



Rapport 218

Energiegebruik en kosten van centrale afzuiging en afzuiging per afdeling in varkensstallen

Juli 2001



Colofon

Uitgever

Praktijkonderzoek Veehouderij
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
Telefoon 0320 - 293 211
Fax 0320 - 241 584
E-mail info@pv.agro.nl.
Internet <http://www.pv.wageningen-ur.nl>

Redactie en fotografie

Praktijkonderzoek Veehouderij

© Praktijkonderzoek Veehouderij

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

Aansprakelijkheid

Het Praktijkonderzoek Veehouderij aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen

Bestellen

ISSN 0169-3689
Eerste druk 2001/oplage 250
Prijs € 17,50 (f 38,56)

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



PRAKTIJKONDERZOEK
VEEHOUDERIJ

Rapport 218

Energiegebruik en kosten van centrale afzuiging en afzuiging per afdeling in varkensstallen

A.V. van Wagenberg
I. Vermeij

Juli 2001

Samenvatting

Centrale afzuiging wordt in de praktijk bij nieuwbouw vaak toegepast. Een belangrijk voordeel van centrale afzuiging is de energiebesparing die ermee te realiseren is. Bij centrale afzuiging sturen frequentieregelaars de ventilatoren aan, waardoor de ventilatoren efficiënter werken dan conventionele triac-regelaars bij afzuiging per afdeling. Doel van dit onderzoek is het kwantificeren van het verschil in energiegebruik en jaarlijkse kosten tussen stallen met afzuiging per afdeling en stallen met centrale afzuiging.

In dit onderzoek is een methode ontwikkeld voor het berekenen van het energiegebruik van centrale afzuigsystemen en van afzuiging per afdeling. Uit de validatie van de methode bleek dat de berekening voor centrale afzuiging de meting met 5% onderschat. Bij afzuiging per afdeling had de berekening een gemiddelde afwijking van -1%. Voor beide methoden mag de validatie als acceptabel worden aangemerkt.

De berekeningsmethodiek is opgenomen in een simulatiemodel, waarmee een aantal voorbeeldstallen zijn doorgerekend. Ook zijn de jaarkosten van deze stallen vergeleken. De belangrijkste resultaten staan in tabel 1.

Tabel 1 Het berekende energiegebruik en de berekende jaarkosten (per vleesvarkensplaats en per zeug) voor een aantal voorbeeldstallen met afzuiging per afdeling en centrale afzuiging

	Energie- Gebruik (kWh)	Jaarkosten ventilatiesysteem (f)
<i>Standaardvleesvarkensstal (12 afdelingen van 120 dieren)</i>		
- afzuiging met ventilator per afdeling, met een diameter van 0,56 m	15,6	8,79
- centrale afzuiging met twee afzuigunits met een diameter van 0,50 m en met gelijktijdigheid 100%	10,9	11,02
- centrale afzuiging met twee afzuigunits met een diameter van 0,50 m en met gelijktijdigheid 80%	11,7	10,93
- centrale afzuiging met één afzuigunit met een diameter van 0,56 m ¹	20,6	-
<i>Standaardzeugenstal (voor 150 productieve zeugen inclusief biggenopfok)</i>		
- ventilator per afdeling	72,5	74,81
- centrale afzuiging	28,7	67,81

¹ niet meegenomen in economische berekening

Voor een vleesvarkensstal is het berekend energiegebruik bij toepassing van centrale afzuiging 30% lager dan bij afzuiging per afdeling. Bij toepassing van een gelijktijdigheid van 80%, wat wil zeggen dat het centrale luchtkanaal en het aantal centrale ventilatoren is gedimensioneerd op maximale ventilatie in 80% van de afdelingen, is de besparing 25%. Wanneer echter de centrale afzuiging voorzien is van te kleine afzuigunits wordt de luchtsnelheid in de afzuigunits te hoog en neemt het energiegebruik toe tot waarden boven het energiegebruik bij afzuiging per afdeling. Bij de standaardzeugenstal bedraagt de berekende energiebesparing 60%.

De besparing is veel hoger dan bij vleesvarkens omdat in een zeugenstal gemiddeld op een lager niveau geventileerd wordt. Bij lage toerentallen is het energiegebruik van frequentiegeregelde ventilatoren ten opzichte van triac-geregelde ventilatoren relatief zeer gunstig.

Uit de economisch evaluatie blijkt dat voor een vleesvarkensstal met 12 afdelingen van 120 vleesvarkens afzuiging per afdeling, met één ventilator met een diameter van 0,56 m, de laagste jaarkosten geeft (f 8,79 per vleesvarkensplaats per jaar). Centrale afzuiging in een dergelijke stal, met twee afzuigunits met een diameter van 0,50 m per afdeling, geeft weliswaar 30% lagere energiekosten, maar ten gevolge van hogere investeringskosten zijn de jaarkosten ruim 2 gulden per vleesvarkensplaats hoger. Voor de standaardzeugenstal zijn de jaarkosten van het ventilatiesysteem bij toepassing van centrale afzuiging 7 gulden per zeug lager dan bij afzuiging per afdeling.

Een belangrijk voordeel van centrale afzuiging is energiebesparing. Als echter geen gebruik gemaakt wordt van de andere voordelen van centrale afzuiging (inpasbaarheid van luchtwassers, verlegging van het emissiepunt, mestverdamping met ventilatielucht) zijn er alternatieven, die ook een aanzienlijke energiebesparing realiseren. Deze alternatieven hebben vaak lagere investerings- en jaarkosten.

Summary

A central ventilation system, which extracts air from several rooms into a central ventilation shaft, is often used in practice, especially in new facilities. One important advantage of this central ventilation system is the energy reduction that can be realised. For a central ventilation system the central fans are powered by variable frequency controllers, which have a higher energy efficiency than the conventional and cheap triac controllers.

In this research a calculation method was developed and validated to determine energy consumption for ventilation in pig facilities with a conventional triac controlled fan per room and with a central ventilation system. Results of the calculation method were compared by validation measurements. The calculation method for the central ventilation system underestimated the energy consumption measured by 5%. For a traditional ventilation system with one fan per room the calculation underestimated the energy consumption measured by 1%. Calculation methods for both ventilation systems were validated successfully.

With the calculation method developed energy consumption was calculated for ventilation for several cases, and also the yearly costs of some facilities with both ventilation systems were estimated. The results are shown in table 1.

Table 1 The energy consumption for ventilation calculated and yearly costs (per growing-finishing place and per sow) for the ventilation system for several cases with a central ventilation system and ventilation with one fan per room

	Energy use (kWh)	Yearly costs ventilation system (Dfl)
<i>Facility for growing-finishing pigs (12 rooms with each 120 animal places)</i>		
- ventilation with one fan per room, fan diameter of 0.56 m	15.6	8.79
- central ventilation with two extraction units with a diameter of 0.50 m and a contemporaneity of 100%	10.9	11.02
- central ventilation with two extraction units with a diameter of 0.50 m and a contemporaneity of 80%	11.7	10.93
- central ventilation system with one extraction unit with a diameter of 0.56 m ¹	20.6	-
<i>Facility for pig breeding (for 150 productive sows, including weaned piglets)</i>		
- one fan per room	72.5	74.81
- central ventilation	28.7	67.81

¹ yearly costs not calculated

For a facility for growing-finishing pigs energy consumption calculated was 30% lower for a central ventilation system than for a ventilation system with one fan per room. Use of a contemporaneity of 80%, the central ventilation channel and the central fans were calculated to maximum ventilation in 80% of the rooms, decreased the energy reduction to 25%. When in a central ventilation system the extraction units were too small, causing too high an air speed in the extraction units, energy consumption increased rapidly and even exceeded energy consumption in a conventional facility with one fan per room.

In a pig breeding facility the energy reduction was calculated to be 60%. This is much higher than for growing-finishing pigs, because the average ventilation is much lower than in a facility for growing-finishing pigs. At low ventilation rates the frequency controlled fans have a more energy reducing potential than at high ventilation rates (compared with triac controlled fans).

The economic evaluation showed that for a facility with 12 rooms each for 120 growing-finishing pigs, one ventilator per room with a diameter of 0.56 m resulted in the lowest yearly costs (Dfl 8.79 per animal place). A central exhaust ventilation system reduced energy consumption by 30%, but had higher yearly costs of about Dfl 2 per growing-finishing place because of the higher investment costs. The yearly costs for a central exhaust ventilation system in a pig breeding facility were Dfl 7 per sow lower compared to a traditional ventilation system.

One important advantage of a central ventilation system is energy reduction. However, when none of the other advantages of the system are used (shifting the emission point, integration of exhaust air treatment like air scrubbing), cheaper alternatives are available to reduce the energy consumption for ventilation.

Inhoudsopgave

Samenvatting Summary

1	Inleiding.....	1
2	Materiaal en methode.....	2
2.1	Praktijkexperiment centrale afzuiging	2
2.2	Praktijkexperiment afzuiging per afdeling.....	3
2.3	Berekeningsmethode.....	4
3	Resultaten.....	7
3.1	Centrale afzuiging	7
3.2	Afzuiging per afdeling	8
4	Simulatiemodel voor het kwantificeren van het energiegebruik	10
4.1	Voorbeeldstallen	10
4.2	Berekeningen met het simulatiemodel	14
5	Economische evaluatie	19
5.1	Vleesvarkensstallen	19
5.2	Zeugenstallen	21
6	Discussie en conclusies	23
6.1	Centrale afzuiging	23
6.2	Afzuiging per afdeling	23
6.3	Simulatiemodel	24
6.4	Economische evaluatie	25
6.5	Wel of geen centrale afzuiging?	25
6.6	Conclusies.....	26
Literatuur		27
Bijlage 1	Specificaties ventilatoren	28
Bijlage 2	Berekeningsmethode voor energiegebruik centrale afzuiging	29
Bijlage 3	Omstandigheden tijdens de proef van centrale afzuiging en resultaten	31
Bijlage 4	Resultaten van de validatie voor de berekeningsmethode voor het energiegebruik voor triac-geregelde ventilatoren.....	32
Bijlage 5	Berekend ventilatiedebiet per diercategorie	33
Bijlage 6	Standaardstallen voor voorbeeldberekeningen	35
Bijlage 7	Economische berekening jaarkosten ventilatiesysteem	36
Bijlage 8	Economische berekening jaarkosten ventilatiesysteem centrale afzuiging.....	37

1 Inleiding

In varkensstallen wordt centrale afzuiging vooral bij nieuwbouw toegepast. Een belangrijk voordeel van centrale afzuiging ten opzichte van afzuiging per afdeling is de energiebesparing die ermee is te realiseren. Daarnaast geldt een aantal andere voordelen van centrale afzuiging. Zo is bij toepassing van centrale afzuiging nabehandeling van de lucht met bijvoorbeeld luchtwassers gemakkelijker te bewerkstelligen, omdat alle lucht op één plaats naar buiten wordt geblazen. Een ander voordeel is dat er met het emissiepunt geschoven kan worden door de locatie van de ventilatoren op het centrale luchtkanaal te verschuiven. Dit kan van belang zijn bij het verkrijgen van een milieuvergunning. Ook staat centrale afzuiging in de belangstelling vanwege de initiatieven die er zijn om mest te drogen met behulp van ventilatielucht. Alle lucht verlaat de stal via het centrale luchtkanaal, waarin mest gedroogd/verdampt kan worden.

Er is weinig bekend over de grootte van de haalbare energiebesparing. Deze is namelijk sterk afhankelijk van de uitvoering van het systeem en de verdeling van de ventilatiebehoefte van de verschillende afdelingen op het centrale afzuigstelsel.

Bij centrale afzuiging worden frequentieregelaars toegepast om de ventilatoren aan te sturen. Frequentieregelaars sturen ventilatoren energie-efficiënter aan dan conventionele triac-regelaars, die veelvuldig gebruikt worden bij afzuiging per afdeling (Li *et al.*, 1993). Vanwege de hoge investeringskosten kan toepassing van frequentieregelaars per afdeling duurder zijn dan toepassing van een triac-regeling per afdeling (Van Cuyck en Roozen, 1992). Bij toepassing van centrale afzuiging kan de frequentieregelaar voor meerdere afdelingen worden gebruikt, waardoor de investeringskosten per dierplaats lager zijn. Het centrale luchtkanaal en de meet- en smoorunits vormen echter een extra weerstand voor de lucht, waardoor de tegendruk in het ventilatiesysteem hoger is. Bovendien is de hoogst vragende afdeling bepalend voor de weerstand die de centrale ventilatoren moeten overwinnen, terwijl in het hoge gebied het voordeel van frequentieregeling ten opzichte van een triac-regeling afneemt. Daarnaast vraagt het centrale luchtkanaal extra investeringskosten ten opzichte van een stal met afzuiging per afdeling.

Doel van dit onderzoek is het kwantificeren van het verschil in energiegebruik tussen stallen met afzuiging per afdeling en stallen met centrale afzuiging en de daaraan verbonden kosten. Ten behoeve hiervan is een methode ontwikkeld en gevalideerd waarmee het energiegebruik van centrale afzuigsystemen en van afzuiging per afdeling berekend kan worden. Ten behoeve van de validatie zijn metingen in stallen gedaan. Vervolgens is voor een aantal voorbeeldstallen het energiegebruik bij centrale afzuiging en bij afzuiging per afdeling berekend. Daarnaast zijn de jaarkosten van de stallen vergeleken.

2 Materiaal en methode

Paragraaf 2.1 gaat nader in op de validatie-experimenten die uitgevoerd zijn. De berekeningsmethoden voor het energiegebruik worden in paragraaf 2.2 toegelicht.

2.1 Praktijkexperiment centrale afzuiging

De waarnemingen aan een centraal afzuigstelsel hebben plaatsgevonden in de vleesvarkensstal van het Praktijkcentrum Rosmalen van april 2000 tot en met november 2000.

Beschrijving van de afdelingen

In de vleesvarkensstal waren zes afdelingen aangesloten op het centrale afzuigstelsel: twee met 96 dierplaatsen en vier met 108 dierplaatsen. De eerste twee afdelingen hadden twaalf hokken met elk acht dierplaatsen. In de laatste vier afdelingen waren twaalf hokken met elk negen dierplaatsen. Alle afdelingen waren voorzien van grondkanaalventilatie. Verse lucht kwam in het grondkanaal (onder de voergang) via de centrale gang, die vorstvrij werd gehouden. In de afdeling kwam lucht omhoog via de voergang die afgedekt was met metalen driekantroosters. In de hokken hadden de dieren de beschikking over 0,7 m² per dier, waarvan 0,3 m² dichte bolle vloer met vloerverwarming. Op het mest- en waterkanaal waren stalen driekantroosters geplaatst. In tabel 1 zijn de gehanteerde klimaatinstellingen weergegeven.

Tabel 1 Klimaatinstellingen in de vleesvarkensafdelingen met centrale afzuiging (P-band is 5°C)

Dagnr.	Begin T vent. (°C)	Verwarmingstemp. (°C)	Min. vent. per dier (m ³ /h)	Max. vent. per dier (m ³ /h)
1 (opleg)	27	25	5	30
5	24	22	5	30
50	22	16	13	55
100	20	15	20	70

Beschrijving van het ventilatiesysteem

Per afdeling waren twee afzuigunits geplaatst met een automatische regelklep. In een van de units zat een meetwaaier (Fancom FMS en FS). Aan beide zijden van de voergang bevond zich één unit, boven het derde of vierde hok. De regeling van de regelklep in beide afzuigunits was gekoppeld, waardoor beide regelkleppen in dezelfde stand stonden en in beide units een vergelijkbare luchtdoorlaatopening was. In de twee afdelingen met 96 dierplaatsen hadden de afzuigunits een diameter van 0,40 m, in de vier afdelingen met 108 dierplaatsen een diameter van 0,45 m. Het centrale luchtkanaal had een doorstroomb oppervlak van 12 m².

