

ARBO-VLV: beoordeling met fuzzy logic van arbeidsomstandigheden in een vleesvarkensstal

ARBO-VLV: assessment with fuzzy logic of working conditions in a housing system for fattening pigs

Ir. H. Drost
Ir. I.H.G. Satter

Rapport 2000-07
november 2000

Abstract

Drost, H. and I.H.G. Satter, 2000. ARBO-VLV: assessment with fuzzy logic of working conditions in a housing system for fattening pigs. Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Report 2000-07, Wageningen (in Dutch, with summary in English), 77 pp.

Until now, assessment of working conditions occurs mainly in a qualitative way or quantitative but in different variables. Because of this, interpretation results of similar data differ between researchers. The aim of this study is to develop a fuzzy logic model for quantitative assessment of working conditions. This model assesses working conditions on lifting, push/pull, noise, chemical and biological agents, and safety. The result is an ARBO-score (score for working conditions) varying between 0 and 100. The model uses membership functions and approximate reasoning to convert qualitative expert knowledge in quantitative data. The final scores are determined on basis of both membership functions and rule bases. Working conditions in two fictitious housing systems for fattening pigs were assessed. It is concluded that ARBO-VLV is a useful method for quantitative assessment of working conditions.

Keywords: working conditions, fuzzy logic model, quantitative assessment, qualitative data

Voorwoord

De huidige beoordelingen van arbeidsomstandigheden zijn vooral kwalitatief. Kwalitatieve beoordelingen hebben als nadeel dat vergelijkingen tussen systemen moeilijk zijn. Ook kunnen zulke beoordelingssystemen leiden tot verschillende conclusies op basis van dezelfde gegevens. De concrete onderzoeksvraag is of methodieken bestaan die kwalitatieve data kwantificeren.

In dat kader zijn de mogelijkheden onderzocht om fuzzy-logicmodellering in te zetten voor de kwantificering van de beoordeling van arbeidsomstandigheden. De resultaten van het onderzoek en de evaluatie zijn neergelegd in dit rapport. Daarnaast geeft het rapport van Satter (2000) een algemene toelichting op de aspecten die een rol spelen tijdens van de ontwikkeling van een fuzzy-logicmodel.

Het onderzoek werd uitgevoerd binnen het interne Strategisch-Expertise-Ontwikkelingsproject 'Toepassing van fuzzy logic in de veehouderij' van IMAG.

ir. A.A. Jongebreur
directeur IMAG

Samenvatting

Het beoordelen van arbeidsomstandigheden vindt op dit moment vooral kwalitatief plaats. Het nadeel van een kwalitatieve beoordeling is dat de definities van termen zoals 'goed' en 'zeer goed' per onderzoeker of ondervraagde kunnen verschillen. Hierdoor kunnen conclusies van kwalitatieve studies naar de arbeidsomstandigheden van een zelfde systeem verschillen. Daarnaast wordt in arbeidsbeoordelingen vaak gebruik gemaakt van klassenindelingen om de informatie te categoriseren. Vooral de grenswaarden van klassen zijn in werkelijkheid niet scherp. Fuzzy logic biedt de mogelijkheid om een variabele voor een bepaald percentage tot een klasse te laten behoren. Het doel van deze studie is om een kwantitatief beoordelingsmodel voor arbeidsomstandigheden in vleesvarkenproductiesystemen te ontwerpen met fuzzy logic.

Het fuzzy-logicmodel (ARBO-VLV) beoordeelt de arbeidsomstandigheden in vleesvarkensstallen op de belastende kenmerken: tillen, duwen/trekken, geluid, chemische en biologische agentia, en veiligheid. Het model resulteert in één ARBO-score variërend van 0 (= volledig onacceptabele arbeidsomstandigheden) tot 100 (= volledig acceptabele arbeidsomstandigheden). Indien één belastend kenmerk volledig onacceptabel is, dan wordt de ARBO-score gelijk aan nul gesteld.

ARBO-VLV maakt gebruik van zogenaamde membershipfuncties om de kwalitatieve expertkennis te vertalen in meetbare data. De membershipfuncties zijn voor dit onderzoek gebaseerd op de mening van één expert. De expert werd via een interview gevraagd om het interval aan te geven waaronder een kenmerk altijd acceptabel is en waarboven een kenmerk altijd onacceptabel is. Met behulp van deze membershipfuncties wordt aangegeven in welke mate een belastend kenmerk behoort tot de klassen acceptabel en onacceptabel (*i.e.* m.b.v. membershipwaarden). De uiteindelijke score van een belastend kenmerk wordt bepaald op basis van deze membershipwaarden en een rule-base. In de rule-base wordt de relatie tussen de in- en outputs van het model aangegeven (bijvoorbeeld als de belastende kenmerken acceptabel zijn, dan is de score hoog). De berekende scores door de fuzzy-logicmodellen werden vergeleken met de door de expert geschatte scores.

Met ARBO-VLV werden de arbeidsomstandigheden in twee fictieve vleesvarkensstallen beoordeeld. Deze twee stallen verschilden duidelijk in arbeidsomstandigheden van elkaar. De ARBO-score van stal A was 63,4 punten en van stal B was 29,4 punten, hetgeen aangeeft dat de arbeidsomstandigheden in stal A veel beter zijn.

Het fuzzy-logicmodel voor beoordeling van de arbeidsomstandigheden in vleesvarkensstallen (ARBO-VLV) is een bruikbare methode om kwalitatieve informatie te kwantificeren. De in dit onderzoek toegepaste fuzzy-logicmethode kan ook gebruikt worden in andere sectoren dan vleesvarkens en in andere disciplines (bijvoorbeeld dierenwelzijn). Indien het fuzzy-logicmodel in de praktijk gebruikt gaat worden dienen de membershipfuncties en de rule-bases gebaseerd te worden op de meningen van meerdere experts om de betrouwbaarheid van het model te vergroten. Verder onderzoek is ook noodzakelijk naar de optimalisatie van de beoordeling van het fuzzy-logicmodel.

Inhoud

Abstract	4
Voorwoord	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	11
1.1 Achtergronden	11
1.2 Modelleren met fuzzy logic	12
1.3 Inhoud van dit rapport	14
2 Selectie en beschrijving van belastende kenmerken voor arbeidsomstandigheden	15
2.1 Selectie van belastende kenmerken voor het beoordelen van de arbeidsomstandigheden	15
2.2 Beschrijving van de belastende kenmerken voor het beoordelen van de arbeidsomstandigheden	15
2.2.1 Tillen	16
2.2.2 Duwen/trekken	18
2.2.3 Geluid	19
2.2.4 Chemische en biologische agentia	20
2.2.5 Veiligheid	22
2.3 Bepaling van de arbeidsomstandighedenindex	23
3 Bepaling membershipfuncties per belastend kenmerk	25
3.1 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van tillen	25
3.2 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van duwen/trekken	25
3.3 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van geluid	27
3.4 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van chemische en biologische agentia	27
3.5 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van veiligheid	28
4 Beschrijving van fuzzy-logicmodel ARBO-VLV	29
4.1 Beoordeling van tillen	29
4.2 Beoordeling van duwen/trekken	33
4.2.1 Beoordeling van een individuele duw/trekhandeling	33
4.2.2 Combinatie van meerdere individuele duw/trekscores	35
4.3 Beoordeling van geluid	37
4.3.1 Beoordeling van een individuele handeling met geluid	37
4.3.2 Combinatie van meerdere individuele geluidscores	38
4.4 Beoordeling van chemische en biologische agentia	38
4.4.1 Beoordeling van een individuele handeling met stof, ammoniak of chemisch reinigingsmiddel	39
4.4.2 Combinatie van meerdere scores voor individuele handelingen met stof of ammoniak	41
4.4.3 Combinatie van de systeemscores voor stof, ammoniak en chemisch reinigingsmiddel	45
4.5 Beoordeling van veiligheid	47
4.6 Berekening van ARBO-score	49

5	Test van het fuzzy-logicmodel met twee fictieve situaties	55
5.1	Beschrijving van twee fictieve stallen	55
5.1.1	Inleiding	55
5.1.2	Dagelijks werk	56
5.1.3	Periodiek werk	56
5.2	Beschrijving van werkzaamheden in een stal met goede arbeidsomstandigheden	56
5.2.1	Tillen	56
5.2.2	Duwen/trekken	57
5.2.3	Geluid	58
5.2.4	Chemische en biologische agentia	58
5.2.5	Veiligheid	59
5.3	Beschrijving van werkzaamheden in een stal met slechte arbeidsomstandigheden	59
5.3.1	Tillen	59
5.3.2	Duwen/trekken	60
5.3.3	Geluid	61
5.3.4	Chemische en biologische agentia	61
5.3.5	Veiligheid	62
5.4	Berekening van ARBO-scores	62
6	Discussie, conclusies en aanbevelingen	67
	Summary	69
	Literatuur	71
	Bijlage 1. Arbo-checklist – Kwaliteit van de Arbeid	73

