee samenhangende verschillen in N-uitscheiding in urine en mest en de urineproductie en urineloosingsfrequentie, alsmede verschillen in mestsamenstelling bij de aanvang van de verschillende experimenten kunnen naast klimaatverschillen en normale variatie tussen seizoenen een rol hebben gespeeld.

Verloop binnen etmaal

In figuur 3.28 is het gemiddelde verloop binnen een etmaal van de ammoniakemissie per uur in de referentie afdeling en in de experimentele afdeling weergegeven, in de eerste vier weken (gemiddelde van dag 1-28) en in de laatste week (gemiddelde van dag 30-35) van de proef. Dag 29 is als overgangsdag buiten beschouwing gelaten. In de experimentele afdeling was er slechts een klein verschil tussen dag 1-28 en dag 30-35. In de referentie afdeling was er daarentegen in de vijfde week een veel minder sterk verloop over de dag dan in week 1-4. De ammoniakemissie in de referentie afdeling was overdag lager dan 's nachts, terwijl in de experimentele afdeling de emissie overdag hoger was dan 's nachts. Tussen 12.00 en 17.00 uur waren de verschillen tussen beide afdelingen klein; daarna namen de verschillen toe.

In figuur 3.29 is het gemiddelde verloop binnen een etmaal van de staltemperatuur (staltemp.) en het verschil tussen de staltemperatuur en de buitentemperatuur (temp.verschil) in de referentie afdeling weergegeven, in de eerste vier weken (dag 1-28) en in de laatste week (dag 30-35) van de proef. Het verloop van de temperatuur in de experimentele afdeling was vrijwel identiek en daarom niet apart weergegeven. De gemiddelde staltemperatuur nam 's ochtends vanaf 7.00 uur geleidelijk toe tot 17.00 uur en daalde daarna geleidelijk. In de eerste vier weken werd het temperatuurverschil tussen 8.00 uur en 16.00 uur steeds kleiner; na 16.00 uur nam het temperatuurverschil weer toe. In week 5 was de gemiddelde staltemperatuur enkele graden lager. Het verschil tussen de stal- en buitentemperatuur varieerde toen veel minder per etmaal.

Uit het gemiddelde verloop van de ammoniakemissie, de staltemperatuur en het temperatuurverschil binnen een etmaal kan worden afgeleid dat de ammoniakemissie in de referentie afdeling sterker reageerde op temperatuurvariaties binnen een dag dan in de experimentele afdeling.

De droogstaande dieren vertonen een duidelijk dag/nacht-ritme: 's nachts liggen de meeste dieren in de ligboxen en wordt weinig urine op de stalvloer geloosd. De ammoniakemissie is dan waarschijnlijk grotendeels afkomstig uit de kelder en de restbron. Aangezien de ammoniakemissie 's nachts het hoogste was in de referentie afdeling, verdienen parameters die de ammoniakemissie van de kelder beïnvloeden (mestsamen-

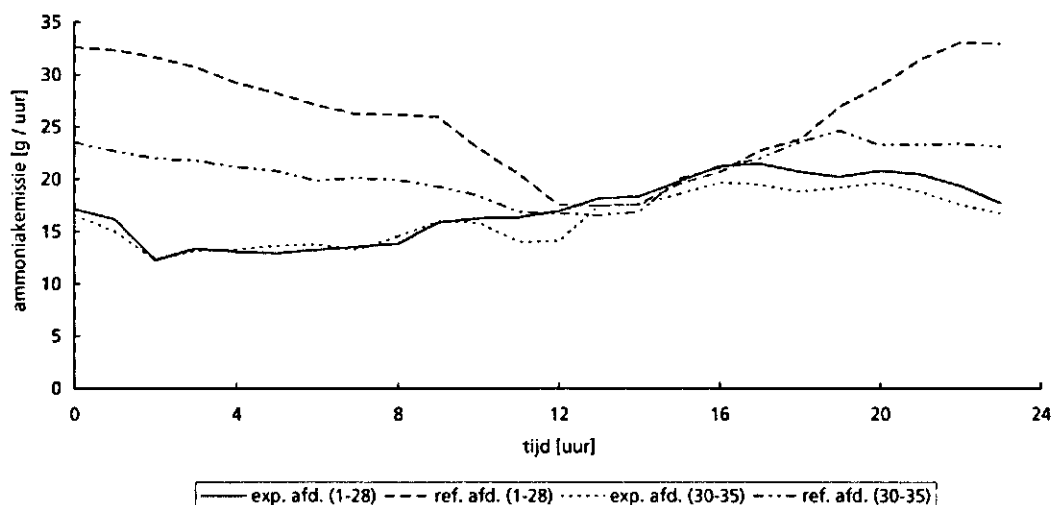
stelling, temperatuur, lichtsnelheid) speciale aandacht.

De samenstelling van de mest in de kelder bij aanvang en gedurende de proef is gegeven in bijlage IX. Bij hogere stikstof- en ammoniumgehaltes in de keldermest kan de ammoniakemissie van de kelder ook (veel) hoger zijn.

De koudere buitenlucht die 's nachts wordt aangevoerd, is zwaarder dan de door de dieren opgewarmde lucht in de stal en 'zakt' daardoor in sterkere mate de kelder in, dan de warmere buitenlucht overdag. In de kelder ontstaat daardoor 's nachts waarschijnlijk een sterkere luchtstroming over het emitterende mestoppervlak. De ammoniakemissie vanuit een mestlaag naar de erboven gelegen luchtlaag is volgens Elzing *et al.* (1992) evenredig met de lichtsnelheid tot de macht 0,8. De dichte vloer blijkt vooral bij de 's nachts waargenomen relatief grote temperatuurverschillen tussen stal- en buitenlucht een effectieve constructie om de ammoniakemissie van de kelder in vergelijking met de roostervloer te beperken. De relatie tussen de ammoniakemissie en lichtsnelheden en temperaturen op verschillende niveau's in de kelder en op de roostervloer in de referentie afdeling worden door Monteny *et al.* (1996) nader onderzocht en modelmatig beschreven.

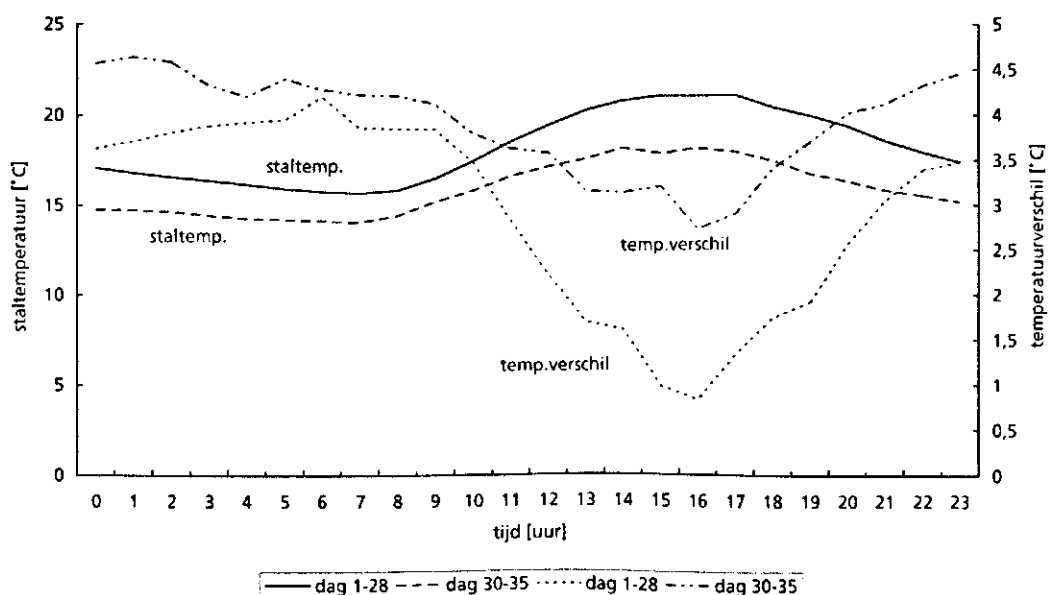
Temperatuurverschillen

Het verloop van het temperatuurverschil over de dag kan eenvoudig worden verklaard: In de stal wordt de stallucht zowel overdag als 's nachts opgewarmd door de vrij constante warmte-productie door de dieren. De buitenlucht wordt alleen overdag opgewarmd door de zon. De stralingswarmte van de zon heeft slechts een geringe directe invloed op de temperatuur in de stal omdat het staldak en de stalwanden zijn geïsoleerd. De hogere staltemperaturen overdag gaan -tot 18°C- gepaard met hogere ventilatievouden. 's Nachts wordt een geringere hoeveelheid, koudere buitenlucht per tijdseenheid in de stal dus meer opgewarmd dan overdag (en door de isolatie wordt er weinig warmte uitgestraald), zodat er 's nachts een groter verschil tussen stal- en buitentemperatuur wordt gerealiseerd.



Figuur 3.28 Het gemiddelde verloop binnen een etmaal van de ammoniakemissie per uur in de referentie afdeling (ref. afd.) en in de experimentele afdeling (exp. afd.), in de eerste vier weken (gemiddelde van dag 1-28) en in de laatste week (gemiddelde van dag 30-35) van de proef.

Figure 3.28 Mean pattern within a day of the ammonia emission from the reference compartment (ref. afd.) and the experimental compartment (exp. afd.), in the first four weeks (mean of day 1-28) and in the last week (mean of days 30-35) of the experiment.



Figuur 3.29 Het gemiddelde verloop binnen een etmaal (uurgemiddelden) van de staltemperatuur en het verschil tussen de temperatuur in de referentie afdeling en de buitentemperatuur, in de eerste vier weken (dag 1-28) en in de laatste week (dag 30-35) van de proef.

Figure 3.29 Mean pattern within a day (hourly means) of the temperature in the animal house and the temperature difference between reference compartment and outside air, during the first four weeks (days 1-28) and during the last week (days 30-35) of the experiment.

3.6.9 Discussie

Na desinfecteren van het vloeroppervlak was de resterende urease-activiteit van het vloeroppervlak bij aanvang van alle tweewekse proefperioden verwaarloosbaar: een urease-activiteit van hooguit $33 \text{ mg (NH}_3\text{-N) / m}^2 \text{ uur}$ (in proefperiode 6) komt overeen met een potentiële ammoniakproductiesnelheid van ruim $1 \text{ g (NH}_3\text{) / uur}$ voor de stalvloer (oppervlak $34,5 \text{ m}^2$). Dit cijfer moet worden vergeleken met een ammoniakemissie aan het einde van een proefperiode in de orde van $20 \text{ tot } 30 \text{ g (NH}_3\text{) / uur}$. Het doel om met een urease-activiteit van nagenoeg nul te starten was dus in alle proefperioden gerealiseerd.

Duidelijk is dat ongeacht de vloervariant de urease-activiteit van het vloeroppervlak geleidelijk toeneemt onder invloed van bevuiling met mest en urine. De snelheid waarmee dit gebeurt verschilt en lijkt in belangrijke mate te worden bepaald door de temperatuur.

Duidelijk is voorts dat de urease-activiteit van het vloeroppervlak van invloed is op de totale ammoniakemissie. Bij het vergelijken van ammoniakemissies moet dus rekening worden gehouden met verschillen in urease-activiteit van het vloeroppervlak. In het algemeen zal de ammoniakemissie bij een lage urease-activiteit afhankelijk zijn van de snelheid van ureumafbraak; bij een hoge urease-activiteit zal de ammoniakemissie afhankelijk zijn van het aanbod van ureum. Dit wordt geïllustreerd door de gegevens uit figuren 3.7 tot en met 3.14: toevoeging van extra ureum leidt alleen tot een hogere ammoniakemissie wanneer de urease-activiteit relatief hoog is. Bij een lage urease-activiteit is er op het vloeroppervlak steeds voldoende aanbod van ureum afkomstig uit urine.

Om een gunstig effect te kunnen hebben op de ammoniakemissie, moet de urease-activiteit van het vloeroppervlak laag zijn. Hoe laag kan worden geschat uit figuur 3.17. Deze laat zien dat een substantiële reductie in ammoniakemissie pas is te verwachten bij een urease-activiteit van minder dan circa $2000 \text{ mg (NH}_3\text{-N) / m}^2 \text{ uur}$. Vergelijken we deze kritische waarde met de eindwaarden die werden bereikt (figuren 3.7 tot en met 3.14), dan moet de conclusie zijn dat geen enkele variant garandeert dat dit niveau niet wordt overschreden. Dus, bij een ongehinderde opbouw van urease-activiteit is ongeacht de vloervariant de urease-activiteit uiteindelijk geen beperkende factor voor de ammoniakemissie. Alleen bij periodieke desinfectie met zuur bleek bij de onderzochte varianten de urease-activiteit zodanig te beperken, dat een reductie in ammoniakemissie werd bereikt. De duur van dit gunstige effect is echter zeer variabel en sterk afhankelijk van de opbouwssnelheid van urease-activiteit. In proefperiode 1 was deze opbouwssnelheid laag en bleef de urease-activiteit gedurende de volle twee weken beneden de kritieke drempelwaarde. De indruk bestaat dat deze snelle opbouw werd veroorzaakt door de sterke vervuiling van het vloeroppervlak met mest met name bij de hellende vloervarianten op momenten dat een hoge staltemperatuur het opdrogen van het vloeroppervlak nog verder stimuleerde.

Door de trage opbouw van urease-activiteit in proefperiode 1 is de maximale ammoniakemissie bij deze vloervariant vermoedelijk nog niet bereikt. De maximale ammoniakemissie vanaf een vlakke vloer met lage schuiffrequentie is hoger dan bij de overige drie vloervarianten. Als onderbouwing is hierbij het idee te gebruiken dat de maximale ammoniakemissie wordt bepaald door het gemiddelde aanbod van ureum op het vloeroppervlak, dit wil zeggen door de hoeveelheid urine die van elke lozing achterblijft. Hoe vlakker de vloer en hoe lager de schuiffrequentie, des te groter zal de hoeveelheid urine zijn die achterblijft. Door een vlakke vloer zeer frequent te schuiven kan het aanbod van

ureum wellicht zodanig worden verminderd, dat de maximale ammoniakemissie niet veel hoger is dan die van een hellende vloer. Echter, de schuif verspreidt de urine over een groter oppervlak dan de oorspronkelijke lozing. Dit heeft een ongunstige invloed op de ammoniakemissie. Een positief effect van het schuiven is weer wel, dat de faeces wordt verwijderd, waardoor afstroom van urine beter plaatsvindt. Bij uitvallen van de schuif kan de ammoniakemissie snel toenemen, wat zou inhouden dat het ammoniakemissierisico van een vlakke vloer hoog is.

De gemeten ammoniakemissie is voor alle vloervarianten hoog vergeleken met de Groen Label-norm voor een rundveestal met 10 dieren (circa $10 \text{ g (NH}_3\text{)} / \text{uur}$, volgend uit een toelaatbare jaaremmissie van $4,4 \text{ kg NH}_3$ per dier en een stalperiode van 190 dagen).

De stalemissie bij niet-beperkende urease-activiteit vertoont opmerkelijk kleine verschillen tussen de varianten. De verwachting was dat op de vlakke vloer met laag frequent schuiven het aanbod van urinestikstof veel groter zou zijn dan op de hellende vloer en dat dit zou leiden tot een veel hogere ammoniakemissie. Mogelijk is op een vlakke vloer niet het aanbod van urinestikstof beperkend voor de ammoniakemissie, maar de snelheid van vervluchtiging van ammoniak.

De schattingen van de bijdragen van verschillende bronnen aan de totale ammoniakemissie tonen dat in deze stal het vloeroppervlak bij de hellende varianten slechts voor ruwweg de helft van de totale ammoniakemissie verantwoordelijk was. Deze conclusie wordt ondersteund door bepalingen van de hoeveelheid achterblijvende urinestikstof. Dit aanbod van urinestikstof is vermoedelijk hoog in vergelijking met vloeren met een tweezijdig hellende vloer. Op basis van de gegevens in figuur 3.18 valt af te leiden dat bij een tweezijdig hellende vloer en een zelfde mestgangbreedte de gemiddelde urineplek ruim 30% kleiner zou zijn geweest. Voorts lijkt het aanbod van urinestikstof ook betrekkelijk hoog te zijn geweest door een hoge retentie per m^2 . Op een gecoat vloeroppervlak van de betonstal te Duiven werd de urineretentie in een eerder experiment geschat op $240 \text{ ml} / \text{m}^2$ na 15 minuten en nog slechts $150 \text{ ml} / \text{m}^2$ na 1 uur. Deze veel lagere waarde was vermoedelijk het gevolg van een betere reinheid van het vloeroppervlak als gevolg van zuinig spoelen met water in combinatie met een hogere urineproductie van de (melk)koeien in dat experiment. De sterke vervuiling van het vloeroppervlak met mest in de huidige proef kwam ook tot uiting in uitzonderlijk hoge blanco-waarden in de urease-test: de ammoniakproductie zonder toevoeging van ureum bedroeg aan het einde van de meeste proefperiodes enkele honderden $\text{mg (NH}_3\text{-N)} / \text{m}^2 \text{ uur}$ terwijl in andere experimenten nauwelijks waarden hoger dan enkele tientallen $\text{mg (NH}_3\text{-N)} / \text{m}^2 \text{ uur}$ werden gemeten. Een tweezijdig hellende vloer in combinatie met een schoner vloeroppervlak (door een betere schuifwerking bij regelmatig bevochtigen van het vloeroppervlak) zou dus het aanbod van urinestikstof kunnen verlagen tot minder dan de helft.

De bijdrage van andere bronnen dan het vloeroppervlak werd tijdens de zomer op de vlakke vloer geschat op $13 \text{ g (NH}_3\text{)} / \text{uur}$ (tabel 3.6). De metingen van de totale ammoniakemissie in afwezigheid van dieren (onder warme omstandigheden bij een ventilatie-debiet van $7000 \text{ m}^3 / \text{uur}$; juli 1995) suggereren dat het totaal van deze bronnen kan variëren van gemiddeld 5 tot $15 \text{ g (NH}_3\text{)} / \text{uur}$, afhankelijk van het momentane temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Deze waarden zijn hoog wanneer we ze vergelijken met een Groen Label-norm van $10 \text{ g (NH}_3\text{)} / \text{uur}$ voor deze stal. Het effect van afdichten wijst er op dat ongewenste ventilatie van de kelder optreedt wanneer het buiten kouder is dan binnen en dat dit een forse bijdrage van de kelder aan de ammoniakemissie kan veroorzaken. Dit is ontleend aan figuren 3.20 en 3.21, waaruit blijkt dat bij niet-afge-

dekte mestafstorten (de 'normale situatie'), de ammoniakemissie bij afwezigheid van dieren sterk toeneemt als de buitenlucht kouder is dan de binnenlucht (figuur 3.20). Door de mestafstorten af te dichten blijft deze sterke stijging achterwege (figuur 3.21), maar is nog wel sprake van ammoniakemissie.

De bijdrage van afzonderlijke bronnen van ammoniakemissie aan de totale ammoniakemissie kan in de tijd variëren binnen een stalsysteem. Voor het ene systeem kan de relatieve bijdrage van een bron van ammoniakemissie op een bepaald tijdstip anders zijn dan voor het andere systeem. Om een goed beeld te verkrijgen van de gemiddelde bijdrage van de bronnen van ammoniakemissie, zou continu of op verschillende, min of meer willekeurige dagdelen (tijdstippen) moeten worden gemeten.

In voorgaande experimenten zijn reducties van ammoniakemissie van circa 50% ten opzichte van de referentie gevonden bij hellende, dichte vloeren met een tweezijdig hellende vloer met een giergoot in het midden. In vergelijking met deze eerdere experimenten is de reductie van ammoniakemissie van de hier onderzochte, dichte eenzijdig hellende vloer aanzienlijk kleiner. Waarschijnlijk speelt de afstrooimengte van de urine een belangrijke rol. Daarnaast kan ook de mate waarin ammoniak vanuit de kelder ontsnapt verschillen door verschillen in kelderopeningen, die als lucht in- of uitlaat kunnen fungeren. De verschillen in temperaturen van de mest in de kelder (in het bijzonder de toplaag en de luchtlaag daarboven) en in de stal en de luchtdrukopbouw kunnen eveneens een rol spelen. Ook verschillen in mest- en urineproductie kunnen een rol spelen. Tussen jaren kunnen ook klimaat- en andere 'langere termijn'-verschillen optreden. Tevens kan in het stalseizoen de relatieve bijdrage van niet-geïdentificeerde bronnen (zoals ligbed, vacht) kleiner zijn dan tijdens de maanden mei - september. Concluderend moet worden gesteld dat om een aanzienlijk lagere ammoniakemissie uit deze stal te bereiken zowel de bijdrage van het vloeroppervlak als de bijdrage van overige bronnen (waaronder met name de kelder) moeten worden verminderd.

3.7 Experiment 2: De invloed van een tweezijdige helling en meerdere giergoten

3.7.1 Inleiding

Bij het aanpassen van het vloerontwerp zijn ervaringen uit het beschreven voorgaand onderzoek van experiment 1 gebruikt.

Voor wat betreft de ammoniakemissie van het vloeroppervlak lijkt het belang van een hellende uitvoering van de vloer aangetoond. Hierbij is op te merken dat een hogere reductie van emissie kan worden bereikt door de vloer niet eenzijdig, maar tweezijdig hellend uit te voeren. Hierdoor neemt de afstrooimengte van de urineplassen sterk af (zie ook figuur 3.18), waardoor het emitterend oppervlak afneemt. Bij de drie meter brede eenzijdig hellende vloer is sprake van een gemiddelde afstrooimengte van circa 1,5 m. Bij een tweezijdig hellende vloer met giergoot in het midden van de vloeroverspanning betekent dit, dat de afstrooimengte bij overigens ongewijzigde condities naar verwachting wordt gehalveerd. Op basis van figuur 3.18 kan worden gesteld dat dan sprake is van een reductie van het plasoppervlak met ruim 30%. De plassen die op de hellende vloerdelen ter weerszijden van de giergoot terechtkomen hebben een afstrooimengte die oploopt tot maximaal 1,5 m (de halve overspanning). Door het toevoegen van extra giergoten in de hellende delen van de vloer kan de gemiddelde afstrooimengte verder worden gereduceerd. Zo reduceert het aanbrengen van een extra

giergoot halverwege een hellend vloerdeel de gemiddelde afstrooimengte theoretisch met nog eens 50%. Dit betekent een gemiddelde afstrooimengte die nog maar 25% zou bedragen van die bij de eenzijdig hellende vloer.

Een verbeterde urine-afvoer heeft echter ook nadelen uit het oogpunt van beloopbaarheid. Omdat de vloer minder vochtig blijft, treedt bij drogende (weers)omstandigheden indroging van het vloeroppervlak op. De dan aanwezige mestfilm wordt bij bevochtigen (urineren) glad, waardoor de kans op uitglij-incidenten toeneemt. Tevens zal de reinigende werking van de schuif afnemen omdat deze op een droger oppervlak minder dwelende werking heeft. In de praktijk zijn beide problemen te ondervangen door op de schuif een sproeiinstallatie aan te brengen. Het reinigen is te verbeteren door te sproeien in de bewegingsrichting van de schuif. Wordt echter het vochtig houden van de vloer nagestreefd, dan verdient het aanbeveling in tegengestelde richting te sproeien zodat de schuif het opgebrachte water niet verwijderd. Het doel van het sproeien is niet zozeer het verlagen van de ammoniakemissie, maar de beloopbaarheid gunstig beïnvloeden.

Voor wat betreft het uitschakelen van de kelder als bron kan worden gesteld dat de verticale steekschotten zoals in experiment 1 gebruikt, ofwel niet geheel effectief waren, ofwel dat sprake was van niet nader geïdentificeerde ammoniakemissiebronnen. Toch werd ook in dit experiment op dezelfde wijze getracht de bijdrage van de kelder zoveel mogelijk te beperken. Daartoe werden verticale schotten in de afstorten aangebracht en het mestniveau zo hoog mogelijk gehouden.

3.7.2 Doel

Doel van het experiment was om de reductie van ammoniakemissie van een stal met een tweezijdig 3% hellende vloer en één of drie giergoten gecombineerd met wel of niet sproeien met water, ten opzichte van een referentie roostervloer vast te stellen

3.7.3 Varianten

In het onderzoek zijn vier varianten vergeleken. Het verschil in varianten werd bepaald door het aantal giergoten dat in een periode in gebruik was, gecombineerd met het wel of niet sproeien van de vloer.

Tabel 3.11 Kenmerken van varianten

Table 3.11 Properties of variants

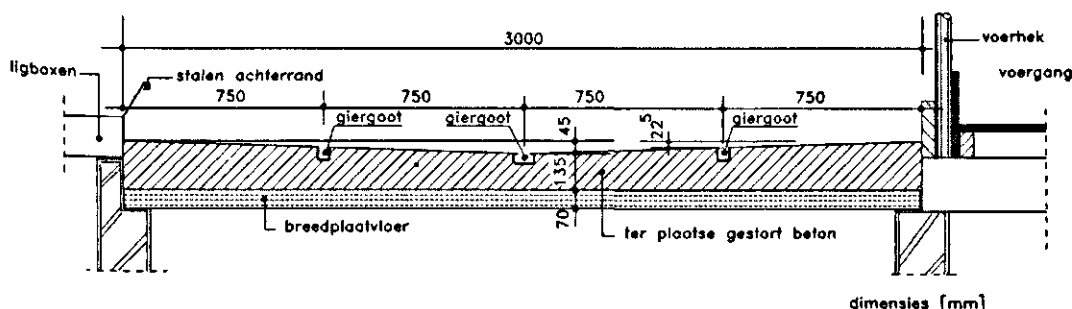
variant	helling [%] tweezijdig	aantal goten	schuiffrequentie [/ etmaal]	sproeihoeveelheid [l / etmaal]
1	3	1	12	60
2	3	1	12	0
3	3	3	12	60
4	3	3	12	0

De vloer was opgebouwd uit (geprefabriceerde en gewapende) breedplaatelamenten, die als permanente bekisting dienden, waarop ter plaatse een afwerkvloer werd gestort.

Het betonmengsel was als volgt samengesteld:

zand	44 %
grind 4-32 mm	57 %
CEM III / B HS	360 kg / m ³
totale hoeveelheid fijn materiaal (< 250 µm)	122 l

Het oppervlak was afgewerkt met een kunststof schuurbord. Nabewerken heeft niet plaatsgevonden.



Figuur 3.30 Dwarsdoorsnede van dichte, tweezijdig hellende betonvloer met drie giergoten.
Figure 3.30 Cross-section of two-sided sloped solid concrete floor provided with three urine gutters.

3.7.4 Opzet

Het experiment werd opgedeeld in 8 proefperioden van ieder 14 dagen. In iedere proefperiode werd een variant onderzocht. Dit betekent dat ieder van de vier varianten tweemaal werd onderzocht.

De dieren werden 15 dagen voor aanvang van de proefperioden in de experimentele afdeling geplaatst. Na één dag werden de experimenten gestart met een twee weken durende 'nul'-periode. Gedurende deze periode werd de sproeiinstallatie op de mest-schuif afgesteld op de gewenste hoeveelheid te sproeien water. Tevens kon in deze periode urease-activiteit op het vloeroppervlak worden opgebouwd. Deze periode wordt in het vervolg periode 0 genoemd.

Na periode 4 zijn de groepen dieren tussen de experimentele afdeling en de referentie afdeling gewisseld. Dit werd gedaan in een periode van één week, waarin geen metingen zijn uitgevoerd.

Na afloop van periode 8 zijn de dieren uit de experimentele afdeling verwijderd en werd de stalvloer met de hogedrukspuit gereinigd. De ammoniakemissie werd vervolgens nog gedurende twee weken gemeten. Gedurende de eerste van deze twee weken werden geen aanvullende maatregelen genomen, zodat kon worden vastgesteld welke ammoniakemissie tijdens de laatste fase van de experimenten optrad. Daarna werden de beide mestafstorten aan de vloereinden zorgvuldig afgedekt met plastic en tape. Ook in deze situatie werd de ammoniakemissie gedurende één week bepaald.

Tabel 3.12 geeft een overzicht van het gedurende experiment 2 gehanteerde proef-schema.

Tabel 3.12 Proefschema.**Table 3.12** Experimental plan.

proefperiode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
begindatum	19/3	2/4	16/4	30/4	21/5	4/6	18/6	2/7	16/7
einddatum	1/4	15/4	29/4	13/5	4/6	18/6	1/7	15/7	29/7
variant	1	4	2	3	2	3	1	4	1

Faeces en urine werden eenmaal per twee uur weggeschoven met een mestschuif naar afstorten aan de uiteinden van de stalvloer. De schuif was voorzien van een schuifstrip van natuurrubber. Aan de mestschuif waren klepels bevestigd die de giergo(o)t(en) reinigden. De sproeidoppen waren aan de mestschuif gemonteerd. De aandrijving van de mestschuif vond plaats door middel van een staakabel. Deze kabel was geplastificeerd om klauwgebreken bij de dieren te voorkomen. Om stortkegels in de mestkelder te voorkomen werd de mest in de kelder dagelijks tweemaal (13.00 uur en 1.00 uur) met een dompelmixer gemengd.

Door hardhouten latten aan te brengen in de twee giergoten gelegen in de hellende vloerdelen, werden de varianten met één giergoot verkregen.

3.7.5 Bepalingen

Vlakheid

De vlakheid van de ter plaatse gestorte vloer werd vastgesteld voor ingebruikname (28/2). Daarbij werd gebruik gemaakt van een rei van 3 m voor de vlakheid in langsricting en een rei van 0,75 m voor de dwarsrichting.

Gemiddelde ruwheidshoogte

De gemiddelde ruwheidshoogte werd gemeten direct voor ingebruikname en vervolgens op de achtste dag van iedere proefperiode. De vloer werd eerst plaatselijk schoongebezemd voordat de metingen werden uitgevoerd. Per proefperiode werden acht metingen uitgevoerd.

Stroefheid

De stroefheid werd op dezelfde dagen gemeten als de gemiddelde ruwheidshoogte. Ook hier werden acht metingen per proefperiode uitgevoerd. Stroefheid en ruwheid werden op dezelfde plaatsen gemeten.

Oppervlakte en afstrooimengte van urineplassen

De oppervlakte en afstrooimengte van urineplassen werden bepaald met behulp van een metalen raster, opgebouwd uit vakken van ieder 1 dm². De afstrooimengte werd bepaald door te registreren waar de urinelozing plaatsvond, zodat de afstand tot de dichtstbijgelegen giergoot kon worden vastgesteld.

De metingen werden uitgevoerd op de negende dag van iedere proefperiode van 12.00 tot 15.00 uur.

Aantal en plaats urinelozingen

De plaats van urinelozingen werd eveneens vastgesteld op basis van video-opnamen.

Daarbij werd aangegeven tussen welke giergoten de lozing plaatsvond. Gezien de in totaal drie giergoten werd de vloer daarbij opgedeeld in vier even grote delen, evenwijdig aan het voerhek (allen 0,75 m breed). Het aantal lozingen werd eveneens geregistreerd. Deze metingen hebben plaatsgevonden op 28/3, 11/4, 27/4, 9/5 en 1/6 en hebben de gehele dag (24 uur) omvat. Daarbij werd ook aangegeven op welke tijdstippen de lozingen plaatsvonden.

Ureumconcentratie

Op 11/6 en 9/7 werden tien urinemonsters genomen, verdeeld over de experimentele afdeling en de referentie afdeling. Het ureum-stikstof gehalte, het totaal-stikstof gehalte en de pH werden bepaald.

Opvang gier in giergoten

De hoeveelheid door de giergoten afgevoerd gier werd gemeten op de negende dag van iedere proefperiode. Tijdens deze metingen werd aan beide uiteinden van iedere in werking zijnde giergoot vastgesteld hoeveel gier tussen 8.00 tot 12.00 uur werd afgevoerd. Dit betrof zowel de gier die direct werd afgevoerd, als de gier die door de klepels aan de mestschuif uit de giergoot werd verwijderd. Bij de metingen werd er voor gezorgd dat geen gier werd opgevangen die door de mestschuif op het vloeroppervlak was verzameld en bij de mestafstorten werd afgestort.

Urease-activiteit

De urease-activiteit werd op acht plaatsen, gelijkmatig verspreid over de vloerbreedte, bepaald. Per plaats werden vier metingen uitgevoerd met een ureum-oplossing. Het protocol is in detail beschreven in paragrafen 2.5.1 en 3.6.5.

De metingen vonden plaats op dezelfde plaatsen waar ook de stroefheid en ruwheid werden gemeten.

Ammoniakemissie

De ammoniakemissie uit de experimentele afdeling en de referentie afdeling werden gedurende alle proefperioden geregistreerd. Daarbij werden tevens de staltemperatuur en de relatieve vochtigheid gemeten.

Ammoniakemissie bij afwezigheid van dieren

Zoals gesteld in paragraaf 3.7.1 'Inleiding' werd getracht de kelderemissie zoveel als mogelijk te reduceren. Om te beoordelen in hoeverre nog sprake was van ammoniakemissie bij afwezigheid van de dieren, werd na het verwijderen van de dieren de ammoniakemissie uit de experimentele afdeling gedurende nog 14 dagen gemeten. Na het verwijderen van de dieren werd de stalvloer grondig gereinigd met water onder hoge druk. Gedurende de opvolgende eerste week (30/7 - 6/8) werden geen verdere maatregelen genomen. Tijdens de tweede week (6/8 - 13/8) waren de mestafstorten zorgvuldig afgedekt en afgetaped met plastic.

3.7.6 Waarnemingen

Vlakheid

De langsvlakheid werd op 20 plaatsen vastgesteld met een 3 m lange rei. Het minimale

Tabel 3.12 Proefschema.**Table 3.12** Experimental plan.

proefperiode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
begindatum	19/3	2/4	16/4	30/4	21/5	4/6	18/6	2/7	16/7
einddatum	1/4	15/4	29/4	13/5	4/6	18/6	1/7	15/7	29/7
variant	1	4	2	3	2	3	1	4	1

Faeces en urine werden eenmaal per twee uur weggeschoven met een mestschuif naar afstorten aan de uiteinden van de stalvloer. De schuif was voorzien van een schuifstrip van natuurrubber. Aan de mestschuif waren klepels bevestigd die de giergo(o)t(en) reinigden. De sproeidoppen waren aan de mestschuif gemonteerd. De aandrijving van de mestschuif vond plaats door middel van een staalkabel. Deze kabel was geplastificeerd om klauwgebreken bij de dieren te voorkomen. Om stortkegels in de mestkelder te voorkomen werd de mest in de kelder dagelijks tweemaal (13.00 uur en 1.00 uur) met een dompelmixer gemengd.

Door hardhouten latten aan te brengen in de twee giergoten gelegen in de hellende vloerdelen, werden de varianten met één giergoot verkregen.

3.7.5 Bepalingen

Vlakheid

De vlakheid van de ter plaatse gestorte vloer werd vastgesteld voor ingebruikname (28/2). Daarbij werd gebruik gemaakt van een rei van 3 m voor de vlakheid in langsricting en een rei van 0,75 m voor de dwarsrichting.

Gemiddelde ruwheidshoogte

De gemiddelde ruwheidshoogte werd gemeten direct voor ingebruikname en vervolgens op de achtste dag van iedere proefperiode. De vloer werd eerst plaatselijk schoongebezemd voordat de metingen werden uitgevoerd. Per proefperiode werden acht metingen uitgevoerd.

Stroefheid

De stroefheid werd op dezelfde dagen gemeten als de gemiddelde ruwheidshoogte. Ook hier werden acht metingen per proefperiode uitgevoerd. Stroefheid en ruwheid werden op dezelfde plaatsen gemeten.

Oppervlakte en afstrooimengte van urineplassen

De oppervlakte en afstrooimengte van urineplassen werden bepaald met behulp van een metalen raster, opgebouwd uit vakken van ieder 1 dm². De afstrooimengte werd bepaald door te registreren waar de urinelozing plaatsvond, zodat de afstand tot de dichtstbijgelegen giergoot kon worden vastgesteld.

De metingen werden uitgevoerd op de negende dag van iedere proefperiode van 12.00 tot 15.00 uur.

Aantal en plaats urinelozingen

De plaats van urinelozingen werd eveneens vastgesteld op basis van video-opnamen.

Daarbij werd aangegeven tussen welke giergoten de lozing plaatsvond. Gezien de in totaal drie giergoten werd de vloer daarbij opgedeeld in vier even grote delen, evenwijdig aan het voerhek (allen 0,75 m breed). Het aantal lozingen werd eveneens geregistreerd. Deze metingen hebben plaatsgevonden op 28/3, 11/4, 27/4, 9/5 en 1/6 en hebben de gehele dag (24 uur) omvat. Daarbij werd ook aangegeven op welke tijdstippen de lozingen plaatsvonden.

Ureumconcentratie

Op 11/6 en 9/7 werden tien urinemonsters genomen, verdeeld over de experimentele afdeling en de referentie afdeling. Het ureum-stikstof gehalte, het totaal-stikstof gehalte en de pH werden bepaald.

Opvang gier in giergoten

De hoeveelheid door de giergoten afgevoerd gier werd gemeten op de negende dag van iedere proefperiode. Tijdens deze metingen werd aan beide uiteinden van iedere in werking zijnde giergoot vastgesteld hoeveel gier tussen 8.00 tot 12.00 uur werd afgevoerd. Dit betrof zowel de gier die direct werd afgevoerd, als de gier die door de klepels aan de mestschuif uit de giergoot werd verwijderd. Bij de metingen werd er voor gezorgd dat geen gier werd opgevangen die door de mestschuif op het vloeroppervlak was verzameld en bij de mestafstorten werd afgestort.

Urease-activiteit

De urease-activiteit werd op acht plaatsen, gelijkmatig verspreid over de vloerbreedte, bepaald. Per plaats werden vier metingen uitgevoerd met een ureum-oplossing. Het protocol is in detail beschreven in paragrafen 2.5.1 en 3.6.5.

De metingen vonden plaats op dezelfde plaatsen waar ook de stroefheid en ruwheid werden gemeten.

Ammoniakemissie

De ammoniakemissie uit de experimentele afdeling en de referentie afdeling werden gedurende alle proefperiodes geregistreerd. Daarbij werden tevens de staltemperatuur en de relatieve vochtigheid gemeten.