Op het centrale luchtkanaal waren de drie centrale ventilatoren met een diameter van 0,63 m (Fancom, type 3463) gemonteerd. De ventilatoren werden aangestuurd door een Danfoss frequentieregelaar (VLT 3508). De regeling van de centrale ventilatoren vond plaats op basis van de *hoogst vragende* afdeling.

Bij dit systeem bepaalt de afdeling met de hoogste ventilatievraag de benodigde onderdruk in het centrale kanaal, en is daarmee bepalend voor de stand van de centrale ventilatoren. Dit regelprincipe wordt in de praktijk veel toegepast.

2.2 Praktijkexperiment afzuiging per afdeling

De waarnemingen aan het energiegebruik van afzuiging per afdeling met een triac-geregelde ventilator zijn gedaan in een drietal afdelingen op het Praktijkcentrum Sterksel, in de periode april 1998 tot en met mei 2000. Hier volgt een korte beschrijving van de verschillende afdelingen.

Kraamafdelingen met mestpanventilatie

Voor het onderzoek zijn twee kraamafdelingen met mestpanventilatie gebruikt. Elke afdeling had twee rijen met elk zes verhoogd opgestelde kraamhokken, die voorzien waren van mestpannen. Via de centrale gang kon verse lucht in de luchtbuffer onder de mestpannen komen. Aan de voorzijde van beide rijen kraamhokken lag een smalle ventilatiegang ten behoeve van de luchtaanvoer en de luchtverdeling. Voor een gedetailleerde beschrijving zie Van Wagenberg *et al.* (2000). Per afdeling was er één afzuigkoker. In beide afdelingen waren de afzuigkokers voorzien van een ventilator, een automatische regelklep en een meetwaaier (Fancom Exavent), geplaatst boven de controlegang vlak onder het plafond. De ventilator had een diameter van 0,35 m en de maximale luchtverplaatsing was 227 m³/h respectievelijk 209 m³/h per kraamhok.

Guste- en drachtige-zeugenafdeling met plafondventilatie

De guste- en drachtige-zeugenafdeling bestond uit twee rijen met elk 18 voerligboxen voor guste/drachtige zeugen. De verse lucht kwam via handmatig regelbare openingen in de buitenmuur van een centrale gang en via een ventilatieplafond binnen in de afdeling. Halverwege de afdeling en 1,5 m boven de vloer was een afzuigkoker geplaatst. De afzuigkoker was voorzien van een ventilator, een automatische regelklep en een meetwaaier (Fancom Exavent). De ventilator had een diameter van 0,45 m en de maximale luchtverplaatsing was 147 m³/h per zeugenplaats.

Waarnemingen

In de validatie-experimenten zijn waarnemingen verricht om het ventilatiedebiet en het energiegebruik te bepalen.

Ventilatiedebiet

In de afdelingen met centrale afzuiging werd het ventilatiedebiet gemeten in één van de twee afzuigunits. Elke tien minuten werd het momentane ventilatiedebiet automatisch geregistreerd. In de afdelingen met afzuiging per afdeling werd het ventilatiedebiet gemeten en werd elk uur een automatische registratie gemaakt van het momentane ventilatiedebiet.

Energiegebruik

Het energiegebruik van de centrale afzuiging werd continu gemeten met behulp van een elektronische kWh-meter (ABB, type Wh3063). Deze meter was geplaatst vóór de frequentieregelaar. Tenminste een keer per uur ging er vanuit de kWh-meter een signaal naar de datalogger waardoor het cumulatieve energiegebruik automatisch geregistreerd werd. Het energiegebruik in de afdelingen met afzuiging per afdeling is continu gemeten met analoge kWh-meters vóór de klimaatregelaar. Elke week en bij aanvang en afsluiting van een ronde werd de stand van de meter handmatig geregistreerd.

2.3 Berekeningsmethode

Er is een methode ontwikkeld waarmee het mogelijk is het energiegebruik in de proefafdelingen met centrale afzuiging en met afzuiging per afdeling te berekenen. De resultaten van de berekeningsmethode zijn vergeleken met de resultaten van de metingen, waardoor validatie van de methode mogelijk was. De berekeningsmethode wordt hier kort beschreven. Een gedetailleerde beschrijving is te vinden in de bijlagen 1 en 2.

Centrale afzuiging

Het energiegebruik van de centrale afzuiging bestaat uit energiegebruik door ventilatoren en energiegebruik door de frequentieregelaar.

Opgenomen vermogen van de ventilatoren

De totaal te overwinnen tegendruk in het systeem en de totaal te verplaatsen hoeveelheid lucht door het systeem zijn bepalend voor het opgenomen vermogen door de ventilatoren. Aan de hand hiervan is met de relaties, getoond in bijlage 1, het opgenomen vermogen van de ventilatoren af te leiden.

De tegendruk in centrale afzuigsystemen

De tegendruk in een onderdeel van een ventilatiesysteem hangt af van de luchtsnelheid en wordt berekend met de volgende vergelijking:

$$\Delta p = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2$$

waarin:

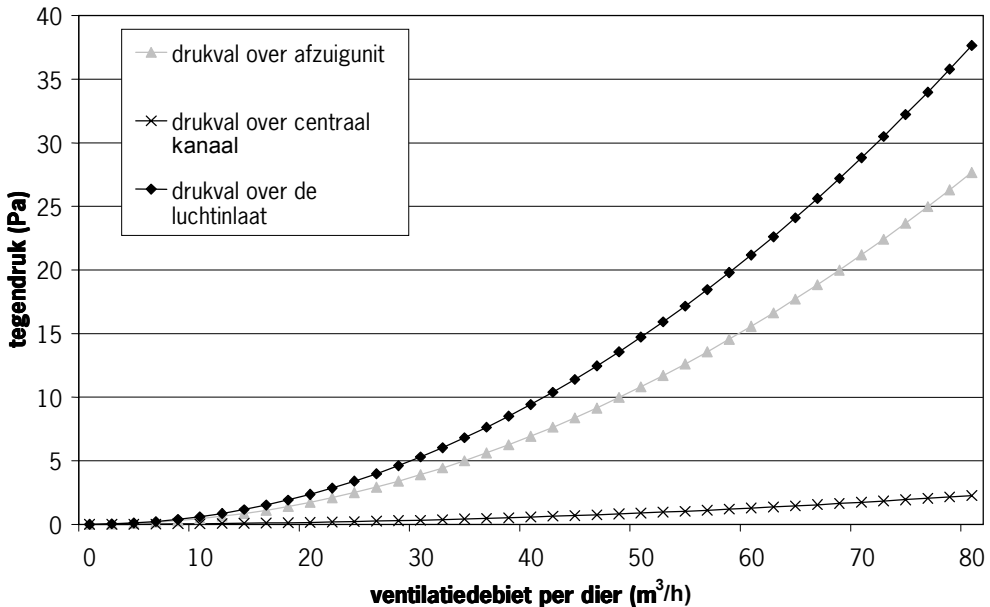
Δp	= tegendruk	(Pa)
ρ	= dichtheid van de lucht (1,2 ¹)	(kg/m ³)
v	= luchtsnelheid	(m/s)

De totale tegendruk die de ventilatoren moeten overwinnen is opgebouwd uit drie onderdelen. Dit zijn de drukval over de luchtinlaat, de drukval over de afzuigunit en de drukval in het centrale luchtkanaal. De relatie uit de vergelijking geldt voor deze drie onderdelen. Behalve van het ventilatiedebiet is de drukval over de luchtinlaat afhankelijk van de netto doorlaatopening en van eventuele aanwezigheid van obstakels die de luchtstroom belemmeren. De drukval in de afzuigunits wordt bepaald door de luchtsnelheid in de units en is afhankelijk van het doorstroomd oppervlak in de afzuigunits. De diameter van de units en de stand van de regelklep zijn hiervoor dus bepalend. De drukval over het centrale luchtkanaal wordt bepaald door de luchtsnelheid in dat luchtkanaal. Deze is dus afhankelijk van het ventilatiedebiet van alle afdelingen die op de centrale afzuiging zijn aangesloten.

In figuur 1 is een voorbeeld weergegeven van het verloop van de tegendruk over het ventilatiesysteem in een afdeling voor vleesvarkens. De luchtsnelheid in de afzuigunit bedraagt bij maximale ventilatie 7 m/s (tegendruk over de afzuigunit dus $0,5 \cdot 1,2 \cdot 7^2 = 29,4$ Pa), de tegendruk over de luchtinlaat bij maximale ventilatie 40 Pa en de maximale luchtsnelheid in het luchtkanaal 3 m/s (tegendruk van het luchtkanaal dus $0,5 \cdot 1,2 \cdot 3^2 = 5,4$ Pa). Bij een lager ventilatiedebiet neemt de tegendruk snel af.

¹ dichtheid van lucht bij druk van 101.325 Pa, temperatuur 20°C en RV van 70%

Figuur 1 Voorbeeld van tegendruk (over de luchtinlaat, over de afzuigunit en over het centrale luchtkanaal) in een vleesvarkensafdeling afhankelijk van het ventilatiedebiet.



Te verplaatsen hoeveelheid lucht

De totale hoeveelheid te verplaatsen lucht is gelijk aan de som van het ventilatiedebiet in alle afdelingen die op het centrale afzuigstelsel zijn aangesloten. Deze luchthoeveelheid is gemeten in het validatie-experiment.

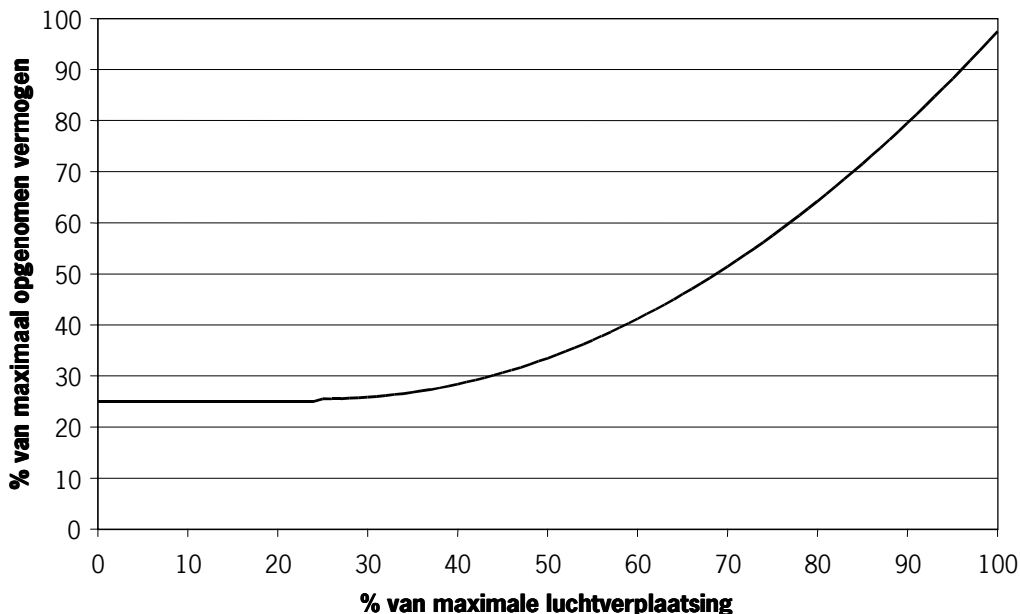
Opgenomen vermogen van de frequentieregelaar

De frequentieregelaar die gebruikt wordt om de centrale ventilatoren aan te sturen gebruikt energie voor de elektronische regeling. Het verbruik is afhankelijk van de belasting van de frequentieregelaar (zie bijlage 2).

Afzuiging per afdeling

In figuur 2 is de relatie weergegeven waarvan wordt uitgegaan bij afzuiging per afdeling.

Figuur 2 De relatie tussen de luchtverplaatsing en het opgenomen vermogen van een triac-geregelde ventilator (DLG-rapport, Nr. 3824/3825, Fancom FM 1435)



Voor het gebruik van de weergegeven relatie dient bekend te zijn wat 100% luchtverplaatsing is en welk opgenomen vermogen daarbij hoort. Deze data zijn tevens beschikbaar via DLG-rapporten (DLG, 1996). In tabel 2 is een voorbeeld van een DLG rapport weergegeven.

Tabel 2 Voorbeeld van specificatietabel in DLG-rapport (Nr. 3824/3825, Fancom FM 1435)

Spanning V	Statische druk Pa	Capaciteit			Toerental omw./min	Opgenomen vermogen W	Stroomsterkte A	Rendement %	Specifiek vermogen W/1000 m ³ /h
		m ³ /h	In % t.o.v. 220 V	In % t.o.v. Pstat 0 Pa					
220	0	3630	100	100	1365	198	0,91	33,1	54,7
	10	3520	100	97	1362	200	0,92	34,8	56,8
	20	3410	100	94	1358	202	0,93	36,3	59,3
	30	3270	100	90	1358	203	0,94	37,1	62,1
	40	3130	100	86	1357	205	0,94	37,6	65,3
	50	2870	100	79	1353	207	0,95	35,0	72,1

Wanneer de ventilator die in tabel 2 wordt beschreven ingebouwd wordt in een stal waarin de tegendruk bij maximale ventilatie 30 Pa bedraagt, geldt in de relatie uit figuur 2: 100% ventilatie is 3.270 m³/h en 100% opgenomen vermogen is 203 W. In een afdeling met een maximale tegendruk van 50 Pa zijn de 100%-waarden 2.870 m³/h en 207 W.

In figuur 8B in bijlage 1 is deze methode uitgewerkt voor een ventilator met een diameter van 0,63 m. In vergelijking met de frequentie-geregelde ventilator (figuur 8A, bijlage 1) is duidelijk dat met name bij lage luchtdebieten de frequentie-geregelde ventilator de grootste energiebesparing laat zien.

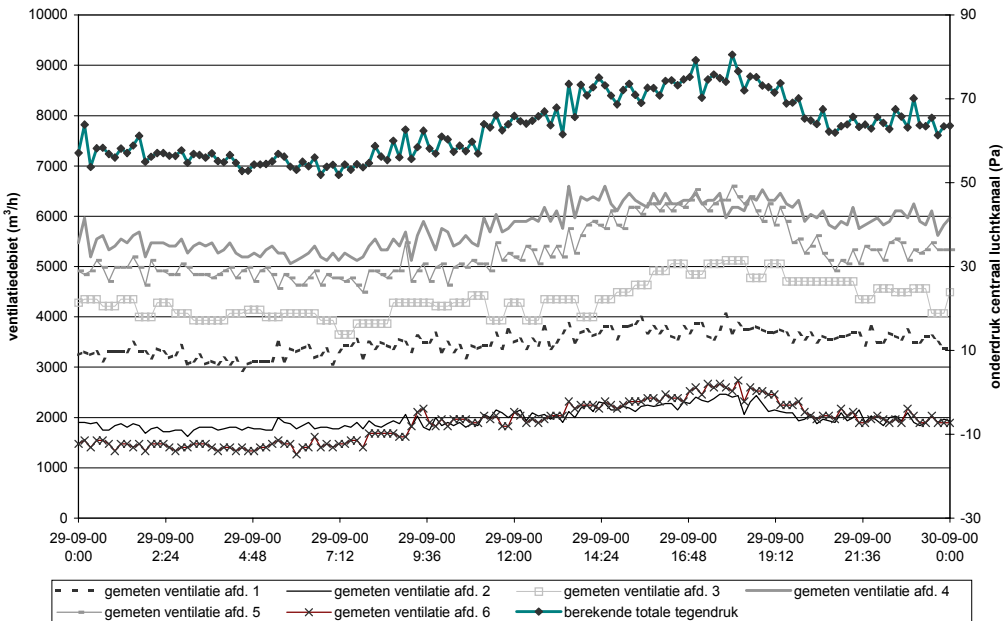
3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de validatie-experimenten en van de berekeningen gecombineerd gepresenteerd en met elkaar vergeleken.