1 Inleiding

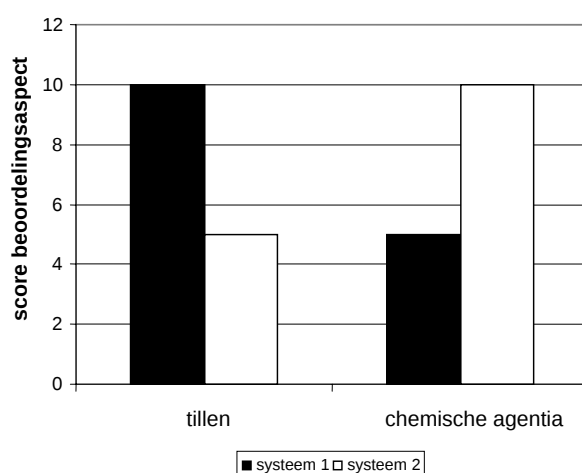
1.1 Achtergronden

Het beoordelen van arbeidsomstandigheden vindt op dit moment vooral kwalitatief plaats. Hierbij worden kenmerken bijvoorbeeld gescoord door: goed/fout, knelpunt/geen knelpunt. Voorbeelden van kwalitatieve beoordelingsinstrumenten zijn:

- de InspectieMethode Arbeidsomstandigheden (IMA-A) (N.N., 1997);
- Vragenlijst Arbeid en Gezondheid (VAG) (Gründemann *et al.*, 1993).

Het nadeel van een kwalitatieve beoordeling is dat definities van termen als 'goed' en 'zeer goed' per onderzoeker of ondervraagde kunnen verschillen. Hierdoor kunnen conclusies van kwalitatieve studies naar de arbeidsomstandigheden van een zelfde systeem verschillen. In arbeidsbeoordelingen wordt vaak gebruik gemaakt van klassenindelingen om de informatie te categoriseren. Bijvoorbeeld, een geluidsniveau tot 80 dB(A) behoort tot de klasse 'goed' en geluidsniveaus boven 80 dB(A) worden ingedeeld in de klasse 'slecht'. Vooral de grenswaarden van deze klassen zijn in werkelijkheid niet zo scherp (bijvoorbeeld een geluidsniveau van 80 dB(A) zal tussen 'goed' en 'slecht' in liggen). Fuzzy logic biedt de mogelijkheid om een variabele tot een bepaald percentage van een klasse te laten behoren. In dit geval behoort een geluidsniveau van 80 dB(A) bijvoorbeeld voor 50% tot de klasse 'goed' en voor 50% tot de klasse 'slecht'.

In de praktijk is men geïnteresseerd in het vergelijken van de arbeidsomstandigheden in verschillende systemen. Het doel van een dergelijke vergelijkende studie kan bijvoorbeeld zijn: het selecteren dan wel het ontwerpen van een systeem met de beste arbeidsomstandigheden. De conclusie van een vergelijkende studie wordt echter bemoeilijkt doordat de kwaliteit van arbeidsomstandigheden door meerdere kenmerken (b.v. tillen en chemische agentia) wordt bepaald. De dimensies van deze belastende kenmerken kunnen van elkaar verschillen, waardoor het combineren van deze resultaten bemoeilijkt wordt. De omzetting naar dezelfde dimensie kan ook plaatsvinden met fuzzy logic. Maar figuur 1 laat zien dat het selecteren van het 'beste' systeem op basis van gelijk gedimensioneerde kenmerken ook nog problemen kan opleveren. In figuur 1 worden de fictieve scores voor de belastende kenmerken tillen en chemische agentia van twee systemen weergegeven. In deze figuur is de score voor tillen en chemische agentia van systeem 1 respectievelijk het dubbele en de helft van systeem 2.



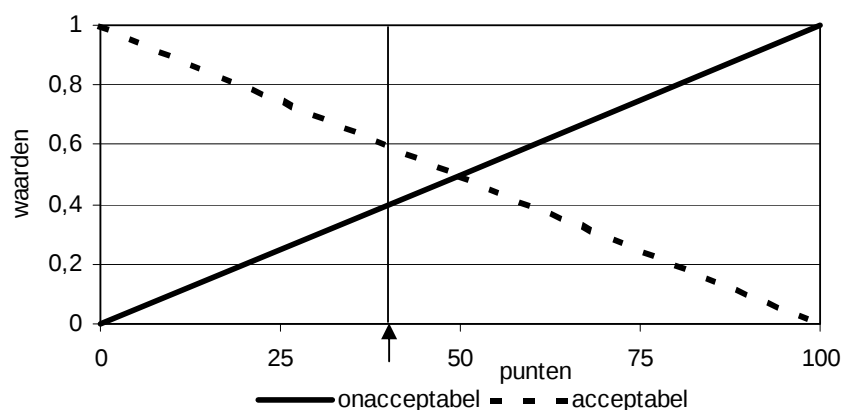
Figuur 1 Fictieve scores voor tillen en chemische agentia van twee systemen.
 Figure 1 Fictive scores for lifting and chemical agents of two systems.

Uit figuur 1 blijkt dat een conclusie over het systeem met de 'beste' arbeidsomstandigheden alleen maar mogelijk is indien prioriteiten tussen de verschillende kenmerken bekend zijn. De bepaling van deze prioriteiten vindt bijvoorbeeld met panels van experts plaats en is dus

onafhankelijk van de fuzzy-logicmodellering. De verkregen prioriteiten kunnen wel in het fuzzy-logicmodel worden toegepast om de uiteindelijke combinatiescore te berekenen.

1.2 Modelleren met fuzzy logic

In deze paragraaf worden de principes van fuzzy-logicmodellering kort toegelicht (fuzzyTECH, 1999; Satter, 2000). De belangrijkste eigenschap van fuzzy logic is de mogelijkheid om een variabele gedeeltelijk tot een klasse te laten behoren. De mate waarin een variabele tot een klasse behoort, wordt bepaald met de zogenaamde membershipfuncties. Voor iedere klasse wordt een membershipfunctie afgeleid en een klasse wordt weergegeven met een linguïstische term. Als voorbeeld worden nu de membershipfuncties van aspect 1 in figuur 2 weergegeven.



Figuur 2 Membershipfuncties van aspect 1 voor de klassen 'acceptabel' en 'onacceptabel'.
Figure 2 Membership functions of aspect 1 for classes 'acceptable' and 'unacceptable'.

Een willekeurige waarde van aspect 1 kan behoren tot de klassen 'acceptabel' en 'onacceptabel'. Aspect 1 heeft dus twee membershipfuncties met de linguïstische termen 'acceptabel' en 'onacceptabel'. De membershipfuncties worden als volgt gebruikt. Indien aspect 1 bijvoorbeeld een waarde gelijk aan 40 heeft, dan zijn de membershipwaarden voor 'acceptabel' en 'onacceptabel' respectievelijk gelijk aan 0,60 en 0,40 (zie figuur 2). De waarde 40 van aspect 1 behoort dus voor 60% tot de klasse 'acceptabel' en voor 40% tot de klasse 'onacceptabel'. De membershipwaarden 0 en 1 geven aan dat aspect 1 respectievelijk niet, of volledig tot deze klasse behoort.

Alle externe inputs van een fuzzy-logicmodel worden met membershipfuncties vertaald in membershipwaarden. Deze stap noemt men in fuzzy logic 'fuzzificatie'. Meestal wil men met fuzzy logic meerdere aspecten combineren tot een eindscore. In het voorbeeldmodel wordt de eindscore output berekend op basis van de membershipwaarden voor 'acceptabel' en 'onacceptabel' van aspect 1 en 2. In figuur 3 is de structuur van dit fuzzy-logicmodel schematisch weergegeven.



Figuur 3 Voorbeeldmodel van een fuzzy-logictoepassing.
Figure 3 Example of an application with fuzzy logic.

Aspect 1 en 2 worden in het fuzzy-logicmodel met logische regels gecombineerd tot de output. Deze logische regels worden samengevat in een zogenaamde rule-base. Een rule-base bestaat uit een IF- en een THEN-gedeelte. De rule-base voor ons voorbeeldmodel is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Rule-base van voorbeeld fuzzy-logicmodel.
 Table 1 Rule-base for example of fuzzy logic model.