Ammoniakemissie bij afwezigheid van dieren

Zoals gesteld in paragraaf 3.7.1 'Inleiding' werd getracht de kelderemissie zoveel als mogelijk te reduceren. Om te beoordelen in hoeverre nog sprake was van ammoniakemissie bij afwezigheid van de dieren, werd na het verwijderen van de dieren de ammoniakemissie uit de experimentele afdeling gedurende nog 14 dagen gemeten. Na het verwijderen van de dieren werd de stalvloer grondig gereinigd met water onder hoge druk. Gedurende de opvolgende eerste week (30/7 - 6/8) werden geen verdere maatregelen genomen. Tijdens de tweede week (6/8 - 13/8) waren de mestafstorten zorgvuldig afgedekt en afgetaped met plastic.

3.7.6 Waarnemingen

Vlakheid

De langsvlakheid werd op 20 plaatsen vastgesteld met een 3 m lange rei. Het minimale

en maximale waargenomen hoogteverschil bedroeg respectievelijk 1,1 en 4,8 mm. Negen metingen (45%) gaven een hoogteverschil kleiner dan 2 mm; acht metingen (40%) tussen de 2 en 3 mm en drie metingen (15%) een verschil groter dan 3 mm.

De vlakheid in dwarsrichting werd op 24 plaatsen vastgesteld met een 0,75 m lange rei. Het maximale hoogteverschil was 2,2 mm; het minimum was gelijk aan nul. Zeventien metingen (71%) gaven een hoogteverschil van minder dan 2 mm; twee metingen (8%) tussen 2 en 3 mm en bij vijf metingen (21%) was sprake van een bolling, waardoor geen hoogteverschil kon worden vastgesteld.

Gemiddelde ruwheidshoogte

Tabel 3.13 toont de resultaten van de gemiddelde ruwheidshoogte bepalingen. De eerste kolom met resultaten betreft de metingen die werden uitgevoerd voordat de vloer ingebruik werd genomen.

Tabel 3.13 Gemiddelde ruwheidshoogte (incl. variatiecoëfficiënt) van tweezijdig hellende vloer.
Table 3.13 Mean surface roughness (incl. coefficient of variation) of two-sided sloped floor.

proefperiode		0	1	2	3	4	5	6	7	8
ruwheid [μm]	94	92	75	75	75	69	80	71	67	70
variatiecoëfficiënt	0,27	0,16	0,22	0,19	0,18	0,20	0,22	0,18	0,15	0,18

Stroefheid

De resultaten van de stroefheids bepalingen zijn weergegeven in tabel 3.14. Zowel de gemiddelden als de minima van de per keer uitgevoerde acht metingen zijn vermeld.

Tabel 3.14 Gemiddelde en minimum stroefheid (volgens Leroux) van tweezijdig hellende vloer.
Table 3.14 Mean and minimum skid resistance (Leroux' value) of two-sided sloped floor.

proefperiode		0	1	2	3	4	5	6	7	8
Stroefheid [%]										
– gemiddeld	70	71	69	63	62	59	55	58	55	55
– minimum	62	68	67	61	59	55	52	57	53	51

Oppervlakte en afstrooimengte van urineplassen

In tabel 3.15 zijn de resultaten opgenomen van de in totaal 9 perioden gedurende welke het urinegedrag van de dieren werd geregistreerd. In totaal 140 waarnemingen werden verricht.

Van deze 140 waarnemingen hadden er 78 betrekking op een vloer met alleen een centrale giergoot; de overige 62 waarnemingen betroffen een vloer met alle drie giergoten in werking. Het gemiddelde plasoppervlak was gelijk aan respectievelijk 1,01 en 0,90 m²; de gemiddelde afstrooimengte tot de centrale giergoot respectievelijk 0,81 en 0,87 m. Als bij de situatie met de drie giergoten de afstand tot de meest nabijgelegen giergoot werd beschouwd, was de gemiddelde afstrooimengte gelijk aan 0,42 m. In totaal 79 waarnemingen hadden betrekking op de situatie waarin de vloer werd gespreid. Het gemiddelde plasoppervlak was in dat geval gelijk aan 0,89 m². De reste-

rende 61 waarnemingen zijn verricht in perioden waarin niet werd gespreid. Het gemiddelde plasoppervlak was in die situatie gelijk aan 1,06 m².

Tabel 3.15 Oppervlakte en afstrooimengte van urineplassen bij tweezijdig hellende vloervariant.
Table 3.15 Area and draining distance of urine puddles on a two-sided sloped solid floor.

proefperiode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
aantal giergoten	1	3	1	3	1	3	1	3	1
sproeien	j	n	n	j	n	j	j	n	j
aantal waarnemingen	22	19	16	21	15	11	15	11	10
gemiddeld oppervlak [m²]	0,66	0,88	0,99	0,83	1,48	1,07	0,99	0,92	1,19
standaardafwijking [m²]	0,34	0,41	0,33	0,38	0,55	0,34	0,35	0,30	0,29
gemiddelde afstrooimengte									
tot centrale giergoot [m]	1,00	0,94	0,85	0,99	0,84	0,72	0,64	0,66	0,56
standaardafwijking [m]	0,35	0,41	0,31	0,39	0,39	0,38	0,37	0,39	0,33
gemiddelde afstrooimengte									
tot meest nabijgelegen									
giergoot [m]	n.v.t.	0,43	n.v.t.	0,52	n.v.t.	0,31	n.v.t.	0,32	n.v.t.
standaardafwijking [m]	n.v.t.	0,15	n.v.t.	0,20	n.v.t.	0,18	n.v.t.	0,17	n.v.t.

Bij de waarnemingen betreffende de proefperioden met alleen de centrale giergoot in werking, werd voor het verband tussen de plasgrootte en de afstand tot de giergoot gevonden:

$$y = 0,32 x + 0,75$$

3.10

waarin:

- y = gemiddelde plasgrootte
- [m²]
- x = afstand tot centrale giergoot
- [m]

Gedurende de perioden waarbij alle drie de giergoten in werking waren, was het verband:

$$y = 0,26 x + 0,79$$

3.11

waarin:

- y = gemiddelde plasgrootte
- [m²]
- x = afstand tot dichtstbij gelegen giergoot
- [m]

Aantal en plaats urinelozingen

Het op vijf dagen vastgestelde aantal urinelozingen en de lokatie is weergegeven in tabel 3.16. In tabel 3.17 is de procentuele verdeling gegeven.

Tabel 3.16 Verdeling van urinelozingen over vloervakken (1 = nabij ligboxen; 4 = achter voerhek).

Table 3.16 Distribution of urinations over the parts of the floor (1 = near the cubicles; 4 = at the feeding fence).

datum	1	2	3	4	totaal
28/3	26,5	24	9,5	14	74
11/4	28	28,5	7,5	4	68
27/4	23	23,5	11,5	9	67
09/5	30	17,5	10,5	15	73
01/6	17,5	23,5	8	9	58

Tabel 3.17 Procentuele verdeling van urinelozingen over vloervakken (1 = nabij ligboxen; 4 = achter voerhek).

Table 3.17 Percentual distribution of urinations over the parts of the floor (1 = near the cubicles; 4 = at the feeding fence).

datum	1	2	3	4	totaal
28/3	35,8	32,4	12,8	18,9	100
11/4	41,2	41,9	11,0	5,9	100
27/4	34,3	35,1	17,2	13,4	100
09/5	41,1	24,0	14,4	20,5	100
01/6	30,2	40,5	13,8	15,5	100
gem	36,5	34,8	13,8	14,9	100
min	30,2	24,0	11,0	5,9	
max	41,2	41,9	17,2	20,5	

Van de lozingen vond circa 65% plaats tussen 7.00 en 19.00 uur; 35% tussen 19.00 en 7.00 uur.

Ureumconcentratie

Tabel 3.18 bevat de gegevens van de urinemonsters die in de ochtend en de middag van 11/6 en 9/7 zijn genomen in de referentie afdeling en de experimentele afdeling. De verschillen tussen beide afdelingen waren zeer gering, zodat het gemiddelde resultaat is weergegeven.

Tabel 3.18 Samenstelling van urinemonsters: pH, totaal-N en ureum-N concentraties in urine-monsters genomen in de ochtenduren (7-9 uur) en in de middaguren (14-16 uur).

Table 3.18 Composition of urine samples: pH, total-N and urea-N concentrations in urine samples taken in the morning (7-9 h) and in the afternoon (14-16 h).

datum	ureum-N (g/l)		N-totaal (g/l)		pH (-)	
	7-9 h	14-16 h	7-9 h	14-16 h	7-9 h	14-16 h
11/6/96 ¹⁾	6,8	7,0	8,0	8,1	8,5	8,5
09/7/96 ²⁾	5,7	6,5	7,0	7,7	8,4	8,4

¹⁾ in proefperiode 4

²⁾ in proefperiode 6

Opvang gier in giergoten

De van 8.00 tot 12.00 uur op een ochtend van iedere proefperiode door de giergoten afgevoerde hoeveelheid gier is weergegeven in tabel 3.19. De vermelde hoeveelheid is gelijk aan de som van de hoeveelheden afgevoerd via de gooteinden ter plaatse van de centrale gang en de buitenmuur (zie figuur 3.1).

Tijdens proefperiode 8 was alleen de centrale giergoot in gebruik; de overige twee giergoten waren voorzien van hardhouten latten. Desondanks werd toch 1,5 l gier afgevoerd door de giergoot nabij de ligboxen.

Tabel 3.19 Hoeveelheden gier afgevoerd door de drie giergoten. Metingen verricht tussen 8.00 en 12.00 uur.

Table 3.19 Amounts of urine drained by the three urine gutters. Measurements performed from 8.00 to 12.00 hours.

proefperiode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
aantal giergoten	1	3	1	3	1	3	1	3	1
sproeien	j	n	n	j	n	j	j	n	j
datum	27/3	10/4	24/4	8/5	29/5	12/6	26/6	10/7	24/7
giergoot nabij ligboxen [l]	0	9	0	11	0	9,5	0	11	1,5
centrale giergoot [l]	34	11	31,5	21,5	21,5	15,5	36,5	32	31
giergoot nabij voerhek [l]	0	1	0	10,5	0	0	0	3	0

Urease-activiteit

Tabel 3.20 bevat de urease-activiteit op de achtste dag van de proefperioden. De in de tabel vermelde waarde is het gemiddelde van de in totaal 32 waarnemingen waarbij gebruik werd gemaakt van een ureumoplossing.

De metingen vonden plaats op dezelfde plaatsen waar ook de stroefheid en ruwheid werden gemeten.

Tabel 3.20 Gemiddelde urease-activiteit op de achtste dag van de tweeweekse proefperioden. Niet gecorrigeerd voor de staltemperatuur.

Table 3.20 Mean urease activity on the eighth day of each two-week testing period. No corrections made for temperature.

proefperiode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
aantal giergoten	1	3	1	3	1	3	1	3	1
sproeien	j	n	n	j	n	j	j	n	j
gemiddelde urease-activiteit [mg (NH ₃ -N) / m ² uur]	423	2271	6165	4084	3915	8798	3732	4446	5730

Ammoniakemissie

De ammoniakemissie uit de experimentele afdeling en de referentie afdeling werd gedurende alle proefperioden geregistreerd. Daarbij werden tevens de staltemperatuur en de relatieve vochtigheid gemeten.

Doel was om:

- vast te stellen of met de dichte vloerconstructie een ammoniakemissiereductie kon worden verkregen die qua orde van grootte vergelijkbaar was met die bij eerdere proeven met een vergelijkbare V-vormige, dichte vloer;
- de effecten op de ammoniakemissie van twee extra giergoten naast de centraal gelegen giergoot te bepalen;
- de effecten van beperkt sproeien met water op de ammoniakemissie te bepalen (naast het beoogde effect op de beloopbaarheid).

In de experimentele afdeling werd een nieuwe vloer onderzocht. Er werd een voorperiode (periode 0) van twee weken gereserveerd voor het bevuilen van de vloer, zodat urease-activiteit kon worden opgebouwd. De daarnavolgende proefperioden waren opgebouwd uit een aanlooperperiode van één week en een hoofdperiode van eveneens één week. In de hoofdperiode werden de verschillende metingen uitgevoerd. Bij aanvang van iedere proefperiode werd de vloer schoongespoten met water onder hoge druk, zodat er steeds een uniforme uitgangssituatie was en de proefsituatie in de voorgaande periode geen na-effect had (zoals het wel of niet spoelen in de voorgaande periode).

Het rantsoen per dier per dag bestond uit gras (19,5 kg; 26-36% ds), pulpbrok (0,63 kg; 91% ds), krachtvoer (1,5 kg; 90% ds) met een speciale samenstelling en gerstestro (2 kg; 88% ds). De berekende opname van nutriënten per dag is weergegeven in tabel 3.21.

Tabel 3.21 De opname van energie (1 VEM = 6908 J), darmverteerbaar eiwit (DVE), stikstof (N), natrium (Na) en kalium (K) per koe per dag.

Table 3.21 *Intake of energy (1 VEM = 6908 J), intestinally digestable protein (DVE), nitrogen (N), sodium (Na) and potassium (K), per cow per day.*

	periode 0 t/m 3	periode 4 t/m 8
VEM (-)	7700	9700
DVE (g)	545	745
N (g)	200	280
Na (g)	50	60
K (g)	200	245

Als gevolg van een pas achteraf opgemerkte wijziging in de samenstelling van het gevoerde kuilgras was de opname vanaf periode 4 beduidend hoger. In vergelijking met de voorgaande proeven (met eenzijdig hellende en vlakke vloer) was de opname van stikstof aanvankelijk vergelijkbaar, maar in de latere perioden ca 40% hoger. Er werd 10 liter leidingwater aan het rantsoen toegevoegd.

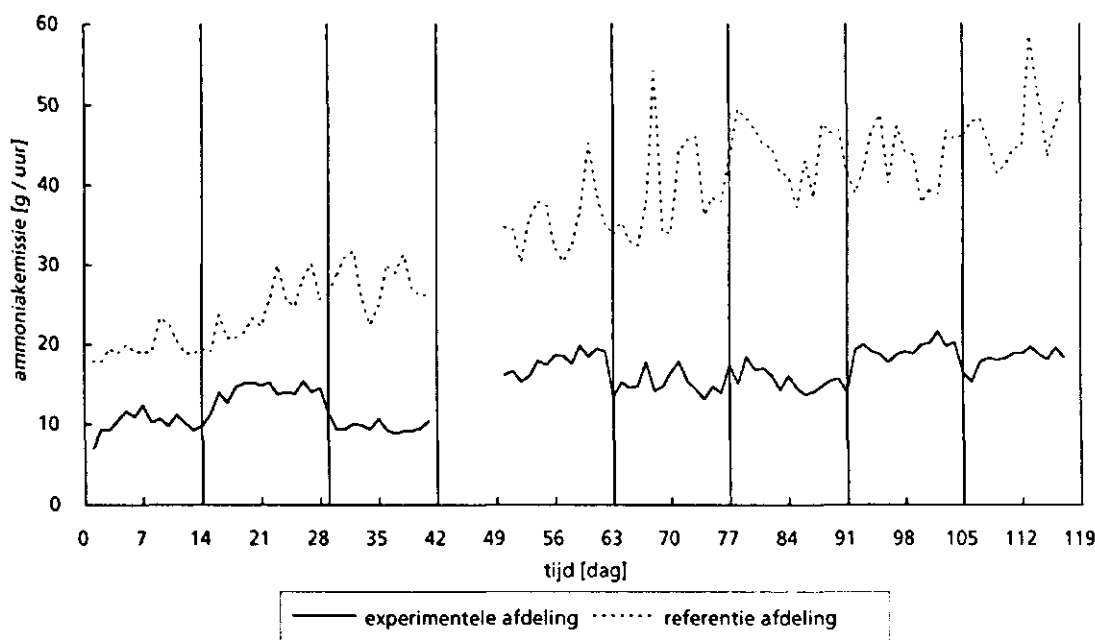
De samenstelling van de mest in de experimentele afdeling kon niet goed worden bepaald. Door de in de mest stekende verticale schotten bij de afstorten was het niet mogelijk om een homogene mestmassa te verkrijgen. De samenstelling van de mest in de referentie afdeling is weergegeven in bijlage IX.

De urinesamenstelling werd gedurende de proef op twee dagen -bij de hogere N-opname- steekproefsgewijs bepaald. De gemiddelde samenstelling van de urine per monsterdatum is weergegeven in tabel 3.18. De gemiddelden zijn gebaseerd op monsters

die bij tenminste de helft van alle koeien in de experimentele en de referentie afdeling werden opgevangen tijdens een urinelozing (mid-stream). Voor vergelijking met de waarden in het eerdere onderzoek wordt verwezen naar tabel 3.10.

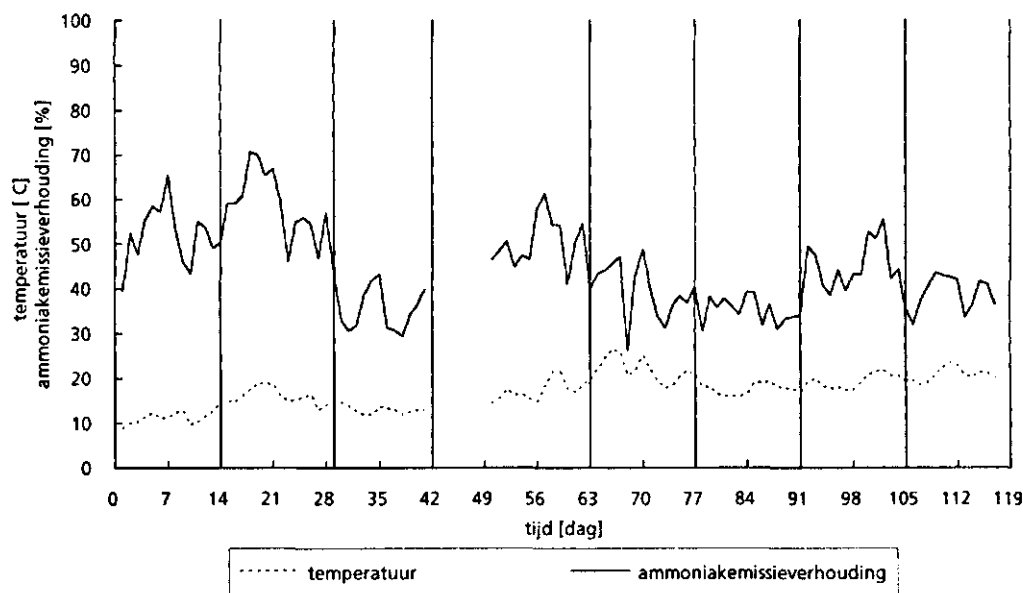
De ureum- en totaal-stikstofconcentraties in de urine waren hoger dan in het eerdere onderzoek. De N-opname was -vanaf periode 4- ook hoger dan in het eerdere onderzoek.

Het verloop van de per dag gemiddelde ammoniakemissie, uitgedrukt in g/h, in de experimentele afdeling en de referentie afdeling van 3 april 1996 tot 28 juli 1996 is weergegeven in figuur 3.31. Het verloop van de procentuele verhouding tussen de emissies van de experimentele afdeling en de referentie afdeling, alsmede de staltemperatuur gedurende de proef (daggemiddelden) is weergegeven in figuur 3.32. De gemiddelde staltemperatuur gedurende de proef was 17 °C. De meetresultaten van de laatste twee dagen van de proef (28 en 29 juli) werden buiten beschouwing gelaten, aangezien de voervoorraad toen ten dele op was (geen krachtvoer verstrekt).



Figuur 3.31 Het verloop van de per dag gemiddelde ammoniakemissie in de experimentele afdeling en de referentie afdeling gedurende de proef (van april tot augustus 1996).

Figure 3.31 Pattern of mean daily ammonia emission in the experimental and reference compartments, during the experiment of April - August 1996.



Figuur 3.32 Het verloop van de procentuele verhouding tussen de emissies van de experimentele afdeling en de referentie afdeling en de per dag gemiddelde staltemperatuur gedurende de proef.

Figure 3.32 Pattern of ratio (%) between ammonia emission of experimental and reference compartments and the daily mean temperature inside the house.

Ammoniakemissie bij afwezigheid van dieren

Gedurende de eerste week na het verwijderen van de dieren en het reinigen van de stalvloer daalde de ammoniakemissie naar een nagenoeg constant niveau van circa 3 g/h. Dit niveau werd reeds na circa twee dagen bereikt. Het afdichten van de mestafstorten gaf geen waarneembare ammoniakemissiereductie. Wel werd waargenomen dat het emissieniveau in de tijd geleidelijk daalde tot circa 2 g/h.

3.7.7 Analyse

Vlakheid

De in paragraaf 3.7.6 beschreven vlakheden voldoen aan de maximaal toegelaten waarden bij een 'normale' eis, die bij een 0,7 m en 3 m lange rei gelijk zijn aan respectievelijk 4 en 8 mm. Als een 'verzwaarde' eis wordt gekozen, bedragen de toelaatbare waarden respectievelijk 2 en 3 mm (NEN 2741, 1982). Dan blijkt dat bij de 0,7 m en 3 m lange rei respectievelijk 8% en 15% van de meetresultaten niet voldoen aan deze eis.

Gemiddelde ruwheidshoogte

De gemiddelde ruwheidshoogte lag voor aanvang van de experimenten in de buurt van de ondergrens zoals die voor ter plaatse gestort, handmatig ingeschuurd beton werd gevonden bij de proefstukken van $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$.

Na aanvang van de experimenten nam de ruwheid af. Dit kan zowel zijn veroorzaakt door het slijtage van het oppervlak als door het geleidelijk 'dichtslibben' van de oppervlaktestructuur door bevuilding.

Stroefheid

Voor aanvang van de experimenten lag het gemiddelde Leroux-getal (70) ruim boven de gewenste waarde van 63 (NEN 3873, 1989). Tijdens de experimenten daalde de waarde, tot een niveau gelijk aan circa 55 werd bereikt, dat gedurende verschillende opeenvolgende perioden bleef gehandhaafd.

Oppervlakte en afstrooimengte van urineplassen

Uit tabel 3.15 blijkt dat de gemiddelde plasgrootte niet in zodanige mate werd gereduceerd, als was verwacht op basis van een redenering gebaseerd op de afstrooimengte tot de meest nabijgelegen giergoot. Uit de waarnemingen is gebleken dat de urinelozingen tussen de giergoten in de hellende vloerdelen en de ligboxen of het voerhek meestal ook het vloerdeel tussen een giergoot in het hellende vloerdeel en de centrale giergoot bevuilden. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat een urineplas op een vlakke vloer (afstrooimengte = 0) een omvang van circa 0,8 m² heeft (Monteny *et al.*, 1996). Als dit wordt gemodelleerd tot een vierkant met zijden met een lengte gelijk aan 0,9 m bereikt een urinelozing op een hellend vloeroppervlak niet het vloerdeel gelegen aan de andere zijde van de giergoot, als de afstand van het lozingspunt tot de giergoot minstens gelijk is aan 0,45 m. Het gedeelte van de vloer gelegen tussen de giergoten in de hellende vloerdelen en de boxdekken en het voerhek is slechts 0,75 m breed. Dit betekent dat, theoretisch gezien, alleen urinelozingen die plaatsvinden binnen 0,3 m uit het boxdek en het voerhek geheel zullen afstromen naar een giergoot in het hellende vloerdeel. Overige lozingen zullen ook het vloerdeel gelegen tussen de giergoten bevuilden.

Aantal en plaats urinelozingen

De urinelozingen bleken niet gelijkmatig verdeeld over het vloeroppervlak plaats te vinden: 29% van de lozingen vond plaats op de vloerhelft nabij het voerhek, terwijl de resterende 71% plaatsvond op de vloerhelft nabij de ligboxen.

Binnen beide vloerhelften lijkt de verdeling wel gelijkmatig, aangezien ongeveer de helft van de lozingen op een vloerhelft plaatsvond in het vloerdeel gelegen boven de giergoot in het betreffende vloerdeel.

Opvang gier in giergoten

In periode 0 was het waterverbruik ten behoeve van het sproeien aanzienlijk hoger dan gepland (30 l i.p.v. 5-7 l per dier per dag). Daarom werden de resultaten uit deze periode buiten beschouwing gelaten bij het beoordelen van de effectiviteit van de giergoten. Gedurende de vier perioden waarin alleen de centrale giergoot in gebruik was, werd in totaal 53 en 67,5 l gier opgevangen in deze giergoot gedurende de twee perioden waarin respectievelijk niet en wel werd gesproeid. Per dag werd, gelijkmatig verdeeld over de dag, in totaal zo'n 50 - 70 l water gesproeid. Gedurende de meetperiode (van 8.00 tot 12.00 uur) is dus zo'n 10 l water over het vloeroppervlak verspreid. De extra hoeveelheid opgevangen gier kan voortkomen uit sproeiwater dat direct afvloeit naar de giergoot en/of urine die beter afstroomt bij een nat vloeroppervlak.

Tijdens de perioden waarin alle drie giergoten in gebruik waren, werd bij niet en wel sproeien in totaal respectievelijk 67 en 68 l gier opgevangen.

Indien werd gesproeid bleek het toepassen van drie in plaats van één giergoot niet te leiden tot een toename van de hoeveelheid gier die via de giergoten afstroomde.

Zowel bij niet als wel sproeien bleek de giergoot in het hellende vloerdeel nabij het voerhek aanzienlijk minder effectief te zijn dan de giergoot nabij de ligboxen.

Urease-activiteit

Uit tabel 3.20 blijkt dat de urease-activiteit halverwege alle proefperioden, behalve proefperiode 0, zodanig hoog was, dat deze niet beperkend was voor de ammoniak-emissie vanaf het vloeroppervlak, zie ook figuur 3.17.

Ammoniakemissie en ammoniakemissiereductie

De procentuele verhouding tussen de emissies van de experimentele afdeling en de referentie afdeling in de tweede week van de meetperioden werd statistisch geanalyseerd. Tijdens de experimenten werden na de derde proefperiode de diergroepen gewisseld tussen de afdelingen. Later bleek dat de gerealiseerde stikstofopname via het voer vanaf de vierde periode circa 40% hoger was dan in de voorafgaande perioden. Ook bleek dat in de eerste drie proefperioden het daggemiddelde van de staltemperatuur vrijwel steeds lager was dan 17 °C, terwijl daarna de staltemperatuur hoger was dan 17 °C. Er werd daarom rekening gehouden met een mogelijk verschil tussen twee blokken: periode 1 t/m 3 was blok 1; periode 4 t/m 9 was blok 2.

Uit een vooranalyse bleek dat er geen significant effect op de emissieverhouding was van drie giergoten ten opzichte van één giergoot, terwijl er wel een significant sproei-effect en een blok-effect was. Er werd uiteindelijk gebruik gemaakt van het volgende statistische model om de gemiddelde emissiereductie en de variatie rond dit gemiddelde te berekenen en de invloed van het al dan niet sproeien met een beperkte hoeveelheid water en de invloed van de staltemperatuur te kwantificeren:

$$\log(a_{\text{exp}}/a_{\text{ref}})_{(t)} = C + \text{Blok} + \text{Sproei} + b_1 * (T_{\text{stal}(t)} - 17,1) + v_{(t)} \quad 3.12$$

waarin:

a_x	= ammoniakemissie in afdeling x (x = exp, experimentele of x = ref, referentie afdeling) op dag t	[g / uur]
C	= de emissieverhouding tussen de experimentele afdeling en de referentie afdeling op logaritmische schaal, zonder te sproeien met water, in blok 1, bij $T_{\text{stal}} = 17\text{ °C}$	[-]
Blok	= het verschil van blok 2 (periode 4 t/m 8) ten opzichte van blok 1	[-]
Sproei	= het effect van het sproeien met een beperkte hoeveelheid water (5-7 l water per schuifbeurt; schuiffrequentie (per dag): 12)	[-]
b_1	= regressiecoëfficiënt die de verandering van de emissieverhouding per graad celsius verschil ten opzichte van de gemiddelde staltemperatuur weergeeft	[1/ °C]
$T_{\text{stal}(t)}$	= de gemiddelde staltemperatuur op dag t	[°C]
$v_{(t)}$	= de niet-verklaarde rest (v) op dag t	[-]

De te verklaren variabele in dit model is de natuurlijke logaritme van het quotiënt van de emissie van de experimentele afdeling en die van de referentie afdeling. Ten aanzien van $v_{(t)}$ is een afhankelijkheid in de tijd verondersteld, die beschreven is met behulp van een autoregressief proces van orde 1. Het daartoe gedefinieerde tijdreeksmodel luidde:

$$v_{(t)} = b v_{(t-1)} + a_{(t)}$$

waarin:

- b = de regressiecoëfficiënt die aangeeft welk deel van de restterm van de voorgaande dag (t-1) op dag t meeweegt in de rest [-]
- $a_{(t)}$ = een onafhankelijke innovatie op dag t, dat wil zeggen het deel van de niet-verklaarde rest op dag t dat niet uit de rest op dag (t-1) volgt [-]

In tabel 3.22 zijn de schattingen van de coëfficiënten van de variabelen in het model op logaritmische schaal, de bijbehorende standaardafwijkingen en de effecten op de oorspronkelijke schaal weergegeven.

Tabel 3.22 Schattingen van coëfficiënten van variabelen in het model op logaritmische schaal, de bijbehorende standaardafwijkingen en de effecten op de oorspronkelijke schaal.

Table 3.22 *Estimates of coefficients of variables in the timeseries model of the log-transformed ammonia emission, their standard errors (se) and the effects on an arithmetic scale.*

	log schaal		oorspronkelijke schaal	
	schatting	± se	gem (%)	(btbh-i)
C	-0,54	± 0,05	58	(53,64)
Blok	-0,21	± 0,07	81	(70,94)
Sproei	-0,36	± 0,04	70	(64,75)
T	0,035	± 0,009	103,5	(102,105)

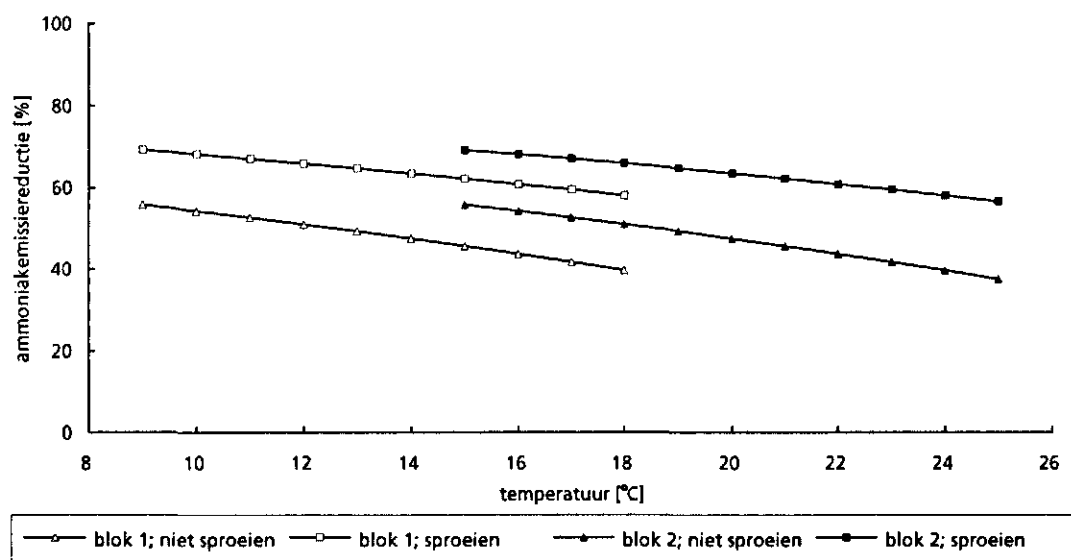
De emissiereductie in procenten werd vervolgens berekend als:

$$[1 - e^{\log(a_{exp} / a_{ref})}] * 100\%$$

3.13

Daarbij werden de regressieschattingen voor $\log(a_{exp}/a_{ref})$ toegepast (zie formule 3.12).

In figuur 3.33 is de aldus berekende emissiereductie weergegeven in relatie tot de temperatuur, in blok 1 en 2; zowel bij niet als bij wel sproeien. De emissiereductie nam af bij hogere temperaturen. In blok 2 was de emissiereductie groter dan in blok 1. Het blok-effect en het temperatuureffect werkten tegengesteld. Daardoor zijn de emissiereducties in blok 2, bij temperaturen boven 17 °C, vergelijkbaar met die in blok 1 bij temperaturen beneden 17 °C. Zo kan in figuur 3.33 worden afgelezen dat de emissiereductie in blok 1 bij een temperatuur van 13 °C ongeveer even groot is als die in blok 2 bij een temperatuur van 20 °C.



Figuur 3.33 De berekende ammoniakemissiereductie in relatie tot de temperatuur, in blok één en twee; zowel bij niet als bij wel sproeien.

Figure 3.33 Relationship between calculated ammonia emission reduction (%) and temperature, for period 1-3 ('blok 1') and period 4-8 ('blok 2'), with and without spraying separately.

Ammoniakemissie bij afwezigheid van dieren

De ammoniakemissie die is waargenomen na het verwijderen van de dieren wijst er op dat de kelderemissie gedurende de experimenten in sterke mate was teruggedrongen. In tegenstelling tot het experiment met de eenzijdig hellende vloervariant zonder verticale schotten en met een normaal mestniveau (figuur 3.19 en 3.20) bleek de ammoniakemissie ook zonder het afdichten van de mestafstorten te zijn teruggedrongen tot een relatief lage waarde.

3.7.8 Discussie

Het experiment met de tweezijdig hellende vloer heeft geresulteerd in ammoniakemissiereducties die, voor wat betreft de situatie waarin niet werd gesproeid, in overeenstemming waren met eerder uitgevoerde experimenten (tabel 3.2). Dit betekent een reductie met circa 50%. Vergeleken met de eerder beschreven eenzijdig hellende vloervariant is sprake van een aanzienlijke toename van de ammoniakemissiereductie (van 21% naar circa 50%) ten opzichte van een standaard roostervloer.

De toename van de ammoniakemissiereductie is waarschijnlijk toe te schrijven aan twee factoren. Ten eerste de reductie van de kelderemissie die, zoals bleek na het verwijderen van de dieren, is teruggebracht tot een niveau van zo'n 3 g NH₃ / uur. Vergeleken met de eerder vastgestelde circa 10 g NH₃ / uur (figuur 3.19) is sprake van een aanzienlijke emissiereductie. Een tweede factor die heeft bijgedragen aan de ammoniakemissiereductie is de tweezijdige in plaats van eenzijdige helling van het vloeroppervlak, waardoor urine-lazingen over een geringer oppervlak werden gespreid.

De toename van de ammoniakemissiereductie met circa 15 procentpunt ten gevolge van het sproeien van water is waarschijnlijk veroorzaakt door de betere reiniging van het

vloeroppervlak, waardoor een dunnere urinelaag achterblijft. Deze gedachte wordt ondersteund door het feit dat het waterverbruik bij het met water onder hoge druk reinigen van de vloer tussen de proefperioden, halveerde als in de voorgaande proefperiode de vloer wel in plaats van niet was gesproeid.

Voordat proefperiode 1 startte was de nieuwe vloer al gedurende ruim twee weken bevuild door de dieren. Voor de opbouw van een voor de ammoniakemissie niet-beperkende urease-activiteit is dit voldoende geweest (tabel 3.20). De opeenvolgende meetperioden duurden slechts twee weken. De hechting van een mestfilm aan het vloeroppervlak kon daardoor slechts in beperkte mate plaatsvinden. Bovendien is slechts gedurende een beperkt deel van het zomerseizoen onderzoek verricht. Waarschijnlijk ontstaat een mestfilm op de vloer vooral onder warme, drogende omstandigheden. Door de korte proefduur was de kans op het ontstaan van een mestfilm klein, te meer daar na elke proefperiode de stalvloer weer met een hogedruk spuit werd gereinigd. Door gedurende langere tijd niet te sproeien zouden wellicht grotere verschillen ontstaan dan in deze proef. In hoeverre dit de ammoniakemissie beïnvloedt, is niet bekend. In het verleden is gebleken dat de urease-activiteit van de vloer niet werd verwijderd door reiniging met water onder hoge druk. In dit opzicht is er dus geen reden om een groot effect te verwachten van de toegepaste, tweewekelijkse reiniging.

Met de extra goten zou in theorie een snellere afvoer van urine en dus een korter verblijf op de in sterke mate urease-actieve vloer mogelijk zijn. Daardoor zou een lagere emissie kunnen worden bereikt. Uit de waargenomen verdeling van urineplassen over het vloeroppervlak bleek dat op het vloergedeelte direkt achter de ligbox, waarvoor een buitenste urinegoot in eerste instantie als afvoer fungeerde, gemiddeld circa 36% van alle urinelozingen in een etmaal terecht kwam. Op het vloergedeelte direkt achter het voerhek, waarvoor de andere buitenste giergoot als afvoer fungeerde, kwam gemiddeld circa 15% van alle lozingen terecht. De hoeveelheden urine die in de verschillende giergoten werden opgevangen weerspiegelden deze verdeling van plassen min of meer. Uit tabel 3.19 blijkt immers dat in perioden 1, 3, 5 en 7 circa 10% van de totaal opgevangen hoeveelheid gier afkomstig was uit de giergoot nabij het voerhek. De giergoot nabij de ligboxen ving zo'n 30% op; de resterende 60% werd afgevoerd door de centrale giergoot. De totaal afgevoerde hoeveelheid gier was bij drie giergoten echter slechts zo'n 10% groter dan bij de uitvoering met één giergoot. Dit geeft aan dat de extra giergoten in de hellende vloerdelen niet hebben bijgedragen tot de afvoer van substantieel meer urine.

Niet alleen een grondige, maar ook een snelle afvoer van urine kan bijdragen aan de ammoniakemissiereductie. Uit de relaties tussen afstroamlengte en plasgrootte blijkt echter dat de extra giergoten nauwelijks te hebben geleid tot een reductie van de plasgrootte. Zoals aangegeven in de vorige paragraaf is dit waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat de urinelozingen een aanzienlijke afstand (zo'n halve meter) van de giergoot moeten zijn verwijderd, wil er geen urine aan beide zijden van de giergoot terechtkomen. Omdat de afstand tussen de meest naar buiten gelegen giergoten en de ligboxen en het voerhoek slechts 0,75 m bedroeg, waren er dus maar weinig urinelozingen die geheel afstroonden naar de giergoten in de hellende vloerdelen.

Hoewel slechts 5 tot 7 liter sproeiwater per koe per dag werd gebruikt, werd toch een significante additionele emissiereductie ten opzichte van de referentie afdeling gevonden van circa 16 procentpunt. Binnen de experimentele afdeling nam de emissie

met 30% af door te sproeien. Per droogstaande koe werd ongeveer 50 liter mengmest per dag geproduceerd. Het sproeiwater leidde dus tot een toename van het mestvolume met ruim 10%.