3.1 Centrale afzuiging

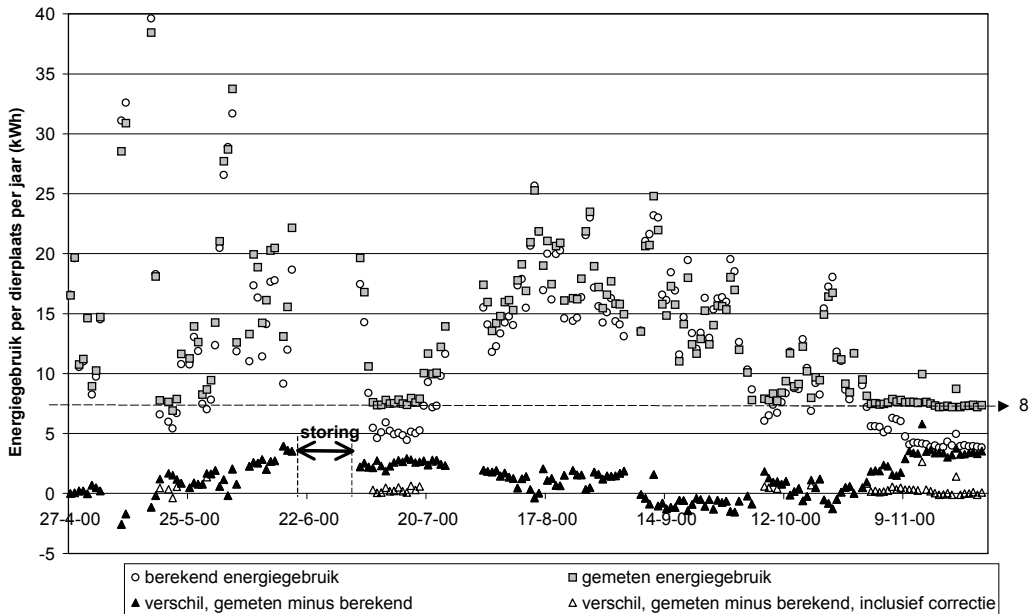
In bijlage 3 zijn de omstandigheden waaronder de praktijkmetingen zijn gedaan kort weergegeven. Ook is er een overzicht van de gemiddelden van de meetresultaten. In figuur 3 zijn van een willekeurige dag gedurende de proefperiode het ventilatiedebiet en de berekende tegendruk in het centrale luchtkanaal weergegeven.

Figuur 3 Ventilatie-debiet met de berekende tegendruk in de afdeling met centrale afzuiging gedurende een dag



In figuur 3 is te zien dat de ventilatiedebieten in de zes afdelingen variëren tussen de 1000 en 6500 m³/h. De berekende onderdruk in het centrale luchtkanaal varieert tussen de 50 en 80 Pa. Uitgangspunt bij de berekening van de onderdruk was dat de maximale tegendruk (bij maximale ventilatie) over de luchtinlaat 30 Pa was.

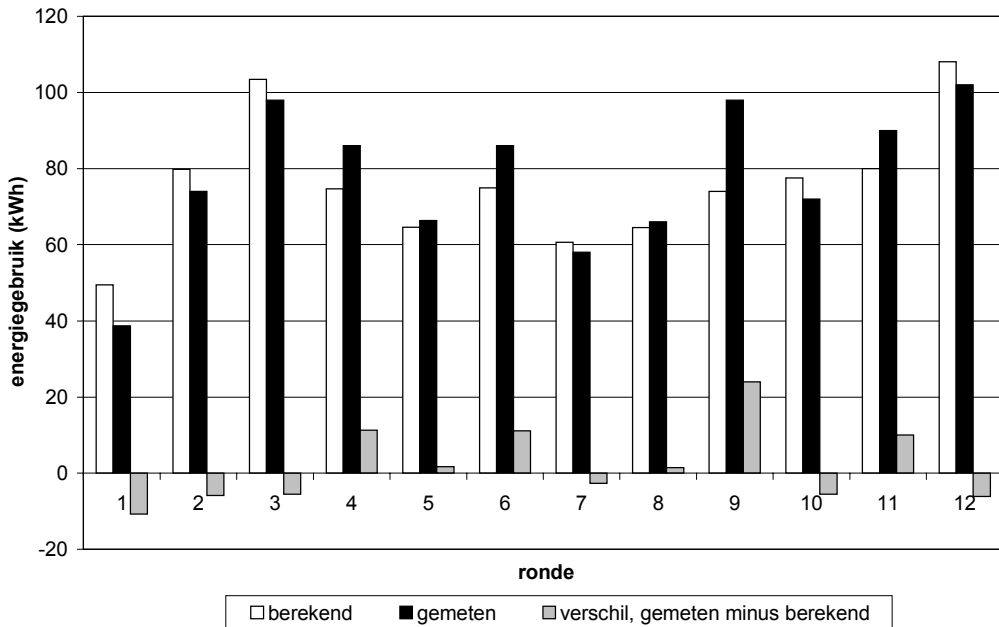
In figuur 4 zijn het gemeten en berekende energiegebruik per dag weergegeven.

Figuur 4 Gemeten en berekend energiegebruik gedurende de proefperiode

In figuur 4 wordt het berekende energiegebruik vergeleken met het gemeten energiegebruik. Het gemeten energiegebruik is meestal iets hoger dan het berekende energiegebruik. In de periode van 25-5-2000 tot en met 18-6-2000 loopt het verschil tussen berekening en meting langzaam op. Na 18-6-2000 neemt het energiegebruik snel toe. Er is dan één te zwaar lopende meetwaaijer ten gevolge van slijtage in een lager. Op 4-7-2000 is dit verholpen. In de periode 7-7-2000 tot en met 19-7-2000 en de periode 1-11-2000 tot en met 27-11-2000 blijft het gemeten energiegebruik op zo'n 8 kWh per dierplaats per jaar (is gelijk aan 12,5 kWh per dag). De berekening geeft dan een veel lager resultaat. Dit wordt veroorzaakt doordat in de berekeningsmethode waarvan de resultaten in figuur 4 met zwarte driehoekjes zijn getoond (nog) géén rekening wordt gehouden met een minimale stand van de ventilatoren. De gemiddelde afwijking van de berekening ten opzichte van de meting voor de punten (zwarte driehoekjes) in figuur 4 is -13%. Wanneer in de berekening wel rekening wordt gehouden met de minimumstand van de ventilatoren (witte driehoekjes), en dus het minimaal opgenomen vermogen van de installatie op 8 kWh per dierplaats per jaar (12,5 kWh per dag) wordt gesteld, is de gemiddelde afwijking van de berekening ten opzichte van de meting -5%.

3.2 Afzuiging per afdeling

In figuur 5 is van één van de drie proefafdelingen het resultaat van twaalf ronden weergegeven. De resultaten van alle metingen zijn opgenomen in bijlage 4.

Figuur 5 Gemeten en berekend energiegebruik van twaalf ronden in een kraamafdeling

Uit figuur 5 blijkt dat het gemeten en het berekende energiegebruik in de meeste ronden dicht bij elkaar ligt. Alleen in de ronden 1 en 9 wordt de meting met ruim 20% overschat door de berekening, respectievelijk met ruim 30% onderschat. Bij de overige ronden zijn de verschillen echter gering, waaruit blijkt dat de berekening over het algemeen een goede inschatting van het energiegebruik geeft. Dit geldt eveneens voor de andere proefafdelingen die gebruikt zijn om de berekeningsmethode te valideren. Gemiddeld over alle metingen, in totaal bijna 20.000 uur, geeft het berekende energiegebruik een afwijking van -1% ten opzichte van het gemeten energiegebruik.

4 Simulatiemodel voor het kwantificeren van het energiegebruik

Met behulp van de gevalideerde rekenmethoden waarmee het energiegebruik van centrale afzuigsystemen en van systemen met afzuiging per afdeling berekend kan worden, is een simulatiemodel ontwikkeld (Visual Basic in EXCEL (Microsoft Corp., 1997)).

Voor een simulatie worden als invoergegevens de hoeveelheid luchtverplaatsing door het ventilatiesysteem en gegevens van het buitenklimaat gebruikt. In bijlage 5 zijn per diercategorie de gebruikte relaties tussen het productiestadium, de buitentemperatuur en het ventilatie-debiet weergegeven. Deze relaties zijn bepaald met behulp van het simulatieprogramma ANIPRO (Van Ouwerkerk, 1999).

Voor gegevens van het buitenklimaat is in dit onderzoek gebruik gemaakt van het Test Reference Year (TRY) (Lund, 1984).

4.1 Voorbeeldstallen

Met behulp van de ontwikkelde berekeningsmethode (bijlage 2) zijn een aantal voorbeeldstallen voor zowel vleesvarkens als zeugen doorgerekend. Er zijn verschillen in het ontwerp van het ventilatiesysteem tussen de verschillende voorbeeldstallen. Hierdoor wordt inzicht verkregen in de effecten van het ontwerp van het ventilatiesysteem op het energiegebruik.

Vleesvarkensstallen

De standaardvleesvarkensstal heeft twaalf afdelingen met 120 dieren per afdeling. Een schets van de stal is weergegeven in bijlage 6. De drukval over de luchtinlaat in alle afdelingen bedraagt bij maximale ventilatie 30 Pa. Er wordt uitgegaan van een gespreide opleg van de dieren (in alle afdelingen dieren met een andere leeftijd). De specificaties van de ventilatiesystemen worden per voorbeeldstal hierna verder beschreven.

Standaardvleesvarkensstal (vlv-1)

De belangrijkste kenmerken van afzuiging per afdeling zijn:

- per afdeling twee ventilatoren van 0,50 m diameter (maximaal opgenomen vermogen 472 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 7.200 m³/h luchtverplaatsing)

De belangrijkste kenmerken van centrale afzuiging zijn:

- per afdeling twee afzuigunits met een diameter van 0,50 m
- negen centrale ventilatoren met een diameter van 0,63 m (maximaal opgenomen vermogen 1350 W per ventilator, bij 100 Pa tegendruk en 13.555 m³/h luchtverplaatsing)
- opgenomen vermogen van de frequentieregelaar bij maximale ventilatie is 580 W
- doorstroemd oppervlak van het centrale luchtkanaal is 10 m²

De overige voorbeeldstallen wijken op één aspect af van de standaardvleesvarkensstal (voorbeeldstal vlv-1). De afwijkingen staan hierna beschreven.

Vleesvarkensstal met kleine afzuigunits (vlv-2)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken van afzuiging per afdeling zijn:

- per afdeling één ventilator van 0,56 m diameter (maximaal opgenomen vermogen 660 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 11.012 m³/h luchtverplaatsing)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- per afdeling één afzuigunit met een diameter van 0,56 m

Door één ventilator/afzuigunit van 0,56 m toe te passen worden de investeringskosten lager. In deze voorbeeldstal is de luchtsnelheid in de afzuigunits, en dus de drukval, echter wel hoger dan bij vlv-1. Bij maximale ventilatie zijn de luchtsnelheden bij vlv-1 en vlv-2 respectievelijk 7 m/s en 11 m/s.

Vleesvarkensstal met ruime afzuigunits (vlv-3)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken van afzuiging per afdeling zijn:

- per afdeling twee ventilatoren van 0,56 m diameter (maximaal opgenomen vermogen 660 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 11.012 m³/h luchtverplaatsing)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- per afdeling twee afzuigunits met een diameter van 0,56 m

In deze voorbeeldstal is de luchtsnelheid in de afzuigunits lager dan bij vlv-1, waardoor ook de drukval in het systeem lager zal zijn. Bij maximale ventilatie is de luchtsnelheid ongeveer 5,5 m/s. In deze situatie dient de mogelijkheid aanwezig te zijn één van de twee afzuigunits te kunnen afsluiten, omdat anders de minimale ventilatiehoeveelheid te laag is om betrouwbaar te kunnen meten.

Vleesvarkensstal all-in all-out (vlv-4)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken zijn (zowel bij afzuiging per afdeling als bij centrale afzuiging):

- alle afdelingen worden tegelijk opgelegd en afgeleverd

Alle afdelingen in vlv-4 hebben een gelijke ventilatiebehoefte. Dit voorkomt dat de hoogst vragende afdeling een hoge stand van de centrale ventilatoren vergt en dat in de overige afdelingen gesmoord moet worden.

Vleesvarkensstal met gelijktijdigheid van 70% (vlv-5)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- zes centrale ventilatoren met een diameter van 0,63 m (maximaal opgenomen vermogen 1350 W per ventilator, bij 100 Pa tegendruk en 13.555 m³/h luchtverplaatsing)
- doorstroomd oppervlak van het centrale luchtkanaal is 8 m²
- opgenomen vermogen van de frequentieregelaar bij maximale ventilatie is 425 W

Omdat in de praktijk nooit alle afdelingen tegelijk een maximale ventilatiebehoefte zullen hebben, wordt vaak gebruik gemaakt van de zogenaamde "gelijktijdigheid". Hierbij wordt het ventilatiesysteem gedimensioneerd op maximale ventilatie in bijvoorbeeld 70% van de afdelingen (vlv-5) en is er dus een geringer aantal centrale ventilatoren noodzakelijk. Ook bij het ontwerp van het centrale luchtkanaal is hiermee rekening gehouden, waardoor de investeringskosten lager zijn. Deze case heeft geen betrekking op een staluitvoering met afzuiging per afdeling.

Vleesvarkensstal met grondbuizen (vlv-6)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken zijn (zowel bij afzuiging per afdeling als bij centrale afzuiging):

- de drukval over de luchtinlaat in alle afdelingen bedraagt bij maximale ventilatie 60 Pa

In een stal met grondbuizen is de drukval over de luchtinlaat groter. Deze drukval moet door de ventilatoren overwonnen worden en heeft dus invloed op het energiegebruik voor ventilatie.

Overigens zijn de effecten van de grondbuizen op het binnenklimaat en de ventilatiebehoeftes *niet* meegenomen.

Kleine vleesvarkensstal (vlv-7)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken zijn (zowel bij afzuiging per afdeling als bij centrale afzuiging):

- zes afdelingen met 120 dieren per afdeling

De van vlv-1 afwijkende kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- vijf centrale ventilatoren met een diameter van 0,63 m (maximaal opgenomen vermogen 1350 W per ventilator, bij 100 Pa tegendruk en 13.555 m³/h luchtverplaatsing)
- opgenomen vermogen van de frequentieregelaar bij maximale ventilatie is 280 W
- doorstroomd oppervlak van het centrale luchtkanaal is 5 m²

Door een ander soort stal te kiezen verandert het ontwerp van de centrale afzuiging. Door afrondingen, bijvoorbeeld bij bepaling van het aantal centrale ventilatoren, kunnen verschillen in energiegebruik per dierplaats optreden.