IF			THEN
	Aspect 1	Aspect 2	Output
regel 1	onacceptabel	onacceptabel	laag
regel 2	onacceptabel	acceptabel	medium
regel 3	acceptabel	onacceptabel	medium
regel 4	acceptabel	acceptabel	hoog

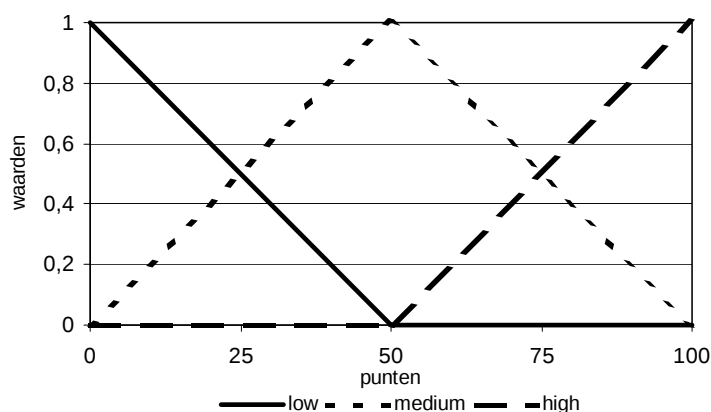
De berekeningen met een rule-base worden nu nader toegelicht. In ons voorbeeldmodel zijn de membershipwaarden voor 'acceptabel' en 'onacceptabel' voor aspect 1 gelijk genomen aan respectievelijk 0,6 en 0,4 en voor aspect 2 respectievelijk 0,3 en 0,7. In het voorbeeldmodel wordt het IF-gedeelte uit tabel 1 berekend met de minimumoperator. Er geldt dan:

uitkomst regel 1 = $\min \{0,4; 0,7\} = 0,4$ laag
 uitkomst regel 2 = $\min \{0,4; 0,3\} = 0,3$ medium
 uitkomst regel 3 = $\min \{0,6; 0,7\} = 0,6$ medium
 uitkomst regel 4 = $\min \{0,6; 0,3\} = 0,3$ hoog

De definitieve membershipwaarden worden berekend in het THEN-gedeelte van de rule-base. Het THEN-gedeelte wordt in dit voorbeeldmodel doorgerekend met de maximumoperator:

membershipwaarde 'laag' voor output = $\max \{0,4\} = 0,4$
 membershipwaarde 'medium' voor output = $\max \{0,3; 0,6\} = 0,6$
 membershipwaarde 'hoog' voor output = $\max \{0,3\} = 0,3$

De output behoort in dit voorbeeld dus voor 40% tot de klasse 'laag', voor 60% tot de klasse 'medium' en voor 30% tot de klasse 'hoog'. De output wordt nu echter nog weergegeven in de fuzzy notatie (*i.e.* membershipwaarden) en zal dus vertaald moeten worden naar een meetbare waarde (*i.e.* crisp value). Deze vertaling wordt 'defuzzificatie' genoemd. Tijdens defuzzificatie worden de 'fuzzy' membershipwaarden van de output (hier: 0,4 'laag', 0,6 'medium' en 0,3 'hoog') met membershipfuncties en een defuzzificatie-methode vertaald in één meetbaar getal. In ons voorbeeldmodel wordt de defuzzificatie-methode 'Center-of-Maximum' gebruikt. Voordat deze defuzzificatie-methode kan worden toegepast, moeten eerst membershipfuncties voor de output gedefinieerd worden (zie figuur 4).



Figuur 4 Membershipfuncties met linguïstische termen 'laag', 'medium' en 'hoog' van output.
 Figure 4 Membership functions with linguistic terms 'low', 'medium' and 'high' of output.

Voor de defuzzificatie-methode 'Center-of-Maximum' zijn alleen de punten van de membershipfuncties met een membershipwaarde gelijk aan 1 belangrijk. Uit figuur 4 blijkt dat deze membershipwaarden corresponderen met 0, 50 en 100 punten voor de membershipfuncties van respectievelijk 'laag', 'medium' en 'hoog'. De meetbare output wordt als volgt berekend met 'Center-of-Maximum':

$$Y_{\text{Output}} = \frac{\sum \text{mship}_{\text{term}} \cdot Y_{\text{term}}}{\sum \text{mship}_{\text{term}}} = \frac{0,4 \cdot 0 + 0,6 \cdot 50 + 0,3 \cdot 100}{0,4 + 0,6 + 0,3} = 46,2$$

Met: $\text{mship}_{\text{term}}$ is de membershipwaarde van de output voor de linguïstische termen 'laag', 'medium' of 'hoog'

Y_{term} is het aantal punten behorend bij een membershipwaarde van 1 van de membershipfuncties 'laag', 'medium' en 'hoog'

De gedefuzzificeerde output heeft dus de waarde 46,2 als de membershipwaarden voor de klassen 'acceptabel' en 'onacceptabel' voor aspect 1 respectievelijk 0,6 en 0,4 en voor aspect 2 respectievelijk 0,3 en 0,7 zijn.

Een fuzzy-logicmodel fuzzificeert dus inputs met behulp van membershipfuncties, combineert meerdere inputs met rule-bases tot een output en defuzzificeert de output met behulp van opnieuw een membershipfunctie en een defuzzificatie-methode. De gebruikte methoden in ARBO-VLV zijn analoog aan het bovenstaande voorbeeldmodel.

1.3 Inhoud van dit rapport

Het doel van deze studie is om een kwantitatief beoordelingsmodel voor de arbeidsomstandigheden in vleesvarkenproductiesystemen (ARBO-VLV) te ontwerpen. Het kwantitatief beoordelingsmodel geeft als resultaat een ARBO-score. De ARBO-score geeft aan in welke mate een vleesvarkenproductiesysteem acceptabele arbeidsomstandigheden heeft. De verschillende belastende kenmerken van ARBO-VLV worden beoordeeld met fuzzy logic. De basisprincipes van fuzzy logic zijn uitgebreid beschreven in Satter (2000). De voor het model noodzakelijke membershipfuncties en rule-bases zijn gebaseerd op de mening van één expert binnen IMAG. Het project is uitgevoerd binnen een Strategische-Expertise-Ontwikkelingsproject 'fuzzy logic' van IMAG. Voor de test van het fuzzy-logicmodel wordt gebruik gemaakt van fictieve gegevens voor twee fictieve stallen. Deze twee fictieve stallen verschillen duidelijk van elkaar in arbeidsomstandigheden.

In hoofdstuk 2 wordt een selectie en beschrijving gegeven van de belastende kenmerken die aanwezig zijn in een vleesvarkenproductiesysteem. De membershipfuncties van de aspecten van deze belastende kenmerken worden beschreven in hoofdstuk 3. Het fuzzy-logicmodel ARBO-VLV is uitgebreid beschreven in hoofdstuk 4 en wordt getoetst aan de hand van twee fictieve stallen in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 worden de discussie, conclusies en aanbevelingen gepresenteerd.

2 Selectie en beschrijving van belastende kenmerken voor arbeidsomstandigheden

2.1 Selectie van belastende kenmerken voor het beoordelen van de arbeidsomstandigheden

De arbeidsomstandigheden in een vleesvarkensstal worden beoordeeld op basis van verschillende belastende kenmerken. Onderstaande belastende kenmerken zijn genoemd in de literatuur of kwamen naar voren bij het invullen van de checklist 'Kwaliteit van de arbeid' (zie bijlage 1) voor een 'fictief' vleesvarkensbedrijf:

- lopen (Hartman *et al.*, 1999; van der Schilden *et al.*, 1992)
- gebogen werk (Hartman *et al.*, 1999; van der Schilden *et al.*, 1992)
- tillen (van der Schilden *et al.*, 1992; van Wagenberg, 1998)
- duwen/trekken (Hartman *et al.*, 1999; van Wagenberg, 1998)
- tocht (van der Schilden *et al.*, 1992)
- temperatuurwisselingen (Hartman *et al.*, 1999; van der Schilden *et al.*, 1992)
- geluid (van Wagenberg, 1998)
- gedwongen gereduceerd licht (van der Schilden *et al.*, 1992)
- stof (Hartman *et al.*, 1999; van der Schilden *et al.*, 1992; van Wagenberg, 1998)
- schimmels, bacteriën, virussen (checklist)
- chemische middelen, bv. NH_3 , CH_4 , H_2S , reinigingsmiddelen, ontsmettingsmiddelen, endoxinen (van der Schilden *et al.*, 1992; van Wagenberg, 1998)
- gebruik gereedschap (checklist)
- rijdend materieel (checklist)
- stationaire machines (checklist)
- gestapelde goederen (checklist)
- gladde ondergrond (checklist)
- contact met vee (checklist)
- explosie gevaar (checklist)
- gebruik geautomatiseerd systeem (checklist)
- weinig contactmogelijkheden (Hartman *et al.*, 1999)
- op veel dingen tegelijk moeten letten (Hartman *et al.*, 1999)

Stof, schimmels, bacteriën, virussen en chemische middelen worden in het hiernavolgende aangeduid als chemische en biologische agentia. Gladde ondergrond en contact met vee worden hierna aangeduid met veiligheid.