Swierstra et al. (1996) vonden in dezelfde accommodatie met droogstaande koeien bij een spoelwaterverbruik van 30 liter per koe per dag op een tweezijdig hellende, dichte vloer met een kunststof-cementdekvloer een additionele emissiereductie ten opzichte van de referentie afdeling van 17 procentpunt.

Bleijenberg et al. (1995) vonden emissiereducties van 19% en 11% door in een stal met 34 lacterende melkkoeien (mengmestproductie per koe naar schatting 100 l/dag) de dichte vloer via een autoschuif te sproeien met respectievelijk 14,0 en 23,5 liter water per dier per dag. De vloerelementen waren bij dit vloertype zodanig geplaatst, dat ze een afwisselend dalend en stijgend verloop van het vloeroppervlak in langsrichting gaven. Op de laagst gelegen punten waren de vloerelementen iets uit elkaar geplaatst, waardoor een circa 3 cm brede spleet over de gehele vloerbreedte aanwezig was waardoor de mest kan worden afgestort. De emissiereductie is hierbij vastgesteld door de niet-gespoelde dichte vloer als referentie te gebruiken. De lagere emissiereductie bij het hogere waterverbruik was overigens niet significant verschillend van de hogere emissiereductie bij het lagere waterverbruik.

Huis in 't Veld et al. (1994a, 1994b) vonden een emissiereductie van 14% op een tweezijdig hellende vloer (voorzien van een 0,4 m brede giergoot, afgedekt met een stalen rooster) bij een spoelwaterverbruik per koe van 28 l/dag. Ook hier diende de niet-gespoelde dichte vloer als referentie.

Geconcludeerd kan worden dat het sproei-effect bij gebruik van een beperkte hoeveelheid water per koe vrij hoog is in vergelijking met eerdere onderzoeken. In het algemeen lijkt sproeien een toename van de ammoniakemissiereductie met 10 tot 30 procentpunt mogelijk te maken.

De ammoniakemissie uit de experimentele afdeling varieerde in proefperiodes 1 en 2 (zonder sproeien) tussen 9 en 15 g/h en in proefperiode 3 (met sproeien) rond de 10 g/h. Dit komt neer op een emissie per koe van 4,1 tot 6,8 kg per stalperiode van 190 dagen bij een temperatuur van 10 tot 20 °C zonder te sproeien en een emissie van 4,6 kg per stalperiode van 190 dagen bij een temperatuur van circa 15 °C bij sproeien met 5 tot 7 liter water per koe per dag.

In de referentie afdeling is de emissie steeds ongeveer tweemaal zo hoog. Rekening houdend met de hogere temperaturen tijdens dit experiment dan tijdens een normale stalperiode is de emissie in de referentie afdeling vergelijkbaar met die van de door de overheid bepaalde emissiefactor voor melkkoeien. De emissie in de experimentele afdeling is daar zonder te sproeien ongeveer de helft van. Als er gesproeid wordt met een beperkte hoeveelheid water is dit systeem dus Groen Label-waardig. Het sproeien komt de beloopbaarheid waarschijnlijk ten goede. Onder drogende, zomerse omstandigheden is wellicht een groter waterverbruik nodig om het aankoeien en opdrogen van mest te voorkomen.

3.8 Conclusies

De in dit hoofdstuk beschreven dichte vloeren zonder coating zijn beproefd in een afdeling met 10 koeien van een milieu-onderzoekstal van proefboerderij 'De Vijf Roeden' te

Duiven. De ammoniakemissie werd vergeleken met die uit een afdeling met een rooster-vloer. Bij de dichte vloeren werd de door een schuif verzamelde mest aan einden van de stal afgestort in de onder de vloer gelegen mestkelder. De invloed op de ammoniak-emissie van vloerhelling, schuiffrequentie, aantal giergoten en afdichten van de mestkelder werd onderzocht.

Bij een vlakke en 3% eenzijdig hellende dichte vloer werd een emissiereductie van 0, resp. 21% vastgesteld (schuiffrequentie: 12 keer per 24 uur). Bij een acht maal zo hoge schuiffrequentie werden reducties van respectievelijk 5% en 26% waargenomen. In een warme periode (juli 1995) was de kelderemissie -ondanks de dichte vloer erboven- nog aanzienlijk (ca. 1/3 deel van de totale stalemissie). Dit is in belangrijke mate veroorzaakt door de mestafstorten aan de vloereinden.

In een vervolgonderzoek waarbij een tweezijdig hellende (V-vormige) vloer werd toegepast zijn maatregelen genomen om de kelderemissie terug te dringen. Ook hier werd geen coating op het vloeroppervlak aangebracht. De mestschuif was voorzien van een sproei-installatie die het vloeroppervlak bevochtigde nadat de mest was verwijderd. Bij een normale schuiffrequentie was het waterverbruik 5 - 7 liter per koe per dag. De ammoniakemissiereductie was bij niet en wel sproeien respectievelijk 50% en 65%. De vorm van de vloer bepaalt hoe snel urine wordt afgevoerd. Een snelle afvoer, via een korte afstroamlengte, beperkt de ammoniakemissie vanaf de vloer. Een V-vormige dichte vloer met een giergoot in het midden verdient daarom de voorkeur boven een vlakke of eenzijdig hellende vloer. Extra giergoten, waarmee de urine in theorie sneller afgevoerd zou worden, hadden geen noemenswaardig effect.

Verder is gebleken dat een goede afdichting van de mestkelder onder de vloer cruciaal is: zodra luchtstroming door spleten in de vloer kan plaatsvinden is de emissie uit de mestkelder niet meer volledig te onderdrukken.

4 Modelvorming

4.1 Inleiding

In de hoofdstukken 2 en 3 zijn de resultaten van een groot aantal experimenten beschreven. In hoofdstuk 2 lag de nadruk op het vinden van relaties tussen oppervlakte eigenschappen enerzijds en factoren die de ammoniakemissie beïnvloeden (o.a. urease-activiteit) anderzijds. In hoofdstuk 3 lag de nadruk op het vinden van de relatie tussen urease-activiteit en vloergeometrie enerzijds en ammoniakemissie op stalniveau anderzijds. In dit hoofdstuk wordt de in hoofdstuk 2 en 3 verkregen kennis samen met bestaande fysische en chemische inzichten geïntegreerd tot een eenvoudig samenhangend model. Daarnaast wordt door vergelijking van door het opgestelde model berekende en waargenomen ammoniakemissies een uitspraak gedaan over het verklarend vermogen van het model. Bij voldoende verklarend vermogen is het mogelijk de invloed van variabelen van het model op de ammoniakemissie in beeld te brengen. Via parameters die door het vloerontwerp worden bepaald zijn dan vuistregels voor het ontwerpproces van stalfloeren verkregen.

4.2 Doel

Het doel van de modelvorming is het integreren van in hoofdstuk 2 en 3 verkregen inzichten en bestaande fysische en chemische inzichten tot een eenvoudig model dat de invloed van vloerontwerp-parameters op ammoniakemissie op stalniveau schat.

4.3 Opzet

Als eerste worden relevante parameters in beeld gebracht. Op basis van zowel in hoofdstuk 2 en 3 verkregen resultaten als bestaande inzichten wordt bepaald of een parameter als constante of variabele in het te vormen model dient te worden opgenomen. Uitgangspunt is daarbij tevens dat wordt gekozen voor een relatief eenvoudig inzichtelijk model. Aansluitend wordt het model getoetst aan de hand van data van in hoofdstuk 3 beschreven experimenten.

4.4 Modelvorming

In voorgaande hoofdstukken is herhaaldelijk ingegaan op de bronnen die een bijdrage leveren aan de totale ammoniakemissie van een stal. Daarom wordt in deze paragraaf volstaan met het aangeven van de hoofdpunten.

Het grootste deel van het rundvee is gehuisvest in ligboxenstallen. In deze stallen beschikken de dieren over een ligplaats en loopruimte. Onder de loopruimte bevindt zich vaak een mestkelder waarin de op een of andere wijze afgevoerde faeces en urine worden opgevangen en als drijfmest worden bewaard.

Ammoniak wordt gevormd bij de omzetting van ureum uit de urine (zie paragraaf 1.4). Bij deze omzetting treedt het enzym urease op als katalysator. Dit enzym bevindt zich in

bacteriën die zich in de mest bevinden. Voor het optreden van ammoniakemissie is dus vereist dat ureum en een urease-actief oppervlak met elkaar in aanraking komen. In de stal kan dit op twee plaatsen gebeuren, namelijk op het vloeroppervlak en (bij aanwezigheid) in de mestkelder.

Voor de vorming van ammoniak is een urease-actief, met urine bevuild oppervlak vereist. De hoeveelheid ureum die in potentie op het vloeroppervlak kan worden omgezet, is de in totaal toegevoerde hoeveelheid. In de praktijk stroomt echter een aanzienlijk deel van de geloosde urine onmiddellijk af in giergoten of de mestkelder, zodat de beschikbare hoeveelheid ureum op het vloeroppervlak gelijk is aan het volume van de plas (vloeistof-laagdikte maal plasgrootte) maal het ureumgehalte. Urineplassen kunnen elkaar overlappen, zodat een (deel van een) reeds op het oppervlak aanwezige plas afstroomt en wordt vervangen door een nieuwe. Hierdoor wordt een deel van de reeds op het oppervlak aanwezige ureum niet op het oppervlak omgezet in ammoniak. De mate waarin dit optreedt, wordt bepaald door de gemiddelde tijdsduur dat een plas op het oppervlak aanwezig is, die weer bepaald wordt door de grootte van de plassen, het aantal urinelozingen per tijdseenheid en het per koe beschikbaar oppervlak. De grootte van de plassen blijkt af te hangen van de afstand van het lozingspunt van de plas tot de eerstvolgende giergoot. Tenslotte is het gehele proces van omzetting en vervluchtiging van ureum in ammoniak opgebouwd uit een aantal deelprocessen van chemische en fysische aard. Hierbij speelt vooral de temperatuur een belangrijke rol.

4.4.1 Vloeremissie

Potentiële vloeremissie

Uit de metingen beschreven in hoofdstuk 2 en 3 blijkt dat relatief snel urease-activiteitsniveaus worden bereikt van enkele duizenden $\text{mg (NH}_3\text{-N) / m}^2 \text{ uur}$. Aangenomen wordt, dat bij dergelijk hoge urease-activiteiten niet de snelheid van ureumafbraak, maar de beschikbaarheid van ureum de beperkende factor voor ammoniakemissie is. De potentiële vloeremissie per uur wordt dan bepaald door de beschikbaarheid van ureum-stikstof en beschreven door:

$$e_p = (17/14) (1/24) x_1 x_2 x_3 x_4 \quad 4.1$$

Waarin:

e_p	= potentiële vloeremissie	$[\text{g (NH}_3\text{)} / \text{uur}]$
x_1	= aantal dieren	$[\text{stuk}]$
x_2	= urineproduktie per lozing per dier	$[\text{l} / \text{stuk}]$
x_3	= aantal urinelozingen per dier per etmaal	$[\text{stuk} / \text{stuk} / \text{etmaal}]$
x_4	= ureumgehalte	$[\text{g (ureum-N)} / \text{l}]$

In de experimentele afdeling van de milieu-onderzoekstal zijn constant tien dieren gehuisvest. Het aantal urinelozingen wordt constant verondersteld en bedraagt zeven per dier per etmaal. Daarbij wordt per dier gemiddeld 2,9 l urine per lozing geproduceerd. Uitgegaan wordt van een constant ureum-stikstofgehalte van de urine van 4,9 g/l. Dit geeft een constante potentiële vloeremissie van:

$$e_p = (17/14) \cdot (1/24) \cdot 10 \cdot 2,9 \cdot 7 \cdot 4,9 = 50,3 \text{ g (NH}_3\text{)} / \text{uur}$$

De waarnemingen uit hoofdstuk 3 geven aan dat een dergelijk hoge ammoniakemissie niet wordt bereikt. Dit wordt veroorzaakt door de volgende invloedsfactoren.

Invloed van afstroming

Het eerste aspect dat een rol speelt, is de directe afstroming van een deel van de urine naar giergoten en/of de mestkelder. Na afstroming is op het vloeroppervlak immers een aanzienlijk geringere hoeveelheid ureum beschikbaar. Deze factor is:

$$f_a = x_5 x_6 / (x_1 x_2 x_3) \quad 4.2$$

waarin:

f_a	= invloed van afstroming	[-]
x_1	= aantal dieren	[stuk]
x_2	= urineproductie per lozing per dier	[l / stuk]
x_3	= aantal urinelozingen per dier per etmaal	[stuk / stuk / etmaal]
x_5	= vloeistoflaagdikte	[mm]
x_6	= loopoppervlak	[m ²]

De in de stal waargenomen vloeistoflaagdikte (in praktijk een mengsel van urine en faeces) bedraagt voor de hellende vloervariant circa 0,4 mm (zie paragraaf 3.6.3). Daarnaast is het totaal loopoppervlak in een onderzoekafdeling van de milieu-onderzoekstal 34,5 m². Dit gecombineerd met het aantal van 10 dieren met een urineproductie van 2,9 l per lozing en 7 lozingen per etmaal geeft de volgende factor:

$$f_a = 0,4 \cdot 34,5 / (10 \cdot 2,9 \cdot 7) = 0,068$$

Omdat in giergoten en de mestkelder de verhouding tussen urinevolume en contactoppervlak met de lucht veel groter is dan op het vloeroppervlak vindt de vervluchtiging van ammoniak daar zeer langzaam plaats.

Invloed van verblijftijd

De vervluchtiging van ammoniak uit de vloeistoflaag vindt aanzienlijk langzamer plaats dan de vorming van ammoniak daarin (Elzing et al., 1992). Hierdoor is de verblijftijd van een plas een volgend aspect. Experimenten in een simulator, uitgevoerd op 2 m² grote, dichte vloerelementen wezen uit dat het circa één etmaal duurt voordat alle ureum is vervluchtigd. Circa 8 uur na het aanbrengen van een urineplas is dat circa 75%; bij een verblijftijd van 5 uur is dit circa 50% (Elzing et al., 1992). Als overeenkomstig de simulatormetingen een etmaal (24 uur) het uitgangspunt is, dan geldt voor de invloed van de verblijftijd:

$$f_t = 0,54 (t - 3)^{0,2} \cdot 24/t \quad 4.3a$$

waarin:

f_t	= invloed van de gemiddelde verblijftijd	[-]
t	= gemiddelde verblijftijd van een urinelozing op het vloeroppervlak	[uur]

De gemiddelde verblijftijd is afhankelijk van het loopoppervlak en de gemiddelde plasgrootte van een urineplas. Bij een constant aantal van 10 dieren, die per etmaal ieder

circa 7 maal urine lozen betekent dit een totaal urineplasoppervlak gelijk aan $(10 \times 7 \times 1,6) \text{ m}^2$ per etmaal. De dieren beschikken echter slechts over een loopoppervlak van in totaal circa 35 m^2 . Bij een gemiddeld plasoppervlak van circa $1,6 \text{ m}^2$ is de verblijftijd dan circa 8 uur. Deze verblijftijd is te kort om alle in de plas gevormde ammoniak te laten vervluchtigen. De verblijftijd wordt beschreven door formule 4.3b:

$$t = 24 x_6 / (x_1 x_3 A) \quad 4.3b$$

waarin:

t	= gemiddelde verblijftijd van een plas op het vloeroppervlak	[uur]
x_1	= aantal dieren	[stuk]
x_3	= aantal urinelozingen per dier per etmaal	[stuk / stuk / etmaal]
x_6	= loopoppervlak	$[\text{m}^2]$
A	= gemiddelde plasgrootte	$[\text{m}^2]$

De gemiddelde plasgrootte A is afhankelijk van de afstand tussen het lozingspunt van de plas en de eerstvolgende giergoot. Deze afstand wordt ook wel afstrooimengte genoemd. In figuur 3.18 is de waargenomen relatie tussen afstrooimengte en plasgrootte weergegeven. In deze paragraaf wordt op theoretische gronden een relatie afgeleid. Uitgangspunt is het schematiseren van een urineplas tot een vierkant met zijden van 0,9 m. Het oppervlak van het vierkant bedraagt dan circa $0,8 \text{ m}^2$, hetgeen overeenkomt met wat is waargenomen bij een roostervloer waarbij geen sprake is van een afstrooimengte. Als sprake is van een helling, en dientengevolge een afstrooimengte, geldt het volgende: De minimale plasgrootte is een plasgrootte waarbij het lozingspunt van de urinelozing juist samenvalt met een giergoot. De afstrooimengte is dan gelijk aan nul. Deze minimale plasgrootte wordt gesteld op een halve plas ($0,4 \text{ m}^2$), omdat wordt aangenomen dat een boxdek of andere afscheiding de vorming van de helft van de plas verhindert. Wanneer het lozingspunt van een plas verder van een giergoot afdijt, wordt verondersteld dat de plas zich bij het afstromen naar een giergoot in een richting loodrecht ten opzichte van de lengte-as van deze giergoot beweegt. Het door het afstromen verkregen extra oppervlak is dan gelijk aan de breedte van de gemiddelde urineplas ($0,9 \text{ m}$) maal de afstrooimengte. De totale plasgrootte wordt dan beschreven als:

$$A = 0,4 + 0,9x_7 \quad 4.3c$$

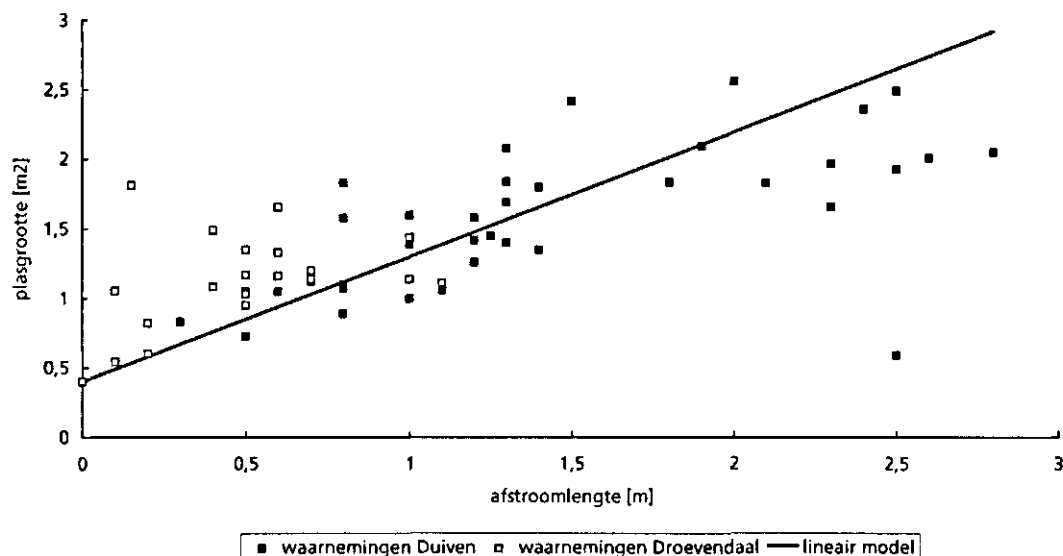
waarin:

A	= oppervlak urineplas	$[\text{m}^2]$
x_7	= gemiddelde afstrooimengte	[m]

Zodra de afstand tot de giergoot gelijk is aan 0,45 m, maakt de urineplas geen contact met het boxdek of de afscheiding en bereikt de normale omvang van circa $0,8 \text{ m}^2$. Het is niet exact bekend welke invloed een raakvlak tussen ligbox of voerhek en de urineplas op de vorm van de plas heeft. Dit betekent dat de relatie toegepast bij een eenzijdig hellend oppervlak met een giergoot naast de ligboxen of het voerhek een afwijking kan geven in het geval het lozingspunt van de urinelozing minder dan 0,45 m van deze elementen is verwijderd. Bij een tweezijdig hellend oppervlak met centraal gelegen giergoot geldt deze beperking niet. Daar staat tegenover dat in dat geval de grootte van plassen rond de middelste giergoot waarschijnlijk niet goed wordt beschreven door de

gegeven relatie, omdat de relatie veronderstelt dat aan één zijde de vorming van de plas wordt verhinderd.

Figuur 4.1 toont de theoretisch afgeleide relatie in combinatie met de waarnemingen uit figuur 3.18 op een tweezijdig en een eenzijdig hellend oppervlak. Bij beide vloertypen is sprake van goede overeenstemming tussen theorie en praktijk bij afstrooilenlengten die niet groter zijn dan circa 2 m. Bij toenemende afstrooilenlengte worden de verschillen steeds groter. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat urineplassen bij deze grote afstanden niet meer over hun volle breedte richting de giergoot wegstromen, maar dit steeds meer in een geconcentreerde stroom gaan doen. Hierdoor is het in de praktijk bevuild vloeroppervlak kleiner dan het theoretisch voorspelde.



Figuur 4.1 Theoretische relatie tussen afstrooilenlengte en plasgrootte. Waarnemingen van een eenzijdig hellende vloer van 3 m breed (de experimentele afdeling; dichte symbolen) en van een tweezijdig hellende vloer van 2,5 meter breed (lixboxenstal Droevendaal; open symbolen).

Figure 4.1 Theoretical relation between the distance from a urination to a urine gutter and the size of a urine puddle. Data from a one-sided sloped floor with a span of 3 m (experimental compartment; closed symbols) and data from a two-sided sloped floor with a span of 2.5 m (Droevendaal, open symbols).

Formules 4.3b en 4.3c ingevuld in formule 4.3a geeft:

$$f_t = 0,54 \left(24x_6 / (x_1 x_3 (0,4 + 0,9x_7)) - 3 \right)^{0,2} \cdot 24 / (24x_6 / (x_1 x_3 (0,4 + 0,9x_7))) \quad 4.4$$

waarin:

f_t	= invloed van de verblijftijd	[-]
x_1	= aantal dieren	[stuk]
x_3	= aantal urinelozingen per dier per etmaal	[stuk / stuk / etmaal]
x_6	= loopoppervlak	[m ²]
x_7	= gemiddelde afstand van lozingspunt plas tot eerstvolgende giergoot	[m]

In de praktijk is bij de droogstaande dieren in de experimentele afdeling geen sprake van een in de tijd uniform urineerpatroon. Globaal kan worden aangehouden dat gedurende de dag, tussen 7.00 en 19.00 uur, circa 65% van de urinelozingen plaatsvindt. De resterende 35% vindt dus plaats gedurende de nacht, tussen 19.00 en 7.00 uur. Op basis hiervan is het beter de factor voor de tijd op te splitsen in een factor voor de dag en een factor voor de nacht. Wanneer voor beide tijdintervallen van 12 uur wordt uitgegaan van een in de tijd uniforme verdeling van de lozingen ontstaan de volgende factoren:

$$f_{td} = 0,54 \left(12x_6 / (x_1 0,65x_3 (0,4 + 0,9x_7)) - 3 \right)^{0,2} \cdot 24 / \left(12x_6 / (x_1 0,65x_3 (0,4 + 0,9x_7)) \right) \quad 4.5$$

waarin:

f_{td}	= invloed van de verblijftijd gedurende de dag	[-]
x_1	= aantal dieren	[stuk]
x_3	= aantal urinelozingen per dier per etmaal	[stuk / stuk / etmaal]
x_6	= loopoppervlak	[m ²]
x_7	= gemiddelde afstand van lozingspunt plas tot eerstvolgende giergoot	[m]

$$f_{tn} = 0,54 \left(12x_6 / (x_1 0,35x_3 (0,4 + 0,9x_7)) - 3 \right)^{0,2} \cdot 24 / \left(12x_6 / (x_1 0,35x_3 (0,4 + 0,9x_7)) \right) \quad 4.6$$

waarin:

f_{tn}	= invloed van de verblijftijd gedurende de nacht	[-]
x_1	= aantal dieren	[stuk]
x_3	= aantal urinelozingen per dier per etmaal	[stuk / stuk / etmaal]
x_6	= loopoppervlak	[m ²]
x_7	= gemiddelde afstand van lozingspunt plas tot eerstvolgende giergoot	[m]

Opgemerkt wordt dat niet expliciet rekening is gehouden met het schuiven van de vloer. Dit is gedaan op grond van de in paragraaf 3.6 beschreven experimenten, waaruit bleek dat de vloerhelling een aanzienlijk grotere invloed had op de ammoniakemissie dan de schuifrequentie. Tevens is het modelmatig verwerken van de invloed van schuiven bijzonder gecompliceerd, omdat nog onvoldoende informatie voorhanden is over de reinigende werking van de schuif. Tevens heeft de schuif ook een 'dweilende werking', waardoor aanwezige urineplassen worden 'verspreid'. Ook hieromtrent is voorsnog geen nadere informatie beschikbaar.

Invloed van temperatuur

De door Elzing *et al.* (1992) in een simulator uitgevoerde metingen hebben plaatsgevonden bij een temperatuur van 10 °C. De temperatuur heeft een grote invloed op de snelheid waarmee ammoniak wordt gevormd. Zo blijkt uit berekeningen met een model gebaseerd op de chemische processen, transportverschijnselen en evenwichten die in een emitterende urineplas optreden, dat de ammoniakemissie boven circa 20 °C nauwelijks toeneemt. Bij een temperatuur van 5 °C bedraagt daarentegen de ammoniakemissie nog maar 60% van de ammoniakemissie bij 20 °C. Het verband tussen temperatuur en ammoniakemissie verloopt nagenoeg lineair voor temperaturen tussen 5 en 20 °C (Monteny *et al.*, 1996). Als overeenkomstig de simulatormetingen 10 °C het uitgangspunt is, dan geldt voor de invloed van de temperatuur:

$$f_T = 0,82 + (x_8 - 5) / 15 \cdot 0,53 \quad 4.7$$

waarin:

f_T	= invloed van temperatuur	[-]
x_B	= temperatuur ($5\text{ }^\circ\text{C} < T < 20\text{ }^\circ\text{C}$)	[$^\circ\text{C}$]

Ten aanzien van de te hanteren temperatuur, wordt gesteld dat de temperatuur van het vloeroppervlak maatgevend is. Deze temperatuur ligt enkele graden Celcius beneden de staltemperatuur omdat op het vloeroppervlak verdamping plaatsvindt.

Actuele vloeremissie

Het combineren van de invloeden van afstroming, verblijftijd en temperatuur geeft de volgende samengestelde factor:

$$f = f_a \left((f_{td} + f_{tn}) / 2 \right) f_T \quad 4.8$$

waarin:

f	= de invloed van het totaal van invloedsfactoren	[-]
f_a	= de invloed van afstroming	[-]
f_{td}	= de invloed van de verblijftijd gedurende de dag	[-]
f_{tn}	= de invloed van de verblijftijd gedurende de nacht	[-]
f_T	= de invloed van temperatuur	[-]

Voor het verkrijgen van de actuele ammoniakemissie van het vloeroppervlak moet de potentiële ammoniakemissie worden gecorrigeerd met de samengestelde factor. Dit resulteert in de volgende relatie voor de actuele ammoniakemissie van het vloeroppervlak.

$$e_v = f e_p \quad 4.9$$

waarin:

e_v	= actuele vloeremissie	[g (NH ₃) / uur]
f	= de invloed van het totaal van invloedsfactoren	[-]
e_p	= potentiële vloeremissie	[g (NH ₃) / uur]

In deze paragraaf is alleen gekeken naar hellende en niet naar vlak uitgevoerde vloeroppervlakken omdat voor de vlakke variant geen informatie beschikbaar is over plasoppervlak en plasdikte. De dikte van de vloeistoflaag (in praktijk een mengsel van urine en faeces) bedraagt voor de hellende vloervariant circa 0,4 mm (zie paragraaf 3.6.7). Bij een vlakke vloervariant wordt aangenomen dat alle urine op de vloer achterblijft. Wordt dezelfde plasgrootte aangehouden als bij een roostervloer, dan bedraagt deze circa 0,8 m². Bij een gemiddelde lozing van circa 3 l urine leidt dit tot een theoretische plasdikte van 4 mm. In de praktijk zal de plas zich uitbreiden, zodat niet is aan te geven welke waarden moeten worden aangehouden.

4.4.2 Kelderemissie

Het in beeld brengen van de ammoniakemissie van de kelder is niet eenvoudig. Tijdens de stalexperimenten is gebleken dat de kelderemissie in sterke mate wordt bepaald door

temperatuurverschillen. Gezien de vele onbekende aspecten wordt de kelderemissie afgeleid uit de waarnemingen verkregen met de vlakke en eenzijdig hellende vloer. Daarbij is gevonden dat de kelderemissie circa 7,6 g (NH₃) / uur bedraagt (zie paragraaf 3.6.7: 13 g (NH₃) / uur 'overig' (tabel 3.6) minus 5,4 g (NH₃) / uur na het afdichten van de mestafstorten (figuur 3.21)).

Deze kelderemissie is gebaseerd op de situatie waarbij een dichte vloer, aan beide uiteinden voorzien van een mestafstort, wordt gecombineerd met een normaal mest-niveau. Tijdens de experimenten waren kelderdelen onder het looppad en de voergang in gebruik voor de opslag van mest (zie figuur 3.1). Beide kelderdelen worden door een wand gescheiden. In deze wand is ter plaatse van de inspectiegang een doorgang aanwezig. Deze doorgang sluit aan op de keldervloer en is circa 1 m hoog en 1 m breed. Aan het andere uiteinde van de tussenwand is een gat aanwezig waarin een mixer is geplaatst. Deze mixer maakt het mogelijk de mest rond te pompen. De mixvoorziening dekt het gat in de wand volledig af. Verondersteld wordt dat bij een normaal mestniveau (een laag mest van circa 0,5 m) alleen het kelderdeel onder het looppad bijdraagt aan de ammoniakemissie.

De invloed van temperatuur wordt verwerkt analoog aan de benadering gevolgd bij de vloeremissie: De ammoniakemissie van 7,6 g (NH₃) / uur wordt verondersteld op te treden bij een keldertemperatuur van 20 °C. Bij hogere temperaturen blijft de ammoniakemissie constant; bij dalende temperaturen is sprake van een lineair verlopende afname tot 60% van 7,6 g (NH₃) / uur bij 5 °C.

$$e_k = x_9 (0,60 + ((x_8 - 5) / 15) 7,6 \quad 4.10$$

waarin:

e_k	= kelderemissie	[g (NH ₃) / uur]
x_8	= temperatuur (5 °C < T < 20 °C)	[°C]
x_9	= wel of geen mestkelder (0 of 1)	[-]

4.4.3 Restemissie

Gedurende enkele experimenten is in de experimentele afdeling bij afwezigheid van dieren het afwezig zijn van de mestkelder gesimuleerd door een hoog mestniveau en steekschotten toe te passen. Wanneer aangenomen wordt, dat het door het afdichten van de mestafstorten gelukt is de kelderemissie volledig te elimineren, wordt de dan nog optredende ammoniakemissie opgevat als restemissie. De gevonden restemissie wordt opgevat als een constante. De grootte van deze constante is in paragraaf 3.6.7 als het gemiddelde van de gedurende deze experimenten waargenomen ammoniakemissie bepaald op 5,4 g (NH₃) / uur.

$$e_r = 5,4 \quad 4.11$$

waarin:

e_r	= restemissie	[g (NH ₃) / uur]
-------	---------------	------------------------------

4.4.4 Stalemissie

In voorgaande paragrafen zijn deelmodellen gegeven waarmee de ammoniakemissie voor een afzonderlijke bron kan worden geschat. De totale emissie van de stal wordt verkregen door de bijdragen van de afzonderlijke bronnen op te tellen. Het integrerende model is dan:

$$e_s = e_v + e_k + e_r \quad 4.12$$

waarin:

e_s	= stalemissie	[g (NH ₃) / uur]
e_v	= vloeremissie	[g (NH ₃) / uur]
e_k	= kelderemissie	[g (NH ₃) / uur]
e_r	= restemissie	[g (NH ₃) / uur]

Dit model kan desgewenst worden uitgeschreven in de oorspronkelijke variabelen. Deze zijn:

x_1	= aantal dieren	[stuk]
x_3	= aantal urinelozingen per dier per etmaal	[stuk / stuk / etmaal]
x_4	= ureumgehalte	[g (ureum-N) / l]
x_5	= vloeistoflaagdikte	[m]
x_6	= loopoppervlak	[m ²]
x_7	= gemiddelde afstand van lozingspunt plas tot eerstvolgende giergoot	[m]
x_8	= temperatuur (5 °C < T < 20 °C)	[°C]
x_9	= wel of geen mestkelder (0 of 1)	[-]

De door vloerontwerp beïnvloedbare parameters zijn x_5 , x_6 , x_7 en x_9 en via vloerkoeling eventueel x_8 . De overige parameters kunnen bij een bepaald vloerontwerp constant worden verondersteld.

4.5 Toetsing model

4.5.1 Toetsing model aan eenzijdig hellende vloer

Het model wordt eerst getoetst aan de 14-daagse meetperioden gedurende welke de invloed van vloerhelling en schuifrequentie op de ammoniakemissie is onderzocht. Hiervan worden de vier perioden beschouwd waarbij de vloer eenzijdig hellend was geplaatst. Over die periodes verschilden alleen de temperatuur. Wanneer rekening wordt gehouden met het feit dat het oppervlak van de stalvloer enkele graden kouder is dan de stallucht, volgt dat gedurende de laatste week tijdens de laatste vier meetperioden, de temperatuur van de stalvloer respectievelijk circa 12,5; 15; 15 en 20 °C was. De situatie waarbij de temperatuur 15 °C was, wordt maar één keer weergegeven. De overblijvende drie situaties worden aangeduid als situatie 1.1 tot en met 1.3. De hierbij behorende gegevens zijn weergegeven in tabel 4.1.

Aansluitend is één variant langer beproefd. Wanneer het model aan deze periode wordt getoetst geeft dat het volgende beeld: gedurende deze periode bleek de luchttempera-

tuur in de stal meestal tussen de 13 en 20 °C te liggen. Dit betekent een temperatuur van het vloeroppervlak tussen de 10 en 17 °C. Deze situaties zijn aangeduid als situatie 1.4 en 1.5. Ook de hierbij behorende gegevens zijn weergegeven in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Gegevens van toetsing van het model aan een eenzijdig hellende vloer voor situaties 1.1 tot en met 1.5.

Table 4.1 Model verification data for a one-sided sloped floor for situations 1.1 to 1.5.

situatie	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
variabele					
x_1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
x_3	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
x_4	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
x_5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
x_6	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5
x_7	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
x_8	12,5	15,0	20,0	10,0	17,0
x_9	1	1	1	1	1
vloeremissie dag	10,3	11,1	12,8	9,5	11,8
vloeremissie nacht	6,8	7,4	8,5	6,3	7,8
gemiddelde vloeremissie	8,6	9,3	10,7	7,9	9,8
kelderemissie	6,6	6,6	7,6	5,6	7,0
restemissie	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
stalemissie [g NH ₃ / uur] (berekend)	20,0	21,2	23,6	18,8	20,6
waarneming [g NH ₃ / uur]	23,0	23,0	27,0	16,0	23,0
procentueel verschil	-13	-8	-13	+18	-10

Na afloop van de 35-daagse periode is in de periode oktober - november 1995 onderzocht welke invloed de aanwezigheid van de mestkelder op de ammoniakemissie had. Hierbij is de afwezigheid van een mestkelder gesimuleerd door de mestkelder af te sluiten door het mestniveau omhoog te brengen en steekschotten in de afstortopeningen aan te brengen. Tijdens de laatste periode waren geen dieren in de afdeling aanwezig. Deze situaties worden aangeduid als situatie 2.1 tot en met 2.6. Tabel 4.2 geeft de bijbehorende gegevens.

Tabel 4.2 Gegevens van toetsing van het model aan een eenzijdig hellende vloer voor situaties 2.1 tot en met 2.6.

Table 4.2 Model verification data for a one-sided sloped floor for situations 2.1 to 2.6.

situatie	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
variabele						
x_1	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	0
x_3	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	0
x_4	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	0
x_5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0
x_6	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5
x_7	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
x_8	15	12,5	12,5	10	10	5
x_9	1	0	1	0	1	1
vloeremissie dag	11,2	10,3	10,3	9,5	9,5	0
vloeremissie nacht	7,4	6,8	6,8	6,3	6,3	0
gemiddelde vloeremissie	9,3	8,6	8,6	7,9	7,9	0
kelderemissie	6,6	0	6,1	0	5,6	4,6
restemissie	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
stalemissie [g NH ₃ / uur] (berekend)	21,3	14,0	20,0	13,3	18,8	10,0
waarneming [g NH ₃ / uur]	15	13	16	12	15	4
procentueel verschil	+42	+8	+25	+11	+25	+150

4.5.2 Toetsing model aan tweezijdig hellende vloer

Bij de tweezijdig hellende vloer was sprake van in totaal negen tweeweekse meetperiodes. De resultaten van de laatste acht periodes worden hier beschouwd, omdat periode 0 verder buiten beschouwing wordt gelaten.

Gedurende de experimenten werd al dan niet gesproeid met water en werd gebruik gemaakt van één of drie giergoten ten behoeve van de afvoer van urine. Bij het analyseren van de ammoniakemissie (paragraaf 3.7.7) is gebleken dat het aantal giergoten geen invloed had op de ammoniakemissie; het sproeien bleek wel invloed te hebben. Het in het model verwerken van de invloed van het sproeien met water vindt plaats door het rekentechnisch verlagen van de ureum-N concentratie in de urine van de dieren.

Tabel 3.18 geeft aan dat gedurende het gehele experiment deze concentratie gelijk was aan 7,6 g/l. De urineproductie bedroeg circa 20 l per dier per dag, terwijl 5-7 l water per dier per dag werd gesproeid. In het model wordt gerekend met een ureum-N concentratie van $20/26 \cdot 7,6 = 5,8$ g/l indien wordt gesproeid. De gemiddelde plasgrootte was gelijk aan 1,0 m² (zie tabel 3.15: proefperiodes 1 t/m 8). In de berekeningen is met formule 4.3c gerekend bij een gemiddelde afstrooilenkte van 0,375 m (voorspelde plasgrootte: 0,74 m²).

Tijdens de proefperiodes werden verticale schotten toegepast aan de uiteinden van de stalfloer en was het mestniveau verhoogd. Dit alles met het oog op het reduceren van de ammoniakemissie vanuit de mestkelder. In het model is dan ook gerekend met de situatie waarin de mestkelder is 'uitgeschakeld' ($x_9 = 0$).

De in totaal acht proefperiodes zijn allen afzonderlijk beschouwd. Tabel 4.3 toont de berekende en gemeten gemiddelde ammoniakemissie op stalniveau. Er wordt op

gewezen, dat de in de tabel vermelde temperatuur (x_8) de vloertemperatuur is, die gelijk is gesteld aan de staltemperatuur minus 2 °C.