Vleesvarkensstal met vijf centrale ventilatoren (vlv-8)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- vijf centrale ventilatoren met een diameter van 0,80 m. Hiervoor gelden andere specificaties dan opgenomen in figuur 8 in bijlage 1 (maximaal opgenomen vermogen 2290 W per ventilator, bij 100 Pa tegendruk en 25.000 m³/h luchtverplaatsing)

Toepassing van andere (grotere) ventilatoren heeft mogelijk invloed op het energiegebruik van de centrale afzuiging. Deze case heeft geen betrekking op een staluitvoering met afzuiging per afdeling.

Vleesvarkensstal met vier centrale ventilatoren (gelijktijdigheid van 80%) (vlv-9)

De van vlv-1 afwijkende kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- vier centrale ventilatoren met een diameter van 0,80 m. Hiervoor gelden andere specificaties dan opgenomen in figuur 8 in bijlage 1 (maximaal opgenomen vermogen 2290 W per ventilator, bij 100 Pa tegendruk en 25.000 m³/h luchtverplaatsing)
- doorstroomd oppervlak van het centrale luchtkanaal is 8 m²

Door afrondingen bij bepaling van het aantal centrale ventilatoren kunnen verschillen in energiegebruik per dierplaats optreden. Naar beneden afronden leidt tot lagere investeringskosten en heeft ook invloed op het energiegebruik. In feite betekent naar beneden afronden gebruik maken van de "gelijktijdigheid". Deze case heeft geen betrekking op een staluitvoering met afzuiging per afdeling.

Zeugenstallen

Een schets van de standaardzeugenstal voor 150 productieve zeugen is weergegeven in bijlage 6. De drukval over de luchtinlaat in alle afdelingen bedraagt bij maximale ventilatie 30 Pa. De specificaties van de ventilatiesystemen worden per voorbeeldstal hierna verder beschreven.

Standaardzeugenstal (zgn-1)

De belangrijkste kenmerken van afzuiging per afdeling zijn:

- per kraamafdeling één ventilator met een diameter van 0,35 m (maximaal opgenomen vermogen 214 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 3.100 m³/h luchtverplaatsing)

- per biggenopfokafdeling één ventilator met een diameter van 0,35 m (maximaal opgenomen vermogen 214 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 3.100 m³/h luchtverplaatsing)
- één herstelafdeling met één ventilator met een diameter van 0,35 m (maximaal opgenomen vermogen 214 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 3.100 m³/h luchtverplaatsing)
- één dekaafdeling met 42 guste zeugen en met een afzuigunit met een diameter van 0,56 m (maximaal opgenomen vermogen 660 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 11.012 m³/h luchtverplaatsing)
- één afdeling met 92 drachtige zeugen en met twee afzuigunits met een diameter van 0,56 m (maximaal opgenomen vermogen 660 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 11.012 m³/h luchtverplaatsing)

De belangrijkste kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- per kraamafdeling één afzuigunit met een diameter van 0,35 m
- per biggenopfokafdeling één afzuigunit met een diameter van 0,35 m
- één herstelafdeling met een afzuigunit met een diameter van 0,35 m
- één dekaafdeling met 42 guste zeugen en met een afzuigunit met een diameter van 0,56 m
- één afdeling met 92 drachtige zeugen en met twee afzuigunits met een diameter van 0,56 m
- drie centrale ventilatoren met een diameter van 0,63 m (maximaal opgenomen vermogen 1350 W per ventilator, bij 100 Pa tegendruk en 13.555 m³/h luchtverplaatsing)
- opgenomen vermogen van de frequentieregelaar bij maximale ventilatie is 280 W
- doorstroomd oppervlak van het centrale luchtkanaal is 5 m²

De overige voorbeeldstallen wijken op één aspect af van de standaardzeugenstal (voorbeeldstal zgn-1). De afwijkingen staan hieronder genoemd.

Zeugenstal met kleine afzuigunits (zgn-2)

De van zgn-1 afwijkende kenmerken van afzuiging per afdeling zijn:

- één dekaafdeling met 42 guste zeugen en met één ventilator met een diameter van 0,50 m (maximaal opgenomen vermogen 472 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 7.200 m³/h luchtverplaatsing)
- één afdeling met 92 drachtige zeugen en met twee ventilatoren met een diameter van 0,50 m (maximaal opgenomen vermogen 472 W per ventilator, bij 30 Pa tegendruk en 7.200 m³/h luchtverplaatsing)

De van zgn-1 afwijkende kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- één dekaafdeling met 42 guste zeugen en met één afzuigunit met een diameter van 0,50 m
- één afdeling met 92 drachtige zeugen en met twee afzuigunits met een diameter van 0,50 m

Door in de dekaafdeling een kleinere ventilator/afzuigunit toe te passen worden de investeringskosten lager. In deze voorbeeldstal is de lichtsnelheid in de afzuigunits en dus ook de drukval hoger dan bij zgn-1.

Zeugenstal exclusief guste en drachtige zeugen (zgn-3)

De van zgn-1 afwijkende kenmerken van de centrale afzuiging zijn:

- de afdeling voor guste zeugen en de afdeling voor drachtige zeugen zijn voorzien van afzuiging per afdeling (vergelijkbaar met zgn-2), de biggenopfokafdelingen en de kraamafdelingen zijn voorzien van centrale afzuiging
- twee centrale ventilatoren met een diameter van 0,63 m (maximaal opgenomen vermogen 1350 W per ventilator, bij 100 Pa tegendruk en 13.555 m³/h luchtverplaatsing)
- opgenomen vermogen van de frequentieregelaar bij maximale ventilatie is 130 W

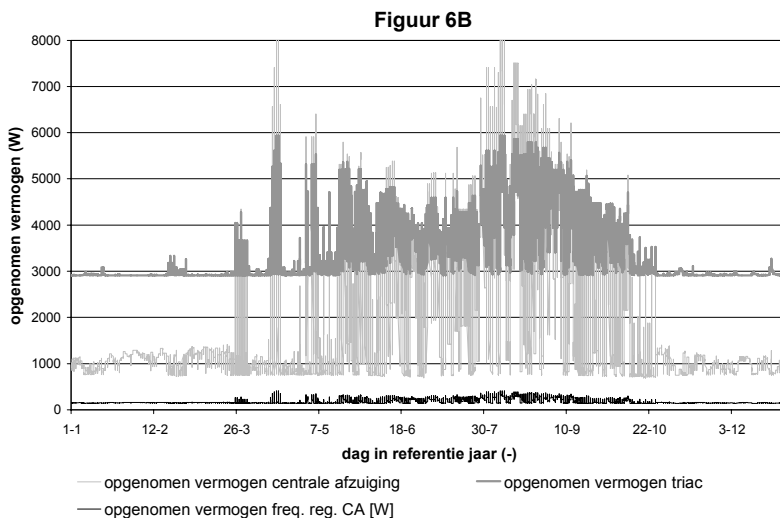
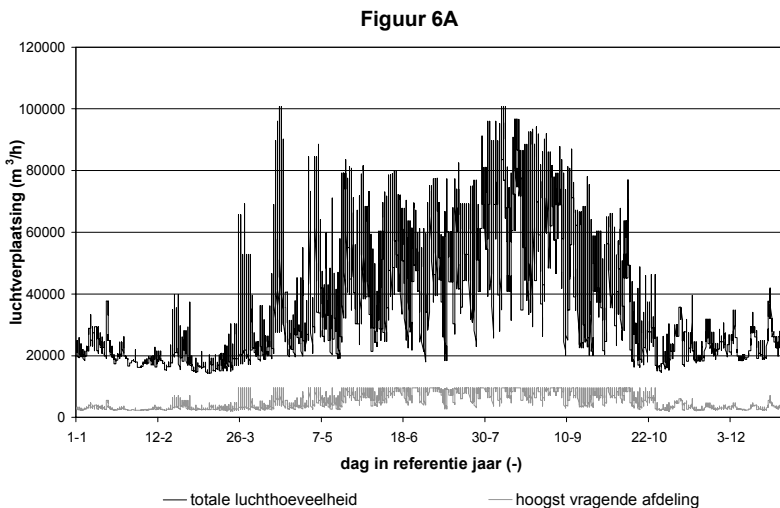
- doorstroomd oppervlak van het centrale luchtkanaal is 5 m²

Door de guste- en drachtige-zeugenafdeling niet aan te sluiten op de centrale afzuiging is het benodigde centrale luchtkanaal een stuk korter, waardoor op investeringskosten wordt bespaard. Voor deze twee afdelingen wordt geen gebruik gemaakt van de mogelijke energiebesparing. Deze case heeft geen betrekking op een staluitvoering met afzuiging per afdeling.

4.2 Berekeningen met het simulatiemodel

Enkele resultaten van de simulatie voor de standaardvleesvarkensstal (vlv-1) zijn in figuur 6 grafisch weergegeven.

Figuur 6 Grafische weergave van enkele simulatieresultaten van de standaardvleesvarkensstal (vlv-1)

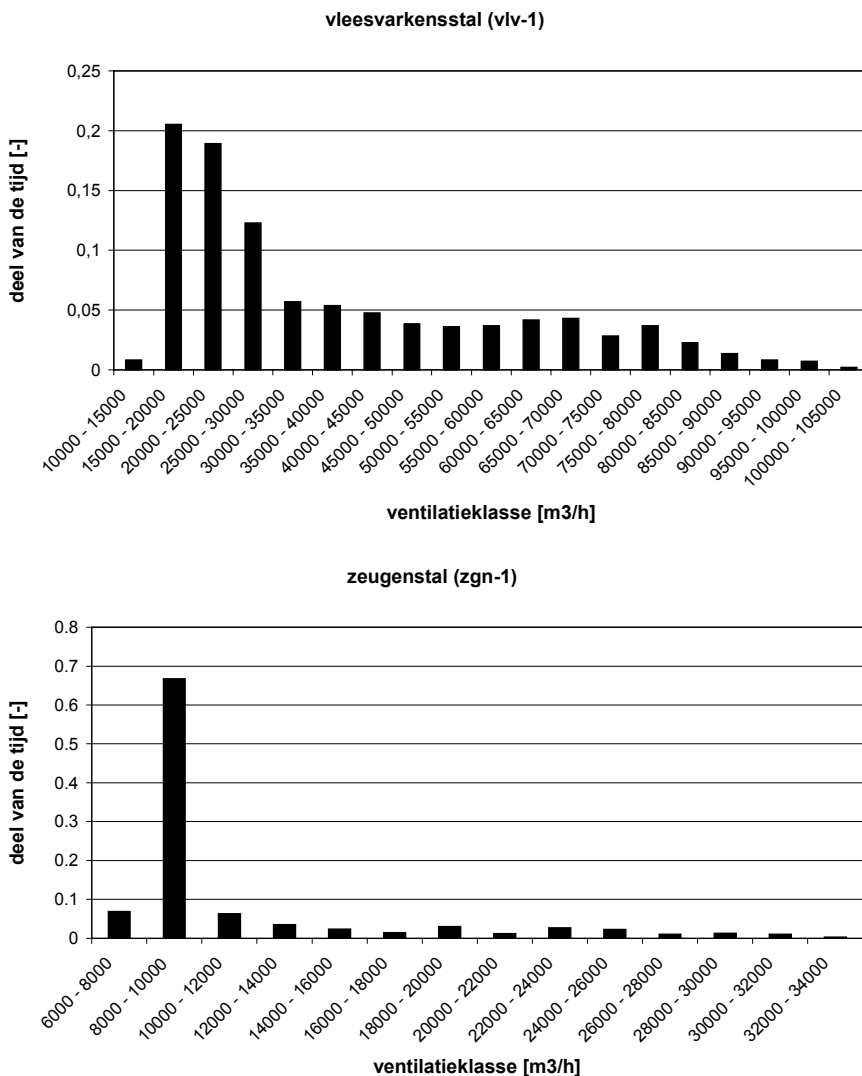


Uit figuur 6A kan de variatie in het ventilatiedebiet gedurende het jaar worden afgeleid. Er zijn snelle wisselingen ten gevolge van dag- en nachtverschillen. Ook zijn de seizoensinvloeden terug te vinden.

In figuur 6B is het energiegebruik van stal vlv-1 weergegeven voor de uitvoering met centrale afzuiging en de uitvoering met afzuiging per afdeling. Opvallend is dat tijdens warme periodes het energiegebruik van de centrale afzuiging uitstijgt boven het energiegebruik van afzuiging per afdeling.

Ook is in figuur 6B het opgenomen vermogen van de frequentieregelaar weergegeven. Uit de simulatie blijkt dat dit 9,3% van het totaal opgenomen vermogen van de centrale afzuiging bedraagt.

Figuur 7 Frequentieverdeling van de ventilatiebehoefte in de standaard vleesvarkensstal (vlv-1) en de standaard zeugenstal (zgn-1)



In de vleesvarkensstal wordt het grootste deel van de tijd, ongeveer 53%, minder dan 30.000 m³/h geventileerd. In 42% van de tijd ligt het ventilatiedebiet tussen 35.000 en 80.000 m³/h en in 5% van de tijd is het meer dan 80.000 m³/h. In de zeugenstal wordt in 73% van de tijd minder dan 10.000 m³/h geventileerd. Ventilatie debieten boven 20.000 m³/h komen slechts in 10% van de tijd voor.

In tabel 3 is het berekende energiegebruik voor alle voorbeeldstallen met vleesvarkens weergegeven.

Tabel 3 Het berekende energiegebruik bij afzuiging per afdeling en centrale afzuiging voor de verschillende voorbeeldstallen voor vleesvarkens, en de berekende energiebesparing (%) bij verschillende vergelijkingen

	Energiegebruik per jaar (kWh/dierplaats)				besparing ² %
	centrale afzuiging	afzuiging per afdeling	vergelijking c.a. ¹	triac	
<i>Centrale ventilatoren met een diameter van 0,63 m</i>					
Standaardvleesvarkensstal (vlv-1)	12,2	20,9	vlv-1	vlv-1	42
Vleesvarkensstal					
- met kleine afzuigunits (vlv-2)	20,6	15,6 ³			
- met ruime afzuigunits (vlv-3)	10,6	27,0	vlv-3	vlv-1	49
- all-in all-out (vlv-4)	14,6	20,9	vlv-4	vlv-4	30
- met gelijktijdigheid van 70% (vlv-5)	13,7	-	vlv-5	vlv-1	34
- met grondbuizen (vlv-6)	14,7	23,0	vlv-6	vlv-6	36
- kleine vleesvarkensstal (vlv-7)	13,2	21,2			
<i>Centrale ventilatoren met een diameter van 0,80 m</i>					
Vleesvarkensstal					
- met 5 centrale ventilatoren (vlv-8)	10,9 ³		vlv-8	vlv-2	30
- met 4 centrale ventilatoren (vlv-9)	11,7 ³	-	vlv-9	vlv-2	25

¹ c.a. = centrale afzuiging

² percentage bepaald door vergelijking zoals aangeduid in voorgaande kolommen, ((c.a. – triac) / triac)

³ deze voorbeeldstallen zijn meegenomen in de economische evaluatie

In de standaardvleesvarkensstal (vlv-1) is het berekend energiegebruik bij toepassing van centrale afzuiging 42% lager dan bij afzuiging per afdeling. Wanneer de twee afzuigunits met een diameter van 0,50 m echter vervangen worden door één afzuigunit met een diameter van 0,56 m (vlv-2), blijkt het energiegebruik bij centrale afzuiging aanzienlijk hoger te zijn dan bij afzuiging per afdeling. Bij afzuiging per afdeling blijkt dat één triac-geregelde ventilator met een diameter van 0,56 m (vlv-2) gunstiger in energiegebruik is dan twee triac-geregelde ventilatoren met een diameter van 0,50 m per afdeling (vlv-1).