Van alle bovenstaande kenmerken is gekeken bij welke taken deze kenmerken voorkomen. Vervolgens is gekeken hoe vaak en hoelang deze taken worden uitgevoerd op een vleesvarkenbedrijf (van der Schilden *et al.*, 1992). Met behulp van deze gegevens zijn de volgende kenmerken als meest belastend voor een vleesvarkenbedrijf naar voren gekomen:

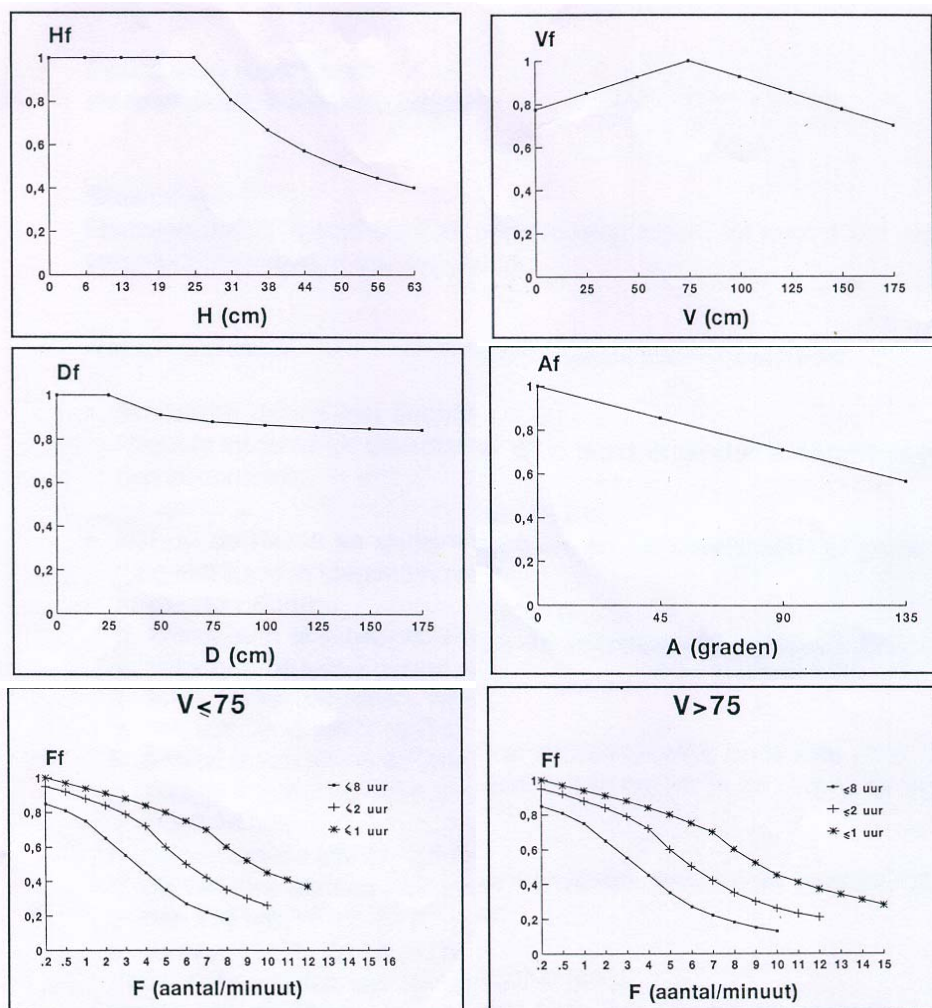
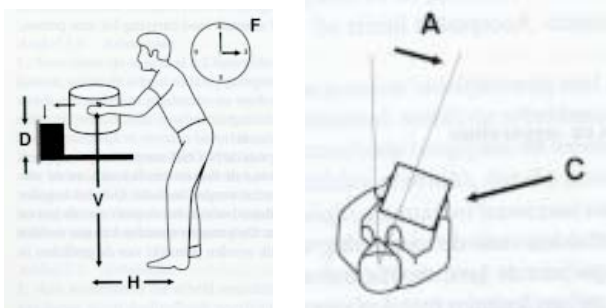
- tillen
- duwen/trekken
- geluid
- chemische en biologische agentia
- veiligheid

2.2 Beschrijving van de belastende kenmerken voor het beoordelen van de arbeidsomstandigheden

De beoordeling van de arbeidsomstandigheden vindt plaats op grond van VGW-effecten (= veiligheid, gezondheid en welzijn). Dit betekent dat bij de beoordeling gekeken wordt wat de gevolgen van de arbeidssituatie kunnen zijn voor de veiligheid, de gezondheid en het welzijn van de werkenden op een vleesvarkenbedrijf.

Een hoge score van het te ontwikkelen fuzzy-logicmodel, geeft aan dat de arbeidsbelasting laag is. Ieder kenmerk wordt beoordeeld aan de hand van de mate van acceptabel en onacceptabel zijn.

2.2.1 Tillen



Figuur 5 De bij de NIOSH-methode behorende grafieken (NIOSH, 1981).

Figure 5 The graphics of the NIOSH-method (NIOSH, 1981).

De NIOSH-norm is ontwikkeld om in een bepaalde situatie te berekenen wat de maximaal te tillen last mag zijn. Deze last is toelaatbaar voor 99% van de mannen en voor 75% van de vrouwen. De NIOSH-methode is niet in alle situaties toepasbaar (Peereboom, 1996).

De NIOSH-formule luidt als volgt (NIOSH, 1981):

$$\text{Recommended Weight Limit (RWL)} = 23 \times H_f \times V_f \times D_f \times F_f \times A_f \times C_f$$

De maximaal te tillen last kan 23 kg zijn en kan minder zijn door reductiefactoren. De reductiefactoren zijn af te leiden uit formules of grafieken (zie figuur 5). De factoren zijn:

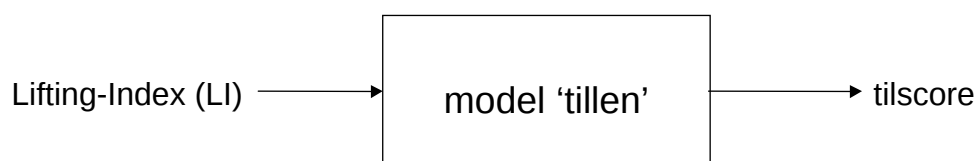
- H_f = de horizontale factor (H = horizontale afstand tussen handen en lichaam), volgens de formule: $H_f = 25/H$ (H in cm). Bij een H van minder dan 25 cm wordt H_f 1. Bij een H van meer dan 63 cm wordt H_f 0.
- V_f = de verticale factor (V = afstand tussen de handen en de vloer), volgens de formule: $V_f = 1 - 0,003 \times |(V - 75)|$ (V in cm).
- D_f = de verplaatsingsfactor (D = afstand die last in verticale richting aflegt), volgens de formule $D_f = 0,82 + 4,5/D$ (D in cm).
- A_f = de asymmetriefactor (A = draaihoek), volgens de formule: $A_f = 1 - 0,0032A$ (A in graden).
- F_f = de frequentiefactor. Deze wordt bepaald op grond van de tilfrequentie (F), de totale duur en de tilhoogte (V) (onder of boven de 75 cm).
- C_f = de gripfactor (goed = 1,00; gewoon = 0,93; slecht = 0,85).

Vervolgens is de Lifting-Index (LI) te bepalen. Deze is als volgt gedefinieerd:

$$LI = \text{actueel gewicht} / \text{toegestaan gewicht}$$

Een LI boven de 1 geeft dus aan dat het actueel gewicht te hoog is (Voskamp, 1998). Aan de hand van deze LI kan een beoordeling gemaakt worden voor een arbeidssituatie.