Tabel 4.3 Gegevens van toetsing van het model aan een tweezijdig hellende vloer voor situaties 3.1 tot en met 3.4.

Table 4.3 Model verification data for a two-sided sloped floor for situations 3.1 to 3.4.

proefperiode	1	2	3	4	5	6	7	8
variabele								
x_1	10	10	10	10	10	10	10	10
x_3	7	7	7	7	7	7	7	7
x_4	7,6	7,6	5,8	7,6	5,8	5,8	7,6	5,8
x_5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
x_6	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5
x_7	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
x_8	10	14	11	16	20	16	17	19
x_9	0	0	0	0	0	0	0	0
vloeremissie dag	8,7	9,9	6,9	10,5	9,0	8,0	10,8	8,7
vloeremissie nacht	5,4	6,2	4,3	6,6	5,6	5,0	6,8	5,5
gemiddelde vloeremissie	7,1	8,1	5,6	8,6	7,3	6,5	8,8	7,1
kelderemissie	0	0	0	0	0	0	0	0
restemissie	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
stalemissie [g NH ₃ / uur] (berekend)	12,5	13,5	11,0	14,0	12,7	11,9	14,2	12,5
waarneming [g NH ₃ / uur]	11	15	10	19	15	16	19	18
procentueel verschil	+14	-10	+10	-26	-15	-26	-25	-31

4.6 Gevoeligheidsanalyse

Het model dat de ammoniakemissie uit een stal met een dichte vloer beschrijft omvat acht invoerparameters. In tabel 4.4 is voor deze parameters aangegeven met welk percentage de stalemissie verandert als de waarde van een parameter met 10% wordt verhoogd, respectievelijk verlaagd. Ten aanzien van de parameter (x_9) die het al dan niet bijdragen van de mestkelder aan de ammoniakemissie beschrijft, is een procentuele verandering fysisch moeilijk te interpreteren; in de praktijk ligt een waarde 1 (mestkelder aanwezig; luchtuitwisseling tussen kelder en stal) of 0 (mestkelder volledig afgesloten) meer voor de hand. Voor de volledigheid is de parameter toch opgenomen in het overzicht.

Als uitgangssituatie is gekozen voor situatie 1.1 uit tabel 4.1. De stalemissie bedraagt in dat geval 19,9 g NH₃ / uur (klein verschil met tabel 4.1 door afrondingsverschil).

Tabel 4.4 Gevoeligheidsanalyse met ammoniakemissiemodel voor stal met dichte vloer.**Table 4.4** Sensitivity analysis with ammonia emission model for house provided with a solid floor.

variabele	basiswaarde	verandering emissie basiswaarde + 10%	verandering emissie basiswaarde - 10%
x_1 [aantal dieren]	10	+ 3%	- 3%
x_3 [lozingen / dag]	7	+ 3%	- 3%
x_4 [g (ureum-N) / l]	4,9	+ 5%	- 4%
x_5 [vloeistoflaagdikte in mm]	0,4	+ 5%	- 4%
x_6 [vloeroppervlak m ²]	34,5	+ 2%	- 2%
x_7 [gem. afstrooimengte in m]	1,3	+ 2%	- 2%
x_8 [vloertemperatuur °C]	12,5	+ 3%	- 3%
x_9 [emissiebijdrage mestkelder]	1	+ 4%	- 3%

4.7 Discussie

Als de in tabellen 4.1 tot en met 4.3 getoonde berekende resultaten worden vergeleken met de waarnemingen blijkt een wisselend beeld te ontstaan. Gedurende de tweeweekse meetperioden (situatie 1.1 tot en met 1.3) geeft de theorie een circa 10% te lage ammoniakemissie. In de 35-daagse proefperiode wordt de ammoniakemissie ofwel bijna 20% overschat (situatie 1.4) of juist circa 10% onderschat (in situatie 1.5). Opgemerkt moet worden, dat de waarden van variabelen in het model mede zijn geschat op basis van een vergelijking met de tweeweekse experimenten die zijn beschreven in paragraaf 3.6 (situaties 1.1 tot en met 1.3 in tabel 4.1). Voor een oordeel over het voorspellend vermogen van het model moet dan ook vooral worden gekeken naar situaties 1.4 en 1.5 in tabel 4.1 en tabellen 4.2 en 4.3.

Bij de experimenten waarbij het aan- of afwezig zijn van de mestkelder werd gesimuleerd, wordt de ammoniakemissie bij simulatie van aanwezigheid van de mestkelder circa 30% overschat (situaties 2.1, 2.3 en 2.5 in tabel 4.2), terwijl de berekende ammoniakemissie bij simulatie van afwezigheid van een mestkelder een overschatting van circa 10% geeft (situaties 2.2 en 2.4 in tabel 4.2). Het verschil tussen de resultaten bij het simuleren van het aan- of afwezig zijn van een mestkelder kan mede zijn veroorzaakt door de relatief arbitraire wijze waarop de kelderemissie in het model is verwerkt. Meer fundamenteel inzicht in de fenomenen die bij kelderemissie een rol spelen is dan ook vereist. Bij situatie 2.6 is sprake van een groot verschil tussen de gemeten en de berekende ammoniakemissie. Dit wordt mogelijk in belangrijke mate veroorzaakt door het lage emissieniveau, waardoor absolute verschillen procentueel gezien aanzienlijk zijn. Tevens was sprake van een extreme situatie, namelijk een stal zonder dieren.

Uit tabel 4.3 (tweeweekse meetperioden waarbij eliminatie van de ammoniakemissie uit de mestkelder is nagestreefd) blijkt dat de stalemissie gemiddeld genomen met 10-15% wordt onderschat. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij de modelberekeningen die ten grondslag liggen aan tabel 4.3 gebruik is gemaakt van de theoretische gemiddelde afstrooimengte van een urinelozing ($x_7 = 0,375$ m). De berekende gemiddelde plasgrootte was gelijk aan 0,74 m² (formule 4.3c). Tabel 3.15 geeft echter aan dat in de betreffende proefperioden 1 tot en met 8 de waargenomen grootte gelijk was aan 1,0 m². Dit betekent een 35% grotere plasgrootte. Het model geeft in dat geval een toename van de voorspelde ammoniakemissie met 15%, waardoor de modelresultaten gemiddeld genomen dicht in de buurt komen van de waarnemingen.

4.8 Conclusies

Het op basis van in hoofdstukken 2 en 3 verkregen inzichten en bestaande kennis van chemische processen opgestelde model kan de invloed van ontwerpparameters op de ammoniakemissie binnen een nauwkeurigheid van circa 20% schatten. Hiermee zijn vuistregels verkregen voor het schatten van de invloed van ontwerpparameters. Een gevoeligheidsanalyse geeft aan dat het beperken van het ureum-stikstofgehalte in de urine van de dieren en het reduceren van de dikte van de op een vloeroppervlak achterblijvende urinelozing relatief gezien de grootste invloed hebben op de ammoniakemissie op stalniveau.

Het elimineren van de ammoniakemissie vanuit de mestkelder levert een aanzienlijke bijdrage aan de ammoniakemissiereductie op stalniveau, aangezien het model een kelderemissie geeft die gelijk is aan zo'n 30 - 40% van de stalemissie bij een dichte vloer met mestafstortopeningen.

5 Bouwkosten ammoniakemissie-arme stalvloersystemen

5.1 Inleiding

Uit in hoofdstuk 3 en 4 beschreven onderzoek is gebleken, dat door afsluiting van de mestkelder door het vervangen van de roostervloer door een dichte vloer, de ammoniakemissie uit een stal wordt gereduceerd. Bij de invoering van dergelijke ammoniakemissie-arme vloersystemen zijn echter ook de benodigde investeringen en jaarlijkse kosten van belang. Daarbij is vooral de vergelijking met het thans meest voorkomende vloersysteem in ligboxenstallen van belang, zowel voor nieuwbouw-situaties als voor bestaande stalsituaties. Om deze vergelijking te kunnen maken werden de investeringen en jaarlijkse kosten van drie verschillende ligboxenstaltypen met vier mogelijke vloersystemen en drie mogelijke grootten van de veestapel doorerekend. Dit resulteerde in 36 beschouwde varianten.

5.2 Staltypen

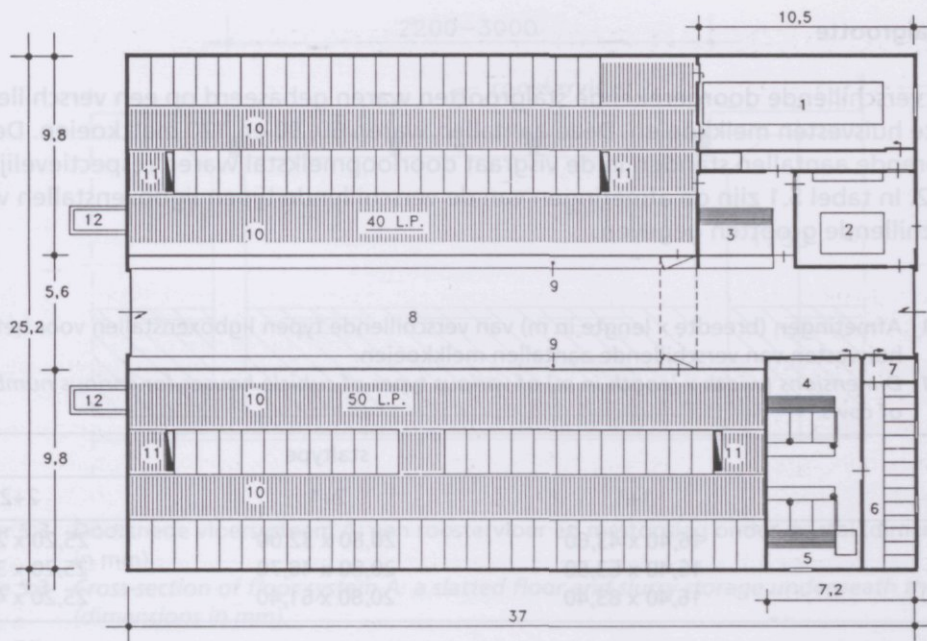
De drie verschillende doorerekende staltypen verschilden in het aantal rijen ligboxen:

- 1+1-rijige ligboxenstal;
- 2+1-rijige ligboxenstal;
- 2+2-rijige ligboxenstal.

De uitgangspunten voor een doorerekende ligboxenstal op basis van de verschillende staltypen waren voor ieder type gelijk:

- visgraat doorloopmelkstal (met het aantal standen afhankelijk van de stalgrootte);
- melklokaal;
- opvangruimte voor 5% van het aantal melkkoeien;
- afkalfstal voor 3% van het aantal melkkoeien;
- ziekenstal voor 3% van het aantal melkkoeien;
- huisvesting voor kalveren van 0 - 0,5 mnd oud;
- zes maanden mestopslag.

In figuur 5.1 is een plattegrond van een 2+2-rijige ligboxenstal met een roostervloer en mestopslag onder de stal weergegeven; figuur 5.2 toont de bijbehorende dwarsdoorsnede.

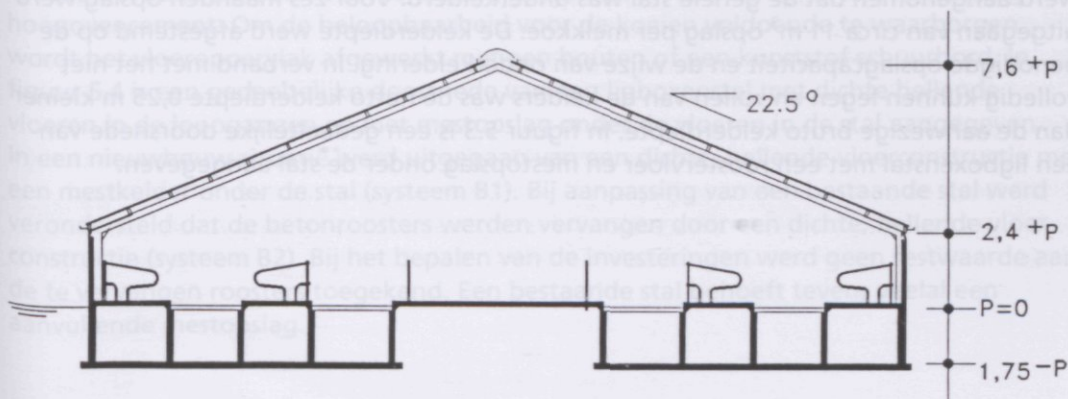


Figuur 5.1 Plattegrond van 2+2-rijige ligboxenstal voor 90 koeien met roostervloer in de looppaden (dimensies in m).

1: melkstal; 2: melkkamer; 3: afzonderingsruimte; 4: afkalfstal; 5: ziekenstal; 6: kalveren 0-0,5 mnd; 7: administratieruimte; 8: voergang; 9: voerhek; 10: loopgang; 11: drinkbak; 12: pompput; L.P.: ligplaatsen

Figure 5.1 Plan of a reference 2+2-row cubicle house for 90 cows with slatted floor and slurry storage underneath the floor (dimensions in m).

1: milking parlour; 2: dairy; 3: separation area; 4: calving unit; 5: sick cow unit; 6: calf unit 0-0,5 month old; 7: administration room; 8: feeding passage; 9: feeding rack; 10: passage; 11: drinking bowl; 12: pumping pit; L.P.: cubicles.



Figuur 5.2 Dwarsdoorsnede 2+2-rijige ligboxenstal als uitgangssituatie met roostervloer in de looppaden en mestopslag onder de stal.

Figure 5.2 Cross-section of a reference 2+2-row cubicle house with slatted floor and slurry storage underneath the floor.

5.3 Stalgrootte

De drie verschillende doorgerekende stalgrootten waren gebaseerd op een verschillend aantal te huisvesten melkkoeien. Deze aantallen waren 60, 90 en 120 melkkoeien. De bijbehorende aantallen standen in de visgraat doorlooptmelkstal waren respectievelijk 8, 10 en 12. In tabel 5.1 zijn de afmetingen van de verschillende typen ligboxenstallen voor de verschillende grootten gegeven.

Tabel 5.1 Afmetingen (breedte x lengte in m) van verschillende typen ligboxenstallen voor het huisvesten van verschillende aantallen melkkoeien.

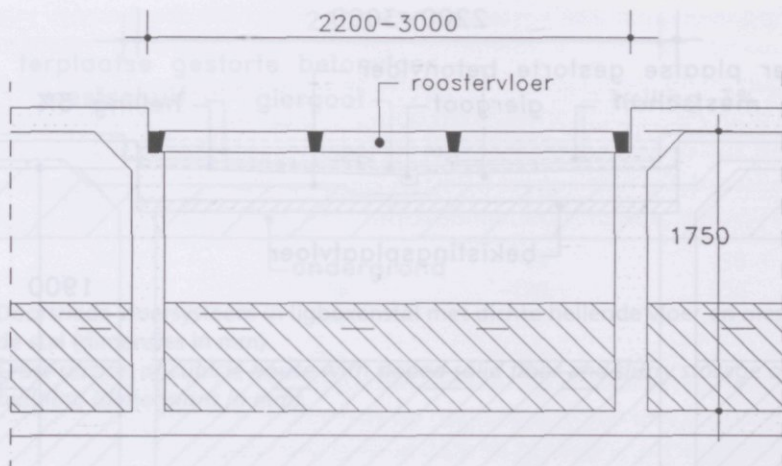
Table 5.1 Dimensions (width x length in m) of various types of cubicle houses for various numbers of cows.

aantal koeien	staltype		
	1+1	2+1	2+2
60	16,40 x 43,60	20,80 x 32,00	25,20 x 25,30
90	16,40 x 63,50	20,80 x 46,70	25,20 x 35,00
120	16,40 x 83,40	20,80 x 61,40	25,20 x 48,60

5.4 Vloersystemen

5.4.1 Systeem A: Roostervloer met mestopslag onder de stal - Referentievloersysteem

Het thans meest voorkomende vloersysteem in ligboxenstallen, is een roostervloer in de loopgangen en een mestopslag onder de stal. In enkele gevallen wordt een mestschuif en/of een sproeiinstallatie op de roostervloer aangebracht om de hygiëne in de stal te verbeteren. Vanuit het oogpunt van mestverwerking is een mestschuif op een roostervloer niet noodzakelijk. In de berekeningen werd er van uitgegaan dat geen mestschuif aanwezig was. In verband met de wettelijk benodigde mestopslag van zes maanden, werd aangenomen dat de gehele stal was onderkelderd. Voor zes maanden opslag werd uitgegaan van circa 11 m³ opslag per melkkoe. De kelderdiepte werd afgestemd op de benodigde opslagcapaciteit en de wijze van onderkeldering. In verband met het niet volledig kunnen legen en vullen van de kelders was de netto kelderdiepte 0,25 m kleiner dan de aanwezige bruto kelderdiepte. In figuur 5.3 is een gedeeltelijke doorsnede van een ligboxenstal met een roostervloer en mestopslag onder de stal aangegeven.

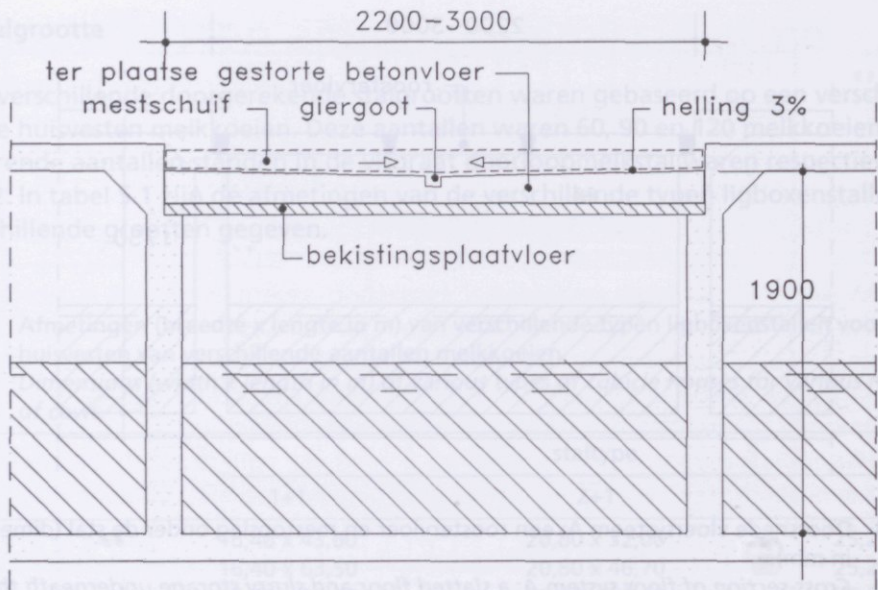


Figuur 5.3 Doorsnede vloersysteem A: een roostervloer en mestopslag onder de stal (dimensies in mm).

Figure 5.3 Cross-section of floor system A: a slatted floor and slurry storage underneath the floor (dimensions in mm).

5.4.2 Systeem B: Dichte hellende vloer met mestopslag onder de stal

Dichte hellende vloeren kunnen worden uitgevoerd in zowel ter plaatse gestort beton als in geprefabriceerd beton. Indien de vloer tevens fungeert als kelderdek voor mestopslag onder de stal, worden de ter plaatse gestorte vloeren gestort op een bekisting of op een prefab bekistingsvloer; een zogenaamde breedplaatvloer. De vloeren worden uitgevoerd met een tweezijdige helling van 3% naar een centrale giergoot. De vaste mest wordt naar mestafstortopeningen aan het uiteinde of halverwege van de stal geschoven. Hiervoor is een mestschuif geïnstalleerd. De giergoot wordt gelijktijdig met de mestschuif schoongeschoven. De dichte vloer is uitgevoerd in ter plaatse gestort beton op een breedplaatvloer. De betonsterkteklasse is B35 met milieuklasse 5d en met toepassing van hoogovencement. Om de beloopbaarheid voor de koeien voldoende te waarborgen wordt het vloeroppervlak afgewerkt met een houten of een kunststof schuurbord. In figuur 5.4 is een gedeeltelijke doorsnede van een ligboxenstal met dichte hellende vloeren in de loopgangen en met mestopslag onder de vloeren in de stal aangegeven. In een nieuwbouw-situatie werd uitgegaan van een dichte, hellende vloerconstructie met een mestkelder onder de stal (systeem B1). Bij aanpassing van een bestaande stal werd verondersteld dat de betonroosters werden vervangen door een dichte, hellende vloerconstructie (systeem B2). Bij het bepalen van de investeringen werd geen restwaarde aan de te vervangen roosters toegekend. Een bestaande stal heeft tevens veelal een aanvullende mestopslag.

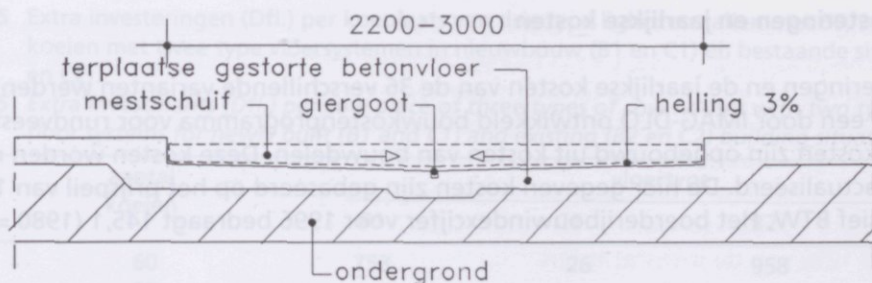


Figuur 5.4 Doorsnede dichte, hellende vloer in ligboxenstal met mestopslag onder de stal (dimensies in mm).

Figure 5.4 Cross-section of cubicle house with sloped solid floor and slurry storage underneath the floor (dimensions in mm).

5.4.3 Systeem C: Dichte hellende vloer met mestopslag buiten de stal

Bij dit vloersysteem zijn de vloeren in de looppaden niet onderkelderd en worden de vaste mest en de urine met een mestschuif naar een mestverzamelkanaal geschoven. Het verzamelkanaal is een, loodrecht op de lengterichting van de looppaden, aan het uiteinde van een stal gelegen mestkanaal met afmetingen van circa $1 \times 1,5 \text{ m}^2$ (b x d). De gecombineerde vaste mest en urine wordt als drijfmest gepompt naar een buiten de stal gelegen mestopslag. De buitenopslag kan bestaan uit een bovengrondse silo, een foliebassin of een ondergrondse opslag. De vloer in de loopgangen wordt op dezelfde wijze uitgevoerd als bij het vloersysteem met mestopslag onder de stal. De ter plaatse gestorte vloer kan direct op een vaste ondergrond worden gestort. In figuur 5.5 is een gedeeltelijke doorsnede van een ligboxenstalgedeelte met dichte, hellende vloer zonder onderliggende mestkelder aangegeven (systeem C1). Ook in een bestaande stal met een mestkelder kan de dichte vloer worden gecombineerd met mestopslag buiten stal (systeem C2). In dit laatste geval wordt de bestaande kelder, eventueel om technische redenen, niet meer als mestopslag gebruikt.



Figuur 5.5 Doorsnede vloersysteem in ligboxenstal met dichte hellende vloer en mestopslag buiten de stal (dimensies in mm).

Figure 5.5 Cross-section of cubicle house with sloped solid floor and slurry storage outside the building (dimensions in mm).

5.5 Mestopslag

Bij elk vloersysteem werd, uitgaande van het te huisvesten aantal melkkoeien, uitgegaan van een mestopslagcapaciteit van zes maanden. Bij de systemen waarbij de mestopslag onder de stal plaatsvindt, werd uitgegaan van de situatie dat de gehele stal inclusief de voergang werd onderkelderd. Ten gevolge van de benodigde constructiehoogte van de hellende vloer werd bij dit vloersysteem uitgegaan van een extra opslagcapaciteit van een halve maand. Bij het vloersysteem met dichte vloeren en mestopslag buiten de stal werd uitgegaan van een bovengrondse betonnen silo met een netto opslagcapaciteit van 11 m³ per melkkoe. In tabel 5.2 zijn de afmetingen van de bovengrondse silo's aangegeven. Tevens zijn de investeringen per netto m³ mestopslag vermeld. Installaties voor het mengen en verpompen van de mest werden als werktuigen beschouwd en zijn niet in de investeringen opgenomen. Om te voldoen aan de ammoniakemissiebeperkingseis van mestopslagsystemen werd aangenomen dat de betonnen mestsilo's worden afgedekt met een draagconstructie met doek.

In gebieden met minder draagkrachtige ondergrond moeten betonnen mestsilo's worden onderheid. Dit betekent extra kosten van circa f 50 per m³. In dergelijke gebieden wordt vaak gekozen voor een mestopslag onder de reeds te onderheien stal of voor een minder zettingsgevoelige mestopslag, zoals een mestzak of een foliebassin.

Tabel 5.2 Afmetingen (hoogte x diameter) en investeringen van bovengrondse mestopslag-systemen.

Table 5.2 Dimensions (height x diameter) and investments of slurry storage tanks.

netto opslagcapaciteit [m ³]	afmetingen (h x d) [m]	investeringen [Dfl. / m ³]
660	3,0 x 17,3	153
990	3,0 x 21,2	132
1320	3,0 x 24,5	120

5.6 Investerings en jaarlijkse kosten

De investeringen en de jaarlijkse kosten van de 36 verschillende varianten werden berekend met een door IMAG-DLO ontwikkeld bouwkostenprogramma voor rundveestallen. De bouwkosten zijn opgebouwd uit kosten van bouwdelen. Deze kosten worden regelmatig geactualiseerd. De hier gegeven kosten zijn gebaseerd op het prijspeil van 1996 en zijn inclusief BTW. Het boerderijbouwindexcijfer voor 1996 bedraagt 145,1 (1980 = 100).

5.6.1 Investerings

De totale investeringen bestaan uit de investeringen voor de bouwkundige werken, de vaste stalrichting (ligboxenafscheidings en voerhekken) en de vaste installaties (water- en elektravoorzieningen) in de stal. In de stallen met de dichte vloeren is met een complete mestschuifinstallatie gerekend. De waarde van de grond is niet in rekening gebracht. Hierdoor komt de grootte van het bebouwde oppervlak niet in de investeringen en kosten tot uitdrukking. In tabel 5.3 zijn de totale investeringen voor de standaarduitvoering van de verschillende staltypen en stalgrootten gegeven.

Tabel 5.3 Investerings per koeplaats (Dfl.) van verschillende ligboxenstallen met een referentievloersysteem voor 60, 90 en 120 koeien.

Table 5.3 Investments per cow place (Dfl.) of various types of cow houses with a standard type of floor system.

aantal koeien	staltype		
	1+1	2+1	2+2
60	7643	7354	7261
90	7003	6666	6508
120	6680	6311	6119

De totale investeringen (y) bij de nieuwbouw-situaties werden gesplitst in de (variabele) kosten per koeplaats (x) en constante kosten. Dit werd gedaan voor de verschillende vloersystemen. Hierbij werd gebruik gemaakt van regressie-analyse. Tevens werd de bijbehorende R^2 vastgesteld. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5.4.

Tabel 5.4 Totale investeringen (Dfl.; y) in een nieuw te bouwen staltype als functie van basiskosten en variabele kosten per koeplaats (x) alsmede de bijbehorende R^2 .

Table 5.4 Total investments (Dfl.; y) of a new plan cow house as a function of constant costs and variable costs per cow place (x) and related R^2 .

	A	B1	C1
y	5320x + 126.000	5780x + 152.100	4700x + 178.000
R^2	0,977	0,990	0,992

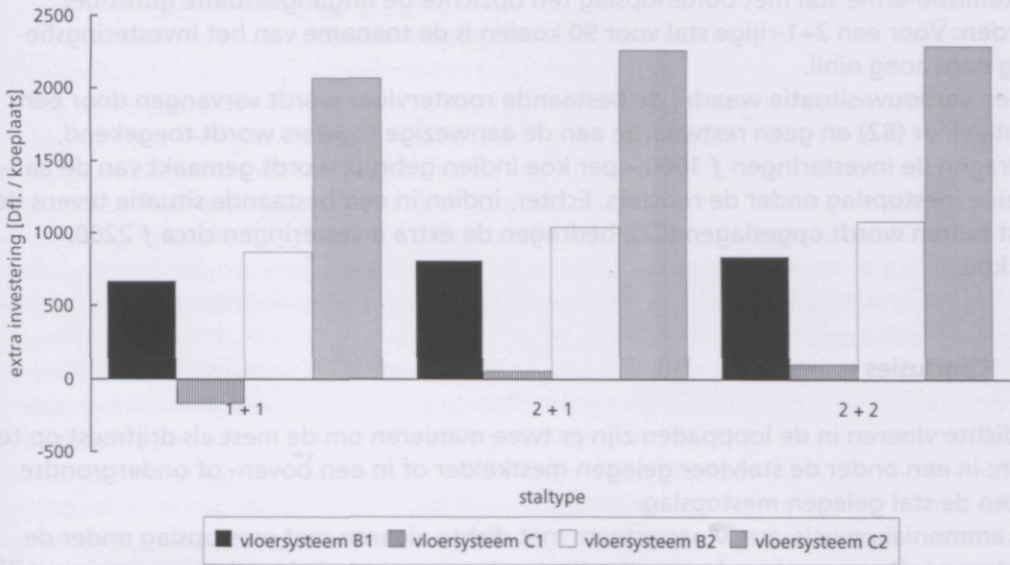
In tabel 5.5 zijn de extra investeringen ten behoeve van de emissie-arme vloersystemen aangegeven zowel voor de nieuwbouw-situaties (B1 en C1) als voor de verbouw-situaties (B2 en C2).

Tabel 5.5 Extra investeringen (Dfl.) per koeplaats van drie type ligboxenstallen met 60, 90 en 120 koeien met twee type vloersystemen in nieuwbouw (B1 en C1) en bestaande situaties (B2 en C2).

Table 5.5 Extra investments (Dfl.) per cow place of three types of cow houses with two types of floor systems for newly built (B1 and C1) and existing (B2 en C2) building situations.

staltype	aantal koeien	vloertype			
		B1	C1	B2	C2
1+1	60	753	26	958	2331
	90	648	-199	854	2022
	120	598	-339	802	1855
2+1	60	944	332	1177	2608
	90	782	3	1017	2189
	120	703	-154	936	1993
2+2	60	979	344	1222	2608
	90	809	63	1055	2231
	120	725	-89	969	2030
gemiddeld		771	-2	998	2207

In figuur 5.6 zijn de gemiddelde investeringen per koe van de vier vloersystemen in de verschillende staltypen aangegeven.



Figuur 5.6 Gemiddelde extra investeringen per koe van vier vloersystemen in drie typen ligboxenstallen (B1: dichte vloer met opslag binnen in nieuwbouw; C1: dichte vloer met opslag buiten in nieuwbouw; B2: dichte vloer met opslag binnen in bestaande situatie; C2: dichte vloer met opslag buiten in bestaande situatie).

Figure 5.6 Mean extra investments per cow of four floor systems applied in three types of cubicle houses (B1: solid floor with slurry storage underneath the floor in a new plan; B2: solid floor with slurry storage outside the building in a new plan; C1: solid floor with slurry storage outside in existing situation; C2: solid floor with slurry storage outside in existing situation).

5.6.2 Jaarlijkse kosten

De jaarlijkse kosten van de investeringen werden berekend volgens de annuïteitenmethode, waarbij het afschrijvingsbedrag gedurende de afschrijvingsperiode constant blijft. De afschrijvingsperiode van de bouwkundige werken werd gesteld op 20 jaar en het onderhoudspercentage op 2% van de investeringen. Als rentepercentage voor de investeringen werd 7% aangehouden. De totale jaarlijkse kosten bedragen in deze situatie gemiddeld 12% van de investeringen.

5.7 Discussie

De totale kosten van een ammoniakemissie-arme stal met dichte vloeren en mestopslag onder de stal (B1) geeft, ten opzichte van de referentie vloer (A), bij nieuwbouw een verhoging te zien van het constante investeringsbedrag van circa f 26.000,- en een toename van het variabele deel van de investering van f 460,- per koe. Gemiddeld bedraagt de totale toename van het investeringsbedrag circa f 770,- per koe; dit is ca. 11% van de totale investering in de stal met het referentie vloersysteem.

De stal met dichte vloeren en buitenopslag (C1) geeft in een nieuwbouw-situatie ten opzichte van de uitgangssituatie een verhoging van het constante deel van de investering te zien met f 52.000; het variabele deel van de investering neemt af met f 620,- per koe. Dit betekent dat naar mate de stalgrootte toeneemt, de investeringen in de ammoniakemissie-arme stal met buitenopslag ten opzichte de uitgangssituatie gunstiger worden. Voor een 2+1-rijige stal voor 90 koeien is de toename van het investeringsbedrag nagenoeg nihil.

In een verbouw-situatie waarbij de bestaande roostervloer wordt vervangen door een dichte vloer (B2) en geen restwaarde aan de aanwezige roosters wordt toegekend, bedragen de investeringen f 1000,- per koe indien gebruik wordt gemaakt van de aanwezige mestopslag onder de roosters. Echter, indien in een bestaande situatie tevens de mest buiten wordt opgeslagen (C2), bedragen de extra investeringen circa f 2200,- per koe.

5.8 Conclusies

Bij dichte vloeren in de looppaden zijn er twee manieren om de mest als drijfmest op te slaan: in een onder de stalvloer gelegen mestkelder of in een boven- of ondergrondse buiten de stal gelegen mestopslag.

Een ammoniakemissie-arm vloersysteem met dichte vloeren met mestopslag onder de roosters geeft in een nieuwbouw-situatie een toename van de investering van circa f 770 per koeplaats, ofwel circa 11% van de bouwkosten van een traditionele ligboxenstal voor melkkoeien. In een bestaande stal (verbouw-situatie) is het investeringsbedrag bij een ammoniakemissie-arme dichte vloer circa f 1000,- per koeplaats.

In een nieuwbouw-situatie geeft het vloersysteem met 6 maand mestopslag buiten de stal gemiddeld geen verhoging van de investeringen ten opzichte van het standaard vloersysteem met roostervloeren: De investeringen in stallen met buitenopslag ten opzichte van stallen met mestopslag onder de stal worden gunstiger naarmate de veestapel groter wordt. In een bestaande situatie (verbouw) is de oplossing met mest-

opslag buiten de stal en vervanging van de bestaande roostervloer door een dichte vloer de duurste oplossing; deze vergt een investering van circa f 2200,- per koeplaats.

6 Beloopbaarheid van onderzochte varianten

6.1 Inleiding

In de hoofdstukken 2, 3 en 4 is uitgebreid ingegaan op de experimenten en theorievorming betreffende ammoniakemissie uit rundveestallen met dichte, al dan niet hellende, betonvloeren. Vervolgens is in hoofdstuk 5 aandacht geschonken aan de kosten van dergelijke ammoniakemissie-arme vloersystemen. Bij het beoordelen van een variant moet ook worden gekeken naar beloopbaarheid. In dit hoofdstuk wordt aan dit aspect aandacht besteed. Daartoe worden de resultaten van gedragswaarnemingen gepresenteerd en wordt ingegaan op verschillen tussen het gedrag van dieren op een dichte betonvloer en dat van dieren op een betonnen roostervloer.

6.2 Doel

Doel van het onderzoek was het verkrijgen van een indruk van de beloopbaarheid van verschillende dichte vloervarianten in de experimentele afdeling ten opzichte van de roostervloer in de referentie afdeling.

6.3 Eenzijdig hellende en vlakke, dichte betonvloer

6.3.1 *Materiaal en methode*

In tabel 6.1 is weergegeven in welke proefperioden de beloopbaarheid werd bestudeerd en welke variant in de betreffende proefperiode in de experimentele afdeling aanwezig was. Tevens is vermeld of het gedrag gedurende alleen de ochtend of zowel gedurende de ochtend als de middag werd bestudeerd. De beloopbaarheid werd, behalve in proefperiode 2, ter vergelijking op dezelfde dagdelen ook op de standaard roostervloer in de referentie afdeling bestudeerd.

De eerste dag waarop de beloopbaarheid werd bestudeerd (in proefperiode 2), waren de dieren al minimaal drie weken in de experimentele afdeling aanwezig, zodat het aannemelijk is dat de dieren zich al hadden aangepast aan de overgang van een roostervloer naar een dichte vloer. De beloopbaarheid werd bestudeerd op één dag in de tweede week van de tweeweekse proefperioden. Aangenomen werd dat de dieren in de experimentele afdeling zich na een week hadden aangepast aan de nieuwe vloerhelling of schuiffrequentie.

De beloopbaarheid is gedurende een beperkt aantal dagdelen bestudeerd. Per dagdeel werd vanaf één uur voor tot twee uur na het voertijdstip het gedrag bestudeerd aan de hand van video-opnames. Het voertijdstip lag 's ochtends tussen 7.30 uur en 9.00 uur en 's middags tussen 15.00 uur en 16.00 uur. De waarnemingsperioden zijn zo gekozen omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat gedurende de uren rond het voeren de dieren de meeste activiteit op de vloer ontplooiden; gedurende de rest van de dag verbleven de niet-lacterende dieren grotendeels in de ligboxen.

Door verstoring door tochtige dieren en technische problemen kon de beloopbaarheid in

de overige drie van de in totaal acht tweewEEKSE proefperiodes en in proefperiode 2 en 6 na de middag niet worden bestudeerd.

Tabel 6.1 Proefperiodes waarin de beloopbaarheid werd bestudeerd en specificatie van de variant in de experimentele afdeling. Tevens is vermeld of de ochtend (vm) of de ochtend en de middag (vm+nm) werden bestudeerd.

Table 6.1 *Periods during which locomotion was studied, and specification of variant (slope of floor and scraping frequency) in the experimental compartment. It is indicated whether the behaviour was studied in the morning (vm) or both in the morning and afternoon (vm+nm).*

proefperiode	2 ^{a)}	4	5	6	8
variant	2	4	2	1	3
helling [%]	0	3	0	0	3
schuiffrequentie [/ etmaal]	96	96	96	12	12
bestudeerd dagdeel	vm	vm+nm	vm+nm	vm	vm+nm

^{a)} referentie afdeling niet bestudeerd in deze proefperiode.

De beloopbaarheid werd in twee proefperiodes bestudeerd bij een vloerhelling van 0% en een schuiffrequentie van 96 maal per etmaal; de andere varianten werden slechts gedurende één proefperiode waargenomen.

Bij een hoge schuiffrequentie werd driemaal waargenomen; bij een lage schuiffrequentie tweemaal. Er moet rekening worden gehouden met een mogelijke tijdsafhankelijkheid bij de effecten van de schuiffrequenties.

Een helling van 3% werd tweemaal waargenomen; een helling van 0% driemaal.