In vlv-3 is uitgegaan van zeer ruime afzuigunits, waardoor de drukval in het systeem nog lager is dan bij vlv-1. Hierdoor neemt het energiegebruik verder af en bedraagt de besparing 49%. Voor de minimumventilatieregeling dient één van de twee afzuigunits geheel te worden afgesloten.

In de vrij theoretische voorbeeldstal vlv-4 is uitgegaan van dieren van dezelfde leeftijd in de gehele stal. Dit zal in de praktijk niet voorkomen, maar het geeft wel inzicht in de gevolgen van verschillende ventilatiebehoeften per afdeling op het energiegebruik van centrale afzuiging.

Uit de resultaten van voorbeeldstal vlv-4 blijkt dat het voordeel van een gelijke ventilatiebehoefte per afdeling, en dus minimaal smoren in de afzuigunits, geheel teniet wordt gedaan door het feit dat pieken in ventilatiebehoefte in de afdelingen nu samenvallen. Tijdens deze pieken is het energiegebruik van centrale afzuiging hoger dan bij afzuiging per afdeling. Bij lagere ventilatiebehoefte is centrale afzuiging wel energiezuiniger. De besparing in deze voorbeeldstal komt uit op 30%.

Bij een gespreide opleg van dieren zal nooit in alle afdelingen tegelijk een maximale ventilatiebehoefte zijn. Bij het ontwerp van het centrale luchtkanaal en het aantal centrale ventilatoren is hiermee reeds rekening gehouden, waardoor de investeringskosten lager zullen zijn door toepassing van gelijktijdigheid. Dit heeft tot gevolg dat de ventilatoren in een gemiddeld hoger toerental zullen draaien, waardoor het energiegebruik wat toeneemt ten opzichte vlv-1. De berekende besparing is 34%. Voorbeeldstal vlv-5 is niet relevant voor de situatie met afzuiging per afdeling, omdat bij afzuiging per afdeling geen sprake kan zijn van “gelijktijdigheid”.

Door toepassing van grondbuizen is in voorbeeldstal vlv-6 de drukval over de luchtinlaat verhoogd. Daardoor is het energiegebruik hoger, zowel bij centrale afzuiging als bij afzuiging per afdeling. Centrale afzuiging is 36% zuiniger dan afzuiging per afdeling.

Voorbeeldstal vlv-7 is vergelijkbaar met vlv-1. Dit komt tot uiting in het energiegebruik, dat in beide stallen redelijk overeenkomt.

Toepassing van vijf ventilatoren met een grotere diameter (voorbeeldstal vlv-8) leidt tot een 30% lager energiegebruik dan dat bij afzuiging per afdeling in vlv-2. Bij toepassing van vier ventilatoren met een diameter van 0,80 m bedraagt de energiebesparing 25%.

Uit de resultaten blijkt dat bij afzuiging per afdeling de optimale uitvoering van het ventilatiesysteem in de voorbeeldstal bestaat uit één ventilator met een diameter van 0,56 m. Bij centrale afzuiging is de uitvoering van het ventilatiesysteem met twee afzuigunits van 0,50 m doorsnede optimaler. Dit heeft gevolgen voor de keuzes die gemaakt zijn bij de vergelijkingen op basis waarvan besparingspercentages zijn uitgerekend. Voor de vergelijking zijn de optimale uitvoeringen van zowel afzuiging per afdeling als centrale afzuiging meegenomen in de economische berekening.

In tabel 4 is het berekende energiegebruik voor alle voorbeeldstallen met zeugen weergegeven.

Tabel 4 Het berekende energiegebruik bij afzuiging per afdeling en centrale afzuiging voor de verschillende voorbeeldstallen voor zeugen

Voorbeeldstal	Energiegebruik per jaar (kWh/gem. aanw.zeug)	
	Centrale afzuiging	Afzuiging per afdeling
Standaardzeugenstal (zgn-1)	28,7 ¹	77,4
Zeugenstal met kleine afzuigunits (zgn-2)	32,7	72,5 ¹
Zeugenstal excl. guste en drachtige zeugen (zgn-3)	42,4	-

¹deze voorbeeldstallen zijn meegenomen in de economische evaluatie

Bij de standaardzeugenstal bedraagt de berekende energiebesparing bij centrale afzuiging 63% (zgn-1). Deze besparing is veel hoger dan bij vleesvarkens, omdat in een zeugenstal gemiddeld op een lager niveau geventileerd wordt (zie figuur 7). Het lage ventilatieniveau is het gebied waarin de frequentieregelde ventilatoren ten opzichte van triac-geregelde ventilatoren relatief zeer gunstig zijn (zie bijlage 1).

Ook bij een zeugenstal is het duidelijk dat kleinere afzuigunits een verhoging van het energiegebruik tot gevolg hebben (zgn-2). Bij afzuiging per afdeling leiden kleinere ventilatoren duidelijk tot een verlaging van het energiegebruik. Bij een vergelijking van centrale afzuiging bij zgn-1 en afzuiging per afdeling bij zgn-2 blijkt de energiebesparing door toepassing van centrale afzuiging 60%.

De haalbare energiebesparing neemt af wanneer de dekaafdeling en de drachtige-zeugenafdeling niet aan het centrale afzuigstelsel gekoppeld zijn (zgn-3).

5 Economische evaluatie

In de economische berekening is een vergelijking gemaakt tussen de investeringskosten en de jaarlijkse kosten voor het ventilatiesysteem. Bij vleesvarkens is dit gedaan voor één voorbeeldstal met afzuiging per afdeling (vlv-2) en twee voorbeeldstallen met centrale afzuiging (vlv-8 en vlv-9). Bij zeugen zijn de jaarkosten van de voorbeeldstal zgn-1 met afzuiging per afdeling en de jaarkosten van zgn-2 met centrale afzuiging berekend. Voor deze voorbeeldstallen is gekozen omdat dit de meest waarschijnlijke uitvoeringen van de betreffende ventilatiesystemen zijn. De investeringskosten geven een overzicht van de kosten voor aanschaf van een bepaald ventilatiesysteem. De jaarlijkse kosten zijn de kosten voor rente, afschrijving en onderhoud die met deze investering samenhangen, plus de energiekosten.

De meeste uitgangspunten voor de berekening zijn te vinden in de vorige hoofdstukken. Andere uitgangspunten die zijn gehanteerd voor de economische berekening zijn:

- elektriciteitsprijs: f 0,25 per kWh (gemiddeld tarief incl. BTW (17,5%), KWIN-V 2000-2001); exclusief BTW is dit f 0,213 per kWh.

In bijlage 7 is nauwkeurig weergegeven hoe de economische berekening is uitgevoerd.

5.1 Vleesvarkensstallen

In tabel 5 zijn de kosten voor een vleesvarkensstal met kleine afzuigunits (vlv-2) per afdeling weergegeven. De totale jaarkosten voor het ventilatiesysteem bedragen f 8,79 per dierplaats, waarvan f 5,47 voor inventaris en f 3,32 voor elektriciteit. In tabel 6 zijn de kosten voor de vleesvarkensstal met vijf centrale ventilatoren weergegeven.

Tabel 5 Afzuiging per afdeling in vleesvarkenstal vlv-2: investerings- en jaarkosten van het ventilatiesysteem per dierplaats (exclusief BTW)

Onderdelen	Investeringskosten per vleesvarkenplaats (f)	Jaarkosten per vleesvarkenplaats (f)
Elektrische installatie	14,15	1,38
Klimaatcomputers	9,01	1,33
Ventilatoren en meet/smoorunits	13,44	2,12
Dakkokers en hulpstukken	6,53	0,65
Energie (15,6 kWh)		3,32
Totaal	43,12	8,79

Tabel 6 Centrale afzuiging in vleesvarkenstal vlv-8: investerings- en jaarkosten van het ventilatiesysteem per dierplaats (exclusief BTW)

Onderdelen	Investeringskosten per vleesvarkenplaats (f)	Jaarkosten per vleesvarkenplaats (f)
Luchtkanaal (10 m ²)	25,26 ¹	2,21
Elektrische installatie	11,46	1,12
Klimaatcomputers	9,80	1,45
Ventilatoren en meet/smoorunits	20,04	3,16
Dakkokers en hulpstukken	7,21	0,78
Energie (10,9 kWh)		2,32
Totaal	73,78	11,02

¹ overeenkomstig met investeringskosten van f 713,- per strekkende meter luchtkanaal

De totale jaarkosten voor het ventilatiesysteem bedragen f 11,02 per dierplaats, waarvan f 8,70 voor inventaris en f 2,32 voor elektriciteit. Vooral het luchtkanaal en de extra afzuigunits met regelkleppen (twee units per afdeling in plaats van één bij vlv-2) brengen aanzienlijke kosten met zich mee en zorgen voor beduidend hogere kosten dan bij afzuiging per afdeling in vlv-2 (tabel 5). In tabel 7 zijn de kosten voor de vleesvarkensstal met vier centrale ventilatoren weergegeven.

Tabel 7 Centrale afzuiging in vleesvarkenstal vlv-9: investerings- en jaarkosten van het ventilatiesysteem per dierplaats (exclusief BTW)

Onderdelen	Investeringskosten per vleesvarkenplaats (f)	Jaarkosten per vleesvarkenplaats (f)
Luchtkanaal (8 m ²)	22,73 ¹	1,99
Elektrische installatie	11,46	1,12
Klimaatcomputers	9,80	1,45
Ventilatoren en meet- en smoorunits	19,46	3,07
Dakkokers en hulpstukken	7,70	0,82
Energie (11,7 kWh)		2,49
Totaal	71,80	10,93

¹ overeenkomstig met investeringskosten van f 642,- per strekkende meter luchtkanaal

De totale jaarkosten voor het ventilatiesysteem bedragen f 10,93 per dierplaats, waarvan f 8,44 voor inventaris en f 2,49 voor elektriciteit.

Centrale afzuiging (vlv-9) levert weliswaar een besparing in energiekosten op van 30%, maar de hogere kosten van de inventaris zorgen voor een uiteindelijke toename in de totale jaarkosten van het ventilatiesysteem. De jaarkosten van centrale afzuiging liggen ruim 2 gulden per plaats hoger dan de jaarkosten bij afzuiging per afdeling. Het verschil in jaarkosten tussen vlv-8 en vlv-9 is zeer gering. De enigszins lagere jaarkosten voor ventilatoren in vlv-9 worden gecompenseerd door een iets hoger energiegebruik.

De genomen uitgangspunten bepalen in sterke mate de uitkomsten van de vergelijking. De meeste variatie wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in de investeringskosten van het centrale luchtkanaal, in het energiegebruik en in de geldende elektriciteitsprijs. In tabel 8 is een gevoeligheidsanalyse opgenomen, waarmee het effect van een wijziging in deze uitgangspunten wordt weergegeven. Bij wijziging van een van de uitgangspunten blijven de andere twee gelijk.

Tabel 8 Gevoeligheidsanalyse van de jaarkosten van een ventilatiesysteem bij wijziging in investeringskosten van het luchtkanaal, het energiegebruik en de elektriciteitsprijs

	Wijziging	Wijziging jaarkosten voor ventilatiesysteem per vleesvarkenplaats (excl. BTW)		
		Afzuiging per afd. vlv-2 (f)	C.a. vlv-8 (f)	C.a. vlv-9 (f)
Investeringskosten luchtkanaal	f 1,- per vlv ¹		0,09	0,09
Energiegebruik	1 kWh per vlv	0,22	0,22	0,22
Elektriciteitsprijs	f 0,01 per kWh	0,14	0,09	0,10

¹ overeenkomstig met een wijziging in investeringskosten van f 28,- per strekkende meter luchtkanaal

Voor iedere f 1,- die per dierplaats bespaard wordt op het centrale luchtkanaal, zijn de jaarkosten f 0,09 lager.

Een wijziging van het energiegebruik geeft per kWh een verschil van f 0,22 per dierplaats. Het effect van de elektriciteitsprijs is per voorbeeldstal verschillend door het verschil in energiegebruik. Een wijziging van f 0,01 per kWh levert per dierplaats een wijziging op van f 0,14 bij vlv-2, f 0,09 bij vlv-8 en f 0,10 bij vlv-9.

Dit betekent dat de extra jaarkosten van het ventilatiesysteem van vlv-9 ten opzicht van vlv-2 (f 10,93 – f 8,79 = f 2,14) gecompenseerd worden als de prijs van een kWh met f 0,53 stijgt. Bij een daling van de investeringskosten voor het centrale luchtkanaal van f 665,- per strekkende meter, worden de extra jaarkosten van vlv-9 ten opzichte van vlv-2 eveneens gecompenseerd. Uitgangspunt was echter dat de investering voor het centrale luchtkanaal f 642,- per strekkende meter bedroeg. Het is dus niet reëel de extra jaarkosten terug te verdienen door de stijgende elektriciteitsprijs of een goedkoper centraal luchtkanaal.

5.2 Zeugenstallen

In bijlage 8 is nauwkeurig weergegeven hoe de economische berekening voor de zeugenstal is uitgevoerd.

In tabel 9 staan de kosten voor een zeugenstal met kleine afzuigunits (zgn-2) per afdeling. De totale jaarkosten voor het ventilatiesysteem bedragen f 74,81 per gemiddeld aanwezige zeug, waarvan f 59,38 voor inventaris en f 15,43 voor elektriciteit.

Tabel 9 Afzuiging per afdeling in zeugenstal zgn-2: investerings- en jaarkosten van het ventilatiesysteem per gemiddeld aanwezige zeug (exclusief BTW)

Onderdelen	Investeringskosten per zeugenplaats (f)	Jaarkosten per zeugenplaats (f)
Elektrische installatie	146,67	14,30
Klimaatcomputers	110,16	16,25
Ventilatoren en meet/smoorunits	143,56	22,61
Dakkokers en hulpstukken	63,73	6,22
Energie (72,5 kWh)		15,43
Totaal	464,12	74,81

In tabel 10 zijn de kosten voor de zeugenstal met drie centrale ventilatoren weergegeven. De totale jaarkosten bedragen f 67,81 per gemiddeld aanwezige zeug, waarvan f 61,70 voor inventaris en f 6,11 voor elektriciteit.

Tabel 10 Centrale afzuiging in zeugenstal zgn-1: investerings- en jaarkosten van het ventilatiesysteem per gemiddeld aanwezige zeug (exclusief BTW)

Onderdelen	Investeringskosten per zeugenplaats (f)	Jaarkosten per Zeugenplaats (f)
Luchtkanaal (5 m ²)	171,18 ¹	14,98
Elektrische installatie	120,00	11,70
Klimaatcomputers	93,72	13,82
Ventilatoren en meet/smoorunits	109,68	17,27
Dakkokers en hulpstukken	36,05	3,92
Energie (28,7 kWh)		6,11
Totaal	530,63	67,81

¹ overeenkomstig met investeringskosten van f 535,- per strekkende meter luchtkanaal

Het luchtkanaal brengt aanzienlijke kosten met zich mee, maar op de andere onderdelen van de huisvesting wordt bespaard. De vaste jaarkosten van het ventilatiesysteem (exclusief energiekosten) zijn bij centrale afzuiging slechts f 2,32 hoger dan bij afzuiging per afdeling. De besparing op elektriciteitskosten is echter f 9,32, waardoor de totale kosten bij centrale afzuiging f 7,- per zeug lager uitvallen.