Het tillen wordt beoordeeld met de Lifting-Index. In de Lifting-Index zitten de parameters frequentie en de tijdsduur van de handeling reeds verwerkt. Het tilmodel is in figuur 6 schematisch weergegeven.



Figuur 6 Schematische weergave van het model 'tillen'.

Figure 6 Scheme of the model 'lifting'.

Onder ideale omstandigheden kan maximaal een gewicht van 23 kg getild worden. De Inspectiemethode Arbeidsomstandigheden (N.N., 1997) geeft aan dat incidenteel een gewicht tot maximaal 40 kg getild mag worden. In dit geval is de $LI = 1,74$, hetgeen de bovengrens is voor een LI.

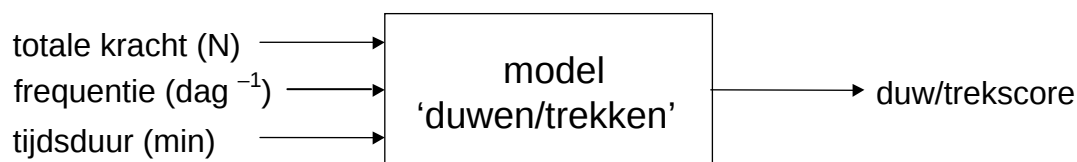
De opstellers van de NIOSH-methode hebben ervoor gekozen om slechts één grenswaarde te kiezen: $LI = 1$. Gelijktijdig geeft men aan dat er situaties zijn waarin een $LI < 1$ toch risicovol kan zijn. De NIOSH-methode houdt tevens rekening met hoe lang het werk wordt uitgevoerd en hoeveel rust men neemt. Dit zit verweven in de frequentiefactor (Peereboom, 1996).

Op basis van bovenstaande gegevens is aangenomen dat een $LI > 1,74$ altijd volledig onacceptabel is en er wordt van uitgegaan dat een $LI < 0,3$ altijd volledig acceptabel is.

2.2.2 Duwen/trekken

Duwkracht, trekkracht of stootkracht wordt gedefinieerd als de kracht die een aantal spiergroepen in samenwerking met elkaar uitoefenen om een bepaalde taak uit te voeren. De krachten, die worden uitgeoefend bij duwen en trekken, worden uitgedrukt in Newton (N) (Peereboom, 1996).

Het kenmerk duwen/trekken wordt beoordeeld op de kracht die nodig is om een gewicht over een bepaalde afstand te verplaatsen door te duwen of te trekken. In figuur 7 wordt het model 'duwen/trekken' schematisch weergegeven.



Figuur 7 Schematische weergave van het model 'duwen/trekken'.

Figure 7 Scheme of the model 'push/pull'.

Er zijn veel verschillende normen voor duwen en trekken en dit heeft te maken met de manier waarop men duwt of trekt. Men gaat ervan uit dat de krachten niet langer dan 7 seconden aaneengesloten worden uitgeoefend. De volgende duw- en trekmethoden worden door Peereboom (1996) onderscheiden:

- duwen met één arm;
- trekken met één arm;
- naar beneden brengen met één arm;
- tillen met één arm;
- binnen- of buitenwaartse duwbeweging, knijpen met één hand;
- draaien met twee handen aan een wiel;
- met de voet op een pedaal duwen;
- duwen of trekken met het hele lichaam (staand).

Bovendien kunnen al deze methoden zittend of staand uitgevoerd worden.

Bij het werken in de varkenshouderij komt het volgende duw- of trekwerk voor (van der Schilden *et al.*, 1992):

- duwen van voerkar of doseerwagen;
- openen en sluiten van schuif van voersilo;
- duwen van onwillige varkens bij varkens verplaatsen;
- bij reinigen: duwen i.v.m. leveren van tegendruk bij hogedrukreiniger (incidenteel werk);
- trekken bij wegslepen van dode dieren (incidenteel werk);
- bij onderhoud, duwen en trekken bij losmaken van materiaal (incidenteel werk).

De eerste drie genoemde komen het meest voor en hiervoor komt waarschijnlijk de categorie 'duwen met één arm' het meest in aanmerking. De eerste drie (duw)activiteiten vinden staande plaatst. Voor deze situatie geldt dat als de maximaal te leveren kracht 130 N is, dit voor 80% van de mannen acceptabel is, hierbij wordt ervan uitgegaan dat de krachten niet langer dan 7 seconden aaneengesloten worden uitgeoefend (Peereboom, 1996). Voor 95% van de mannen is een waarde van 80 N acceptabel (Voskamp, 1998), bij dezelfde voorwaarden.

De arbeidsinspectie gaat uit van gunstige duw- of trekhoudingen en hanteert de volgende normen voor duw- en trekkracht (N.N., 1997):

- zoveel mogelijk beperken tot maximaal 300 N aanzetkracht en 200 N vervolgkracht;
- incidenteel: nooit krachten leveren boven de 500 N.

Op basis van bovenstaande gegevens is aangenomen dat voor duwen en trekken een kracht kleiner dan 40 N altijd volledig acceptabel is en dat een kracht groter dan 500 N altijd volledig onacceptabel is.

Voskamp (1998) geeft indicaties voor de duur in combinatie met de frequentie voor duw- en trekbewegingen. De maximale frequenties voor krachtsuitoefening van 10% van de maximale kracht zijn:

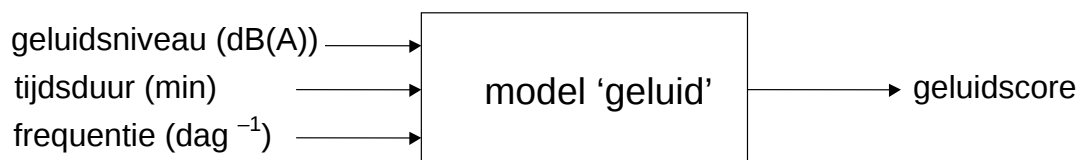
gedurende 3 minuten (0,05 uur): 18 keer per minuut
 gedurende 30 minuten (0,5 uur): 12 keer per minuut
 continu: 5 keer per minuut

Aangezien een maximale krachtsuitoefening niet zo vaak zal worden geleverd, worden voor de frequentie de aantallen aangehouden die gelden bij een krachtsuitoefening van 10% van de maximale kracht. Aangenomen is dat een belastingsduur korter dan 0,05 uur altijd volledig acceptabel is en dat een belastingsduur langer dan 1 uur altijd volledig onacceptabel is. Tevens is aangenomen dat een frequentie van minder dan 5 keer per minuut altijd volledig acceptabel is en dat een frequentie van hoger dan 18 keer per minuut altijd volledig onacceptabel is.

2.2.3 Geluid

De sterkte van het geluid wordt uitgedrukt in decibel (dB). Een normaal gehoor is gevoelig voor tonen met frequenties tussen ongeveer 20 en 20.000 Hz, waarbij de grootste gevoeligheid tussen 2000 en 4000 Hz ligt. Lagere tonen moeten sterker zijn om voor een normaal gehoor op dezelfde wijze te worden ervaren als tonen in het middengebied. Om hiermee bij het meten van de sterkte van geluid rekening te houden, wordt gebruik gemaakt van de zogenoemde A-weging van de dB-waarde. De A betekent dat het gemeten geluid bij alle frequenties is gecorrigeerd voor de gevoeligheid van het menselijke oor. Het resulteert in een geluidsniveau uitgedrukt in dB(A) (Smulders en op de Weegh, 1995).

Het geluid wordt beoordeeld aan de hand van het geluidsniveau, de tijdsduur van blootstelling en de frequentie waarmee de blootstelling optreedt. De blootstelling aan één hard geluid per dag gedurende een seconde geeft geen hoge geluidsbelasting. Ook de blootstelling aan een zacht geluid met een hoge frequentie en tijdsduur geeft geen hoge geluidsbelasting. In figuur 8 is de opzet van het model 'geluid' schematisch weergegeven.



Figuur 8 Schematische weergave van het model 'geluid'.

Figure 8 Scheme of the model 'noise'.

Geluid op de arbeidsplaats kan op verschillende manieren schade veroorzaken. Geluid kan echter ook niet alleen schadelijk maar ook hinderlijk zijn. Hinder door geluid kan onder andere tot uitdrukking komen door verminderde communicatie of verminderde concentratie.