Indien de beloopbaarheid in sterke mate zou worden bepaald door één van de factoren (helling of schuiffrequentie) zou dit -ondanks het geringe aantal proefperiodes per niveau van deze factoren- wel kunnen blijken. Indien de combinatie van beide factoren bepalend zou zijn voor de beloopbaarheid, zou dit wegens het ontbreken van herhaalde waarnemingen bij de varianten 1, 3 en 4 niet aantoonbaar zijn. Dit onderzoek had dan ook primair tot doel om een eerste indruk te krijgen van de beloopbaarheid van de verschillende varianten ten opzichte van de roostervloer in de referentie afdeling.

Een overzicht van de activiteiten en uitglij-incidenten die werden bestudeerd, is weergegeven in tabel 6.2. De frequentie waarmee verschillende activiteiten optraden en de frequentie waarmee een dier daarbij uitgled werden bepaald.

De laatste drie in tabel 6.2 vermelde activiteiten werden alleen geteld als ze de oorzaak waren van een uitglij-incident. Bij de eerste twee activiteiten (liggen en staan in box) werd de tijd geregistreerd gedurende welke deze activiteiten plaatsvonden. De verblijfsduur op de vloer ('at risk time' voor uitglij-incidenten) werd berekend als de totaal beschikbare (waarnemings-)tijd minus de verblijftijd in de ligboxen.

Per uitglij-incident werd de ernst beoordeeld en onderverdeeld in drie gradaties:

– licht uitglijden:

een poot van de koe schuift, maar de koe raakt niet uit evenwicht;

– gemiddeld uitglijden:

een poot van de koe schuift verder weg. De koe komt in evenwichtsproblemen die echter geen gevaar opleveren voor een val;

– zwaar uitglijden:

een poot van de koe schuift zo ver weg, dat de koe in grote evenwichtsproblemen komt en valt of slechts net aan een val kan ontkomen.

Tabel 6.2 Overzicht van activiteiten en uitglij-incidenten waarvan de frequentie werd bepaald.**Table 6.2** Overview of activities and slip incidents of which the frequency was registered.

activiteit	aantal activiteiten	aantal uitglij-incidenten
liggen in box	ja	nee
staan in box	ja	nee
verjaagd worden	ja*	ja
verjaagd worden van voerhek	ja*	ja
likken voorhand	ja	ja
likken midden- of achterhand	ja	ja
besprongen worden	ja*	ja
vermijden bespringen	ja*	ja
staan aan + verlaten van voerhek	nee	ja
verlaten box	nee	ja
lopen	nee	ja

* De aantallen van de activiteiten verjagen, verjagen van voerhek, bespringen en poging ondernemen tot bespringen kwamen overeen met respectievelijk het aantal getelde activiteiten verjaagd worden, verjaagd worden van voerhek, besprongen worden en vermijden bespringen. De aantallen uitglij-incidenten bij verjagen, verjagen van voerhek, bespringen en poging ondernemen tot bespringen, werden wel afzonderlijk geregistreerd.

6.3.2 Waarnemingen

In tabel 6.3 is de waargenomen gemiddelde verblijftijd op de vloer als percentage van de totaal bestudeerde tijd weergegeven per variant. Tevens zijn de gemiddelde aantallen gedragingen van de koeien weergegeven per proefvariant.

De gemiddelde verblijftijd op de dichte vloer was 's ochtends bij een schuiffrequentie van 96 keer per etmaal significant lager dan op de roostervloer (in tabel 6.3 aangeduid als $D_{596} < R$). Bij een schuiffrequentie van 12 keer per etmaal werd dezelfde tendens waargenomen. Er was geen sprake van een significante invloed van de vloerhelling.

De gemiddelde verblijftijd op de dichte vloer was 's middags significant lager dan op de roostervloer. Hier werd geen significant verschil gevonden tussen verschillende vloerhellingen en schuiffrequenties. Het aantal verjagingen (en per definitie dus ook het aantal keren dat een dier werd verjaagd) was 's ochtends op de dichte vloer significant lager dan op de roostervloer. 's Middags was sprake van een zelfde tendens.

Bij de overige drie in tabel 6.3 genoemde activiteiten was geen sprake van significante verschillen tussen de dichte varianten enerzijds en de roostervloer anderzijds.

In tabel 6.4 is het gemiddeld aantal uitglij-incidenten bij de verschillende varianten per oorzaak weergegeven. De niet in tabel 6.4 vermelde activiteiten gingen slechts in een incidenteel geval gepaard met een uitglij-incident. Daarom zijn deze activiteiten niet afzonderlijk weergegeven, maar gebundeld onder 'overig'.

Het totaal aantal uitglij-incidenten verschilde 's ochtends niet significant tussen de dichte varianten en de roostervloer. De uitglij-incidentie als gevolg van het eigen gedrag aan het voerhek was tijdens de ochtend op de dichte vloervarianten significant groter dan op de roostervloer (in tabel 6.4 aangeduid als $D > R$). Daarbij was geen aanwijzing aanwezig voor een invloed van de vloerhelling of schuiffrequentie.

Het totaal aantal uitglij-incidenten was 's middags bij de dichte varianten met een hoge schuiffrequentie significant hoger dan op de roostervloer (in tabel 6.4 aangeduid als $D_{596} > R$).

De hogere uitglij-incidentie op de dichte vloer als gevolg van het eigen gedrag aan het voerhek werd mogelijk veroorzaakt doordat de meeste koeien bij het naderen van de mestschuif niet aan het voerhek bleven staan, maar de ligboxen ingingen. Door het ontwijken van de mestschuif nam de kans op een uitglij-incident waarschijnlijk toe.

Tabel 6.3 De gemiddelde verblijftijd op de vloer als percentage van de totaal bestudeerde tijd en het gemiddeld aantal gedragingen per proefvariant, per dagdeel van 3 uur.

Table 6.3 *Average time at risk on the floor as a percentage of the total studied time [%] and the average number of activities (n) per variant, per 3-hour period studied in the morning or in the afternoon.*

vloertype		rooster- vloer		dichte vloer		significant verschil (P < 0,10)	
variant			1	2	3	4	
vloerhelling			0	0	3	3	
schuiffrequentie [/etmaal]			12	96	12	96	
koeien op vloer [%]	vm	72	68	57	63	50	D ₅₉₆ < R
	nm	46	—	38	37	36	D < R
n verjagen	vm	88	22	22	10	17	D < R
	nm	70	—	25	17	15	—
n verjagen van voerhek	vm	33	18	15	12	16	—
	nm	17	—	19	10	22	—
n belikken voorhand	vm	22	28	15	13	17	—
	nm	13	—	14	6	22	—
n belikken midden- of achterhand	vm	33	32	27	27	26	—
	nm	20	—	9	14	10	—

De meeste uitglij-incidenten die werden geconstateerd waren zowel op de dichte vloer als op de roostervloer niet ernstig, maar licht.

Bij de varianten 1 en 3 (12 maal schuiven per etmaal en vloerhelling 0%, resp. 3%) traden alleen lichte uitglij-incidenten op. Bij de varianten 2 en 4 (96 maal schuiven per etmaal en vloerhelling 0%, resp. 3%) waren er gemiddeld drie, respectievelijk één gemiddelde of zware uitglij-incidenten gedurende de drie uur durende waarnemingsperiode.

Op de roostervloer was 's morgens sprake van gemiddeld 4,25 en 's middags van gemiddeld 1 zwaar of gemiddeld uitglij-incident.

Tabel 6.4 Gemiddeld aantal uitglij-incidenten per oorzaak bij de verschillende varianten, per dagdeel.

Table 6.4 Average number of slip incidents per cause, per 3-hour period in the morning or in the afternoon.

vloertype		rooster	dichte vloer				significant verschil ($P < 0,10$)
variant			1	2	3	4	
vloerhelling			0	0	3	3	
schuifrequentie [/etmaal]			12	96	12	96	
oorzaak van uitglijden							
verjaagd worden in loopruimte	vm	6,5	1	3,5	2	0	—
	nm	2	—	3	0	2	—
verjaagd worden van voerhek	vm	1,25	0	1,5	0	0	—
	nm	0,33	—	1	0	1	—
eigen gedrag aan voerhek	vm	0	1	1,5	1	1	$D > R$
	nm	0,33	—	2	1	6	—
verlaten van de box	vm	0,25	1	0	0	0	—
	nm	0	—	0	1	1	—
lopen	vm	0,75	1	0	1	1	—
	nm	0	—	2	0	1	—
overig	vm	2,5	3	0	0	1	—
	nm	0,58	—	1	0	1	—
totaal	vm	11,25	7	6,5	4	3	—
	nm	3,25	—	9	2	12	$D_{596} > R$

In tabel 6.5 is het vastgestelde uitglij-risico bij het worden verjaagd in de loopruimte en van het voerhek weergegeven. Dit risico is uitgedrukt als het percentage van het totaal aantal verjaagactiviteiten waarbij een uitglij-incident optrad.

Tussen de onderzochte varianten en de roostervloer was bij geen enkele activiteit sprake van een significant verschil in uitglij-risico. De in tabel 6.5 genoemde activiteiten geven het grootste verschil te zien tussen de dichte varianten en de roostervloer; bij de niet in de tabel vermelde activiteiten waren de verschillen in risico tussen de varianten en de roostervloer klein.

Tabel 6.5 Het vastgestelde uitglij-*risico* bij het verjaagd worden in de loopruimte en van het voerhek [%] per dagdeel van 3 uur.

Table 6.5 Risk of slipping while chasing in the passage area and at the feed rack [%] per 3-hour period in the morning or in the afternoon.

vloertype		rooster		dichte vloer			
variant			1	2	3	4	
vloerhelling [%]			0	0	3	3	
schuifrequentie [/etmaal]			12	96	12	96	
oorzaak van uitglijden							
verjaagd worden in loopruimte	vm	7,4	4,5	15,9	20,0	0	
	nm	2,9	—	12,0	0	13,3	
verjaagd worden van voerhek	vm	3,8	0	10,3	0	0	
	nm	2,0	—	5,3	0	4,5	

De oorzaken van het uitglijden werden in drie categorieën geclusterd:

- agressief gedrag: verjagen en verjaagd worden, behalve aan het voerhek;
- agressief gedrag aan voerhek: verjagen van voerhek en verjaagd worden van voerhek;
- eigen gedrag: belikken voor-, midden- of achterhand, eigen gedrag aan het voerhek, verlaten van de ligbox en lopen.

Per dagdeel is in tabel 6.6 de procentuele verdeling van uitglij-incidenten over deze drie clusters van oorzaken weergegeven per variant. 's Ochtends werd bijvoorbeeld 71% van alle uitglij-incidenten op de roostervloer veroorzaakt door agressief gedrag; 13% door agressief gedrag aan het voerhek en 16% door eigen gedrag.

Het relatieve aandeel van agressief gedrag in de uitglij-incidenten was op de dichte vloer 's middags significant kleiner dan op de roostervloer (in tabel 6.6 aangeduid als $D < R$). Tijdens de ochtend was een zelfde tendens te zien.

Het percentage van de uitglij-incidenten dat door agressief gedrag aan het voerhek werd veroorzaakt, verschilde niet significant tussen de dichte varianten en de roostervloer.

Op de dichte vloer was het relatieve aandeel van uitglijden als gevolg van het eigen gedrag 's middags significant groter dan op de roostervloer (in tabel 6.6 aangeduid als $D > R$). Tijdens de ochtend was dit verschil alleen voor de dichte varianten met een helling van 3% significant (in tabel 6.6 aangeduid als $D_{H3} > R$). Bij de dichte varianten met een helling van 0% was sprake van een zelfde tendens. Tussen de dichte varianten onderling was geen sprake van een significant effect van de schuifrequentie bij het uitglijden als gevolg van het eigen gedrag.

verblijftijd op de roostervloer van 41 tot 69%. In periode 2 was de verblijftijd op de dichte vloer 's ochtends relatief kort, maar 's middags relatief lang ten opzichte van de overige dagen. Op de dichte vloer met drie giergoten was de verblijftijd 's middags significant lager dan op de roostervloer ($P < 0,10$).

Op de dichte vloer vonden zowel 's ochtends als 's middags significant minder agressieve interacties in de loopruimte (n verjagen) plaats dan op de roostervloer. Ook het aantal verjagingen van het voerhek tendeerde naar lagere waarden op de dichte vloer, maar was 's ochtends alleen bij drie giergoten en 's middags alleen bij één giergoot significant lager dan op de roostervloer.

Ten aanzien van het comfortgedrag (likken voor-, midden- en achterhand) waren er tussen de beide vloertypen geen duidelijke verschillen.

Hoewel er bij periode 0 kanttekeningen zijn geplaatst (korte gewenning aan vloer en dieren onderling; hoog spoelwaterverbruik), wijkt deze periode ten aanzien van de waargenomen gedragingen niet duidelijk af van de overige perioden. Na periode 3 werden de diergroepen gewisseld tussen de afdeling met de roostervloer en de afdeling met de dichte vloer. Het beeld in periode 4 wijkt niet af van de voorgaande perioden. Hoewel slechts één periode na wisseling van de diergroepen is bestudeerd, kan met enige voorzichtigheid worden aangenomen dat er tussen de diergroepen geen duidelijke verschillen in activiteit bestonden.

Tabel 6.7 De verblijftijd op de vloer als percentage van de totaal bestudeerde tijd en het aantal gedragingen per periode, per dagdeel van 3 uur.

Table 6.7 Time at risk on the floor as a percentage of the total studied time (%) and the number of activities (n) per period, per 3-hour period studied in the morning (vm) or in the afternoon (nm).

type vloer		rooster	dichte vloer					significant verschil ($P < 0,10$)
periode		0-4*	0	1	2	3	4	
spoelen		—	ja**	nee	nee	ja	nee	
aantal giergoten		—	1	3	1	3	1	
koeien op vloer [%]	vm	71	81	77	54	72	71	—
	nm	57	48	37	53	37	59	D3g < R
n verjagen in loopruimte	vm	44	22	8	8	21	17	D < R
	nm	51	20	11	14	14	10	D < R
n verjagen van voerhek	vm	20	13	7	13	14	13	D3g < R, D1g < R
	nm	14	6	15	8	7	8	D1g < R
n belikken voorhand	vm	9	18	17	11	7	5	—
	nm	9	14	14	9	9	6	—
n belikken mid- of achterhand	vm	25	17	25	26	28	21	—
	nm	23	26	23	16	28	19	—

* gemiddelde van periode 0 tot en met 4 op roostervloer

** in periode 0 gespoeld met veel meer water dan in latere perioden

In tabel 6.8 is het gemiddeld aantal uitglij-incidenten in de verschillende perioden per oorzaak weergegeven. De niet in tabel 6.8 vermelde activiteiten gingen niet of slechts in een incidenteel geval gepaard met een uitglij-incident. Daarom zijn deze activiteiten niet

afzonderlijk weergegeven.

Het aantal uitglij-incidenten was in het algemeen laag. In periode 0 traden 's ochtends op de dichte vloer wat meer uitglij-incidenten op dan in de overige perioden. Dit zou mede door de korte gewenningsperiode veroorzaakt kunnen zijn. Op de dichte vloer werden 's middags minder uitglij-incidenten als gevolg van agressieve interacties waargenomen dan op de roostervloer. Uit tabel 6.7 blijkt echter dat er ook minder agressieve interacties plaatsvonden op de dichte vloer.

's Ochtends waren er op de dichte vloer significant meer uitglij-incidenten als gevolg van eigen gedrag aan het voerhek dan op de roostervloer en was er geen duidelijk effect van het al dan niet spoelen. 's Middags waren er op de gespoelde, dichte vloer minder uitglij-incidenten bij eigen gedrag aan het voerhek dan op de roostervloer.

In de perioden dat de dichte vloer werd gespoeld, was het totaal aantal uitglij-incidenten 's middags significant lager dan op de roostervloer. 's Ochtends verschilde het totale aantal uitglij-incidenten niet significant ten opzichte van de roostervloer.

Tabel 6.8 Aantal uitglij-incidenten per oorzaak bij de verschillende varianten, per dagdeel.

Table 6.8 Average number of slip incidents per cause, per 3-hour period in the morning (vm) or in the afternoon (nm).

type vloer		rooster		dichte vloer				significant verschil ($P < 0,10$)
periode		0-4	0	1	2	3	4	
spoelen		—	ja*	nee	nee	ja	nee	
aantal giergoten		—	1	3	1	3	1	
verjaagd worden in loopruimte	vm	1,0	2	0	0	1	1	—
	nm	0,2	1	0	0	0	0	D < R
verjaagd worden van voerhek	vm	0	0	0	0	0	0	—
	nm	0	0	0	0	0	0	—
eigen gedrag aan voerhek	vm	0,2	1	1	1	0	2	D > R
	nm	2,8	1	2	1	0	0	Dsp < R
lopen	vm	0,2	1	1	0	1	0	—
	nm	0,2	0	0	0	0	0	—
totaal	vm	2,2	4	2	1	2	3	—
	nm	4,2	2	2	1	0	0	Dsp < R

* in periode 0 gespoeld met veel meer water dan in latere perioden

In tabel 6.9 is het vastgestelde uitglij-risico bij het verjaagd worden in de loopruimte weergegeven. Dit risico is uitgedrukt als het percentage van het totaal aantal verjaagactiviteiten waarbij een uitglij-incident optrad. Op de roostervloer varieerde het uitglij-risico tussen perioden 's ochtends van 0,0 (perioden 1 en 4) tot 12,5 % (periode 2) en 's middags van 0,0 (periode 2) tot 5,6 % (periode 4). Er waren geen significante verschillen in uitglij-risico. Aangezien het aantal uitglij-incidenten bij agressieve interacties in deze proef steeds erg laag was (op de dichte vloer veelal 0, 1 of 2 incidenten per dagdeel), is het berekende uitglij-risico per waarnemingsperiode erg van toeval afhankelijk.

Tabel 6.9 Het uitglij-*risico* bij het verjaagd worden in de loopruimte (%) per dagdeel van 3 uur.
Table 6.9 Risk of slipping while chasing in the passage (%), per 3-hour period in the morning (vm) or in the afternoon (nm).

type vloer		rooster	dichte vloer					significant verschil ($P < 0,10$)
periode		0-4	0	1	2	3	4	
spoelen		—	ja*	nee	nee	ja	nee	
aantal giergoten		—	1	3	1	3	1	
verjaagd worden in loopruimte	vm	3,6	9,1	0,0	0,0	4,8	5,9	—
	nm	2,8	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	—

* in periode 0 gespoeld met veel meer water dan in latere perioden

6.4.3 Discussie

Op de tweezijdig hellende, dichte vloer werden minder agressieve interacties waargenomen dan op de roostervloer. Het totale aantal uitglij-incidenten op de gespoelde dichte vloer was 's middags significant lager dan op de roostervloer. Tussen de tweezijdig hellende dichte vloer en de roostervloer zijn in deze proef verder geen duidelijke verschillen waargenomen.

In vergelijking met de proef met de eenzijdig hellende en vlakke, dichte vloer is het aantal uitglij-incidenten op de tweezijdig hellende dichte vloer wat lager. In die eerdere proef was met name bij de hoge schuiffrequentie (96 keer per etmaal) het aantal uitglij-incidenten hoger. Bij de 'normale' schuiffrequentie (in beide proeven 12 keer per etmaal) was er niet zo'n duidelijk verschil. Op de roostervloer zijn de gemiddelde aantallen van diverse activiteiten 's ochtends en 's middags en het gemiddeld aantal uitglij-incidenten 's ochtends lager dan in de eerdere proef op dezelfde roostervloer. Voor deze verschillen tussen de proeven kunnen verschillende oorzaken verantwoordelijk zijn. Aangezien de waarnemingen door dezelfde persoon zijn verricht, is een 'waarnemerseffect' geen voor de hand liggende oorzaak. Het is echter niet uitgesloten dat de waarnemer bij de eerdere proef scherper waarnam. In de eerdere proef werd wel gebruik gemaakt van andere groepen dieren. Tussen groepen dieren kunnen verschillen in activiteit en onderlinge agressie bestaan. Daarnaast kregen de dieren in de eerdere proef een wat ander rantsoen (minder vezelrijk), dat weliswaar ongeveer dezelfde voedingswaarde had, maar tot een mindere fysische verzadiging (vullingsgraad van het maagdarmkanaal) leidde. Dit resulteerde waarschijnlijk in meer onrust, agressie (concurrentie om het voer) en verveling (kortere vreettijd). Daarnaast kan het rantsoenverschil tot een verschil in consistentie van de mest -die op de vloer valt- hebben geleid. De interactie tussen vloer en koepoten (klauwen) kan door dit verschil in mestsamenstelling beïnvloed zijn en daardoor ook het gedrag en de uitglij-incidentie.

6.5 Conclusies

Het aantal uitglij-incidenten op de vlakke en eenzijdig hellende dichte vloer was niet hoger dan op de roostervloer. De verblijftijd en de activiteit op de dichte vloer waren wel lager dan op de roostervloer. Dit kan als risico-mijdend gedrag worden opgevat.

Het aantal uitglij-incidenten en de verblijftijd op de tweezijdig hellende dichte vloer verschilden niet van die op de roostervloer. Het aantal agressieve interacties op de dichte vloer was wel lager dan op de roostervloer. Hiermee zouden de dieren op de dichte vloer het risico op een uitglij-incident deels kunnen hebben vermeden. Het gedrag op de tweezijdig hellende dichte vloer was minder afwijkend van dat op de roostervloer, dan in de eerdere proef op de eenzijdig hellende en vlakke vloer.

Er zijn geen aanwijzingen verkregen dat de tweezijdig hellende dichte vloer gedurende de eerste maanden na in gebruikname onvoldoende beloopbaar was.

Naast de vorm (bijvoorbeeld vlak, eenzijdig of tweezijdig hellend) van de vloer, kunnen ondermeer ook eigenschappen van het vloeroppervlak een rol hebben gespeeld. Een groot aantal combinaties van vloervormen, vloer-oppervlakeigenschappen, spoel/schuif-frequenties, spoelmethodieken en dergelijke is denkbaar en kan tot verschillende conclusies aangaande de beloopbaarheid van een vloer leiden. Een eenduidige conclusie over de gewenste vorm van een dichte vloer is op basis van de proeven die in dit rapport zijn beschreven, dan ook niet te doen.

Tenslotte geldt dat de proeven kort na in gebruikname van de nieuwe vloer zijn uitgevoerd. Door slijtage kan na verloop van tijd de stroefheid van een vloer afnemen. De beloopbaarheid kan daardoor verslechteren. Daarnaast brengt de korte duur van de experimenten met zich mee dat niet onder alle condities, die tussen seizoenen en jaren kunnen variëren, is gemeten. Er is bijvoorbeeld niet bij lage temperaturen gemeten en evenmin bij opname van vers gras en/of weidegang. Aan de verkregen resultaten kunnen dus geen generaliseerbare conclusies worden verbonden.

6.6 Beloopbaarheid van hellende, dichte vloeren op praktijkbedrijven

6.6.1 Inleiding

De beloopbaarheid van een aantal hellende, dichte vloervarianten is in kortlopende proeven bestudeerd. Dit leverde geen eenduidig beeld op. De resultaten van deze proeven zijn deels in dit rapport beschreven (voorzover onderdeel van het project) en deels elders (Smits *et al.*, in voorbereiding; Gunnink en Smits, in voorbereiding). Daarnaast berichtte Pieters (1995) over de eerste praktische ervaringen met dit type vloeren in Groen Label stallen in een winterperiode. Die ervaringen leken positief. Niet duidelijk was in hoeverre dit ook voor de zomerperiode gold en hoe de ervaringen van enkele jaren in gebruik zijnde stallen waren. Uit de praktijk kwamen tegenstrijdige signalen. Een telefonische enquête werd gehouden onder 23 melkveehouders, die meer dan een jaar ervaring hadden met melkvee op een hellende, dichte vloer (respons: 100%, d.w.z. alle benaderde veehouders werkten mee). De enquête werd uitgevoerd in april 1996.

6.6.2 Doel

Doel van de enquête was het verkrijgen van meer inzicht in de omvang van uitglij-problemen en de oorzaken van verschillen in beloopbaarheid tussen vloeren.

6.6.3 Opzet

Door het IKC en een stalinrichtingsfirma werden 34 adressen beschikbaar gesteld van bedrijven met ligboxenstallen met een hellende, dichte vloer. Deze bedrijven werden schriftelijk benaderd met het verzoek deel te nemen aan een telefonische enquête. Op 11 bedrijven was de vloer korter dan één jaar in gebruik. Deze bedrijven werden niet geënuquêteerd, aangezien zij nog geen volledig zomerseizoen ervaring hadden met de dichte vloer en daardoor moeilijk vergelijkbaar waren met de andere bedrijven. In de enquête ging het vooral om de ervaringen in het jaar voorafgaand aan de enquête: van april 1995 tot en met maart 1996.

Om een indruk te krijgen van de representativiteit van de bedrijven, werden algemene bedrijfskenmerken geïnventariseerd. De mening van de veehouders over het gedrag van de koeien ten opzichte van een roostervloer werd geïnventariseerd. Ook werd het oordeel van de veehouders over de grootte van het probleem van uitglijden vastgesteld. Verder werden verschillende factoren, die mogelijk verband houden met de uitglijproblemen, zoals het vloertype, de vloerafwerking, de ouderdom van de vloer en de schuif-frequentie in de enquête opgenomen. Ten slotte werd oriënterend bestudeerd of de verschillende spoelmethodes, die bij drogende weersomstandigheden werden toegepast, tot verschillen inesignaleerde problemen leidden.

6.6.4 Bedrijven

Per bedrijf waren gemiddeld 55 melkkoeien aanwezig (range: 28-110). Dit is ongeveer 25% meer dan het landelijk gemiddelde. Zestien bedrijven hadden voorheen een ligboxenstal met roostervloer. Zeven bedrijven hadden voorheen een grupstal. De bedrijven met voorheen een grupstal zijn in deze enquête enigszins oververtegenwoordigd. Er moet rekening worden gehouden met het feit dat juist de middelgrote en grote bedrijven met een bedrijfsopvolger (de 'blijvers') willen investeren in de toekomst en dus vaker dan gemiddeld tot de bouw van een nieuwe stal zullen overgaan. Bedrijven die nieuw bouwen zijn dus a priori geen doorsnede van het landelijk gemiddelde. Dit geldt ook voor de (middelgrote) grupstalbedrijven die zich verder willen ontwikkelen. De gemiddelde melkproductie per koe was op de geënuquêteerde bedrijven ongeveer 7400 kg/jaar. Er waren relatief veel bedrijven met roodbonte melkkoeien. In de concentratiegebieden worden door de plaatselijke en provinciale overheid milieumaatregelen bij uitbreiding en/of nieuwbouw verplicht of gestimuleerd. Er zijn dan ook relatief veel bedrijven in de concentratiegebieden geënuquêteerd. In deze gebieden komt het roodbonte vee van oudsher meer voor dan het zwartbonte vee. Op 12 bedrijven werd 's zomers volledige weidegang toegepast; op 8 bedrijven beperkte weidegang (alleen overdag buiten) en op 3 bedrijven werd zomerstalvoeding toegepast. In tabel 6.10 is het aantal bedrijven per vloertype en eventuele vloerafwerking weergegeven. Op de bedrijven kwamen drie verschillende types hellende, dichte vloeren voor: de tweezijdig hellende (V-vormige) vloer ($n = 7$); de topvloer (een in lengterichting van de loopgang wisselend hellende en dalende vloer, waarbij zich tussen alle twee aangrenzende laaggelegen plaatdelen een 35 mm brede sleuf bevindt, waarvan de lengte gelijk is aan de breedte van de loopgang) ($n = 11$) en de eenzijdig hellende vloer ($n = 5$). Op 11 bedrijven was het gehele oppervlak voorzien van een nabewerking; op twee bedrijven was slechts een deel van het oppervlak voorzien van een nabewerking (bijvoorbeeld

alleen achter het voerhek of alleen tussen de ligboxen); op 10 bedrijven was het vloeroppervlak niet voorzien van een nabewerklaag.

Tabel 6.10 Aantal bedrijven per vloertype en eventuele vloerafwerking.

Table 6.10 Number of herds per type of floor and the floor finish.

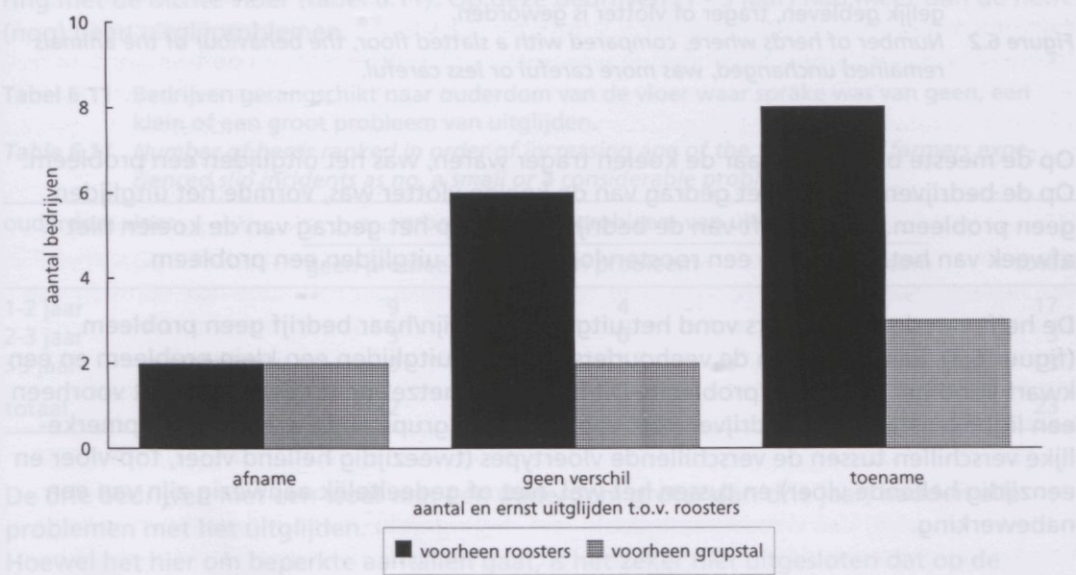
vloertype	vloerafwerking			totaal
	met nabewerking	gedeeltelijk nabewerkt	zonder nabewerking	
tweezijdig hellend	5	2	0	7
topvloer	5	0	6	11
eenzijdig hellend	1	0	4	5
totaal	11	2	10	23

De bedrijven voldeden niet allemaal aan de Groen Label-eisen, maar dit was gezien de doelstelling van de enquête ook niet van belang.

6.6.5 Resultaten

Uitglij-incidenten en gedrag

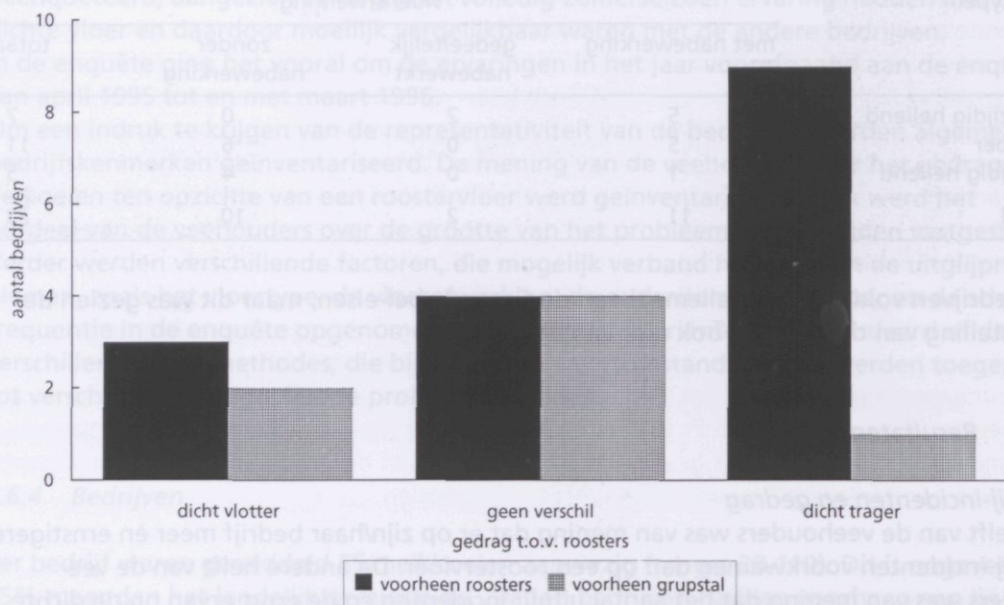
De helft van de veehouders was van mening dat er op zijn/haar bedrijf meer en ernstigere uitglij-incidenten voorkwamen dan op een roostervloer. De andere helft van de veehouders was van mening dat het aantal uitglij-incidenten en de ernst ervan op de dichte vloer gelijk was gebleven of afgenomen ten opzichte van de roostervloer (figuur 6.1).



Figuur 6.1 Aantal bedrijven waar het aantal en de ernst van de uitglij-incidenten ten opzichte van een roostervloer is afgenomen, gelijk gebleven of toegenomen.

Figure 6.1 Number of herds where, compared with a slatted floor, the number and severity of the slip incidents has decreased, remained stable or increased.

Bijna de helft van de veehouders vond dat de koeien 'trager' waren dan op een rooster-vloer; de koeien bewogen voorzichtiger dan op een roostervloer. Een derde van de veehouders vond dat het gedrag van de koeien op de dichte vloer niet afweek van dat op een roostervloer. De overige veehouders (1/6^e deel) vonden het gedrag van de dieren op de dichte vloer vlotter (figuur 6.2).

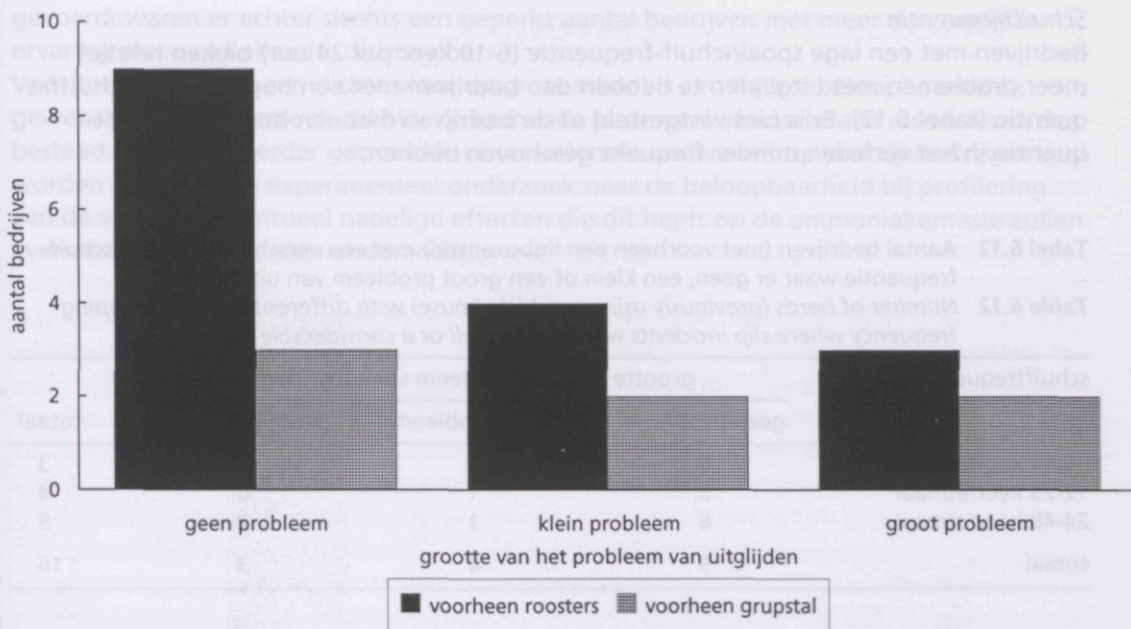


Figuur 6.2 Aantal bedrijven waar het gedrag van de koeien ten opzichte van een roostervloer is gelijk gebleven, trager of vlotter is geworden.

Figure 6.2 Number of herds where, compared with a slatted floor, the behaviour of the animals remained unchanged, was more careful or less careful.

Op de meeste bedrijven waar de koeien trager waren, was het uitglijden een probleem. Op de bedrijven waarop het gedrag van de koeien vlotter was, vormde het uitglijden geen probleem. Op de helft van de bedrijven waarop het gedrag van de koeien niet afweek van het gedrag op een roostervloer, was het uitglijden een probleem.

De helft van de veehouders vond het uitglijden op zijn/haar bedrijf geen probleem (figuur 6.3). Een kwart van de veehouders vond het uitglijden een klein probleem en een kwart vond het een groot probleem. Dit beeld was hetzelfde op bedrijven met voorheen een ligboxenstal en op bedrijven met voorheen een grupstal. Er waren geen opmerkelijke verschillen tussen de verschillende vloertypes (tweezijdig hellend vloer, top-vloer en eenzijdig hellende vloer) en tussen het wel, niet of gedeeltelijk aanwezig zijn van een nabewerking.



Figuur 6.3 Aantal bedrijven waar er geen, een klein of een groot probleem van uitglijden is.

Figure 6.3 Number of herds where farmers experienced slip incidents as no, a small or a considerable problem.

Leeftijd vloer

De geënquêteerde veehouders hadden in de meeste gevallen minder dan drie jaar ervaring met de dichte vloer (tabel 6.11). Op deze bedrijven (1 - 3 jaar) had meer dan de helft (nog) geen uitglijproblemen.

Tabel 6.11 Bedrijven gerangschikt naar ouderdom van de vloer waar sprake was van geen, een klein of een groot probleem van uitglijden.

Table 6.11 Number of herds ranked in order of increasing age of the floor where farmers experienced slip incidents as no, a small or a considerable problem.

ouderdom vloer	grootte van het probleem van uitglijden			totaal
	geen probleem	klein probleem	groot probleem	
1-2 jaar	9	4	4	17
2-3 jaar	3	0	0	3
>3 jaar	0	2	1	3
totaal	12	6	5	23

De drie bedrijven met een vloer met een ouderdom groter dan drie jaar, hadden alle problemen met het uitglijden.

Hoewel het hier om beperkte aantallen gaat, is het zeker niet uitgesloten dat op de andere bedrijven door het gladder worden van de vloer later ook problemen zullen ontstaan. Door slijtage van het loopvlak kan de vloer gladder worden. Dit duurzaamheidsaspect kon in de eerder beschreven experimenten op stalniveau niet worden vastgesteld, aangezien het daarbij ging om kortdurende proeven op nieuwe vloeren (< 1 jaar oud).