De genomen uitgangspunten bepalen in sterke mate de uitkomsten van de vergelijking. Het effect van een wijziging in deze uitgangspunten wordt in tabel 11 weergegeven. Bij wijziging van een van de uitgangspunten blijven de andere twee gelijk..

Tabel 11 Gevoeligheidsanalyse van de jaarkosten van een ventilatiesysteem bij wijziging in investeringskosten van het luchtkanaal, het energiegebruik en de elektriciteitsprijs

	Wijziging	Wijziging jaarkosten voor ventilatiesysteem per gemiddeld aanwezige zeug (excl. BTW)	
		Afzuiging per afd. zgn-2 (f)	Centrale afzuiging zgn-1 (f)
Investeringskosten luchtkanaal	f 1,- per zeug ¹		0,09
Energiegebruik	1 kWh per zeug	0,21	0,21
Elektriciteitsprijs	f 0,01 per kWh	0,61	0,24

¹ overeenkomstig met een wijziging in investeringskosten van f 3,13 per strekkende meter luchtkanaal

Voor iedere f 1,- die per zeug bespaard wordt op het centrale luchtkanaal, zijn de jaarkosten f 0,09 lager. Bij een stijging van de investeringskosten voor het centrale luchtkanaal van f 250,- per strekkende meter, worden de extra jaarkosten voor de inventaris van centrale afzuiging nog gecompenseerd door de lagere elektriciteitskosten.

Een wijziging in energiegebruik geeft per kWh een verschil van f 0,21 per zeug. Een wijziging van f 0,01 per kWh levert per zeug een wijziging op van f 0,61 bij afzuiging per afdeling en f 0,24 bij centrale afzuiging. Bij een stijgende elektriciteitsprijs wordt het verschil in kosten tussen afzuiging per afdeling en centrale afzuiging fors groter, ten voordele van centrale afzuiging.

6 Discussie en conclusies

Ten aanzien van de validatie van de berekeningsmethoden komen in de discussie puntsgewijs enkele zaken aan de orde.

6.1 Centrale afzuiging

Drukmeting

Voor de validatie van de berekeningsmethode voor centrale afzuiging zijn in één stal metingen uitgevoerd. Omdat de tegendruk niet is gemeten in het experimenteel onderzoek is in een berekening gepoogd een inschatting te maken van de optredende tegendrukken.

Verschillen tussen units

Per afdeling met centrale afzuiging werd de ventilatielucht afgezogen via twee afzuigunits. In één van de twee afzuigunits werd het ventilatiedebiet gemeten. Door kleine drukverschillen of door verschillen in klepstand tussen de twee units kunnen er echter verschillen in luchtdebiet optreden tussen de twee units. Deze zijn niet gemeten in dit onderzoek. De invloed wordt geacht gering te zijn, onder andere omdat dit kan leiden tot zowel een overschatting als een onderschatting van het ventilatiedebiet.

Minimumstand

Ten tijde van een lage stand van de centrale ventilatoren kwam het opgenomen vermogen van de installatie niet onder 12,5 kWh per dag. De berekening gaf een lager resultaat, omdat hierin geen rekening gehouden was met de minimale stand van de centrale ventilatoren en het daarbij behorende minimale energiegebruik.

Storing

In de periode tussen 18-6-2000 en 4-7-2000 was er een storing aan het centrale afzuigstelsel, waardoor het energiegebruik snel toenam met ongeveer 30%. Deze dagen zijn niet meegenomen in de vergelijking tussen berekeningmethodiek en meting, maar geven wel aan dat een storing in één van de afdelingen met het centrale afzuigstelsel kan leiden tot een aanzienlijke verhoging van het energiegebruik. Dit illustreert het belang van een goed werkend controle- en alarmeringssysteem.

In de berekeningsmethode is rekening gehouden met de minimumstand van de centrale ventilatoren. Ook zijn dagen van storing uit de meetdata verwijderd. Ondanks dat de tegendrukberekening niet gevalideerd kon worden en dat verschillen in het luchtdebiet tussen de twee afzuigunits niet inzichtelijk gemaakt zijn, blijkt uit het resultaat van de berekening van het energiegebruik dat het berekeningsresultaat sterk overeenkomt met het resultaat van de meting.

6.2 Afzuiging per afdeling

Verschillen tussen afdelingen

Voor afzuiging per afdeling is gebruik gemaakt van meetgegevens van drie verschillende afdelingen. Omdat in dit onderzoek alléén is gekeken naar de ventilatie-apparatuur en het energiegebruik ervan, was het voor het verzamelen van validatiegegevens van ondergeschikt belang in welk type stallen met welke uitvoering de installaties precies aanwezig waren.

Ventilatorspecificaties

Er is gebruik gemaakt van één relatie tussen het percentage van de maximale luchtverplaatsing en het percentage van het maximaal opgenomen vermogen voor alle ventilatoren (figuur 2). Uit windtunneltests van triac-geregelde ventilatoren komt ook wel eens een ongunstigere relatie naar voren. De lijn van opgenomen vermogen bij een bepaalde ventilatiestand ligt dan wat hoger, waardoor het berekende energiegebruik bij triac-regeling per afdeling aanzienlijk hoger kan uitkomen. Tussen verschillende ventilatortypes, -merken en -diameters zijn er verschillen, maar over het algemeen vertonen axiaalventilatoren een vergelijkbaar verband.

De vergelijking tussen de resultaten van de berekening en de meting geeft aan dat er voor enkele rondes redelijk grote verschillen zijn (tot een afwijking van meer dan 30%), waarbij de berekening het energiegebruik soms onderschat en soms overschat. Er is geen eenduidige verklaring voor de grote verschillen, maar ze zijn mogelijk veroorzaakt door een toevallige verkleining (schotten voor luchtinlaatopeningen) of vergroting (deur open) van de luchtinlaat gedurende de betreffende ronde. Voor de meeste rondes was het verschil echter zeer klein. Gemiddeld over alle rondes en alle afdelingen was de afwijking -1%.

6.3 Simulatiemodel

In het simulatiemodel is gebruik gemaakt van een inschatting van het ventilatiedebiet bij een bepaalde diercategorie, dagnummer en buitentemperatuur. Dit zijn de drie belangrijkste invloedsvariabelen. Andere invloedsvariabelen, zoals zoninstraling, voorverwarming van de lucht op de centrale gang of veranderende weerstand ten gevolge van windinvloeden zijn niet meegenomen, maar hebben wel invloed op het ventilatiedebiet. Ook zijn de ventilatie-instellingen in de klimaatcomputer van grote invloed op het ventilatiedebiet. Voor vleesvarkens zijn alle simulaties uitgevoerd bij een gelijke afdelingsgrootte van 120 dierplaatsen.

Voor de minimumventilatie in de afdeling dient rekening gehouden te worden met de luchtsnelheid in de afzuigunits. Als bij voorbeeldstal vlv-1 de minimumventilatie wordt gebaseerd op 0,5 m/s in de afzuigunit, betekent dit dat het minimum-luchtdebiet per vleesvarken gelijk is aan 5,9 m³/h, dus hoger dan in bijlage 5 staat aangegeven. Dit illustreert het spanningsveld tussen een nauwkeurige debietmeting en lage luchtsnelheden in de afzuigunit. Een lage luchtsnelheid leidt tot een lagere drukval in de afzuigunits en ook tot een lager energiegebruik. Omdat de huidige meetwaaiers een luchtsnelheid onder de 0,5 m/s (nog) niet betrouwbaar kunnen meten, wordt het regelbereik dus bepaald door de luchtsnelheid in de unit bij maximale ventilatie. Als deze 7 m/s is (100%), is de minimumventilatie 7% van het maximum. Als deze 10 m/s is (100%), is de minimumventilatie 5% van het maximum. Dit kan ondervangen worden door met twee afzuigunits te werken waarvan er één geheel afgesloten kan worden.

In het simulatiemodel is uitgegaan van een regeling van de centrale ventilatoren op basis van hoogst vragende afdeling. Dit is namelijk energetisch de meest optimale regeling, omdat de drukval continu geminimaliseerd wordt. Dit uitgangspunt is bepalend voor het energiegebruik van de installatie. De resultaten zeggen dan ook niet veel over centrale afzuigsystemen met andere regelingen. Regeling op basis van hoogst vragende afdeling zal voor wat betreft het energiegebruik altijd als gunstigste naar voren komen, omdat de regeling minimaliseert naar energiegebruik. Verder geldt dat de berekeningen gedaan zijn met behulp van specificaties van Fancom ventilatoren. Afhankelijk van de leverancier kunnen specificaties van ventilatoren afwijken, waardoor het energiegebruik wat kan afwijken van de hier gepresenteerde getallen. De verschillen tussen de verschillende voorbeeldstallen zijn echter illustratief voor installaties van alle merken.

De dimensies van het centrale luchtkanaal zijn in de simulaties bepaald met als uitgangspunt dat de lucht uit alle afdelingen naar één kant van het centrale luchtkanaal stroomt en daar door de ventilatoren naar buiten wordt geblazen. Als de ventilatoren verdeeld worden over het luchtkanaal hoeft niet alle lucht naar één zijde van de stal, waardoor de benodigde dimensies en daarmee ook de kosten voor het centrale luchtkanaal zullen afnemen. Verdeling van de ventilatoren over het luchtkanaal ondermijnt echter twee belangrijke voordelen van centrale afzuiging, namelijk verlegging van het emissiepunt en de mogelijke toepassing van luchtwassers.

Het ontwikkelde simulatiemodel is uitermate geschikt om op een snelle en efficiënte manier een goede inschatting te verkrijgen van het energiegebruik van een stal met centrale afzuiging of met afzuiging per afdeling. Alle mogelijke combinaties van afdelingen en uitvoeringen van het centrale afzuigstelsel kunnen op een eenvoudige wijze doorgerekend worden.

6.4 Economische evaluatie

Uit de economische evaluatie blijkt dat voor een vleesvarkensstal met twaalf afdelingen van 120 vleesvarkens afzuiging per afdeling met één ventilator met een diameter van 0,56 m de laagste jaarkosten geeft (f 8,79 per vleesvarkensplaats per jaar). Centrale afzuiging in een dergelijk stal geeft weliswaar 30% lagere energiekosten, maar ten gevolge van hogere investeringskosten zijn de jaarkosten van centrale afzuiging ruim f 2,- per plaats hoger. Bij de doorgerekende zeugenstal voor 150 productieve zeugen zijn de jaarkosten bij centrale afzuiging f 7,- per gemiddeld aanwezige zeug lager dan bij afzuiging per afdeling. Bij grotere zeugenstallen zal de besparing als gevolg van toepassing van centrale afzuiging door schaalvoordelen toenemen.

Opgemerkt moet worden dat zowel bij afzuiging per afdeling als bij centrale afzuiging de precieze technische uitvoering van het systeem uiteindelijk ook afhangt van de leverancier, waardoor variatie kan optreden in investeringskosten. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de kosten voor het centrale luchtkanaal en de elektriciteitsprijs grote invloed hebben op de jaarkosten.

6.5 Wel of geen centrale afzuiging?

Er zijn een aantal goede redenen die ten grondslag kunnen liggen aan de keuze voor centrale afzuiging. Naast energiebesparing zijn de belangrijkste redenen: een goede inpasbaarheid van luchtwassers, de mogelijkheid om het emissiepunt te verleggen en de mogelijkheden die ontstaan ten aanzien van mestverdamping/mestdroging met ventilatielucht, iets wat momenteel nog in een experimentele fase verkeert.

Behalve de hogere investeringskosten kan ook de hogere geluidsproductie van de grote ventilatoren een nadeel van centrale afzuiging zijn. Voor milieuvergunningen is het belangrijk de geluidsproductie van deze ventilatoren te beperken. Door de verschillende leveranciers zijn geluidsarme ventilatoren en geluidsdempers ontwikkeld.

Een ander nadeel van centrale afzuiging is dat een storing in de centrale ventilatoren gevolgen heeft voor de ventilatie in alle afdelingen met centrale afzuiging. Wanneer er bijvoorbeeld één centrale ventilator uitvalt, kan de ventilatorkoker van de kapotte ventilator als luchtinlaat gaan werken, waardoor de ventilatie in de afdeling af zal nemen en in de gehele stal problemen kunnen ontstaan. Terugslagkleppen in deze afzuigkoker kunnen deze problematiek verhelpen. Een goede werking van de apparatuur en de regeling is van zeer groot belang voor een goede ventilatie in alle afdelingen die aangesloten zijn op het centrale luchtkanaal.

Bij alle ventilatie-apparatuur, maar zeker bij centrale afzuiging geldt dat de alarmering op storing of uitvallen van de installatie van zeer groot belang is.

Een misverstand is dat door toepassing van centrale afzuiging de minimumventilatie beter geregeld zou kunnen worden. Wanneer een ventilatorkoker of een afzuigunit is voorzien van een automatische regelklep en een meetwaaier is slechts de diameter van de unit/koker en het aantal units/kokers bepalend voor de minimumventilatie. De luchtsnelheid in de unit/koker mag namelijk voor een stabiele meting van de ventilatie nooit lager worden dan 0,5 m/s. Alléén die waarde is bepalend voor het minimale stabiele ventilatiedebiet.

Een belangrijk voordeel van centrale afzuiging is energiebesparing. Als echter geen gebruik gemaakt wordt van de andere voordelen van centrale afzuiging, zijn er goedkopere alternatieven. Deze alternatieven kunnen ook een aanzienlijke energiebesparing realiseren, maar hebben lagere investeringskosten. Een voorbeeld is het toepassen van één centrale frequentieregelaar die meerdere ventilatoren per afdeling aanstuurt, een systeem dat is beschreven door Van Wagenberg en Hoofs (2000) en waarbij de besparing kan oplopen tot bijna 70% ten opzichte van afzuiging per afdeling met triac-geregelde ventilatoren. Daarnaast zijn er frequentieregelaars per afdeling waarmee een aanzienlijke energiebesparing gehaald kan worden. Door het gebruik van steeds grotere afdelingen wordt frequentieregeling per afdeling eerder een interessante optie, omdat de duurdere frequentieregeling dan voor meer dierplaatsen ingezet wordt. Ook zijn er regelingen die meer gebruik maken van de natuurlijk trek in een afdeling, waarbij een besparing van 60% gehaald kan worden (Huijben *et al.*, 2001).

6.6 Conclusies

- De ontwikkelde berekeningsmethoden voor bepaling van het energiegebruik bij afzuiging per afdeling met triac-regeling en centrale afzuiging met frequentieregeling geven een vergelijkbaar resultaat als metingen aan beide systemen. De gemiddelde afwijking tussen meting en berekening was voor centrale afzuiging minder dan 5% en voor afzuiging per afdeling minder dan 1%.
- Uit de voorbeeldstallen die zijn doorgerekend blijkt dat de precieze uitvoering van de installatie, zoals het aantal centrale ventilatoren en met name de diameter van de afzuigunits, zeer bepalend is voor het energiegebruik in een stal. Voor afzuiging per afdeling is bijvoorbeeld één ventilator met een diameter van 0,56 m het gunstigst, bij centrale afzuiging zijn twee afzuigunits met een diameter van 0,50 m het gunstigst.
- Uit een vergelijking tussen een stal met “optimale” afzuiging per afdeling en “optimale” centrale afzuiging blijkt dat het energiegebruik van centrale afzuiging bij vleesvarkens zo’n 30% lager is dan van afzuiging per afdeling. Bij een zeugenstal is de haalbare energiebesparing dan 60%.
- De jaarkosten van centrale afzuiging zijn ruim f2,- per vleesvarkensplaats hoger dan die van afzuiging per afdeling. Wanneer energieprijzen toenemen of wanneer er bespaard kan worden op kosten voor het centrale luchtkanaal wordt het verschil in jaarkosten tussen centrale afzuiging en afzuiging per afdeling snel kleiner, maar het is niet reëel de extra jaarkosten hiermee terug te verdienen.
- Voor de standaardzeugenstal zijn de jaarkosten van het ventilatiesysteem bij toepassing van centrale afzuiging 7 gulden per zeug lager dan bij toepassing van afzuiging per afdeling.
- Wanneer alléén op basis van de haalbare energiebesparing gekozen wordt voor toepassing van centrale afzuiging wegen de kosten niet op tegen de baten. Wanneer er echter andere factoren een rol spelen, zoals het verleggen van het emissiepunt of het toepassen van luchtwassers, dan zijn deze factoren bepalend voor de keuze voor centrale afzuiging.