Er zijn dB(A)-waarden opgesteld gerelateerd aan de mogelijkheden voor communicatie (Voskamp, 1998):

80 dB(A)	geen (communicatie mogelijk)
75	zeer gering
65	gering
55	gemiddeld
45	ruim
35	hoog

Er zijn ook dB(A) waarden opgesteld gerelateerd aan de mogelijkheden voor concentratie (Voskamp, 1998):

80 dB(A)	geen (concentratie mogelijk)
75	gering
55	gemiddeld
35	hoog

Bij het beoordelen van het geluid op een varkensbedrijf wordt gekeken naar het geluidsniveau in de stallen. Er wordt vanuit gegaan dat veel overleg plaats vindt in een kantoorruimte waar het geluidsniveau geen probleem zal vormen. Daarnaast wordt aangenomen dat het werk op een varkensbedrijf steeds vaker door meerdere personen zal worden uitgevoerd, dit betekent dat er in de stallen meer zal worden samengewerkt en dat dit dus meer communicatie met zich mee brengt. Daarom zal een varkenshouder tijdens zijn werk gemiddeld moeten communiceren, op grond daarvan zou 55 dB(A) nog toelaatbaar zijn. Zijn werk vraagt een gemiddelde concentratie, op grond daarvan is 55 dB(A) eveneens nog toelaatbaar (eigen inzicht). Deze grenzen worden ook gebruikt voor de indeling.

Indeling dB(A):

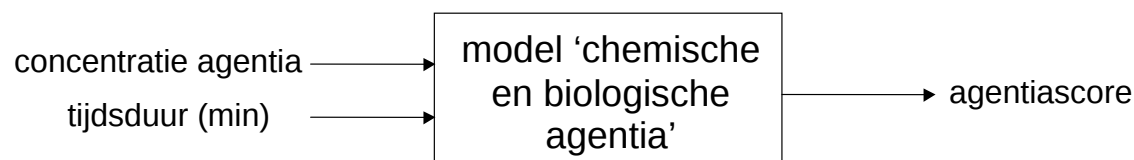
boven 85:	in alle gevallen gehoorbescherming noodzakelijk
85 – 80:	boven 80 dB(A) is kans op permanente gehoorschade niet meer verwaarloosbaar (Voskamp, 1998)
80 – 65:	communicatie en concentratie is niet mogelijk
65 – 55:	communicatie en concentratie is bijna niet mogelijk
beneden 55:	communicatie en concentratie zijn goed mogelijk

Op basis van bovenstaande gegevens is aangenomen dat een geluidsniveau lager dan 55 dB(A) altijd volledig acceptabel is en dat een geluidsniveau hoger dan 85 dB(A) altijd volledig onacceptabel is.

Voor belastingsduur en frequentie worden dezelfde grenzen van acceptabel en onacceptabel aangehouden als bij duwen/trekken (zie paragraaf 2.2.2).

2.2.4 Chemische en biologische agentia

De volgende agentia worden ruwweg onderscheiden op een vleesvarkenbedrijf: stof, NH_3 , CH_4 , H_2S , bacteriën/schimmels en endotoxinen, reinigings- en ontsmettingsmiddelen. Voor de beoordeling wordt de concentratie van een agens vergeleken met zijn advieswaarde. Het verschil met kenmerken zoals tillen en duwen/trekken is dat blootstelling aan een concentratie voor altijd effect heeft vanwege de accumulatie van stoffen in het lichaam. Bij kenmerken zoals bv. tillen is herstel van de belasting bijna altijd mogelijk. Daarom wordt bij agentia alleen de aanwezigheid van een concentratie al als negatief beschouwd. In figuur 9 wordt het model 'chemische en biologische agentia' schematisch weergegeven.



Figuur 9 Schematische weergave van het model 'chemische en biologische agentia'.

Figure 9 Scheme of the model 'chemical and biological agents'.

Bij blootstelling aan chemische en biologische agentia is het de vraag of een gemiddelde input wel een goed beeld geeft van de situatie. Als input voor het model wordt voor agentia een percentage genomen. Dit percentage is de verhouding tussen de huidige concentratie en de geadviseerde concentratie vermenigvuldigd met 100%.

Voor de genoemde stoffen zijn de MAC-waarden¹ (Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1999):

- **inhaleerbaar stof:** 10 mg/m³ en **respirabel stof:** 5 mg/m³;
- **ammoniak:** 14 mg/m³;
- **methaan** valt onder de zuurstofverdringende gassen. Voor zover bekend blijft de schadelijke werking zelfs bij hoge concentraties voornamelijk beperkt tot verdringing van zuurstof in de inademinglucht. Om dit te voorkomen dient het zuurstofgehalte van de inademinglucht ten minste 18% te bedragen bij normale atmosferische druk.
- **zwavelwaterstof:** 15 mg/m³;
- **schimmels en bacteriën** geen MAC-waarden voor aanwezig;
- **endotoxinen** geen grenswaarde voor aanwezig;
- **reinigings- en ontsmettingsmiddelen** geen grenswaarde voor aanwezig.

Inhaleerbaar stof is gedefinieerd als dat deel van het aanwezige stof dat kan worden ingeademd via mond en/of neus. Respirabel stof is dat deel van het inhaleerbare stof dat kan doordringen tot in de longblaasjes.

Voor stof, ammoniak en zwavelwaterstof zijn er MAC-waarden die gebruikt kunnen worden om een situatie te beoordelen. Voor methaan, schimmels, bacteriën en endotoxinen zijn geen MAC-waarden aanwezig. Voor methaan wordt gekeken naar de hoeveelheid aanwezige zuurstof, hierbij wordt 18% als grenswaarde genomen.

In de praktijk wordt als vuistregel voor de blootstelling aan schimmels of bacteriën een concentratie van 10.000 Kolonie Vormende Eenheden/m³ (KVE/m³) als grens op de werkplek aangehouden (Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1997).

Voor endotoxinen wordt door de Gezondheidsraad wel een advieswaarde voorgesteld. Deze advieswaarde bedraagt 50 endotoxinen eenheden/m³ (EU/m³), gemeten in persoonlijk bemonsterd inhaleerbaar stof (Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1997).

Deze waarden worden voor ons onderzoek overgenomen. Samenvattend zijn er dan de volgende grenswaarden die worden gebruikt:

- inhaleerbaar stof: < 10 mg/m³;
- respirabel stof: < 5 mg/m³;
- ammoniak: < 14 mg/m³;
- methaan: > 18% zuurstofgehalte in de inademinglucht;
- zwavelwaterstof: < 15 mg/m³;
- schimmels en bacteriën: < 10.000 KVE/m³;
- endotoxinen: < 50 EU/m³.

Voor de verdere beoordeling van chemische en biologische agentia zullen stof, ammoniak en reinigings- en ontsmettingsmiddelen meegenomen worden. Schimmels, bacteriën en endotoxinen zitten voor een deel gebonden aan stof en worden op die manier in de beoordeling meegenomen. De blootstelling aan methaan en zwavelwaterstof is veel lager en wordt in dit onderzoek niet meegenomen.

Voorgesteld wordt dat een percentage kleiner dan 40% van de MAC-waarde altijd volledig acceptabel is en een percentage hoger dan 100% van de MAC-waarde altijd volledig onacceptabel is.

Voor beoordeling van de duur wordt aangenomen dat een blootstellingduur korter dan 2 uur altijd volledig acceptabel is en een blootstellingduur langer dan 6 uur altijd volledig onacceptabel is.

Bij de blootstelling aan chemische en biologische agentia gaat het vooral over het totaal aantal uren dat men per dag is blootgesteld. Aangezien bij chemische en biologische agentia de herstelperiode (vaak meer dan een dag) langer is dan het aantal uren dat men werkt (meestal ongeveer 8 uur) maakt het voor het effect niet uit of men 2 keer 2 uur wordt blootgesteld of 8 keer 30 minuten. De frequentie wordt daarom niet meegenomen in de beoordeling.

¹ MAC = Maximale Aanvaarde Concentratie, door de Arbeidsinspectie vastgestelde grenswaarden

2.2.5 Veiligheid

Veiligheid wordt beoordeeld aan de hand van twee aspecten:

1. gladheid van de vloer;
2. contacttijd met vee.

Bij veiligheid wordt vooral gesproken over een risico.

Risico = de kans op een ongewenste gebeurtenis x het effect van deze gebeurtenis (Smulders en op de Weegh, 1995). Hieruit blijkt dat bij risico twee aspecten een rol spelen namelijk de frequentie en het effect.