Schuifrequentie

Bedrijven met een lage spoel/schuif-frequentie (6-10 keer per 24 uur) bleken relatief meer problemen met uitglijden te hebben dan bedrijven met een hogere spoel/schuif-frequentie (tabel 6.12). Er is niet vastgesteld of de bedrijven met een hogere schuif-frequentie in het verleden minder frequent geschoven hebben.

Tabel 6.12 Aantal bedrijven (met voorheen een ligboxenstal) met een verschillende spoel/schuif-frequentie waar er geen, een klein of een groot probleem van uitglijden was.

Table 6.12 Number of herds (previously using a cubicle house) with different spraying/scraping frequency where slip incidents were no, a small or a considerable problem.

schuifrequentie	grootte van het probleem van uitglijdens			totaal
	geen probleem	klein probleem	groot probleem	
6-11 keer/etmaal	0	2	1	3
12-23 keer/etmaal	3	1	0	4
24-48 keer/etmaal	6	1	2	9
totaal	9	4	3	16

Drogende omstandigheden

Een kwart van de bedrijven die weidegang toepaste in de zomer, had bij drogende weersomstandigheden meer uitglij-problemen. Op de meeste bedrijven werd 's zomers bij weidegang extra aandacht besteed aan het voorkomen van het ontstaan van een gladde(re) vloer. De dieren kwamen twee keer per dag in de stal om te worden gemolken. Op een deel van de bedrijven bleven de dieren 's nachts (tussen het avond- en ochtendmelken) in de stal. Veelal werd de vloer gespoeld direct nadat de koeien naar buiten gingen en/of voordat de koeien weer binnenkwamen. Soms werden aangekoekte mestdelen ook handmatig verwijderd. Waarschijnlijk werd door de extra aandacht een toename van problemen bij drogende weersomstandigheden veelal voorkomen.

6.6.6 Discussie

Hoewel in de telefonische enquête subjectieve beoordelingen zijn gemaakt, geven de resultaten waarschijnlijk toch een redelijk evenwichtige indruk van de beloopbaarheid van hellende, dichte vloeren, tijdens de eerste jaren na ingebruikname. Dat de helft van de veehouders tevreden was over de beloopbaarheid, zal door sommigen als een meevaller worden ervaren. Dat de andere helft van de veehouders kleine of grotere uitglijproblemen heeft, zal door velen echter als onacceptabel worden beschouwd. In hoeverre de vloer door slijtage na verloop van tijd gladder zal worden en daarmee mogelijk tot meer uitglij-problemen zal leiden is nog niet duidelijk. Dit zal door herhaling van de enquête over enige tijd moeten blijken. De subjectieve informatie die een enquête oplevert, kan worden aangevuld met metingen op de bedrijven.

Vorbereidingen om dit in 1997 te realiseren, worden getroffen.

Door verstrengeling van factoren en het aanwezig zijn van slechts één of enkele bedrijven per combinatie van factoren is een statistische analyse van de enquêtegegevens niet zinvol. Om harde conclusies te kunnen trekken, is het noodzakelijk om gegevens op een groter aantal bedrijven te verzamelen. Op het moment dat de enquête werd uit-

gevoerd, waren er echter slechts een beperkt aantal bedrijven met meer dan een jaar ervaring met een hellende, dichte vloer.

Voor toepassing van een dichte vloer op grote schaal is een betere beloopbaarheid gewenst. In het onderzoek zal hier de komende jaren veel aandacht aan moeten worden besteed. Naast het eerder genoemde observationele onderzoek op praktijkbedrijven kan worden gedacht aan experimenteel onderzoek naar de beloopbaarheid bij profilering van de vloer. De eventueel nadelige effecten die dit heeft op de ammoniakemissie zullen eveneens moeten worden onderzocht.

7 Discussie en overwegingen

De emissie van ammoniak uit een stal is een complex proces dat door een groot aantal factoren wordt beïnvloed. Bij het bespreken van het gehele proces zal in deze discussie onderscheid worden gemaakt tussen de diverse ammoniakemissiebronnen. Dit komt het overzicht ten goede en geeft inzicht in het effect dat ammoniakemissiereducerende maatregelen hebben.

De traditionele ligboxenstallen voor rundvee zijn veelal voorzien van geprefabriceerde betonnen roostervloeren. De door de dieren geproduceerde faeces en urine vallen door de roosterspleten en worden verzameld in een mestkelder. Ammoniak ontstaat uit omzetting van de ureum uit de urine. Bij deze reactie treedt het enzym urease op als katalysator. Urease ontstaat als faeces en urine gedurende langere tijd met elkaar in contact komen en regelmatig worden ververst. Urease vormt zich dan ook in de mest in de mestkelder en op de roostervloer. Aldus zijn zowel de roostervloer als de mestkelder ammoniakemissiebronnen. In de traditionele ligboxenstal ontstaat circa 60% van de ammoniak op de vloer (bovenzijde en zijkanten van de roosterbalken); het resterende deel wordt gevormd in de mestkelder (Ogink & Kroodsma, 1996).

De emissie van ammoniak uit de mestkelder is mede afhankelijk van de luchtsnelheid boven het mestoppervlak en de uitwisseling van lucht tussen de mestkelder en de stal. De dichte stalvloer als emissiebeperkende maatregel is voortgekomen uit de gedachte dat het afdekken van de mestkelder door een dichte vloer de kelderemissie zou elimineren. De door de dieren geproduceerde mest moet bij een dichte vloer worden afgevoerd door een mestschuif. De schuif verzamelt de mest en stort deze, bij opslag in een kelder onder vloer, af door openingen in de vloer. Dit betekent dat de vloer bij er onder gelegen mestopslag, niet volledig dicht kan zijn. In het onderzoek is dit ook gebleken: bij de eenzijdig hellende vloervariant nam de emissie af met zo'n 5 g NH₃ / uur (van ruim 10 g / uur tot ruim 5 g / uur) als de beide mestafstorten aan de vloereinden zorgvuldig werden afgedicht. Gelet op de totale stalemissie van zo'n 30 g NH₃ / uur (10 dieren in de afdeling) is dit aanzienlijk. Er wordt op gewezen dat deze resultaten zijn bereikt in een warme zomerperiode (juli 1995) en bij afwezigheid van dieren; een extreme situatie. Hierbij moet nog de kanttekening worden gemaakt dat na het verwijderen van de dieren en het zorgvuldig afdichten van de mestafstorten, toch nog een emissie van ruim 5 g NH₃ / uur resteerde. Dit geeft aan dat de kelder mogelijk toch nog niet volledig was afgedicht en/of dat andere, nog niet nader geïdentificeerde ammoniakemissiebronnen aanwezig waren. Het verdient dan ook aanbeveling nader onderzoek te verrichten naar de wijze waarop ammoniakemissie uit de mestkelder ontstaat. Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat zolang een goed inzicht ontbreekt, alleen het volledig verhinderen van luchtuitwisseling tussen de mestkelder en de stal de zekerheid biedt dat de kelderemissie is geëlimineerd. Een scheiding tussen mestkelder en stal is bijvoorbeeld te realiseren door de door de schuif verzamelde mest af te storten in een tijdelijke opvang van beperkte omvang. De mest kan vervolgens worden getransporteerd (bijv. verpompt) naar een zeer goed afgesloten opslag:

- een onder de stalvloer gelegen mestkeldercompartiment dat volledig is gescheiden van de stal;
- een buiten de stal gelegen ondergrondse mestkelder;
- een buiten de stal gelegen afgedekte, bovengrondse mestsilo.

Niet alleen kostentechnische, maar ook esthetische overwegingen (inpassing in het landschap) kunnen bij de keuze van een mestopslag een rol spelen.

De ammoniakemissie vanaf de stalvloer kan worden gereduceerd door de urine snel af te voeren. Ook het verwijderen van urease-activiteit op het vloeroppervlak is een optie, maar dan zou, mede gelet op de wijze waarop en de snelheid waarmee de urease-activiteit zich opbouwt, intensief (bijv. wekelijks) moeten worden gereinigd met bijvoorbeeld een zuur.

Het snel afvoeren van urine is mogelijk door het toepassen van een hellend vloeroppervlak en het verzamelen van de urine in een giergoot. Uit de experimenten is gebleken dat een eenzijdig hellende vloer het nadeel heeft dat de urine over een relatief grote afstand afstroomt, waardoor de omvang van de urineplassen toeneemt. De giergoot moet dan ook zodanig worden geplaatst, dat de afstrooimengte zo gering mogelijk is. De experimenteel verkregen resultaten geven aan dat in dat opzicht een tweezijdig hellende vloer met giergoot in het midden een goed resultaat geeft. Het toevoegen van extra giergoten in de hellende vloerdelen leverde geen significante bijdrage aan de ammoniakemissiereductie.

Niet alleen het snel, maar ook het zo volledig mogelijk afvoeren van de urine verdient aandacht. Uit de experimenten is af te leiden dat een goed gereinigde vloer met een zo dun mogelijke mestlaag moet worden nagestreefd. De experimenten met de schuif met sproei-installatie wijzen uit dat de ammoniakemissiereductie aanzienlijk toeneemt (van zo'n 50% naar 65%) als wordt gesproeid met een beperkte hoeveelheid water (5-7 l per dier per etmaal). Het positieve effect van het sproeien komt waarschijnlijk ondermeer voort uit het bevorderen van de 'dweilende' werking van de mestschuif, waardoor deze de vloer beter reinigt.

Een goed reinigbaar vloeroppervlak kan worden verkregen door het oppervlak bijzonder glad uit te voeren. Dit gaat echter ten koste van de beloopbaarheid voor de dieren. Een mogelijkheid is het aanbrengen van bijvoorbeeld een profilering op het oppervlak, waardoor de dieren beter grip op de vloer hebben. De profilering moet dan wel zodanig worden georiënteerd, dat afstroom van urine naar de giergoot niet wordt belemmerd. Deze optie zal echter wel ten koste gaan van de ammoniakemissiereductie omdat, naar verwachting, de schuif de vloer dan minder grondig kan reinigen en meer urine op het vergrote oppervlak blijft staan.

Dat de beloopbaarheid aandacht verdient blijkt uit een praktijkenquête, waarbij de helft van de ondervraagde veehouders aangaf dat op een dichte vloer meer en ernstiger uitglij-incidenten optreden dan op een roostervloer. Uit het onderzoek is dit niet zo duidelijk naar voren gekomen, maar dat kan te maken hebben met het feit dat ten aanzien van beloopbaarheid slechts verkennend onderzoek is uitgevoerd. De beloopbaarheid is gedurende een korte periode onderzocht. In de praktijk lijken problemen met de beloopbaarheid toe te nemen naarmate de vloer langer in gebruik is. Onderzoek naar de oorzaken van, de basismechanismen bij en het voorkomen van uitglij-incidenten verdient dan ook aanbeveling. Dit zal moeten uitmonden in vloerafwerkingen die zowel qua ammoniakemissie als qua beloopbaarheid acceptabel zijn.

In het onderzoek op stalniveau is gebruik gemaakt van volgens de voorschriften samengestelde, verwerkte en nabehandelde betonmengsels, die handmatig zijn ingeschuurd met een schuurbord. Uit de experimenten op laboratoriumniveau is gebleken dat het, uit het oogpunt van beperking van de vorming van urease-activiteit, niet nodig is het betonoppervlak te voorzien van nabewerklagen (coatings e.d.). Mogelijk kunnen deze wel een bijdrage leveren aan de reinigbaarheid van het vloeroppervlak, maar dan moet de

beloopbaarheid uiteraard ook worden beschouwd.

Bij het voorschrijven van ammoniakemissiebeperkende maatregelen speelt niet alleen de technische, maar ook de financiële haalbaarheid een rol. In verkennende berekeningen zijn de investeringen en jaarlijkse kosten van deze investeringen vastgesteld voor diverse representatieve stallen. De operationele kosten zijn niet in de berekeningen beschouwd.

Uit de berekeningen is gebleken dat, in het geval van nieuwbouw, slechts geringe verschillen bestaan tussen een roostervloer met ondergelegen mestkelder enerzijds en hellende dichte vloeren gecombineerd met mestopslag buiten de stal anderzijds.

Wanneer wordt gekozen voor een hellende dichte vloer met ondergelegen mestkelder zijn de investeringen zo'n f 770,- per koeplaats hoger dan bij de stal met roostervloer. Bij verbouw is een investering van circa f 1000,- per koeplaats vereist indien de roostervloer wordt vervangen door een dichte vloer en de ondergelegen mestkelder operationeel blijft. Zodra bij deze variant de mest niet meer wordt opgeslagen in de mestkelder, maar een additionele ammoniakemissie-arme mestopslag buiten de stal wordt gebouwd, neemt de vereiste investering toe tot ruim f 2000,- per koeplaats.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

Uit het onderzoek kunnen conclusies worden getrokken op het gebied van urease-activiteit, ammoniakemissiebronnen, effectiviteit van ammoniakemissiereducerende maatregelen, beloopbaarheid van betonnen stalvloeren en de vereiste investeringen in aangepaste staltypen.

Urease-activiteit

Uit het onderzoek naar de urease-activiteit op een oppervlak na handmatige, gestandaardiseerde bevuiling met mest en urine onder laboratoriumcondities gedurende 15 dagen, blijkt dat zich op nagenoeg alle onderzochte oppervlakken een zodanige urease-activiteit heeft ontwikkeld, dat deze niet beperkend is voor de ammoniakemissie op stalniveau.

De onderzochte oppervlakken waarop de ontwikkelde urease-activiteit na een 15-daags bevuilingsprotocol beperkend is voor de ammoniakemissie op stalniveau hebben nagenoeg allemaal een geringe stroefheid en ruwheid. Deze zijn dermate gering, dat verwacht wordt dat deze (gladde) oppervlakken zeer slecht of niet beloopbaar zijn voor dieren.

De gemiddelde ruwheidshoogte van een oppervlak kan ongeveer 70% van de variatie in urease-activiteit, die na een 15-daags bevuilingsprotocol op de proefstukken is ontstaan, verklaren. De waterindringingsdiepte levert in dit opzicht geen extra informatie.

Gelet op de wijze waarop urease-activiteit zich op vloeren ontwikkelt, kan worden aangenomen dat deze bij een langer durende bevuiling met faeces en urine toe zal nemen of gelijk zal blijven, maar niet af zal nemen.

De snelheid waarmee urease-activiteit zich ontwikkelt is sterk afhankelijk van de heersende temperatuur.

Effectieve vloeistoflaagdikte

De effectieve vloeistoflaagdikte, die de op een oppervlak achtergebleven hoeveelheid urine weergeeft, wordt sterk gereduceerd als een proefstuk onder een helling wordt geplaatst.

Bij een 3% helling van een schoon vloeroppervlak blijkt bij de onderzochte, niet-bevuilde proefstukken geen verband te bestaan tussen de effectieve vloeistoflaagdikte (een maat voor de hoeveelheid urine) en de beschouwde oppervlakte-eigenschappen. Dit betekent dat voor de onderzochte proefstukken, de hoeveelheid op een schoon oppervlak achtergebleven ureum niet is te kwantificeren op basis van de oppervlakte-eigenschappen.

Het vervangen van een roostervloer door een dichte vloer met mestafstorten staat niet garant voor eliminatie van de ammoniakemissie uit de mestkelder zolang de via de mest-schuif verzamelde mest wordt opgevangen in een onder de vloer gelegen mestkelder, waarbij de lucht in de mestkelder in verbinding staat met de stallucht.

De ammoniakemissie uit de onder de stalvloer gelegen mestkelder wordt gereduceerd door de luchtuitwisseling tussen de mestkelder en de stal te reduceren. In de experimenten is dit bereikt door vanaf de uiteinden van de vloer verticale schotten tot in de mest te laten steken, zodanig dat de lucht onder de stalvloer zo min mogelijk in verbinding stond met de stallucht en de luchtbeweging onder de stalvloer werd beperkt. Voor de praktijk moet worden gestreefd naar praktischere oplossingen.

Na het verwijderen van de dieren en het afdichten van de mestafstorten blijkt bij het experiment met de verticale schotten en het hoge mestniveau nog sprake te zijn van ammoniakemissie. Dit kan er op wijzen dat ofwel de ammoniakemissie uit de mestkelder toch niet is geëlimineerd, ofwel dat andere ammoniakemissiebronnen aanwezig zijn.

Bereikte ammoniakemissiereducties

Een vlakke, dichte vloer met mestafstorten geeft geen ammoniakemissiereductie ten opzichte van een standaardroostervloer.

Een dichte, eenzijdig 3% hellende vloer met mestafstorten geeft een ammoniakemissiereductie van 21% ten opzichte van een standaardroostervloer.

Het verhogen van de schuiffrequentie van 12 naar 96 maal per etmaal geeft een verhoging van de ammoniakemissiereductie met 5 procentpunten. Dit resulteert in een ammoniakemissiereductie van respectievelijk 5% en 26% ten opzichte van de standaardroostervloer voor respectievelijk de vlakke en de eenzijdig 3% hellende dichte vloer.

De tweezijdig 3% hellende dichte vloer voorzien van een centrale giergoot en tot in de mest reikende verticale schotten ter plaatse van de mestafstorten, geeft ten opzichte van de standaardroostervloer een ammoniakemissiereductie van 50% en 65% bij respectievelijk niet en wel sproeien (5-7 l water per koe per etmaal) na het schuiven (schuiffrequentie: 12 maal per etmaal).

Het aanbrengen van een extra giergoot in beide hellende zijden van de tweezijdig 3% hellende dichte vloer, zodanig dat een vloer met in totaal drie giergoten ontstaat, geeft geen significante toename van de emissiereductie ten opzichte van een vergelijkbare vloervariant met slechts één centrale giergoot.

Beloopbaarheid van betonnen stalvloeren

Op de vlakke en eenzijdig 3% hellende dichte vloer zijn nagenoeg evenveel uitglij-incidenten waargenomen als op de standaardroostervloer. Op beide vloervarianten is ten opzichte van de standaardroostervloer sprake van een kortere verblijftijd en een lagere

activiteit van de dieren. De dieren verblijven langer in de ligboxen.

Uit een enquête van beperkte omvang blijkt dat circa de helft van de veehouders die een stal met een hellende, dichte vloer hebben van mening is, dat ten opzichte van de standaardroostervloer sprake is van meer en ernstiger uitglij-incidenten. Tevens is circa de helft van de betreffende veehouders van mening dat de dieren trager zijn als zij zijn gehuisvest in een stal met een dichte vloer in plaats van een roostervloer. Onderzoek ter verbetering van de beloopbaarheid is daarom gewenst.

Investerings- en jaarlijkse kosten

In geval van nieuwbouw is, uit het oogpunt van investeringen, sprake van slechts geringe verschillen tussen een roostervloer met ondergelegen mestkelder enerzijds en hellende dichte vloeren gecombineerd met mestopslag buiten de stal anderzijds. Als wordt gekozen voor een hellende dichte vloer met ondergelegen mestkelder zijn de investeringen zo'n f 770,- per koe hoger dan bij de stal met roostervloer.

Bij verbouw is een investering van circa f 1000,- per koe vereist indien de roostervloer wordt vervangen door een dichte vloer en de ondergelegen mestkelder operationeel blijft. Zodra de mest niet meer wordt opgeslagen in de bestaande mestkelder, maar een mestopslag buiten de stal wordt gebouwd, neemt de vereiste investering toe tot ruim f 2000,- per koe.

8.2 Aanbevelingen

Het onderzoek heeft geresulteerd in een stalontwerp voor rundvee dat voldoet aan de door de overheid gestelde eis van minimaal 50% ammoniakemissiereductie ten opzichte van een traditionele ligboxenstal met betonroosters en een mestkelder. De in het onderzoek uitvoerig bestudeerde variant is een dichte, tweezijdig naar het midden van de overspanning, 3% hellende stalvloer. Een deel van de urine wordt afgevoerd naar een, halverwege de overspanning aangebrachte, centrale giergoot. De faeces en resterende urine worden afgevoerd door een mestschuif en aan de einden van de stalvloer verzameld en afgestort. De mest wordt ammoniakemissie-arm opgeslagen buiten de stal of wordt opgeslagen in een onder de stal gelegen, afgesloten mestkelder.

Een ammoniakemissiereductie van meer dan 50% is haalbaar als de vloer wordt besproeid met water. De toe te passen hoeveelheid water behoeft hierbij niet zodanig te zijn, dat echt sprake is van 'spoelen met water'. In het onderzoek werd een emissiereductie van circa 65% bereikt door een hoeveelheid water te sproeien gelijk aan 10-15% van de dierlijke mestproductie.

De betonvloer wordt uitgevoerd zonder gebruik te maken van nabewerkmiddelen, zoals bijvoorbeeld coatings: een volgens de voorschriften samengesteld en nabehandeld en handmatig geschuurd betonmengsel volstaat.

De bouwkundige oplossing volgens de aanbeveling wordt nu beknopt weergegeven (gedeeltelijk ontleend aan de 'Leidraad voor de toepassing van betonmortel in de land- en tuinbouw' [VNC, 1996]).

- Loopgang en loopeetruimte:

Toe te passen beton

Sterkteklasse: B25.

Milieuklasse: 5d.

Consistentiegebied: max. 3.

Soort cement: hoogovencement CEM III/B HS.

Verdichten

Dubbele afreibalk met trilmotor of eventueel trilnaald.

Afwerking

Onder de rei vlak afwerken (zie opmerking 1).

Afschot

30 mm/m¹ naar de giergoot.

Nabehandeling

Betonvlakken moeten gedurende minstens vijf dagen na het storten tegen uitdrogen worden beschermd, bijvoorbeeld door afdekken met plastic folie, constant nat houden of bespuiten met curing compound.

Betonconstructie

De minimale vloerdikten en wapeningspercentages van de elastisch ondersteunde vloer zijn in volgend overzicht weergegeven:

sterkteklasse	B25	B35
min. vloerdikte (h)	120 mm	120 mm
min. langswapening $\bar{\omega}_0$	0,65%	0,77%
min. dwarswapening $\bar{\omega}_0$	0,15%	0,18%

Opmerkingen bij dit overzicht:

- Maximale aslast 115 kN, afstand ≥ 2000 mm (HBRM '91, deel B, art. 4.4.1 [HBRM, 1993]).
- Wapeningspercentage $\bar{\omega}_0 = 100 A_s / A_b$ (A_s en A_b zijn resp. de staal- en betondoorsnede in de betreffende richting).
- Het minimum wapeningspercentage in langsricting is gebaseerd op volledig verhinderde vervorming van de vloer (lengte > 20 à 25 m) zonder krimpvoegen.

Wapening

Elastisch ondersteunde vloer: Vloerdikte en wapening conform het overzicht.

Vrijdragende vloer: Vloerdikte en wapening conform de berekening en tekeningen van de constructeur.

Dekking

Onderkant min. 30 mm.

Werkvloer

Een werkvloer is volgens de HBRM 1991, deel C, art. 2.6.3 [HBRM, 1993], vereist bij een

onvoldoende draagkrachtige ondergrond en/of bij toepassing van een onder- en bovennet in de betonvloer. Werkvloeren moeten worden uitgevoerd met drukverdelende materialen, die voldoende duurzaam zijn (bijvoorbeeld 50 mm ongewapend beton of schuimbeton). In andere gevallen kan worden volstaan met het aanbrengen van een kunststoffolie, bijvoorbeeld PE-folie, dik 0,15 mm. De aanbevolen dikten van zandbed en fundering zijn in volgend overzicht aangegeven.

grondslag	zandbed dikte [mm]	fundering dikte [mm]	E [N/mm ²]
zand	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
klei ³⁾	300	n.v.t.	n.v.t.
veen ⁴⁾	150	250 ¹⁾	300
veen ⁴⁾	100	170 ²⁾	1500

¹⁾ Ongebonden fundering, bijvoorbeeld beton- of menggranulaat, eventueel aangebracht op een geotextiel.

²⁾ Gebonden fundering, bijvoorbeeld schuimbeton met een volumieke massa van 550 - 650 kg/m³.

³⁾ E-modulus van klei: minimaal 45 N/mm².

⁴⁾ E-modulus van veen: minimaal 20 N/mm².

Opmerkingen

1. Na enig opstijven eventueel instrooien met een droog mengsel van 1 volumedeel cement - 3 volumedelen zand en daarna met houten schuurbord of machinaal inschuren.
2. De nabehandeling moet tenminste vijf dagen duren en is afhankelijk van de gemiddelde etmaaltemperatuur:

gemiddelde etmaaltemperatuur T_{gem}	5 - 10 °C	10 - 15 °C	15 - 25 °C
min. aantal dagen nabehandeling	8 d	6 d	5 d

3. De ter plaatse gestorte betonvloer mag pas in gebruik worden genomen 5 dagen ($T_{\text{gem}} \geq 15^\circ\text{C}$) na het storten van de specie of als 70% van de karakteristieke druksterkte (B-waarde) is bereikt.

4. Voorbeeld berekening langswapening

Voegloze vloer met lengte > 20 à 25 m.

Breedte vloer: 3 m.

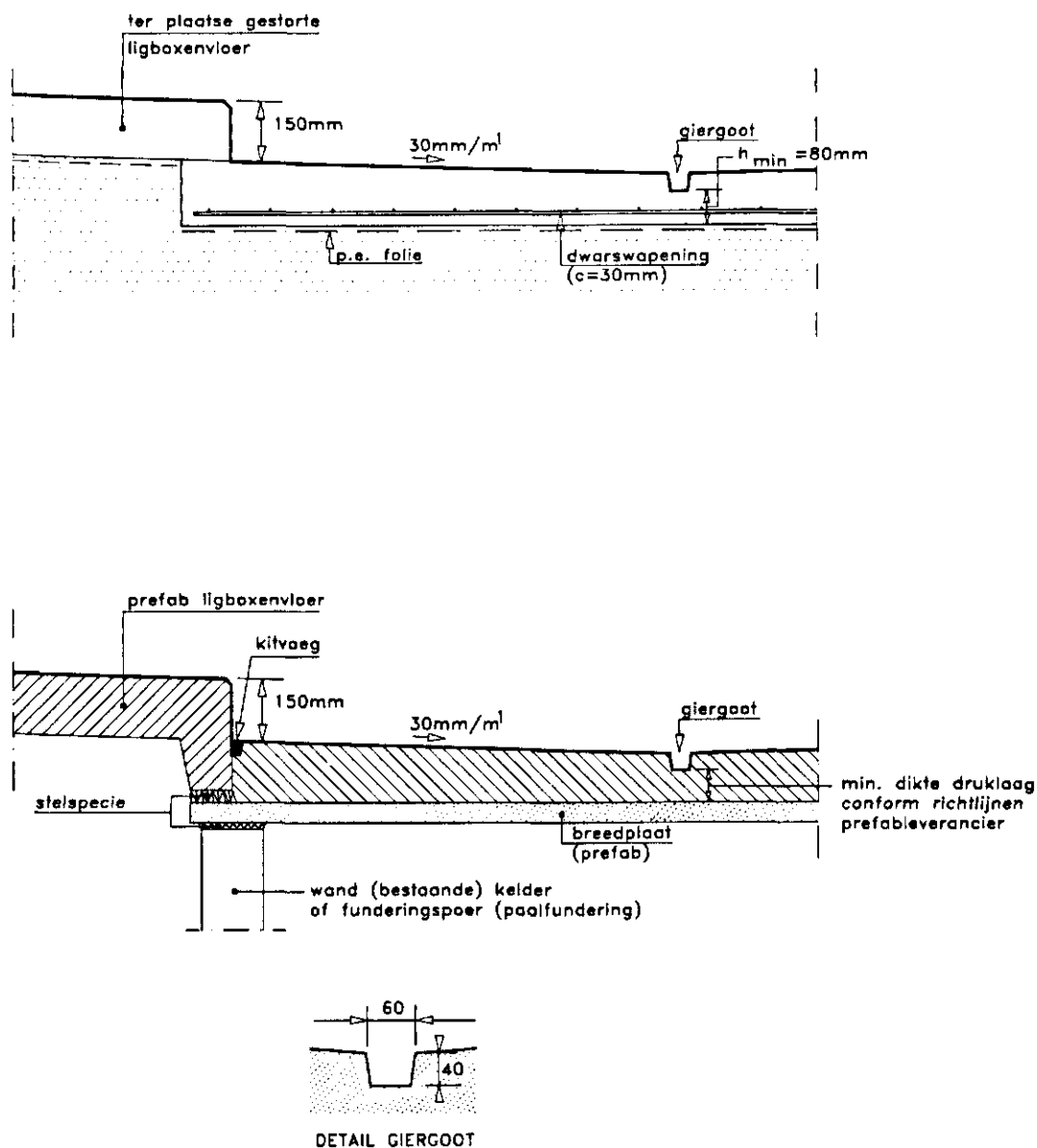
Beton sterkteklasse: B25.

Gemiddelde vloerdikte: $h_{\text{gem}} = (120 + 165) / 2 = 143 \text{ mm}$.

Langswapening: $A_s = 0,65 \cdot 10^{-2} \cdot 143 \cdot 1000 = 930 \text{ mm}^2 / \text{m}^1$.

Hieraan wordt voldaan door bijvoorbeeld Ø 12 - 125.

In figuur 8.1 zijn principe-oplossingen geschetst voor een geheel ter plaatse gestorte betonvloer en voor ter plaatse gestort beton gecombineerd met een (geprefabriceerde) breedplaat.



Figuur 8.1 Schematische weergave van alternatieven voor ter plaatse gestorte dichte betonvloeren.

Figure 8.1 Schematic representation of alternatives for solid concrete floors cast-in-situ.

Tijdens het onderzoek zijn vele materiaalaspecten, bouwkundige maatregelen en achtergronden van ammoniakemissie ter sprake gekomen. Niet alle onderzoeksvragen konden worden beantwoord. Er is dan ook nader onderzoek gewenst ten aanzien van:

- de ammoniakemissie uit een mestkelder. Aandacht voor de mechanismen en de invloed van ontwerpparameters;
- de basismechanismen van uitglij-incidenten. Hierbij aandacht voor zowel materiaal-technologische als biomechanische aspecten (interactie dier-vloeroppervlak);
- de reinigbaarheid van vloeroppervlakken. Dit omvat onderzoek naar:
 - hechting van mest;
 - uitdrogingsprocessen in een mestfilm;
 - interactie tussen mestschuif en vloeroppervlak;
- de invloed van het vloeroppervlak en de reinheid van het vloeroppervlak op diergezondheid (onder andere klauwgebreken).

Summary

The reduction of environmental acidification is a major component of the Dutch policy aiming at minimizing environmental damage. Therefore, ammonia emission has to be reduced by 50% in the year 2000 and by 70% in the year 2005, compared with reference year 1980. Since agriculture is the source of about 94% of the total ammonia emission in The Netherlands, research strongly focuses on this field.

Considerable reduction of emission is realized by e.g. injecting instead of spreading slurry over land and by covering slurry storage facilities. With regard to animal housing systems, measures developed thus far require relatively large investments. The introduction of these measures in practice therefore is confronted with much difficulty. If no further measures are taken, animal housing is expected to cause approximately 60% of the total ammonia emission from Dutch agriculture in the year 2000.

Ammonia is formed by the breakdown of urea from urine. This reaction is catalysed by the enzyme urease, produced by bacteria in the faeces. Urease is produced by bacteria present in the faeces. Floor surfaces fouled with faeces become bacterially active, apparently in an urease-stone layer.

When modelling the emission from animal houses, two sources can be distinguished, viz. the floor and the slurry pit. The emission from the latter is assumed to be reduced either by acidification or by covering with a solid floor, thus reducing air velocity above the surface of the slurry. Reduction of emission from a floor can be obtained by i.e. flushing with water, treatment of the floor surface with acid and reduction of the surface area fouled by the animals.

In the research programme, at first attention was focused on the characteristics relevant for floor surfaces in animal housing facilities. To enable research on a wide variety of types of surface, use was made of small-scale specimens. Surface roughness, water penetration depth, slip resistance and urease activity were measured. An overview of values of characteristics to be expected in practice is presented.

On the basis of the results obtained on the small-scale specimens, full-scale experiments in a compartment of a cow house on an experimental farm were carried out. Ammonia emission was compared with the emission from a reference compartment provided with a slatted floor.

At first, use was made of a one-sided and a non-sloped solid floor, cleaned by a scraper. With a non-sloped floor, no emission reduction was observed, whereas with a one-sided sloped floor the reduction was 20 - 35%, depending on the animals' diets and temperature. Ammonia emission from the slurry pit was investigated in case no animals were housed. The results indicated that ammonia emission from the slurry pit was rather persistent. With regard to urease activity it was observed that the rate of formation is strongly temperature-dependent. In most cases the urease activity developed becomes non-limiting to ammonia emission after about one week of use of the floor. Reduction of ammonia emission must therefore be increased by fast draining of the urine.

To obtain further ammonia emission reduction, a two-sided sloped solid floor with a central urine gutter was installed. Both sloped sides of the floor were provided with an additional urine gutter. Experiments were carried out using one or three urine gutters. Furthermore, the level of the slurry stored in the pit was kept just below the floor elements. At both ends of the floor, panels were vertically connected to the side faces of

the floor, penetrating the slurry in the pit. This was to prevent the free movement of air underneath the floor. During part of the experiments, the floor surface was wetted after scraping. The ammonia emission reduction was 50% when the two-sided sloped floor was only scraped. The reduction was increased to 65% when the surface was additionally wetted.

The locomotion was compared of the cows in the compartments provided with slatted and solid floors. It was observed that the number of slip incidents was almost equal for both compartments. Both the time the cows spent on the floor and the activity on the floor were significantly lower on the solid floor. This might indicate risk-averting behaviour. However, a general conclusions cannot be drawn from this provisional study since other factors besides those factors studied might have played a role.

Since the investments required are an important item to farmers when selecting cattle housing systems, one of the conditions for the successful introduction in practice of solid floors depends, is that the exact demands are met during construction. Therefore, building costs and annual costs were determined for some typical facilities. It has appeared that for a newly erected building, there are only minor differences between a slatted floor with an underfloor slurry pit, and solid sloped floors combined with low ammonia emission slurry storage outside the building. Investments are NLG 770 per cow place higher if the sloped solid floor is combined with an underfloor slurry storage. An investment of about NLG 1000 per cow place is required if the slatted floor is replaced by a sloped solid floor with an underfloor slurry storage that remains operational. The required investment per cow place increases to NLG 2000 in the latter case if the slurry is no longer stored under the floor, but in a low ammonia emission slurry storage outside the animal house.