Literatuur

Cuyck, J.H.M van en R. Roozen. 1992. *Regeling van een ventilator met een frequentie-omvormer ten opzichte van een triacregeling*. Proefverslag nummer P4.2, Varkensproefbedrijf "Zuid- en West-Nederland", Sterksel

DLG, 1996. *Prüfberichte Stallventilatoren*

Huijben, J.J.H. en M.A.H.H. Smolders. 2001. *Hybride ventilatiesystemen*. Rapport in voorbereiding.

KWIN-V, 2000-2001. *Kwantitatieve informatie Veehouderij 2000-2001*. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Praktijkonderzoek Varkenshouderij en Praktijkonderzoek Pluimveehouderij

Li, J., A.J. Heber en G.L. Johnson. 1993. *Variable-speed fan performance with selected single- and three-phase motors*. Transactions of the ASAE Vol. 36(6) 1973 – 1978

Lund, H. 1984. *Test Reference Years*. CEC Programme Solar Energy

Microsoft Corp. 1997. *Microsoft Visual Basic*

Ouwerkerk, E.N.J. van. 1999. *ANIPRO klimaat- en energiesimulatiesoftware voor stallen*. Nota V99-109, IMAG, Wageningen

Wagenberg, A.V. van en A.I.J. Hoofs. 2000. *Monitoring van het energiegebruik in vleesvarkensstallen bij toepassing van frequentieregelaars op ventilatoren*. Proefverslag nummer P.1.240, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen

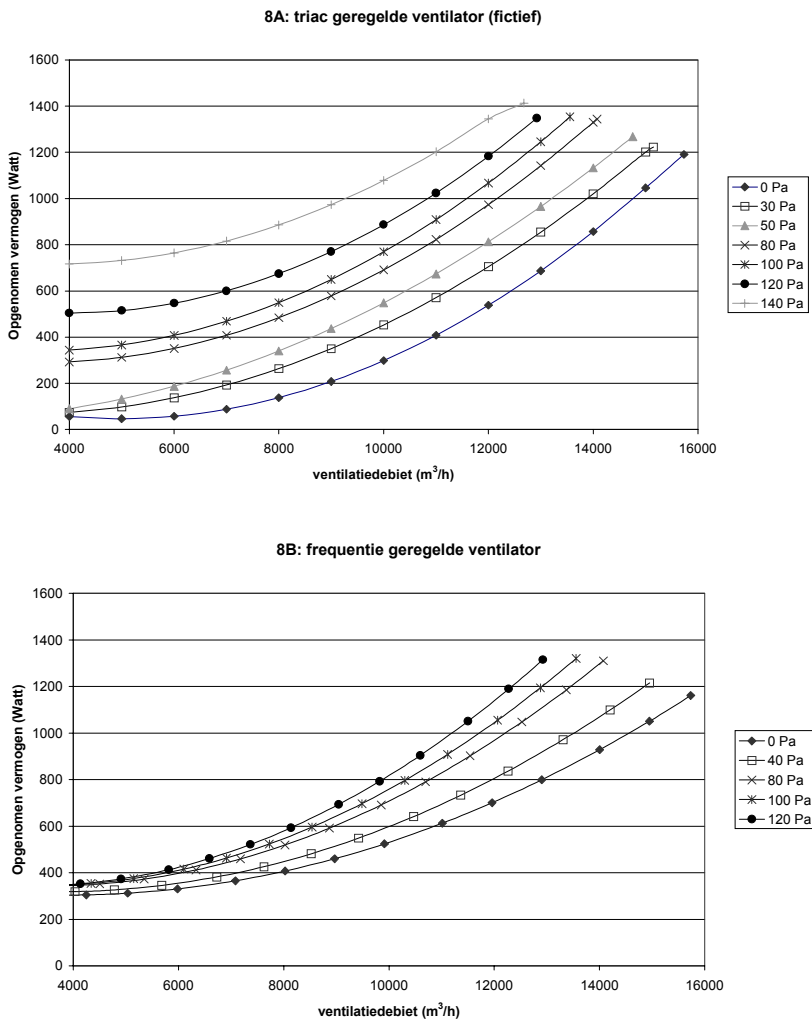
Wagenberg, A.V. van, J.H.C. Rooseboom, A.I.J. Hoofs, M.A.H.H. Smolders en P.F.M.M. Roelofs. 2000. *Het praktisch en technisch functioneren van mestpanventilatie in kraamafdelingen*. Proefverslag nummer P.1.241, Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen

Bijlagen

Bijlage 1 Specificaties ventilatoren

In de berekeningsmethoden van het energiegebruik van afzuiging per afdeling en van centrale afzuiging wordt gebruik gemaakt van de technische specificaties van ventilatoren. In figuur 8 is als voorbeeld het berekende opgenomen vermogen weergegeven van één ventilator met een diameter van 0,63 m. Voor zowel een triac-regeling als een frequentieregeling is de afhankelijkheid van tegendruk en ventilatiedebiet af te leiden. De grafiek van de triac-geregelde ventilator met een diameter van 0,63 m is fictief, omdat een ventilator met deze specificaties niet leverbaar is. Voor het verkrijgen van inzicht in de verschillen in specificaties van de ventilatoren is echter een plaatje voor beide regelingen bij dezelfde ventilator het meest illustratief.

Figuur 8 Opgenomen vermogen van een triac-(8A) en een frequentie(8B)geregelde ventilator (exclusief frequentieregelaar) bij verschillende tegendrukken en ventilatiedebieten (specificaties van Fancom 3463)



Bijlage 2 Berekeningsmethode voor energiegebruik centrale afzuiging

Met behulp van het ventilatiedebiet en de tegendruk is het mogelijk het opgenomen vermogen van de ventilatoren af te leiden uit figuur 8A (bijlage 1). Het ventilatiedebiet per ventilator is afhankelijk van de hoeveelheid verplaatste lucht in alle afdelingen aangesloten op het centrale luchtkanaal. De tegendruk is benaderd met een theoretische aanpak. De tegendruk van het gehele systeem wordt hiertoe opgesplitst in drie delen, namelijk:

- tegendruk over de luchtinlaat

$$\Delta p_{inl,t,i} = \Delta p_{inl,max,i} \cdot \left(\frac{Q_{t,i}}{Q_{max,i}} \right)^2$$

- tegendruk over de afzuigunit

$$\Delta p_{unit,t,i} = 0,5 \cdot \rho_l \cdot \left(\frac{Q_{t,i}}{A_{eff,t,i}} \right)^2$$

waarin:

$$A_{eff,t,i} = A_{unit,i} \cdot a_{t,i}$$

met:

$$a_{t,i} = (Q_t - Q_{min,i}) \cdot \left(\frac{a_{max} - a_{min}}{Q_{max,i} - Q_{min,i}} \right) + a_{min}$$

- tegendruk over het centrale luchtkanaal

$$\Delta p_{kan,t} = 0,5 \cdot \rho_l \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^{\#afd} Q_{t,i}}{A_{kan}} \right)^2$$

De totale tegendruk in het systeem wordt berekend volgens:

$$\Delta p_{tot,t} = \max(\Delta p_{afd,i} + \Delta p_{unit,t,i}) + \Delta p_{kan,t}$$

Verklaring van de variabelen:

$\Delta p_{inl,t,i}$	= drukval over de luchtinlaat i op tijdstip t	[Pa]
$\Delta p_{unit,t,i}$	= drukval over de afzuigunit in afdeling i op tijdstip t	[Pa]
$\Delta p_{kan,t}$	= drukval over het centrale luchtkanaal op tijdstip t	[Pa]
$\Delta p_{tot,t}$	= totale drukval in het centrale afzuigstelsel	[Pa]
$\Delta p_{inl,max,i}$	= drukval over luchtinlaat i bij maximale ventilatie	[Pa]
$Q_{t,i}$	= ventilatiedebiet in afdeling i op tijdstip t	[m ³ /h]
$Q_{max,i}$	= maximaal ventilatiedebiet in afdeling i	[m ³ /h]
ρ_l	= dichtheid van de lucht	[kg/m ³]

$A_{\text{eff},t,i}$	= effectief oppervlak van de opening tussen afdeling en centraal luchtkanaal in afdeling i op tijdstip t	[m ²]
$A_{\text{unit},i}$	= open oppervlak in de afzuigunit met de regelklep geheel open in afdeling i	[m ²]
$a_{t,i}$	= stand van de regelklep in afdeling i op tijdstip t	[m ²]
$Q_{\text{min},i}$	= minimale ventilatie in afdeling i	[m ³ /h]
$Q_{\text{max},i}$	= maximale ventilatie in afdeling i	[m ³ /h]
$a_{\text{min},i}$	= klepstand bij minimale ventilatie	[-]
$a_{\text{max},i}$	= klepstand bij maximale ventilatie	[-]
A_{kan}	= doorstroemd oppervlak van het centrale luchtkanaal	[m ²]

Het opgenomen vermogen van de frequentieregelaar wordt bepaald door de stand van de ventilatoren en berekend volgens:

$$P_{f.r.} = P_{f.r.,\text{max}} \cdot \left(0,2 + \left(0,8 \cdot \frac{P_{\text{vent}}}{P_{\text{vent},\text{max}}} \right) \right)$$

waarin:

$P_{f.r.}$	= opgenomen vermogen frequentieregelaar	[W]
$P_{f.r.,\text{max}}$	= maximaal opgenomen vermogen frequentieregelaar	[W]
P_{vent}	= opgenomen vermogen van de ventilatoren	[W]
$P_{\text{vent},\text{max}}$	= maximaal opgenomen vermogen van de ventilatoren	[W]

Bijlage 3 Omstandigheden tijdens de proef van centrale afzuiging en resultaten

Begindatum	27-4-2000	
Einddatum	28-11-2000	
Aantal waarnemingen (per 10 min. één waarneming)	29.900	
<i>Gemeten:</i>		
maximale totale luchthoeveelheid	38.857	m ³ /h
minimale totale luchthoeveelheid	8.258	m ³ /h
gemiddelde totale luchthoeveelheid	19.312	m ³ /h
maximaal debiet hoogst vragende afdeling ¹	7.581	m ³ /h
minimaal debiet hoogst vragende afdeling	2.457	m ³ /h
gemiddeld debiet hoogst vragende afdeling	4.851	m ³ /h
maximaal energiegebruik per dag	65,7	kWh/dag
minimaal energiegebruik per dag	11,8	kWh/dag
gemiddeld energiegebruik per dag	23,0	kWh/dag
<i>Berekend:</i>		
maximale tegendruk	96,6	Pa
minimale tegendruk	16,9	Pa
gemiddelde tegendruk	51,3	Pa
maximaal energiegebruik per dag	67,7	kWh/dag
minimaal energiegebruik per dag	12,5 (6,5 ²)	kWh/dag
gemiddeld energiegebruik per dag	21,0 (20,9 ²)	kWh/dag

¹ = 7.581 m³/h voor 108 vleesvarkens is 70 m³/h per vleesvarken

² = niet gecorrigeerd voor minimumstand van de frequentieregelaar van 12,5 kWh per dag

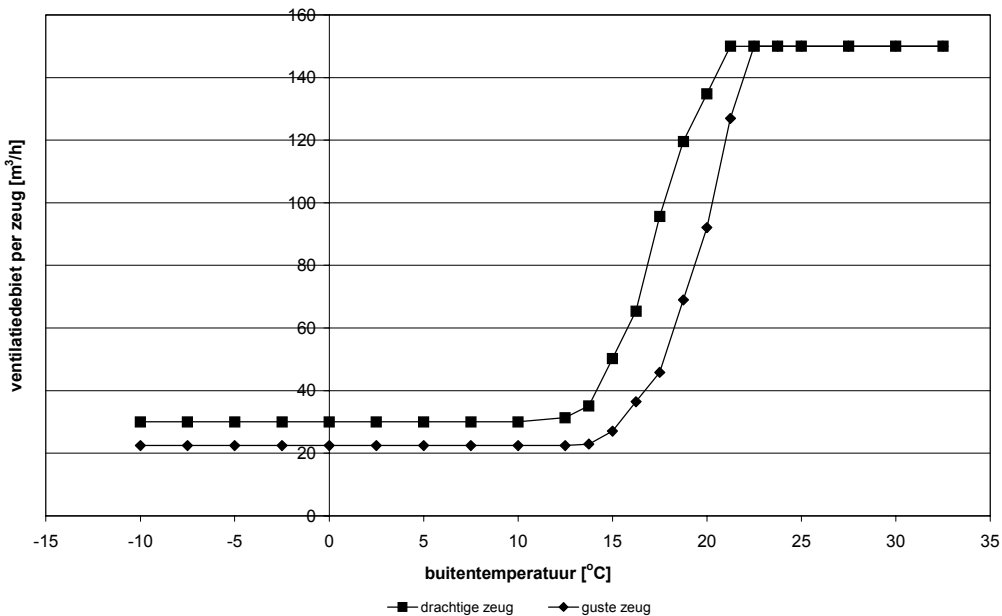
Bijlage 4 Resultaten van de validatie voor de berekeningsmethode voor het energiegebruik voor triac-geregelde ventilatoren

Ronde	Aanvangsdatum	Einddatum	Gem. debiet [m ³ /h]	Aantal waarn. [h]	Aantal missende waarn ¹ [h]	Berekend gebruik ² [kWh]	Gemeten gebruik [kWh]	Afwijking t.o.v. berekening %
Kraamafdeling met mestpanventilatie 1 Fancom exavent 35, max debiet 2508 m³/h, max vermogen 219 W								
1	02-04-98	29-04-98	1678	650	181	71,7	65,0	9,36
2	20-05-98	18-06-98	2240	698	11	121,9	96,6	20,73
3	03-07-98	06-08-98	1967	818	19	112,0	88,9	20,63
4	11-08-98	10-09-98	2050	722	129	105,7	82,2	21,23
5	01-10-98	27-10-98	1970	626	123	86,3	72,1	16,43
6	11-11-98	09-12-98	1502	674	4	61,5	59,2	3,67
7	31-12-98	27-01-99	1753	649	22	73,8	72,1	2,3
8	26-02-99	22-03-99	1589	577	0	58,8	57,2	2,72
Drachtige-zeugenafdeling met plafondventilatie, Fancom exavent 45, max debiet 5291 m³/h, max vermogen 374 W								
1	19-05-98	13-07-98	3931	1322	41	297,0	316,10	-6,43
2	10-09-98	06-12-98	2414	2088	256	252,5	308,00	-21,96
3	19-12-98	29-03-99	1709	2403	262	246,3	267,60	-8,63
Kraamafdeling met mestpanventilatie 2, Fancom exavent 35, max debiet 2723 m³/h, max vermogen 218 W								
1	10-04-98	24-04-98	2275	336	17	49,4	38,7	21,70
2	19-05-98	18-06-98	1883	720	23	79,8	74,0	7,32
3	11-08-98	10-09-98	2443	719	126	103,4	98,0	5,31
4	24-09-98	02-11-98	1637	933	176	74,7	86,0	-15,12
5	11-11-98	09-12-98	1688	675	4	64,6	66,3	-2,61
6	06-01-99	03-02-99	1904	677	22	74,9	86,0	-14,84
7	26-02-99	23-03-99	1740	599	0	60,7	58,0	4,40
8	19-11-99	10-12-99	1980	504	4	64,5	66,0	-2,25
9	24-12-99	28-01-00	1469	839	1	74,1	98,0	-32,34
10	04-02-00	02-03-00	1730	650	17	77,5	72,0	7,12
11	31-03-00	04-05-00	1637	816	67	80,0	90,0	-12,54
12	12-05-00	16-06-00	1904	843	27	108,1	102,0	5,64
totaal			19537	1531	2389,9	2420,0		-0,86