De aard van het effect is van veel factoren afhankelijk. Murphy (1992) noemt een aantal factoren die van invloed zijn op het uiteindelijke effect van een ongeval bij het omgaan met dieren:

- bij grotere dieren kans op grotere effecten;
- hoe meer contact met de dieren vanaf de geboorte hoe minder kans op verzet van de dieren;
- hoe onrustiger er met het dier wordt omgegaan hoe meer het dier zich zal verzetten;
- enz.

Murphy (1992) heeft van de twee aspecten frequentie en effect een tabel (tabel 2) gemaakt waarin wordt aangegeven welke combinaties van frequentie en effect acceptabel zijn.

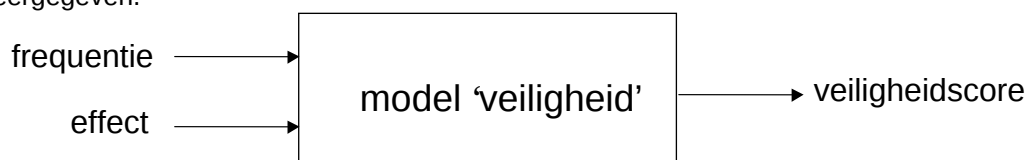
Tabel 2 Gevarenindex, volgens Murphy (1992).

Table 2 Risk index according to Murphy (1992).

Frequentie	effect			
	catastrofaal	kritisch	marginiaal	verwaarloosbaar
Frequent	A1	A2	A3	A4
Waarschijnlijk	B1	B2	B3	B4
Incidenteel	C1	C2	C3	C4
Gering	D1	D2	D3	D4
Onwaarschijnlijk	E1	E2	E3	E4

De indices A1, A2 en B1 zijn onacceptabel, er moet onmiddellijk iets aan gedaan worden. A3, B2 en C1 zijn ongewenste indices en hier moet zo snel mogelijk wat aan gedaan worden. Indices B3 en C2 zijn redelijk acceptabel en met controle(middelen) te beheersen. Als laatste hebben de indices A4, B4, C3, C4, D1-D4 en E1-E4 een acceptabele veiligheid.

Deze indeling wordt gebruikt voor het model van veiligheid. Voor beide aspecten, omgaan met vee en de aanwezigheid van gladde vloeren, ziet het model er dan uit zoals in figuur 10 is weergegeven.



Figuur 10 Schematische weergave van model 'veiligheid'.

Figure 10 Scheme of the model 'safety'.

Alle cellen van tabel 2 hebben vervolgens een score gekregen voor de mate van acceptabel zijn en voor de mate van onacceptabel zijn:

A1, A2, B1	volledig onacceptabel
A3, B2, C1	30% acceptabel en 70% onacceptabel
B3, C2	70% acceptabel en 30% onacceptabel
A4, B4, C3, C4, D1-D4, E1-E4	volledig acceptabel

2.3 Bepaling van de arbeidsomstandighedenindex

In de meeste arbeidssituaties komen combinaties van belastende factoren voor. Een combinatie van belastingen kan uiteindelijk een (gezondheids)effect opleveren dat groter is dan de som van de effecten van de afzonderlijke belastingen, er wordt dan gesproken van synergisme. In een vleesvarkenstal komen de hieronder beschreven gecombineerde belastingen voor.

Hoge geluidsniveaus kunnen de waarneming van belangrijke waarschuwingssignalen uit de omgeving belemmeren en hierdoor tot ongevallen leiden (van Dormolen *et al.*, 1988). Aangezien in vleesvarkensstallen vaak geen sprake is van waarschuwingssignalen die een eventuele onveilige situatie aangeven, kan een versterkend effect van geluid en veiligheid in vleesvarkensstallen worden verwaarloosd. Dit wordt daarom niet meegenomen bij de uiteindelijke beoordeling.

Lichamelijke arbeid versterkt de werking van chemische stoffen. Bij lichamelijke arbeid is er sprake van een toename van het ademminuutvolume en dus van de hoeveelheid ingeademde lucht. Dit heeft tot gevolg dat de opname van toxische stoffen via de longen eveneens toeneemt. Verder zal de grotere bloeddoorstroming van de huid leiden tot een grotere opname van toxische stoffen via de huid (van Dormolen *et al.*, 1988). Deze combinaties van effecten kunnen ook in onze fictieve stallen een rol spelen. Daarom zal bij een eindscore waarbij zowel tillen of duwen/trekken als chemische agentia een hoge score geven bij de mate van onacceptabel zijn, de eindscore meer onacceptabel moeten zijn dan de afzonderlijke scores. De combinaties van deze kenmerken levert dus een slechtere arbeidscore op. Dit zou in de eindscore (op de schaal 0 – 100) 5 tot 10 punten lager kunnen zijn.

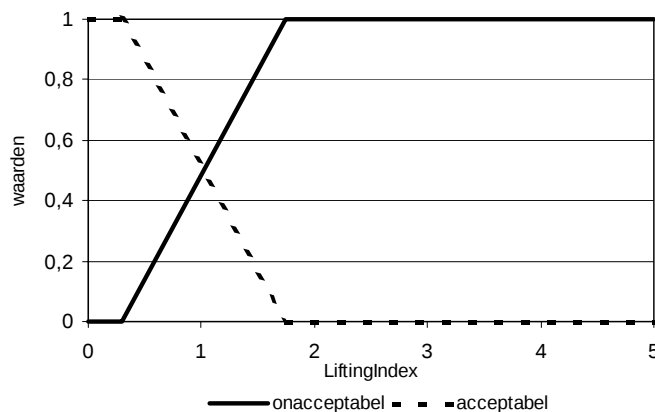
Een hoge fysieke belasting resulteert in vermoeidheid: de opmerkzaamheid daalt, de reactietijd wordt langer en het lichamelijk prestatievermogen neemt af. Het ongevallenrisico stijgt (van Dormolen *et al.*, 1988). Een combinatie van fysieke belasting (tillen of duwen/trekken) en veiligheid levert dus een slechtere situatie op. Ook deze combinatie zou in score 5 tot 10 punten lager scores op de uiteindelijke score.

3 Bepaling membershipfuncties per belastend kenmerk

In dit hoofdstuk worden de membershipfuncties van de aspecten van de belastende kenmerken van het beoordelingsmodel ARBO-VLV gepresenteerd. Deze aspecten zijn per belastend kenmerk gespecificeerd in hoofdstuk 2. De bepaling van de membershipfuncties heeft plaatsgevonden met behulp van een interview met één expert. In dit interview werd de expert gevraagd om het interval aan te geven waaronder een aspect altijd acceptabel is en waarboven een aspect altijd onacceptabel is. Ieder aspect uit ons fuzzy-logische beoordelingsmodel heeft dus twee membershipfuncties met de linguïstische termen 'acceptabel' en 'onacceptabel'. Aangenomen is dat de membershipfunctie van 'onacceptabel' het complement is van de membershipfunctie voor 'acceptabel'. Verder hebben alle membershipfuncties in ARBO-VLV een lineair verloop. De membershipfunctie wordt uitvoerig omschreven in Satter (2000).

3.1 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van tillen

Het belastende kenmerk tillen heeft als beoordelingsaspect de Lifting-Index (= LI) (zie paragraaf 2.2.1). De membershipfunctie van de Lifting-Index is weergegeven in figuur 11.



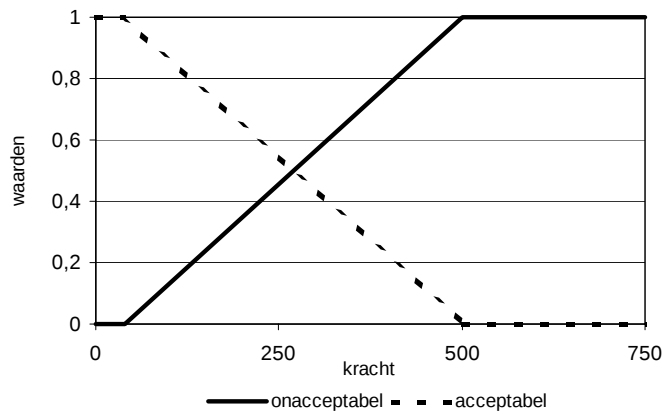
Figuur 11 Membershipfunctie van Lifting-Index.

Figure 11 Membership function of the lifting-index.

De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft tot een LI van 0.3 de membershipwaarde 1 en vanaf 1,74 de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' heeft de waarde 0 tot aan LI = 0,3 en vanaf LI=1,74 de waarde 1.