Literatuur

AMvB, 1994. Concept-projectopdracht AMvB Emissie-arme huisvesting veehouderij. Ministeries LNV & VROM, 's-Gravenhage, 24 pp

Betoniek, 1992. Vloeistofdicht beton. Betoniek, jaargang 9, deel 8. VNC, 's-Hertogenbosch, 8 pp

Bleijenberg, R., W. Kroodsmas & N.W.M. Ogink, 1995. Beperking van de ammoniakemissie uit een ligboxenstal met een zelfrijdende sproeischiuf over een hellende betonvloer. IMAG-DLO rapport 95-20, Wageningen, 25 pp

Boer, W.J. de, 1993. Box-Jenkins tijdreeksanalyse, toegepast op de resultaten van ammoniakmetingen in een rundveestal. IMAG-DLO rapport 93-6, Wageningen, 37 pp

BRL, 1994. Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-procescertificaat voor "Aanleg vloeistofdichte verhardingsconstructies in ter plaatse gestort beton welke vloeistofdicht zijn voor motorbrandstoffen en smeermiddelen". BRL 2362, KIWA, Arnhem, 45 pp

BRL, 1996. Nationale Beoordelingsrichtlijn betreffende het KOMO-produktcertificaat voor betonmortel (stationaire en mobiele betoncentrales). BRL 1801, BMC, Gouda, 34 pp

CUR, 1993. Nabehandeling en bescherming van beton. Aanbeveling 31, Stichting CUR, Gouda, 8 pp

Dekker, R, 1995. Ontwikkeling van een meetinstrument en meetprotocol voor het meten van de effectieve vloeistof laagdikte op oppervlakken. Afstudeerscriptie Landbouwuniversiteit Wageningen; vakgroep Agrotechniek & -fysica, Wageningen, 70 pp

Elzing, A., W. Kroodsmas, R. Scholtens & G.H. Uenk, 1992. Ammoniakemissiemetingen in een modelsysteem van een rundveestal: Theoretische beschouwingen. IMAG-DLO rapport 92-3, Wageningen, 25 pp

Elzing, A., A.C.H.M. Commissaris, J. Oosthoek & C.M. Groenestein, 1995. De urease-activiteit en de ammoniakemissie in varkensstallen met een mestschuifstelsel onder de roostervloer. IMAG-DLO rapport 94-34, Wageningen, 46 pp

Evaluatie, 1993. Evaluatie NH₃-beleid. TNO & Heidemij Advies. Rapport 6361AA92AA58/07083M, Arnhem, 97 pp + bijlagen

FOMA, 1994. Naar veehouderij en milieu in balans: 10 jaar FOMA onderzoek. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 19. Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek, Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen, 4 delen

- Frénay, J.W. & G.Chr. Bouquet, 1992. Ondergrondse betonnen opslagsystemen voor mengmest. IMAG-DLO rapport 92-14 / CUR rapport 164, Wageningen / Gouda, 127 pp
- Frénay, J.W. & H. Zilverberg, 1993. Duurzaamheid van beton in agrarische milieus. IMAG-DLO rapport 93-17 / CUR rapport 167, Wageningen / Gouda, 108 pp
- Groen Label, 1993. Emissie-arme stallen. Beoordelingsrichtlijn. No. DWL 07193025, Ministerie van VROM, 's-Gravenhage, 32 pp
- HBRM, 1993. Handleiding Bouwtechnische Richtlijnen Mestbassins (2^e druk). IMAG-DLO rapport 91-10 / CUR rapport 91-13, Wageningen / Gouda, 8 pp + bijlagen
- Huis in 't Veld, J.W.H., W. Kroodsmā & W.J. de Boer, 1994a. Vermindering ammoniakemissie uit een ligboxenstal door spoelen van een hellende betonvloer. IMAG-DLO rapport 94-4, Wageningen, 24 pp
- Huis in 't Veld, J.W.H., W.J. de Boer & W. Kroodsmā, 1994b. Ammoniakemissiereductie door spoelen van een hellende, gecoate betonvloer in een rundveestal. IMAG-DLO rapport 94-7, Wageningen, 25 pp
- ISO/DIS 7031, 1983. Concrete hardened - Determination of the depth of penetration of water under pressure. International Organisation for Standardization, 3 pp
- Ketelaars, J.J.M.H. & H. Rap, 1994. Ammonia volatilization from urine applied to the floor of a dairy cow barn. Proceedings of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation, p. 413-417
- Ketelaars, J.J.M.H., J.H. Geurink, J. Japenga & G.J. Monteny, 1995. Beperking urease-activiteit van stalvloeren; ontwikkeling van een bron-gerichte aanpak ter vermindering van de ammoniak-emissie uit rundveestallen. Vertrouwelijke rapportage, AB-DLO, Wageningen, 65 pp
- Lekkerkerk, L.J.A., G.J. Heij & M.J.M. Hootsmāns, 1995. Dutch priority programme on acidification. Ammoniak: de feiten. RIVM rapport nr. 300-06, Bilthoven, 95 pp
- Metz, J.H.M., H.K. Wieringa, F.J. Grommers & R.G. Buré, 1986. Het welzijn van rundvee in bedrijfsverband, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 's-Gravenhage, 104 pp
- Monteny, G.J., D.D. Schulte, A. Elzing & E.J.J. Lamaker, 1996. Prediction modelling of ammonia emissions from cubicle dairy cow houses. International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations, Kansas City, February 7-9, p. 215-220
- NMP, 1989. Nationaal Milieubeleidsplan. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-1989, 21137, nrs. 1-2, SDU, 's-Gravenhage, 258 pp
- NMP-plus, 1990. Nationaal Milieubeleidsplan-plus. Tweede Kamer, vergaderjaar 1989-1990, 21137, nr. 20-21, SDU, 's-Gravenhage, 111 pp

- NMP-2, 1994. Tweede Nationaal Milieubeleidsplan. Tweede Kamer, vergaderjaar 1993-1994, 23560, nrs. 1-2, SDU, 's-Gravenhage, 248 pp
- NEN 2741, 1982. Met cement gebonden dekvloeren, Kwaliteit en uitvoering. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 23 pp
- NEN 2873, 1982. Beproeving van steenachtige materialen, Stroefheidsmeter volgens Leroux en bepaling van de stroefheid van oppervlakken. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 8 pp
- NEN 3631, 1977. Oppervlakteruwheid - Benamingen en definities (met correctieblad april 1982). Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 4 pp
- NEN 3632, 1986. Oppervlakteruwheid - Waardebepaling van de ruwheid Ra. Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 4 pp
- NEN 3873, 1989. Roostervloeren van gewapend beton voor stalgebouwen. Nederlands Normalisatie-instituut / CUR, Delft / Gouda, 28 pp
- Ogink, N.W.M. & W. Kroodsmma, 1996. Reduction of ammonia emission from a cow cubicle house by flushing with water or a formalin solution. Journal of Agricultural Engineering Research, vol. 63, p. 197-204
- Oudendag, D.A. & J.H.M. Wijnands, 1989. Beperking van de ammoniakemissie uit dierlijke mest. Een verkenning van mogelijkheden en kosten. LEI-DLO, Den Haag. Onderzoekverslag 56, 72 pp
- Ouwerkerk, E.N.J. van (red), 1993. Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen. Werkgroep 'Meetmethoden NH₃-emissie uit stallen', Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 16, Wageningen, 155 pp + bijlagen
- Pieters, A., 1995. Eerste ervaringen met Groen Label ligboxenstallen. RSP-Bulletin, no. 3, p. 31-34
- Plan, 1990. Plan van aanpak beperking ammoniakemissie van de landbouw. Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, 18225, nr. 143, 's-Gravenhage, 117 pp
- Reinhardt, H.W., 1985. Beton als constructiemateriaal. Eigenschappen en duurzaamheid. Delftse Universitaire Pers, Delft, 315 pp
- RM, 1994. Richtlijnen mestbassins 1992. Ministeries van LNV & VROM. VROM 1560/075-4-94, 's-Gravenhage, 20 pp
- Sasse, H.R. (red), 1994. Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen unter Verwendung von Kunststoffen - Sachstandsbericht. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 443. Beuth Verlag, Berlin, 329 pp

Smits, M.C.J. & D. Swierstra, 1993. Development of floors in loose housing systems for dairy cattle which will meet environmental and animal welfare demands. In: Proc. BIBM-, CEMBUREAU-, CIGR- & ERMCO-symposium "Concrete for a sustainable agriculture", 21-23 April 1993, Bologna, Italy

Smits, M.C.J., W. Kroodsmā, D. Swierstra & W.J. de Boer, 1993. De opzet van het onderzoek in de milieu-onderzoekstal voor rundvee te Duiven. IMAG-DLO rapport 93-8, Wageningen, 32 pp

Smits, M.C.J., A.M. van Vuuren & H. Gunnink, 1996. Beperking ammoniakemissie uit een melkveestal door veevoedingsmaatregelen: effecten van N-excretie in urine en urinelozings-frequentie. IMAG-DLO rapport 96-06, Wageningen, 56 pp

Swierstra, D., J.W.H. Huis in 't Veld, W. Kroodsmā & M.C.J. Smits, 1994a. Ammoniakemissie en stroefheid van roostervloeren en dichte vloeren in ligboxenstallen voor rundvee. IMAG-DLO rapport 94-13, Wageningen, 26 pp

Swierstra, D., R. Bleijenberg & M.C.J. Smits, 1994b. Ammoniakemissie en stroefheid van een dichte vloer met een kunststofafwerklaag in een ligboxenstal voor rundvee. IMAG-DLO nota P94-37, Wageningen, 11 pp

Swierstra, D., C. ter Beek & M.C.J. Smits, 1994c. Ammoniakemissie en enkele fysische eigenschappen van een dichte vloer met een gietasfaltdeklaag in een ligboxenstal voor rundvee. IMAG-DLO nota P94-86, Wageningen, 14 pp

Swierstra, D., J.H. van Ooijen & H.J. van Dooren, 1995. Dichte hellende vloer goedkoop en effectief - Kosten emissiebeperkende technieken op een rij. Landbouwmechanisatie, vol. 46, no. 5, Wageningen, p. 24-26

Swierstra, D. & J.H. van Ooijen, 1995. Emissie-beperkende technieken in ligboxenstallen voor rundvee. Investerings en kosten. Agrabeton, vol. 5, no. 2, 's-Hertogenbosch, p. 15-18

Swierstra, D., M.C.J. Smits & H. Gunnink, 1996. Enkele fysische eigenschappen en ammoniakemissie van een dichte stalvloer met een kunststof-cementdekvloer. IMAG-DLO nota P 96-06, Wageningen, 18 pp

VNC, 1996. Leidraad voor de toepassing van betonmortel in de land- en tuinbouw. Vereniging Nederlandse Cementindustrie, 's-Hertogenbosch, 72 pp

Vries, W. de, 1994. Soil response to acid deposition at different regional scales. Field and laboratory data, -critical loads and model predictions. Landbouwuniversiteit Wageningen, dissertatie, Wageningen, 487 pp

Bijlagen

Bijlage I: Overzicht van bij het onderzoek betrokken organisaties

organisatie	acroniem
DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek Postbus 14 6700 AA Wageningen tel: 0317 475700 fax: 0317 423110	AB-DLO
Certificatie-instelling Stichting BMC Postbus 150 2800 AD Gouda tel: 0182 532300 fax: 0182 570216	BMC
Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving Postbus 420 2800 AK Gouda tel: 0182 539600 fax: 0182 530046	CUR
Fa. David en Martina Berfloweg 39 7553 JM Hengelo tel: 074 2913732	
Den Boer Beton Postbus 3 2957 ZG Nieuw-Lekkerland tel: 0184 688800 fax: 0184 688811	
De Landbouwvoorlichting - Bouw-Adviesburo BV Postbus 10 5408 ZG Volkel tel: 0413 274400 fax: 0413 273801	DLV - BAB
Eerste Nederlandse Cement Industrie NV Postbus 3233 5203 DE 's-Hertogenbosch tel: 073 6401336 fax: 073 6401341	ENCI
Informatie- en Kennis Centrum - Landbouw Postbus 482 6710 BL Ede tel: 0318 671400 fax: 0318 624737	IKC-L
DLO-Instituut voor Milieu- en Agritechniek Postbus 43 6700 AA Wageningen tel: 0317 476300 fax: 0317 425670	IMAG-DLO
JVZ Raadgevend Ingenieursbureau Postbus 26 7400 AA Deventer tel: 0570 629100 fax: 0570 625252	JVZ
Maatschappij tot Exploitatie van Betonmortelbedrijven in Nederland BV Postbus 3232 5203 DE 's-Hertogenbosch tel: 073 6401304 fax: 073 6401310	Mebin
Nederlandse Bouwstoffen Combinatie BV Postbus 77 3430 AB Nieuwegein tel: 030 6078335 fax: 030 6078329	NBC
Van Nieuwpoort Beheer BV Postbus 120 2800 AC Gouda tel: 0182 597444 fax: 0182 597445	

Proefstation voor de Varkenshouderij Postbus 83 5240 AB Rosmalen tel: 073 5286555 fax: 073 5218214 Spanbeton BV Postbus 5 2396 ZG Koudekerk aan den Rijn tel: 071 3419115 fax 071 3412101	PV
Stichting Produktontwikkeling Betonmortel Postbus 71216 1008 BE Amsterdam tel: 020 6682829 fax: 020 6940872	SPOB
Technische Universiteit Eindhoven Postbus 513 5600 MB Eindhoven tel: 040 2479111 fax: 040 2445187	TUE
Vereniging Nederlandse Cementindustrie Postbus 3011 5203 DA 's-Hertogenbosch tel: 073 6401150 fax: 073 6401284	VNC

Bijlage II: Overzicht van de belangrijkste aspecten van varianten

Verwijzing: paragraaf 2.4

variant	basis	afwerking	nabehandeling	nabewerking	beproevingzijde
4	0	0	0	1	0
2	0	0	0	2	0
3	1	1	0	0	0
4	1	2	0	0	0
5	1	8	0	0	0
6	0	0	0	3	0
7	0	0	0	4	0
8	0	0	0	5	0
9	0	0	0	6	0
10	0	0	0	7	0
11	0	0	0	8	0
12	2	1	1	0	1
13	3	0	1	0	1
14	2	1	1	9	1
15	3	0	1	9	1
16	2	1	1	10	1
17	2	1	1	11	1
18	2	1	1	12	1
19	2	1	1	13	1
20	2	4	1	0	1
21	3	11	1	0	1
22	2	4	1	9	1
23	3	11	1	9	1
24	2	4	1	10	1
25	2	5	1	0	1
26	2	5	1	9	1
27	2	5	1	10	1
28	4	3	2	0	1
29	9	6	3	0	1
30	4	3	2	9	1
31	9	6	3	9	1
32	4	3	2	10	1
33	4	3	2	13	1
34	4	3	2	12	1
35	4	3	2	11	1
36	5	4	3	0	1
37	5	4	3	9	1
38	5	4	3	10	1
39	6	7	3	0	1
40	6	7	3	9	1

variant	basis	afwerking	nabehandeling	nabewerking	beproevingzijde
41	6	7	3	10	1
42	7	0	3	0	2
43	9	0	3	0	2
44	7	0	3	9	2
45	9	0	3	9	2
46	7	0	3	10	2
47	7	0	3	12	2
48	8	9	3	0	2
49	9	9	3	0	2
50	10	2	0	0	1
51	11	10	0	0	0
52	0	0	0	14	0
53	0	0	0	15	0
54	0	0	0	16	0
55	0	0	0	17	0
56	0	0	0	18	0

Basis

0 Standaard betontegel.

1 Kifbeton + pantserlaag;

25% cement; 19% zand (1-3 mm); 56 volume % grind (3-5 mm) met daarop een pantserlaag bestaande uit 33% cement; 11% zand (1-3 mm); 56 volume % grind (3-5 mm) en een toevoeging van de betonhardstof siliciumcarbide (hardheid siliciumcarbide: 9,75 op de schaal van Mohs; hardheid diamant: 10 (= maximum) op de schaal van Mohs).

2 B35;

CEM III/B HS, 365 kg/m³; 165 l water per m³ (water-cementfactor 0,45); 42% zand 0-5 mm; 58% grind 4-32 mm. Circa 1% superplastificeerder.

Druksterkte 30,2 N/mm² na 4 dagen (10-10-1994); 40,0 N/mm² na 7 dagen (13-10-1994) en 55,6 N/mm² na 39 dagen (14-11-1994). Volumegewicht resp. 2403, 2399 en 2400 kg/m³.

3 B95;

CEM I 52,5 R, 500 kg/m³; silica fume 25 kg/m³; 152 l water per m³ (water-bindmiddel-factor 0,29); 9% zand 0-1 mm; 37% zand 1-4 mm; 54% gebroken toeslagmateriaal 4-16 mm. Verwerkbaarheid gestuurd met superplastificeerders. In principe verdichtingsvrij.

Druksterkte 68,2 N/mm² na 4 dagen (10-10-1994); 75,4 N/mm² na 7 dagen (13-10-1994) en 99,2 N/mm² na 40 dagen (15-11-1994). Volumegewicht resp. 2431, 2459 en 2450 kg/m³.

4 B45;

CEM I 42,5 R, 306 kg/m³; vliegashuis 34 kg/m³ (k-factor 0,2); water-cementfactor 0,44; 33,3% zand (4,3% vocht); 33,3% grind 3-8 mm (2,8% vocht); 33,3% grind 8-16 mm (1,7% vocht). Totale hoeveelheid fijn materiaal (< 250 mm) 130 l/m³.

Druksterkte 32,0 N/mm² na 26 uur; 63,6 N/mm² na 28 dagen. Volumegewicht 2420 kg/m³.

- 5 B45;
CEM I 42,5 R, 365 kg/m³; water-cementfactor 0,43; 30% zand; 35% grind 2-8 mm; 35% grind 8-16 mm. Superplastificeerder: 1%.
Karakteristieke druksterkte 50,3 N/mm² na 28 dagen.
- 6 B35;
CEM I 42,5 R, 365 kg/m³; water-cementfactor 0,45; 30% zand; 35% grind 2-8 mm; 35% grind 8-16 mm. Superplastificeerder: 1%.
Druksterkte 21,0 N/mm² na 22 uur; 56,2 N/mm² na 28 dagen. Volumegewicht 2362, resp. 2389 kg/m³ na 22 uur, resp. 28 dagen.
- 7 B45;
CEM I 42,5 R, 365 kg/m³; water-cementfactor 0,45; 30% zand; 35% grind 2-8 mm; 35% grind 8-16 mm. Superplastificeerder: 1%.
Druksterkte 25,8 N/mm² na 21 uur; 66,3 N/mm² na 28 dagen. Volumegewicht 2383, resp. 2405 kg/m³ na 21 uur, resp. 28 dagen.
- 8 B45;
CEM I 42,5 R, 365 kg/m³; water-cementfactor 0,45; 30% zand; 35% grind 2-8 mm; 35% grind 8-16 mm. Superplastificeerder: 1%.
Druksterkte 28,2 N/mm² na 24 uur; 65,2 N/mm² na 28 dagen. Volumegewicht 2402, resp. 2373 kg/m³ na 24 uur, resp. 28 dagen.
- 9 B85;
CEM I 42,5 R, 475 kg/m³; silica fume 25 kg/m³; water-bindmiddelfactor 0,28 (theoretisch); 0,31 (d.m.v. droging vastgesteld); 38% zand; 31% grind 2-8 mm; 31% grind 8-16 mm. Superplastificeerder, plastificeerder en vertrager resp. 3,8; 0,5 en 0,15% van het cementgewicht.
Druksterkte (kuben met riblengte 100 mm) 66,6 N/mm² na 21 uur; 81,9 N/mm² na 7 dagen en 96,3 N/mm² na 28 dagen. Volumegewicht resp. 2405, 2435 en 2440 kg/m³.
- 10 Kunststofcement;
Kunststofemulsie, cement, zand en water.
- 11 Gietasfalt.

Afwerking

- 0 Geen of niet relevant.
- 1 Afreien, schuren.
- 2 Afreien, schuren, bezemen.
- 3 Afreien, schuren met zand-cement mengsel (25 massaprocenten cement).
- 4 Afreien, vlinderen.
- 5 Afreien, vlinderen, bezemen.
- 6 Afreien, spanen.
- 7 Afreien, spanen, bezemen.
- 8 Afreien, spanen, profileren met rol.
- 9 Voor het storten is de mal behandeld met een vertragingspasta. Na het ontkisten (na 24 uur) is de malzijde uitgewassen.
- 10 Spanen, inschuren met zand.
- 11 Afreien, bevochtigen, spanen.

Nabehandeling

- 0 - Geen of niet relevant.
- 1 Gedurende één week onder folie (BRL, 1994; CUR, 1993). Echter, in afwijking van de

aanbeveling (CUR, 1993) is op het beton geen curing compound aangebracht. Dit met het oog op de op een aantal proefstukken later aan te brengen hydrofoberende en/of impregnerende middelen. Omdat de proefstukken zijn gezaagd uit platen van 2*2 m was het aanbrengen van een curing compound op alleen die delen die later niet zijn nabewerkt niet mogelijk.

- 2 Na verdichten direct ontkisten en gedurende 24 uur op een stalen pallet opgeslagen in een droogtunnel (circa 98% RV). Vervolgens 48 uur opslag onder plastic. Daarna opslag in buitenlucht.
- 3 Gedurende 24 uur in de mal afgedekt met plastic folie. Na ontkisten 48 uur onder folie. Vervolgens opslag in de buitenlucht.

Nabewerking

- 0 Geen.
- 1 Epoxyprimer en vervolgens twee lagen epoxycoating, waarbij aan de tweede laag circa 10% zilverzand is toegevoegd.
- 2 Epoxygietvloer, waarbij in de verse laag kwartszand (0,5-0,75 mm) is ingestrooid. Na uitharding is het overtollig kwartszand verwijderd, waarna is afgezeald met een epoxycoating. De totale laagdikte bedraagt circa 2 mm.
- 3 Epoxyprimer, waarna nat-in-nat een epoxytroffelvloer met de spaan is aangebracht.
- 4 Epoxymortel.
- 5 Zelfvloeiende coating, ingestrooid met zand. Laagdikte 0,5-1 mm.
- 6 Zelfvloeiende coating.
- 7 Impregneer, waarna nat-in-nat een 4-7 mm dikke mortellaag aangebracht.
- 8 Zelfvloeiende epoxycoating (laagdikte 0,5-2 mm).
- 9 Hydrofobeer (silaan).
- 10 Impregneer; geen reactie met de ondergrond.
- 11 Impregneer (bevat silicaten) die reageert met de vrije kalk uit het beton. vervolgens een impregnerende laag met zowel silicaten als terpolymeer.
- 12 Kiezelzuurester met zowel hydrofoberende (silaan) als impregnerende eigenschappen die reageert met de vrije kalk uit het beton.
- 13 Tweemaal aanbrengen van een impregneer (bevat silicaten).
- 14 Hechtprimer waarop na droging een polyurethaancoating is gespoten. Laagdikte 1,5 - 2 mm. Afstand van spuitmond tot proefstuk circa 0,7 m.
- 15 Hechtprimer waarop na droging een polyurethaancoating is gespoten. Laagdikte 1,5 - 2 mm. Afstand van spuitmond tot proefstuk circa 1,8 m. Door grotere spuitafstand stolt de coating tijdens de val meer, waardoor een ruwer oppervlak ontstaat.
- 16 Flexibele gietmassa op basis van epoxy- en polyurethaanhars vloeibaar aangebracht op een primerlaag. Shore-hardheid circa 63 °A.
- 17 Epoxy-troffellaag.
- 18 Epoxy-coating ingestrooid met kwartszand. Afgecoat met een bouwars.

Beproevingzijde

- 1 Niet relevant.
- 2 Stortzijde.
- 3 Malzijde.

Bijlage III: Waarnemingen urease-activiteit

Verwijzing: paragraaf 2.6.1

Urease-activiteitswaarden [mg (NH₃-N) / m² uur]

variant	A1	A2	B1	B2	gemiddeld
1	832	716	1384	750	921
2	785	722	1067	988	891
3	1680	1413	1888	1878	1715
4	3350	955	2075	1542	1980
5	3686	1196	1996	1403	2070
6	2322	1532	1156	618	1407
7	1028	429	1127	625	802
8	630	675	831	309	611
9	201	126	333	247	227
10	2056	664	389	534	911
11	189	118	160	191	164
12	858	1206	3212	3083	2090
13	2757	2569	2668	3617	2903
14	1384	624	2471	2204	1670
15	1818	1403	2629	2905	2189
16	1957	1235	3212	472	1719
17	3617	1048	1996	2144	2201
18	1057	977	1512	1334	1220
19	2144	1888	2164	2085	2070
20	1206	845	839	855	936
21	2411	1443	1235	1384	1618
22	1384	988	808	1028	1052
23	1749	1749	723	719	1235
24	1186	588	901	1384	1015
25	788	518	2609	2767	1670
26	2678	2421	2846	2332	2569
27	1710	7016	1542	5653	3980
28	3726	822	1552	1621	1930
29	944	746	917	808	854
30	561	643	998	998	800
31	813	438	847	1216	828
32	546	699	1077	832	789
33	1344	773	2382	2500	1750
34	705	548	1166	2480	1225
35	1048	1057	1374	2332	1453
36	446	697	2273	2046	1365
37	773	479	1374	1334	990
38	842	442	770	1077	783
39	1463	1453	2441	2718	2018
40	2085	2194	4240	2243	2690

variant	A1	A2	B1	B2	gemiddeld
41	2826	3469	2342	1858	2624
42	199	305	496	401	350
43	237	192	428	393	313
44	239	318	378	336	318
45	406	397	317	329	362
46	267	176	276	279	249
47	250	336	356	473	354
48	1927	1888	1482	1621	1729
49	1038	784	1186	1334	1085
50	1927	1848	1838	2283	1974
51	834	952	589	609	746
52	213	197	172	218	200
53	772	772	815	936	824
54	147	102	226	184	165
55	780	655	698	733	716
56	1245	1087	826	916	1019

Bijlage IV: Waarnemingen gemiddelde ruwheidshoogte

Verwijzing: paragraaf 2.6.2

Gemiddelde ruwheidshoogte [μm]

variant	A	B	gemiddeld
1	67	60	63,5
2	54	49	51,5
3	125	107	116
4	194	163	178,5
5	200	236	218
6	42	39	40,5
7	39	40	39,5
8	21	27	24
9	2	4	3
10	29	20	24,5
11	3	4	3,5
12	128	137	132
13	146	182	164
14	154	89	121,5
15	160	111	135,5
16	155	134	144,5
17	130	140	135
18	108	115	111,5
19	120	90	105
20	41	39	40
21	126	58	92
22	54	45	49,5
23	74	40	57
24	51	39	45
25	137	119	128
26	146	179	162,5
27	91	123	107
28	59	60	59,5
29	34	20	27
30	57	69	63
31	19	19	19
32	46	58	52
33	88	66	77
34	49	47	48
35	58	64	61
36	32	33	32,5
37	34	25	29,5
38	19	28	23,5
39	154	108	131
40	116	153	134,5

variant	A	B	gemiddeld
41	93	83	88
42	8	9	8,5
43	7	6	6,5
44	6	8	7
45	9	7	8
46	5	6	5,5
47	8	8	8
48	91	88	89,5
49	63	56	59,5
50	73	95	84
51	24	27	25,5
52	26	19	22,5
53	63	60	61,5
54	10	12	11
55	62	58	60
56	55	48	51,5

Bijlage V: Waarnemingen waterindringing

Verwijzing: paragraaf 2.6.3

variant	produktiedatum [dd-mm-jjjj]	beproeingsdatum [dd-mm-jjjj]	waterindringing [mm]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	17
14	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	23
15	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	14
16	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	22
17	06-10-1994	05-12 t/m 09-12-1994	28
18	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	22
19	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	22
20	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	24
21	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	22
22	06-10-1994	30-01 t/m 03-02-1995	25
23	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	12
24	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	39
25	06-10-1994	28-11 t/m 02-12-1994	20
26	06-10-1994	28-11 t/m 02-12-1994	18
27	06-10-1994	21-11 t/m 25-11-1994	31
28	22-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	15
29	13-10-1994	05-12 t/m 09-12-1994	6
30	22-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	17
31	13-10-1994	05-12 t/m 09-12-1994	14
32	22-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	15
33	22-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	13
34	22-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	15
35	22-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	16
36	23-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	25
37	23-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	32
38	23-09-1994	05-12 t/m 09-12-1994	20
39	28-09-1994	12-12 t/m 16-12-1994	12

variant	produktiedatum [dd-mm-jjjj]	beproevingdatum [dd-mm-jjjj]	waterindringing (mm)
40	28-09-1994	12-12 t/m 16-12-1994	2
41	28-09-1994	12-12 t/m 16-12-1994	16
42	26-09-1994	12-12 t/m 16-12-1994	8
43	26-09-1994	12-12 t/m 16-12-1994	<1
44	26-09-1994	12-12 t/m 16-12-1994	8
45	13-10-1994	12-12 t/m 16-12-1994	<1
46	26-09-1994	12-12 t/m 16-12-1994	<1
47	26-09-1994	12-12 t/m 16-12-1994	15
48	24-10-1994	12-12 t/m 16-12-1994	10
49	24-10-1994	12-12 t/m 16-12-1994	1
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			

Bijlage VI: Waarnemingen stroefheid

Verwijzing: paragraaf 2.6.4

Stroefheid [%]

variant	A	B	gemiddeld
1	24	25	25
2	47	47	47
3	56	52	54
4	58	56	57
5	59	57	58
6	66	61	64
7	54	51	53
8	34	37	36
9	19	18	19
10	59	41	50
11	19	19	19
12	64	57	61
13	64	70	67
14	62	56	59
15	61	66	64
16	54	56	55
17	46	43	45
18	53	53	53
19	54	56	55
20	69	68	69
21	65	60	63
22	75	68	72
23	53	49	51
24	58	68	63
25	77	70	74
26	71	72	72
27	71	65	68
28	73	76	75
29	64	60	62
30	75	70	73
31	55	58	57
32	48	54	51
33	70	68	69
34	65	56	61
35	54	56	55
36	45	46	46
37	52	74	63
38	30	33	32
39	75	78	77
40	75	77	76

variant	A	B	gemiddeld
41	52	51	52
42	63	46	55
43	32	39	36
44	54	48	51
45	45	44	45
46	16	20	18
47	52	59	56
48	64	65	65
49	67	68	68
50	61	74	68
51	73	70	72
52	18	18	18
53	26	28	27
54	25	28	27
55	43	41	42
56	70	70	70

Bijlage VII: Waarnemingen vloeistoflaagdikte¹⁾

Verwijzing: paragraaf 2.6.5

Vloeistoflaagdikte [mm]

helling	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
variant						
1	0,86	0,38	0,32	0,26	0,22	0,18
2	0,63	0,64	0,42	0,34	0,31	0,30
3	0,40	0,20	0,15	0,13	0,12	0,11
4	0,39	0,27	0,21	0,18	0,16	0,15
5	0,54	0,44	0,40	0,38	0,37	0,36
6	0,46	0,16	0,13	0,11	0,10	0,09
7	0,23	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10
8	0,30	0,26	0,14	0,14	0,14	0,14
9	0,47	0,46	0,37	0,30	0,24	0,19
10	0,37	0,18	0,08	0,06	0,05	0,05
11	1,08	0,47	0,42	0,35	0,24	0,08
12	0,70	0,22	0,17	0,14	0,12	0,10
13	0,46	0,24	0,18	0,15	0,13	0,11
14	0,39	0,22	0,16	0,15	0,14	0,14
15	0,70	0,25	0,19	0,16	0,15	0,14
16	0,67	0,19	0,15	0,13	0,13	0,13
17	0,90	0,36	0,29	0,24	0,20	0,17
18	0,42	0,15	0,13	0,12	0,12	0,12
19	0,71	0,29	0,21	0,16	0,14	0,12
20	0,31	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
21	0,49	0,18	0,11	0,10	0,10	0,10
22	0,26	0,20	0,15	0,12	0,09	0,08
23	0,51	0,33	0,25	0,19	0,16	0,14
24	0,76	0,20	0,14	0,10	0,08	0,08
25	0,41	0,15	0,09	0,07	0,07	0,06
26	0,42	0,21	0,15	0,14	0,13	0,13
27	0,36	0,22	0,17	0,13	0,11	0,09
28	0,50	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13
29	0,90	0,19	0,09	0,07	0,07	0,07
30	0,57	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08
31	0,79	0,25	0,16	0,12	0,10	0,10
32	0,27	0,35	0,23	0,18	0,15	0,13
33	0,60	0,13	0,10	0,09	0,08	0,07
34	0,41	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10

¹⁾ Alleen hellingen 0%, 1%, 3% en 5% gemeten; hellingen 2% en 4% via regressie berekend.

helling variant	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
35	0,67	0,24	0,19	0,16	0,13	0,11
36	0,85	0,18	0,13	0,11	0,10	0,10
37	0,87	0,28	0,15	0,12	0,12	0,12
38	0,40	0,30	0,20	0,13	0,10	0,07
39	0,87	0,28	0,20	0,16	0,14	0,13
40	0,97	0,28	0,19	0,15	0,14	0,13
41	0,60	0,42	0,26	0,17	0,12	0,09
42	1,03	0,19	0,07	0,07	0,07	0,07
43	1,19	0,18	0,13	0,10	0,08	0,08
44	0,98	0,27	0,20	0,15	0,12	0,10
45	0,71	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
46	0,13	0,36	0,24	0,19	0,18	0,17
47	0,89	0,16	0,11	0,11	0,11	0,11
48	0,21	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14
49	0,76	0,21	0,16	0,13	0,11	0,10
50	0,26	0,25	0,16	0,12	0,10	0,10
51	0,34	0,16	0,09	0,09	0,09	0,10
52	0,37	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19
53	0,48	0,19	0,15	0,14	0,15	0,16
54	0,32	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15
55						
56						
gemiddeld	0,58	0,24	0,18	0,15	0,13	0,12

Bijlage VIII: Waarnemingen slijtvastheid

Verwijzing: paragraaf 2.6.6

variant	stroefheid % verschil	gemiddelde ruwheidshoogte % verschil
1	94.1	-16.7
2	13.4	-3.5
3	27.3	-3.8
4	-1.7	-18.1
5	-0.7	1.3
6	10.3	-8.9
7	10.6	-0.6
8	22.7	-4.3
9	63.2	15.4
10	8.7	2.8
11	62.4	33.3
12	5.9	-27.8
13	-5.3	
14	21.6	-29.8
15	5.0	-8.9
16	22.4	-29.3
17	46.1	-31.2
18	15.5	-20.9
19	30.1	-19.8
20	-4.5	-11.4
21	5.2	-13.9
22	-5.9	-19.6
23	-13.3	-29.7
24	4.9	-22.8
25	1.8	-22.5
26	-0.7	-20.5
27	19.8	-33.3
28	-6.0	-4.7
29	-0.4	-11.2
30	-9.2	-6.9
31	-2.8	-18.3
32	1.9	-6.1
33	-6.0	-8.9
34	8.8	-4.8
35	6.4	-5.2
36	-18.4	-16.1
37	2.7	-6.9
38	8.9	-10.3
39	0.4	-24.2

variant	stroefheid % verschil	gemiddelde ruwheidshoogte % verschil
40	-6.8	4.4
41	4.1	-15.9
42	-20.3	53.8
43	-9.3	-25.0
44	-28.8	33.3
45	-12.6	-11.1
46	11.4	5.9
47	-11.7	-21.9
48	-0.8	-4.0
49	-6.9	2.5
50	-4.9	-18.0
51	-4.2	4.7
52	-3.5	-39.5
53	45.5	-35.4
54	19.8	25.6
55	35.5	5.1
56	11.1	-6.8

Bijlage IX: Samenstelling mestmonsters

Verwijzing: paragraaf 3.6.8 & 3.7.6

Mestmonsters 1995

Zuurgraad (pH), ammoniumstikstof- ($\text{NH}_4\text{-N}$), totaalstikstof- (N_{tot}) en drogestofgehalte (ds) van de mest in de kelders van de experimentele afdeling (1) en de referentie afdeling (3), bij aanvang (29/8), halverwege (19/9) en bij afsluiting (5/10) van het experiment (nazomer), alsmede bij afsluiting van de eerdere proefperioden (voorzomer; op 25/4 en 4/7) met dezelfde variant in de experimentele afdeling.

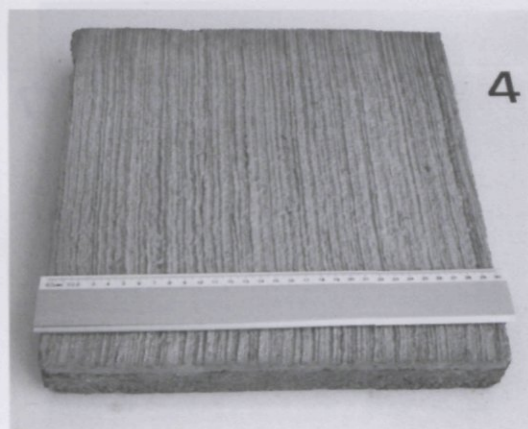
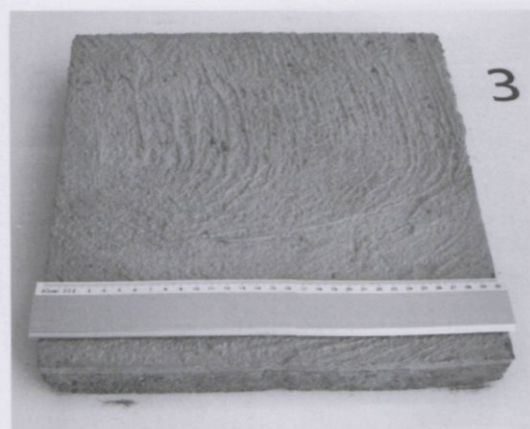
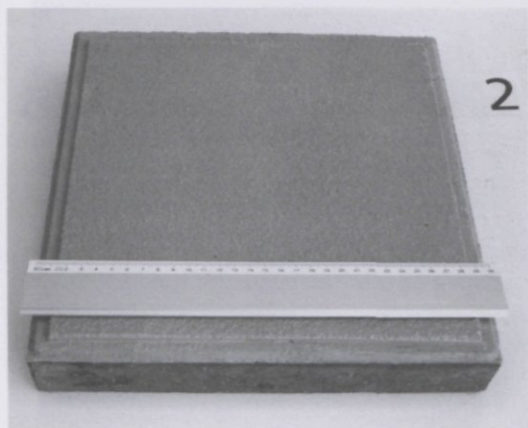
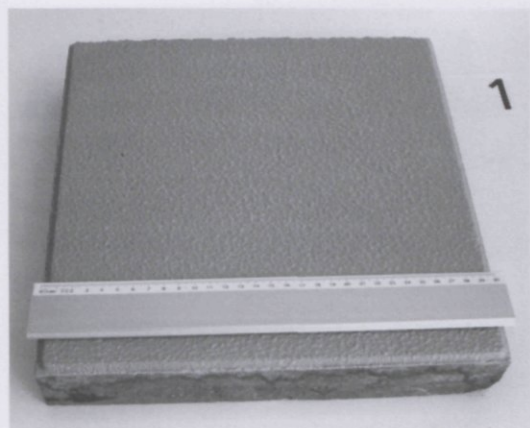
datum	experiment	afd	$\text{NH}_4\text{-N}$	N_{tot}	pH	ds
29/08/95	nazomer	1	2,1	4,1	7,9	73,0
29/08/95	nazomer	3	2,1	4,0	8,0	70,0
19/09/95	nazomer	1	2,3	4,2	8,0	78,7
19/09/95	nazomer	3	2,1	4,0	7,7	76,2
05/10/95	nazomer	1	2,3	4,1	7,9	81,2
05/10/95	nazomer	3	2,2	4,2	7,6	79,1
25/04/95	voorzomer	1	2,9	5,1	7,9	82,9
25/04/95	voorzomer	3	2,7	5,2	7,6	84,6
04/07/95	voorzomer	1	2,2	4,0	8,4	62,6
04/07/95	voorzomer	3	–	–	–	–

Mestmonsters 1996

Zuurgraad (pH), ammoniumstikstof- ($\text{NH}_4\text{-N}$), totaalstikstof- (N_{tot}) en drogestofgehalte (ds) van de mest in kelder van de referentie afdeling.

datum	periode	$\text{NH}_4\text{-N}$ g/kg	N_{tot} g/kg	pH (-)	ds g/kg
02/4/96	start	2,08	4,77	7,3	108,0
16/4/96	1	2,35	5,35	7,3	107,0
01/5/96	2	2,38	4,93	7,2	108,0
14/5/96	3	2,62	3,41*	7,0	107,0
04/6/96	4	2,81	5,30	7,7	106,0
18/6/96	5	2,27	5,26	7,8	105,0
02/7/96	6	2,91	5,26	7,8	106,0
16/7/96	7	2,97	5,48	8,0	105,0
29/7/96	8	3,02	5,52	7,7	105,0
gem		2,6	5,0	7,5	106,3
min		2,1	3,4	7,0	105,0
max		3,0	5,5	8,0	108,0

* lage waarde, wellicht gevolg van monster- of analysefout

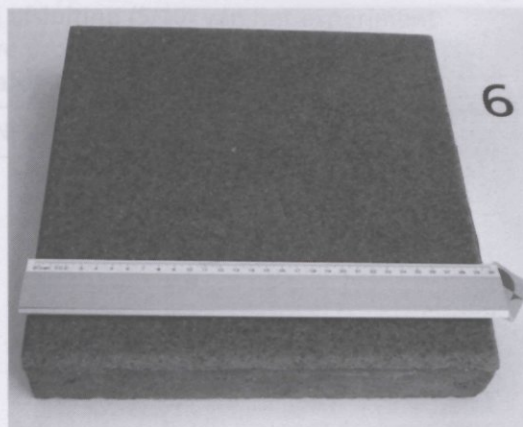
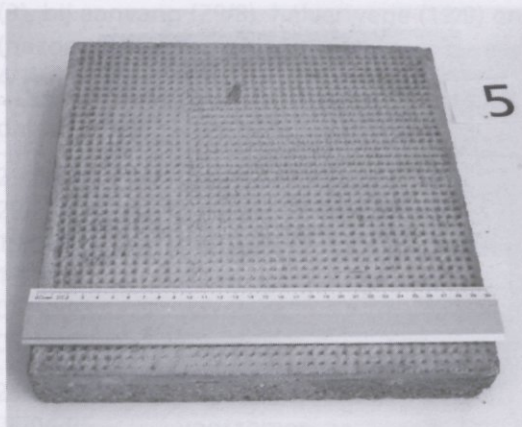