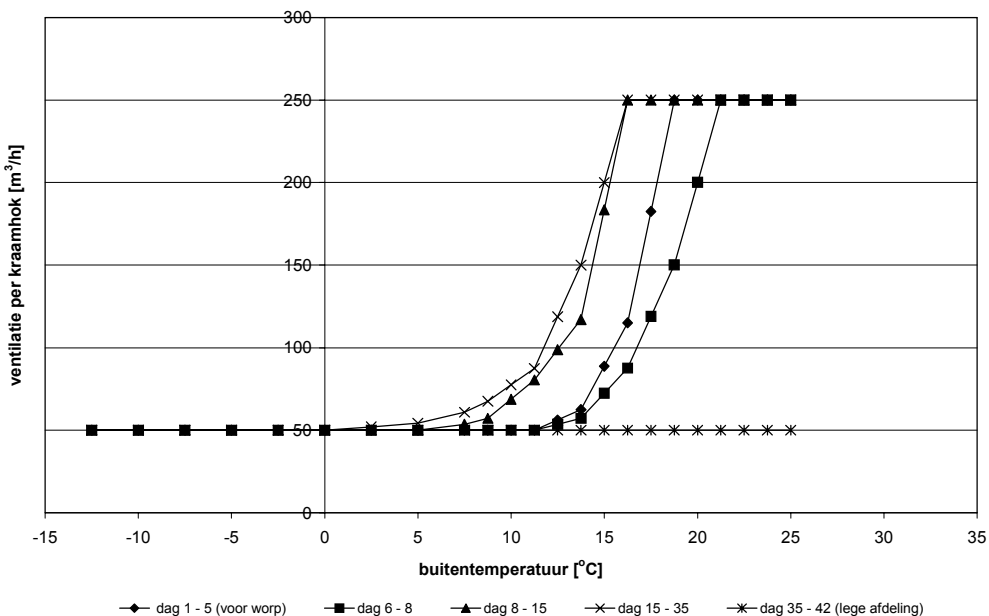
¹ ten gevolge van uitvallen van de registratie-apparatuur² gecorrigeerd voor missende gegevens

Bijlage 5 Berekend ventilatiedebit per diercategorie

Guste en drachtige zeugen

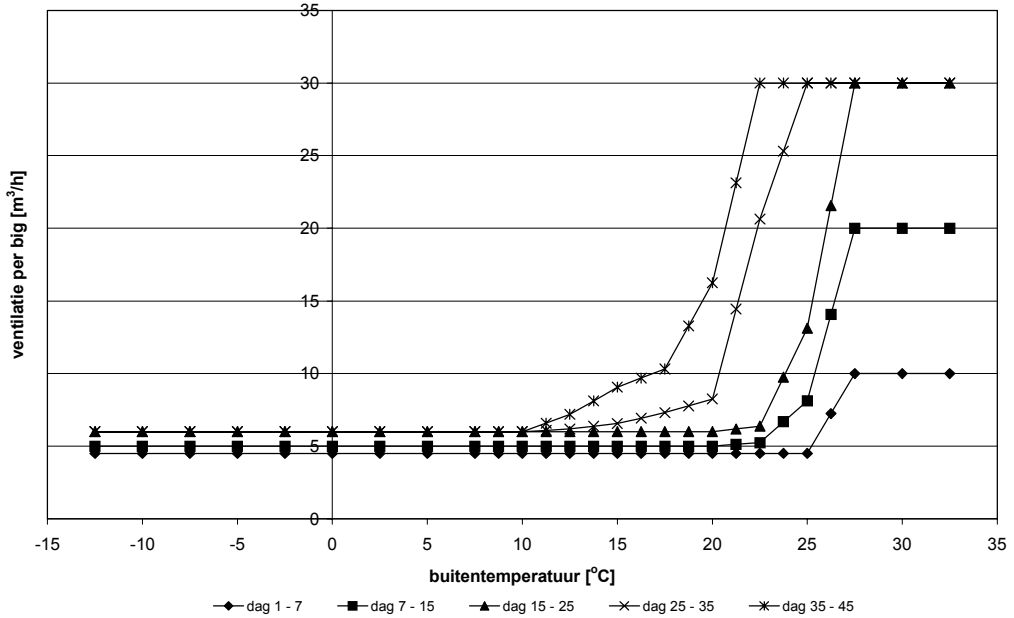


Kraamzeugen met biggen

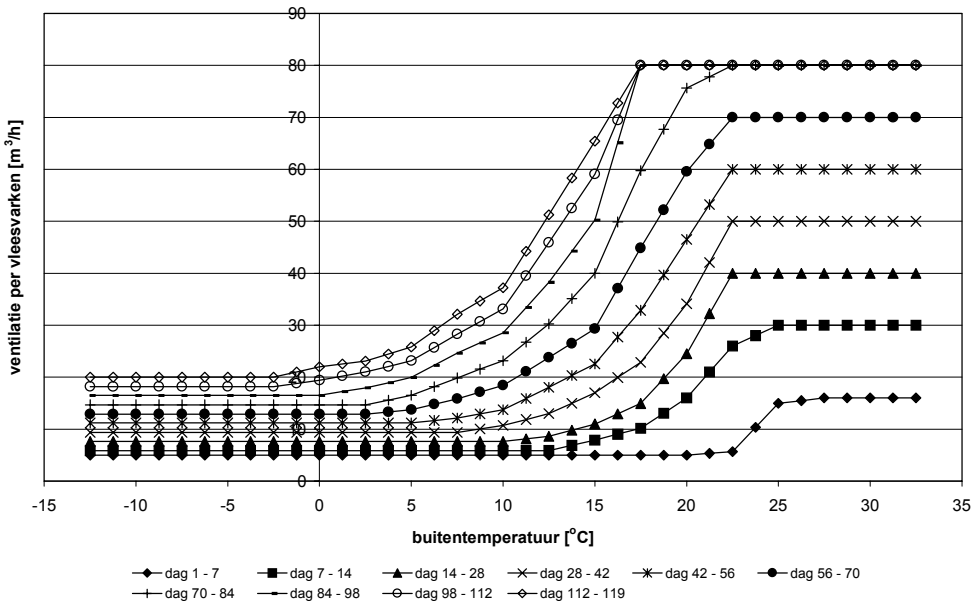


Bron: Van Ouwerkerk, 1999

Gespeende biggen

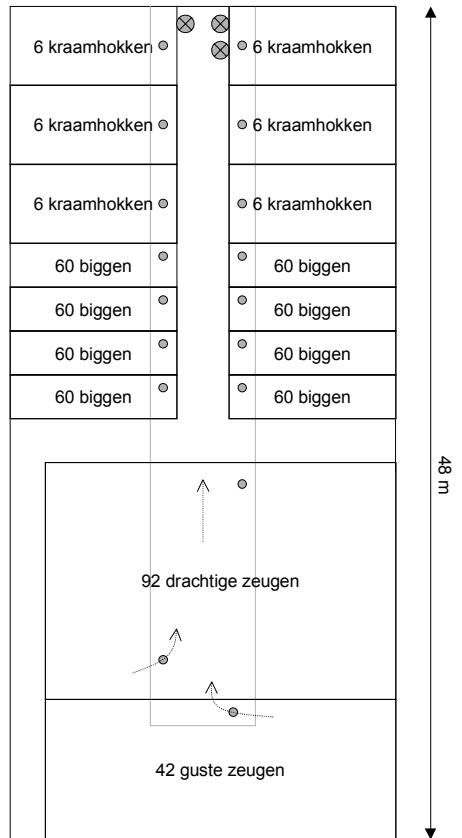
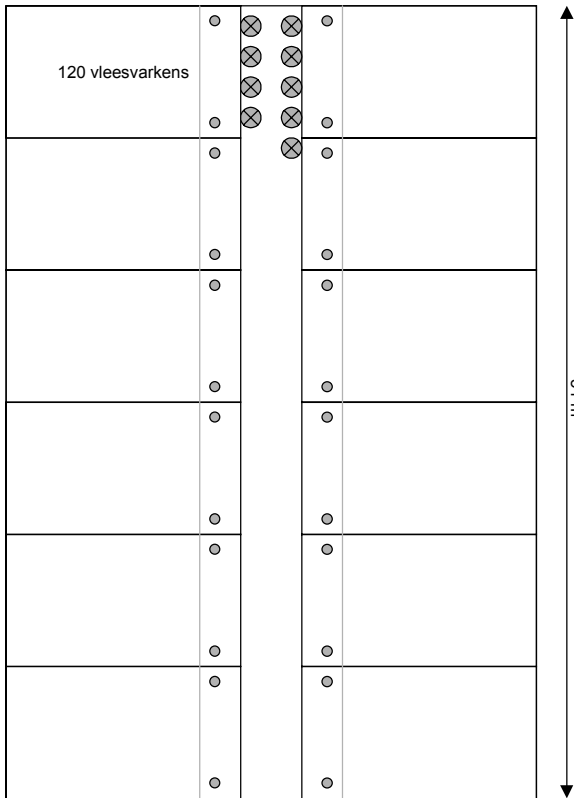
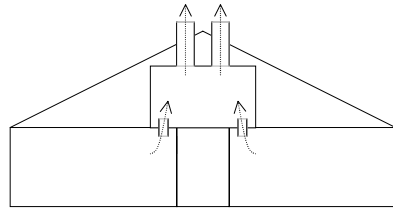
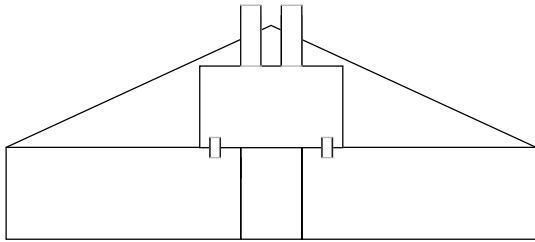


Vleesvarkens



Bron: Van Ouwerkerk, 1999

Bijlage 6 Standaardstallen voor voorbeeldberekeningen



Bijlage 7 Economische berekening jaarkosten ventilatiesysteem**Economische berekening van de jaarkosten van het ventilatiesysteem bij afzuiging per afdeling (voorbeeldstal vlv-2) (excl. BTW)**

Afzuiging per afdeling vlv-2			Investering (f)	Jaarkosten (f)	
	Aantal	Prijs per stuk (f)	Prijs totaal (f)	(per vleesvarkensplaats)	
Elektrische installatie			20.377	14,15	1,38
<i>Klimaatcomputers</i>					
Klimaatcomputer 4 afdelingen	3	2.775	8.325	5,78	0,85
Vermogensunit	6	465	2.790	1,94	0,29
Temperatuurvoeler	12	69	828	0,58	0,08
Buitentemperatuurvoeler	1	122	122	0,08	0,01
Relaiskast	6	150	902	0,63	0,09
		Subtotaal	12.967	9,01	1,33
<i>Ventilatoren + meet/smoorunits</i>					
Inbouwvent 0,56 m, 1400 RPM, 230 V	12	600	7.200	5,00	0,79
Meetventilator 0,56 m pijpbouw	12	285	3.420	2,38	0,37
Motorbeveiliging schakelaar	12	82	989	0,69	0,11
Regelklep 0,56 m met motor	12	645	7.740	5,38	0,85
		Subtotaal	19.349	13,44	2,12
<i>Dakkokers en hulpstukken</i>					
Inbouwkoker 0,56 m	12	525	6.300	4,38	0,38
Verbindingsmof 0,56 m	12	16	192	0,13	0,01
Verlengbuis 0,56 m, 1 m	12	106	1.272	0,88	0,08
Instroomring 0,56 m	12	36	432	0,30	0,05
Beschermrooster	12	100	1.200	0,83	0,13
		Subtotaal	9.396	6,53	0,65
		Totaal	62.090	43,12	5,47
Energiegebruik	hoog tarief (f 0,247/kWh)		10,92 kWh per dierplaats		3,32
	laag tarief (f 0,128/kWh)		4,68 kWh per dierplaats		
	gemiddeld (f 0,213/kWh)		15,6 kWh per dierplaats		
			Totaal		8,79

Bijlage 8 Economische berekening jaarkosten ventilatiesysteem centrale afzuiging**Economische berekening van de jaarkosten van het ventilatiesysteem centrale afzuiging per afdeling (voorbeeldstal zgn-1) (excl. BTW)**

Centrale afzuiging zgn-1			Prijs totaal (f)	Investering (f) per gem. aanw. zeug	Jaarkosten (f)
Luchtkanaal	Aantal meters	Prijs per meter (f)	25.680	171,18	14,98
	Aantal	Prijs per stuk (f)			
Elektrische installatie			18.000	120,00	11,70
<i>Klimaatcomputers</i>					
Klimaatcomputer 4 afdelingen	1	2.415	2.415	16,10	2,37
Klimaatcomputer 8 afdelingen	2	2.980	5.960	39,73	5,86
Temperatuurvoeler	16	69	1.104	7,36	1,09
Buitentemperatuurvoeler	1	122	122	0,81	0,12
Trafo in kast	1	1.072	1.072	7,15	1,05
Trafokastjes	2	385	385	2,56	0,38
Frequentieregelaar	1	3.000	3.000	20,00	2,95
		Subtotaal	14.058	93,72	13,82
<i>Ventilatoren + meet/smoorunits</i>					
Ventilator 0,63 m, 400 V	3	1.270	3.810	25,40	4,00
Meet/smoorunit 0,35 m	14	628	8.792	58,61	9,23
Meet/smoorunit 0,56 m	3	847	2.541	16,94	2,67
Motorbeveiliging schakelaar	3	82	247	1,65	0,26
Instroomring 0,63 m	3	354	1.062	7,08	1,12
		Subtotaal	16.452	109,68	17,27
<i>Dakkokers en hulpstukken</i>					
Dakkoker 0,63 m	3	600	1.800	12,00	1,05
Dakplaat	3	350	1.050	7,00	0,61
Verlengkoker lengte 1 m	14	65	910	6,07	0,53
Beschermerooster	14	88	1.232	8,21	1,29
Instroomring 0,35 m	14	22	308	2,05	0,32
Instroomring 0,56 m	3	36	108	0,72	0,11
		Subtotaal	5.408	36,05	3,92
		Totaal	91.594	610,63	61,70
Energiegebruik	hoog tarief (f 0,247/kWh)		20,1 kWh per zeug		6,11
	laag tarief (f 0,128/kWh)		8,6 kWh per zeug		
	gemiddeld (f 0,213/kWh)		28,7 kWh per zeug		
		Totaal			67,81