Bijlage IX: Samenstelling mestmonsters

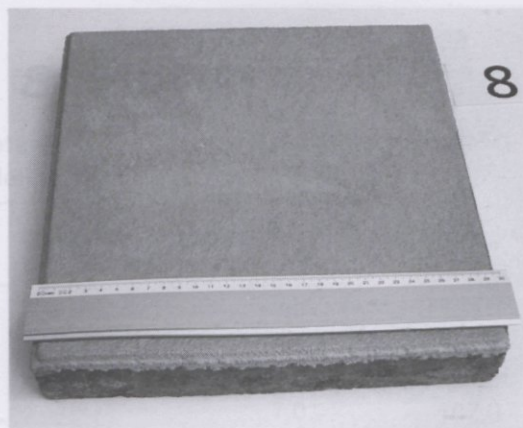
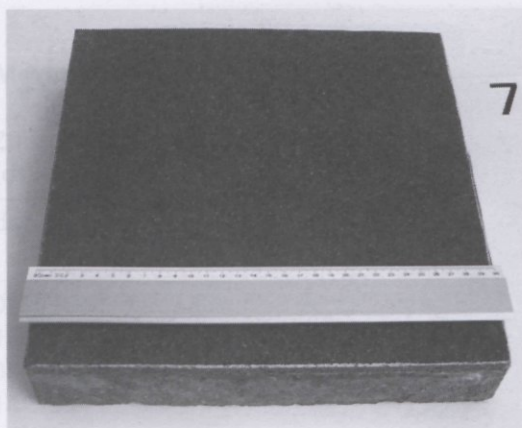
Verwijzing: paragraaf 3.6.8 & 3.7.6

Mestmonsters 1995

Zuurgraad (pH), ammoniumstikstof- ($\text{NH}_4\text{-N}$), totaalstikstof- (N_{tot}) en drogestofgehalte (ds) van de mest in de kelders van de experimentele afdeling (1) en de referentie afdeling

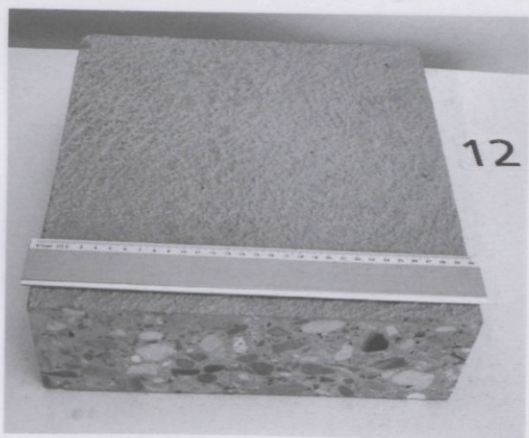
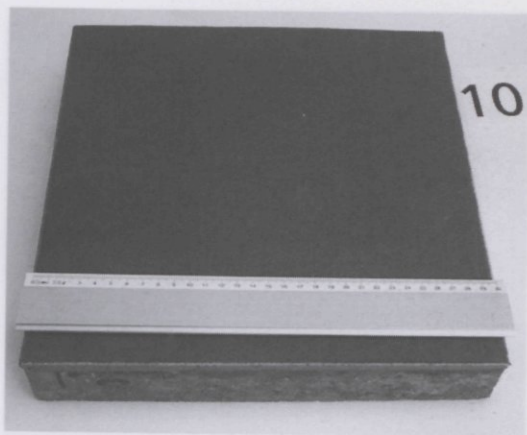
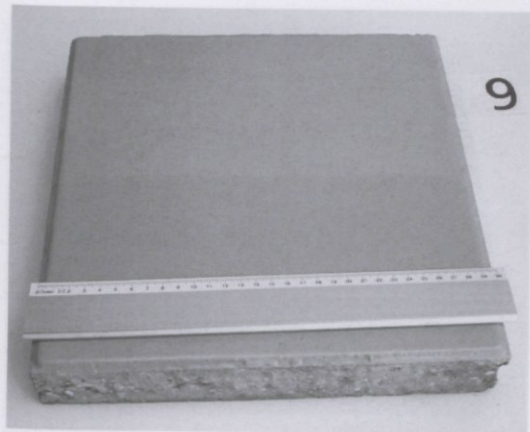


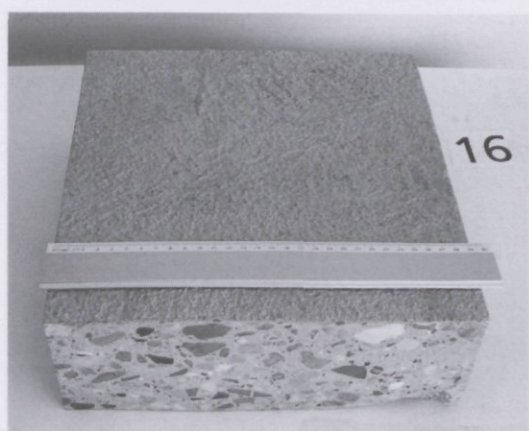
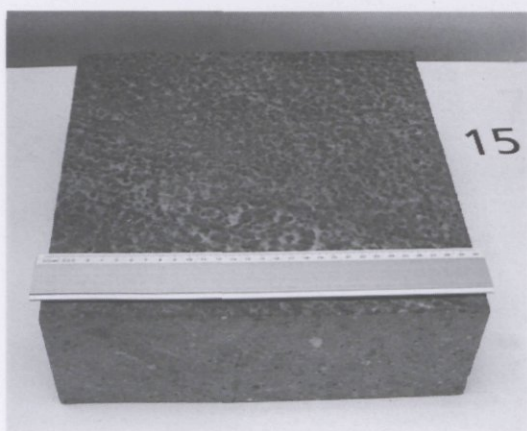
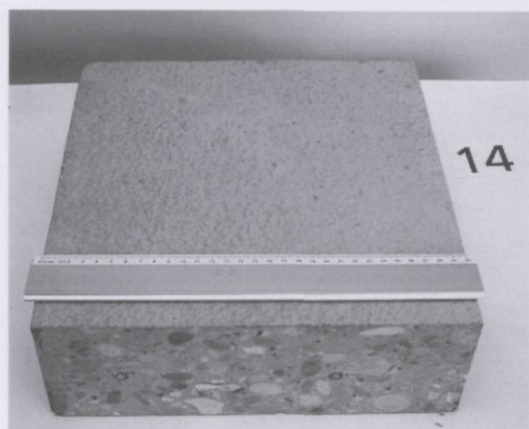
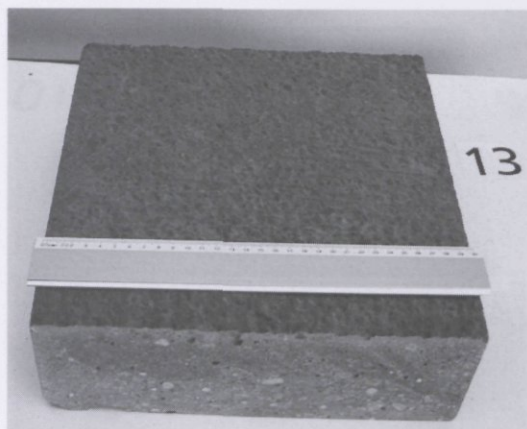
04/07/95	voorzomer	1	2,2	4,0	8,4	62,6
04/07/95	voorzomer	3				

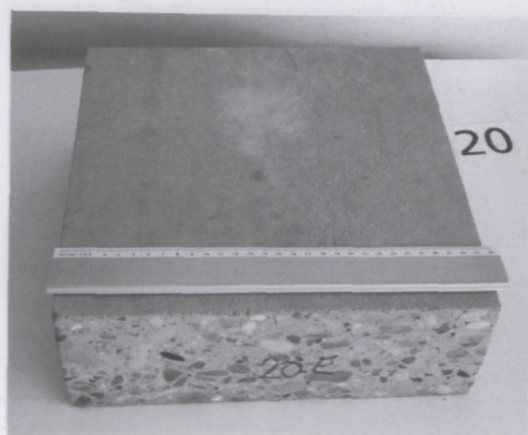
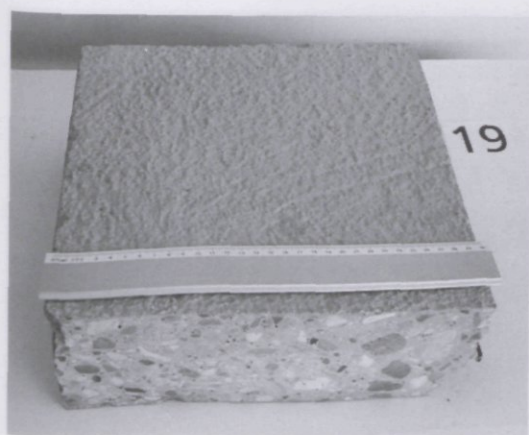
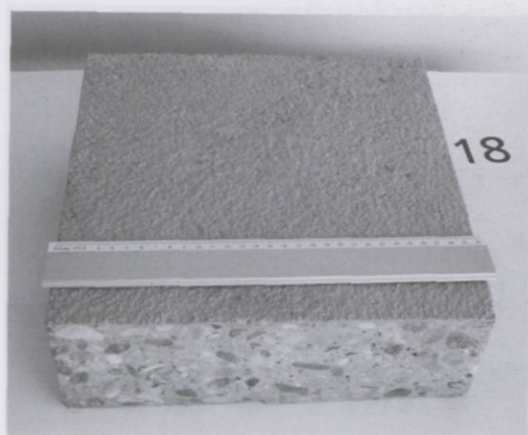


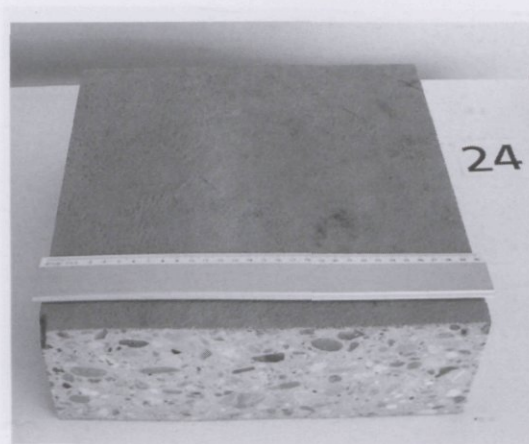
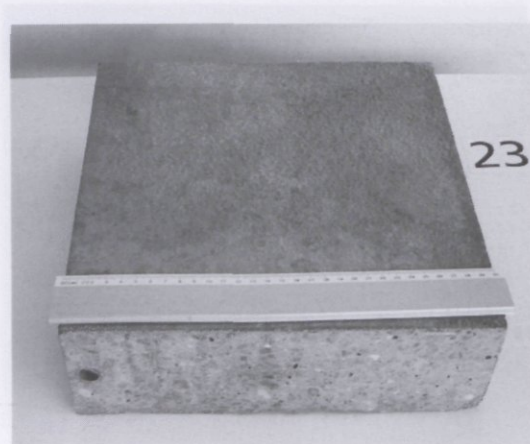
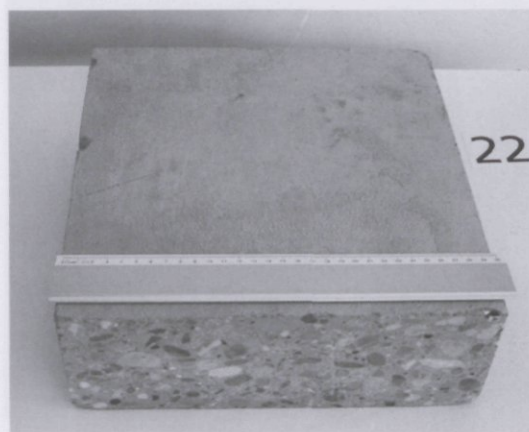
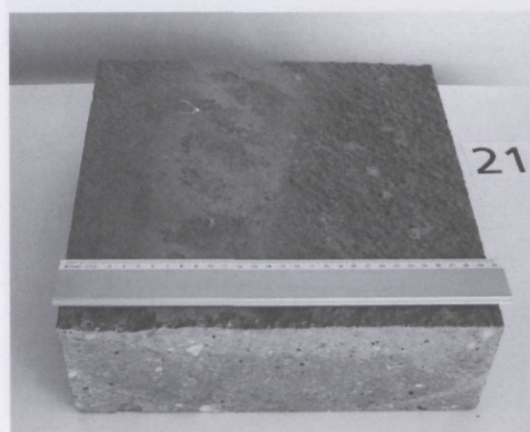
04/0/96	4	2,81	5,30	7,7	106,0
18/6/96	5	2,27	5,28	7,8	105,0
02/7/96	6	2,91	5,26	7,8	106,0
16/7/96	7	2,97	5,48	8,0	105,0
29/7/96	8	3,02	5,52	7,7	105,0
gem		2,6	5,0	7,5	106,3
min		2,1	3,4	7,0	105,0
max		3,0	5,5	8,0	108,0

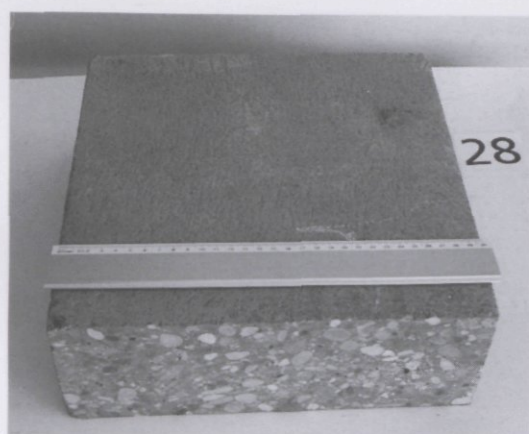
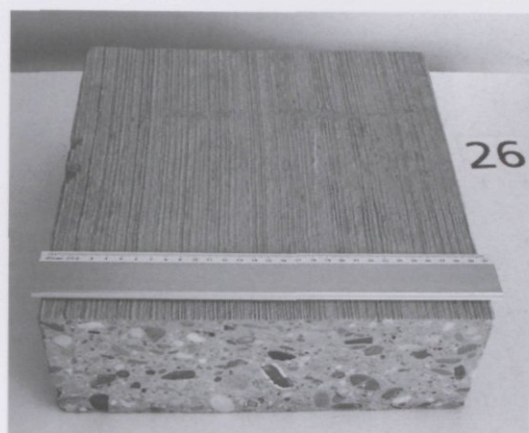
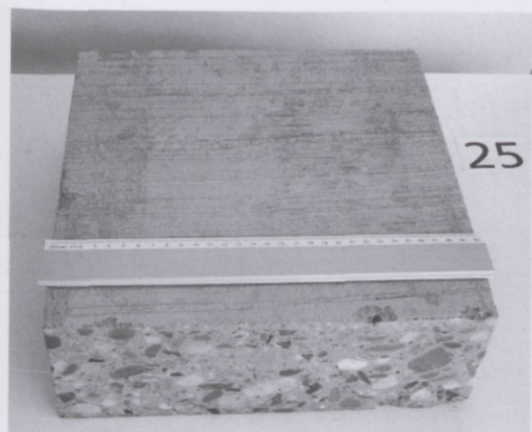
* lage waarde, wellicht gevolg van monster- of analysefout

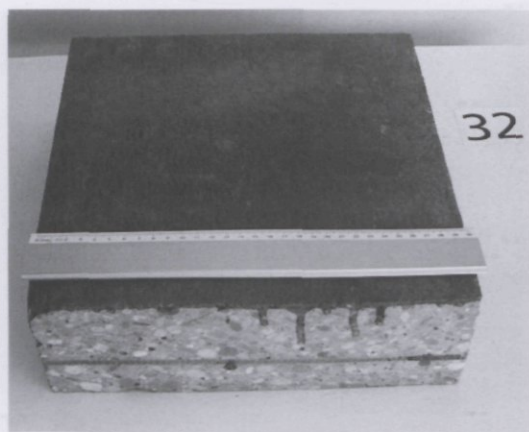
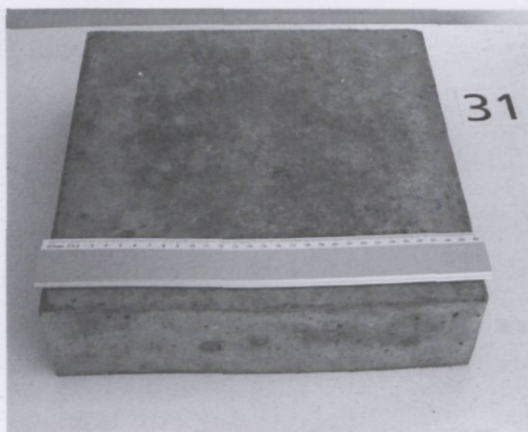
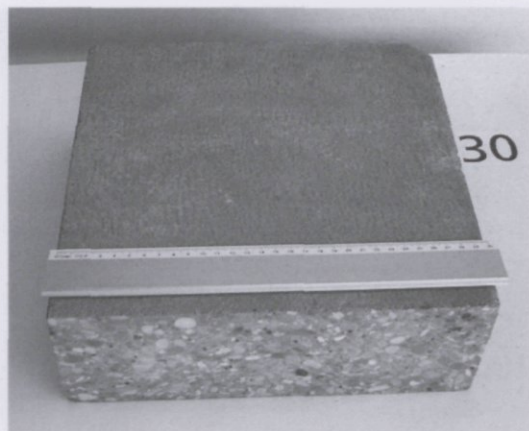
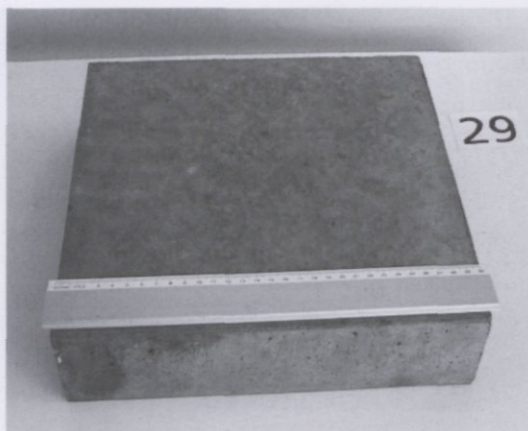


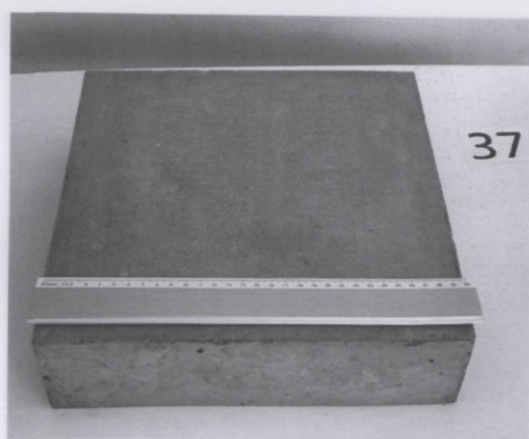
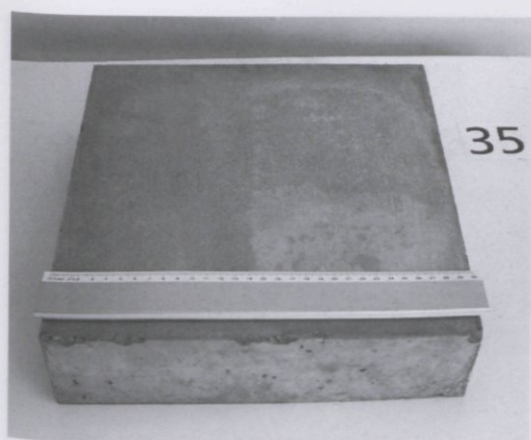
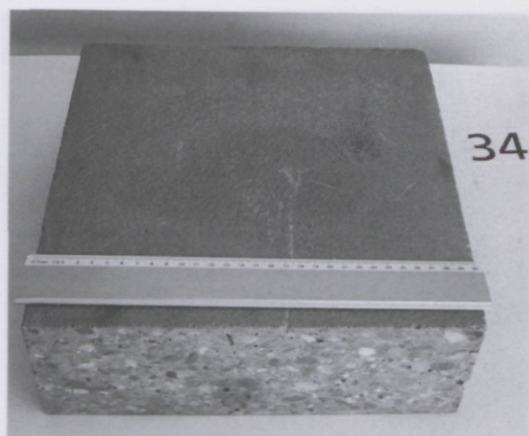
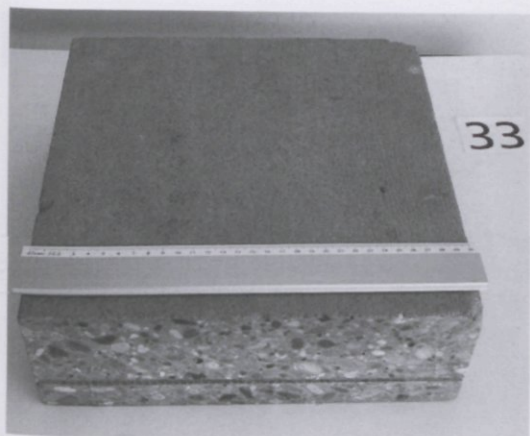


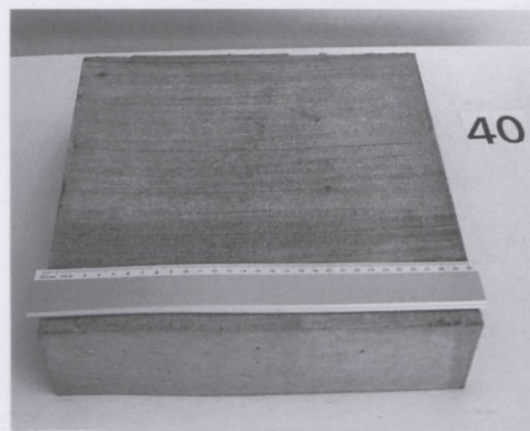
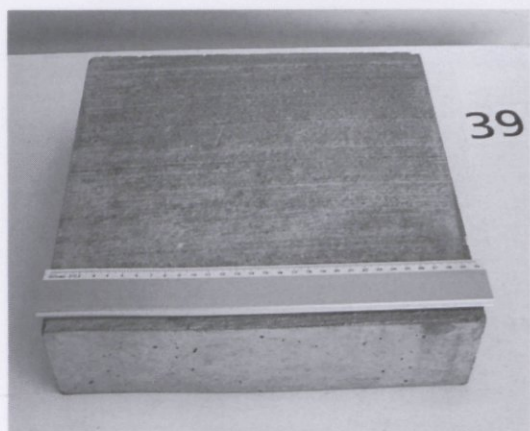
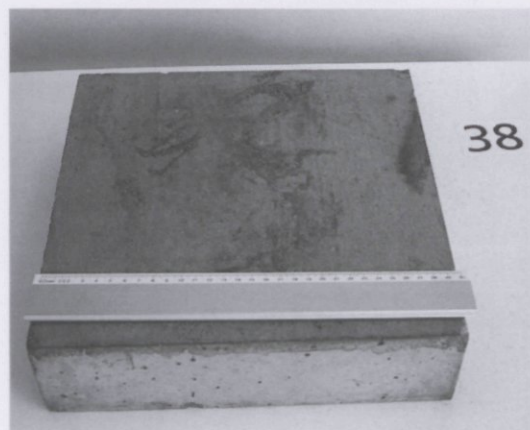
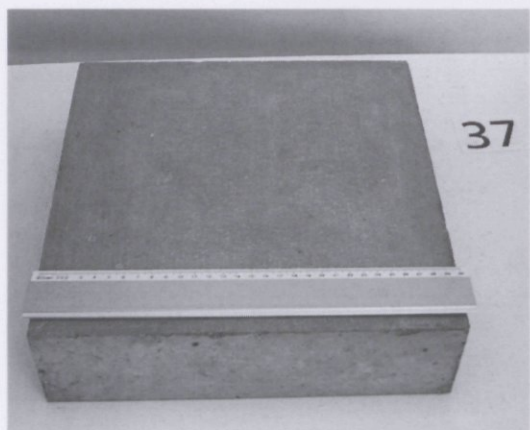


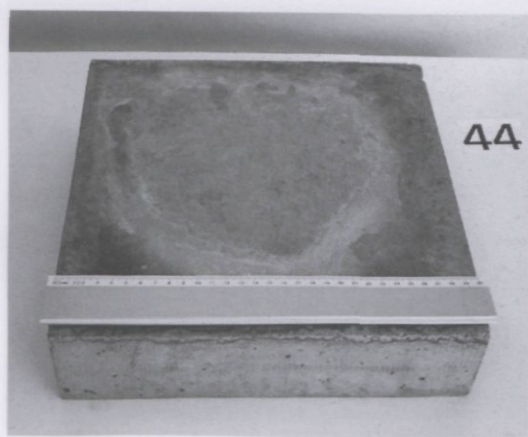
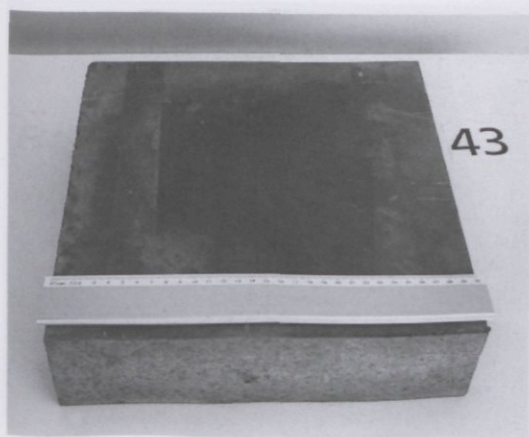
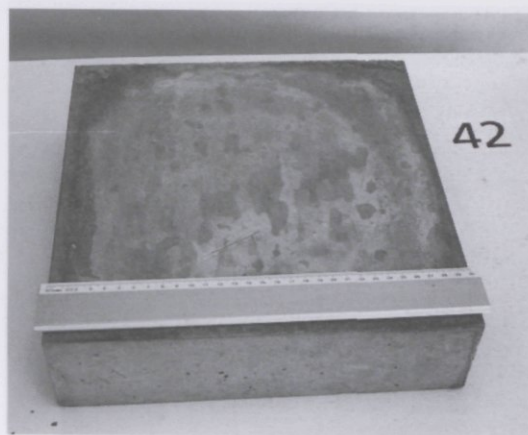
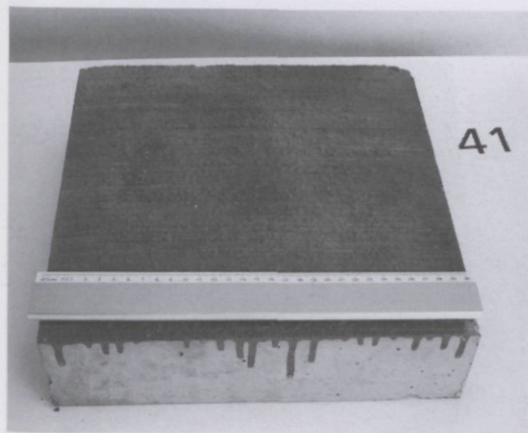


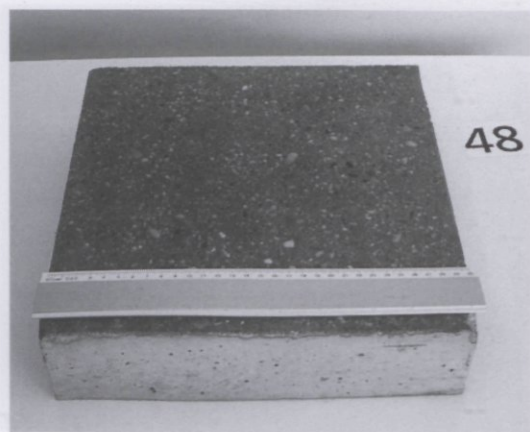
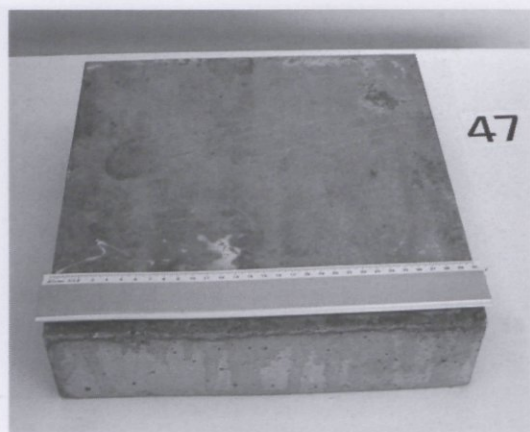
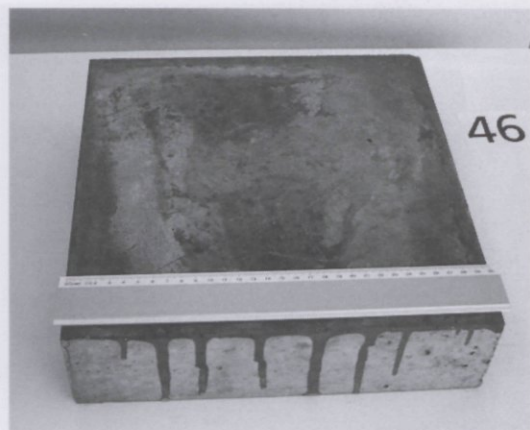
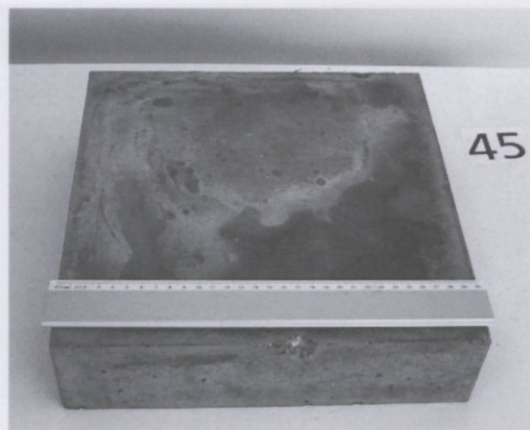








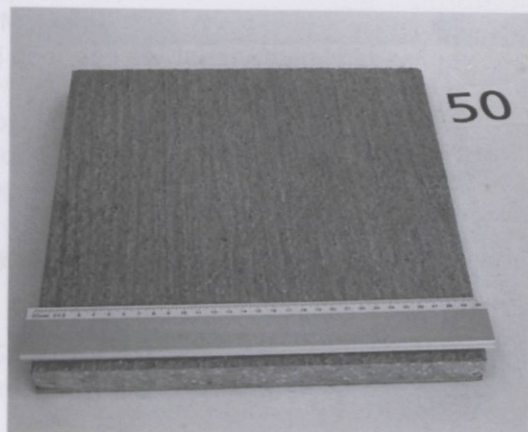
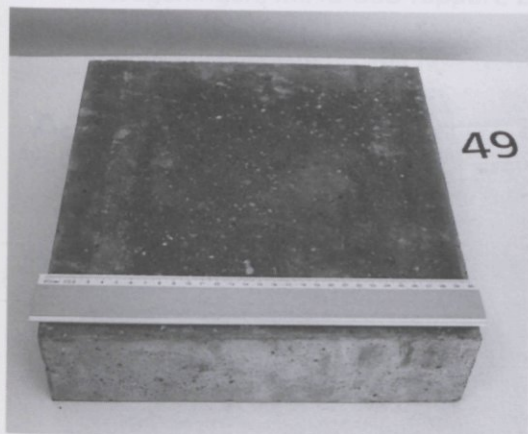




Rapportenoverzicht 1996

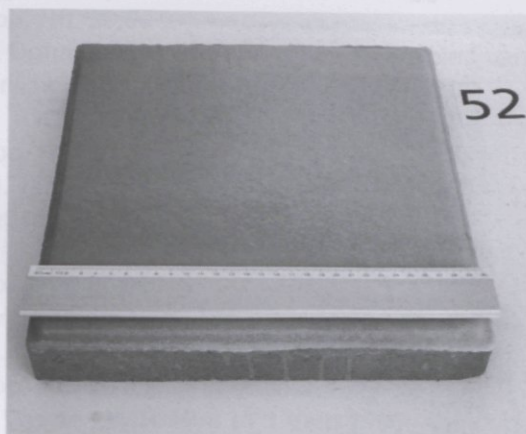
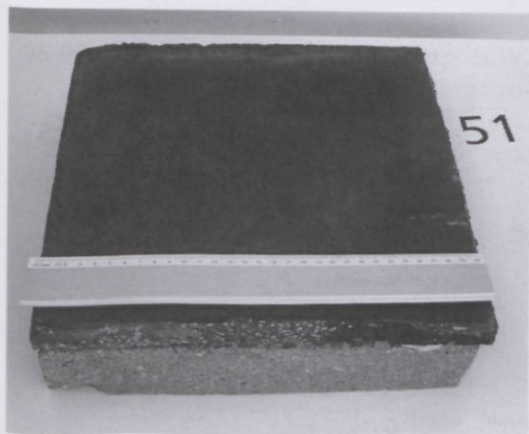
95-01 Os, E.A. van 1996 - Proceedings of the seminar on closed production systems.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. Hfl. 30,00

95-02 Elzing, A. en A.J.A. Aarnink 1996 - Invloed van de zuurtegraad van varkensurine
op de ammoniakemissie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 27 pp. Hfl. 30,00



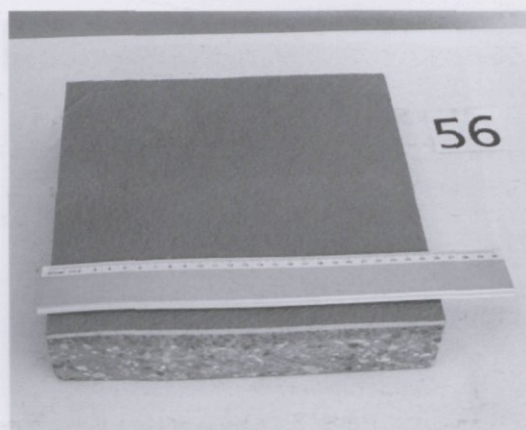
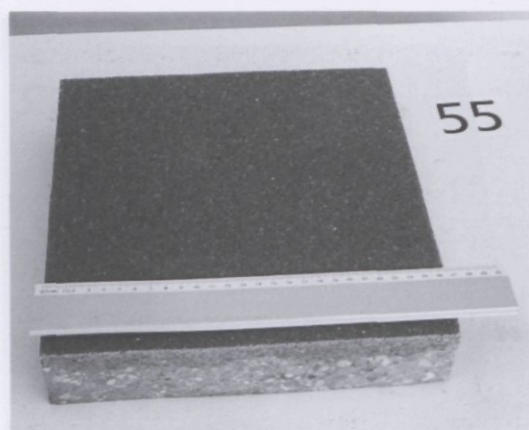
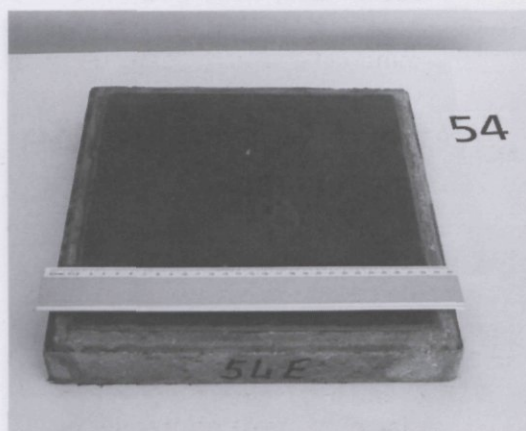
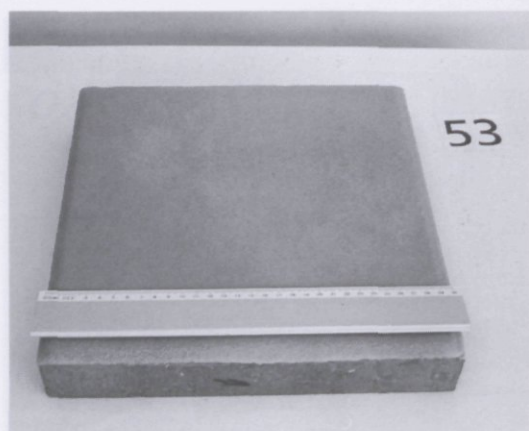
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 56 pp. Hfl. 30,00

95-07 Stegemoed, A., J. van der Meulen, H. Nijgeveen en E. Benders 1996 - The influence of
freedom of access to the pasture cycling of dairy cows milked automatically.



van de gebruikte modellen voor het bepalen van het ventilatiebehoef van rundvee-
stallen.

Wageningen, IMAG-DLO rapport, 35 pp. Hfl. 30,00



Rapportenoverzicht 1996

- 96-01 Os, E.A. van 1996 - Proceedings of the seminar on closed production systems.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 46 pp. Hfl. 30,00
- 96-02 Elzing, A. en A.J.A. Aarnink 1996 - Invloed van de zuurtegraad van varkensurine op de ammoniakemissie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 27 pp. Hfl. 30,00
- 96-03 Kroodsma, W., R. Bleijenberg en N.W.M. Ogink 1996 - Vermindering van de ammoniakemissie uit een ligboxenstal door een eb/vloedsysteem met aangezuurde mest.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 24 pp. Hfl. 30,00
- 96-04 Houwers, H.W.J., R.G. Buré en C. Lokhorst 1996 - Voermethode, bedrijfsvoering, stalinrichting en diergedrag bij geïntegreerde groepshuisvesting van zeugen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 103 pp. Hfl. 40,00
- 96-05 Zwart, H.F. de 1996 - Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 240 pp. Hfl. 50,00
- 96-06 Smits, M.C.J., A.M. van Vuuren en H. Gunnink 1996 - Beperking ammoniakemissie uit een melkveeststal door veevoedingsmaatregelen: effecten van N-excretie in urine en urineloosingsfrequentie.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 56 pp. Hfl. 30,00
- 96-07 Stefanowska, J., S. Devir, H. Hogeveen en E. Benders 1996 - The influence of frequent milking on the oestrus cycling of dairy cows milked automatically.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 25 pp. Hfl. 30,00
- 96-08 Kroodsma, W., R. Bleijenberg, N.W.M. Ogink en Y. Wintjens 1996 - Nadroging van voorgedroogde leghennenmest volgens het HELI-systeem en de laagsgewijze composteermethode
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 47 pp. Hfl. 30,00
- 96-09 Kroodsma, W., R. Bleijenberg en A.J.H. van Lent 1996 - Benutting van het afvalwater van een melkveebedrijf voor het spoelen van de mestgangen: een oriënterend onderzoek.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 16 pp. Hfl. 30,00
- 96-10 Groot Koerkamp, P.W.G., G.H. Uenk en H. Drost 1996 - De uitstoot van respirabelstof door de Nederlandse veehouderij.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 35 pp. Hfl. 30,00
- 96-11 Scholtens, R., J.J.C. van der Heiden-de Vos en J.W.H. Huis in 't Veld 1996 - Validatie van gasbalansmodellen voor het bepalen van het ventilatiedebiet van rundveestallen.
Wageningen, IMAG-DLO rapport, 38 pp. Hfl. 30,00