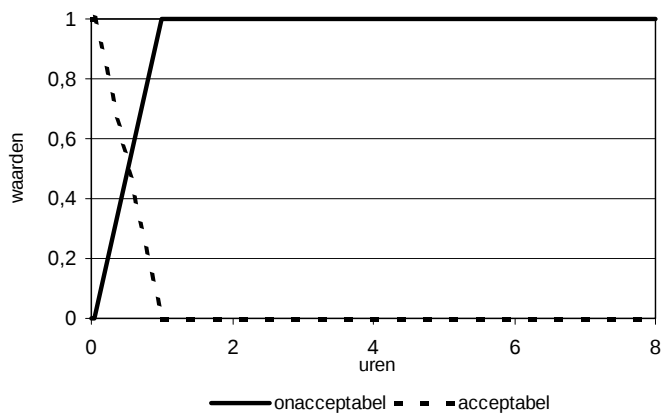
3.2 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van duwen/trekken

Het belastende kenmerk duwen/trekken heeft als beoordelingsaspecten de kracht, belastingsduur en de belastingsfrequentie (zie paragraaf 2.2.2). De membershipfunctie van de kracht is weergegeven in figuur 12.



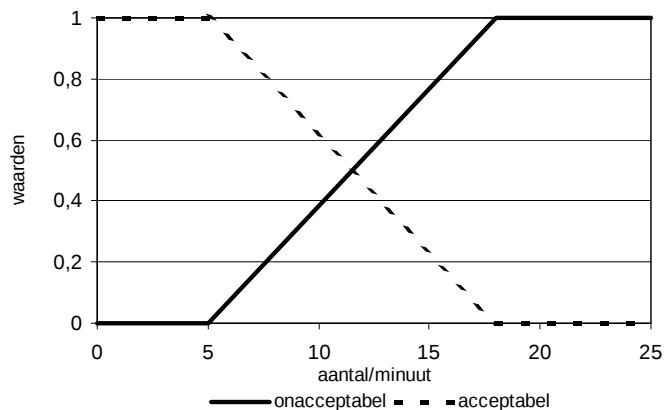
Figuur 12 Membershipfunctie van de duw/trekkkracht.
 Figure 12 Membership function of the power for push/pull.

De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft tot een kracht van 40 N de membershipwaarde 1 en vanaf 500 N de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' heeft de waarde 0 tot aan een kracht van 40 N en vanaf 500 N de waarde 1. De membershipfunctie van de belastingsduur is weergegeven in figuur 13.



Figuur 13 Membershipfunctie van de belastingsduur.
 Figure 13 Membership function of duration.

De membershipfuncties voor de belastingsduur zijn bepaald uitgaande van een 8-urige werkdag. De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft tot een belastingsduur van 0,05 uur (= 3 minuten) de membershipwaarde 1 en vanaf 1 uur de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' heeft de waarde 0 tot aan een belastingsduur van 0,05 uur en vanaf 1 uur de waarde 1. De membershipfunctie van de frequentie is weergegeven in figuur 14.

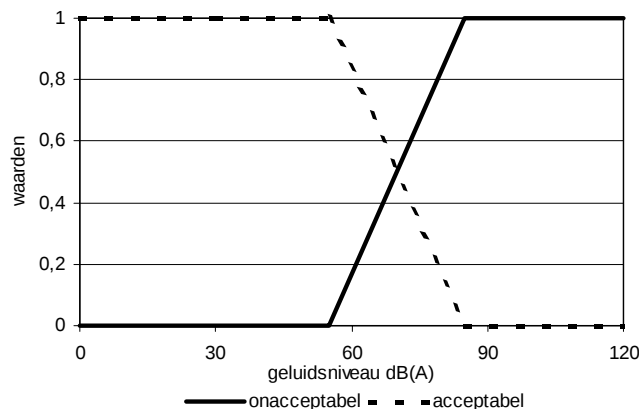


Figuur 14 Membershipfunctie van de frequentie.
 Figure 14 Membership function of the frequency.

De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft tot een frequentie van 5 keer per minuut de membershipwaarde 1 en vanaf 18 keer per minuut de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' heeft de waarde 0 tot aan een frequentie van 5 keer per minuut en vanaf 18 keer per minuut de waarde 1.

3.3 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van geluid

Het belastende kenmerk geluid heeft als beoordelingsaspecten het geluidsniveau, de belastingsduur en de belastingsfrequentie (zie paragraaf 2.2.3). De membershipfuncties van belastingsduur en –frequentie zijn gelijk aan de membershipfuncties van deze variabelen in het belastende kenmerk duwen/trekken (zie paragraaf 3.2). De membershipfunctie van het geluidsniveau is weergegeven in figuur 15.



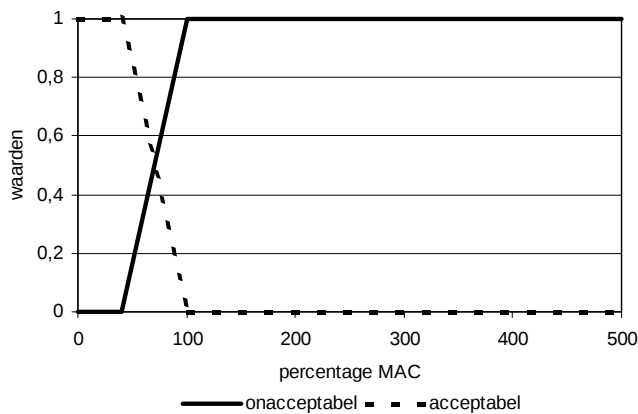
Figuur 15 Membershipfunctie van het geluidsniveau.

Figure 15 Membership function of the noise level.

De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft tot een geluidsniveau van 55 dB(A) de membershipwaarde 1 en vanaf 85 dB(A) de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' heeft de waarde 0 tot aan een geluidsniveau van 55 dB(A) en vanaf 85 dB(A) de waarde 1.

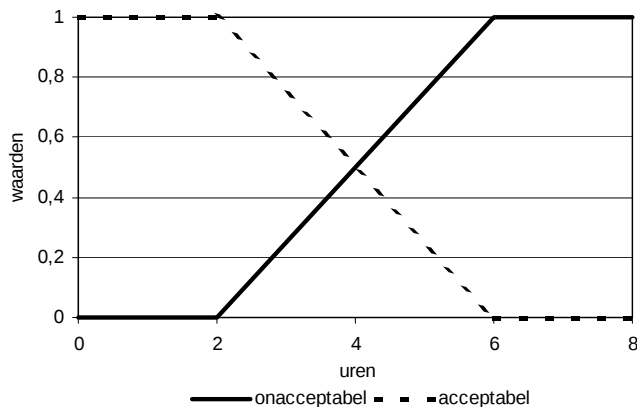
3.4 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van chemische en biologische agentia

Het belastende kenmerk agentia heeft voor zowel stof, ammoniak als reinigingsmiddel als beoordelingsaspecten het percentage van de MAC-waarde en de blootstellingsduur (zie paragraaf 2.2.4). De gebruikte MAC-waarden gaan uit van een blootstellingsduur van 8 uur (= 1 werkdag) en daarom verschilt de membershipfunctie van de blootstellingsduur bij agentia met de membershipfuncties van geluid en duwen/trekken. Voor alle beoordeelde agentia worden dezelfde membershipfuncties toegepast. De membershipfunctie van het percentage van de MAC-waarde is weergegeven in figuur 16.



Figuur 16 Membershipfunctie van het percentage van de MAC-waarde.
 Figure 16 Membership function of the percentage of the MAC-value.

De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft tot een percentage van 40% de membershipwaarde 1 en vanaf 100% de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' heeft de waarde 0 tot aan een percentage van 40% en vanaf 100% de waarde 1. De membershipfunctie van de blootstellingsduur is weergegeven in figuur 17.



Figuur 17 Membershipfunctie van de blootstellingsduur.
 Figure 17 Membership function of the duration of exposure.

De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft tot een blootstellingsduur van 2 uur de membershipwaarde 1 en vanaf 6 uur de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' heeft de waarde 0 tot aan een blootstellingsduur van 2 uur en vanaf 6 uur de waarde 1.

3.5 Membershipfuncties voor beoordelingsaspecten van veiligheid

De beoordelingsaspecten van veiligheid zijn in tegenstelling tot de beoordelingsaspecten van de andere kenmerken geen continue waarden. Veiligheid wordt beoordeeld aan de hand van tabel 2 uit paragraaf 2.2.5. Daarin worden 20 mogelijke situaties van veiligheid onderscheiden. In het interview is de expert gevraagd om de mate van acceptabel zijn aan te geven voor iedere veiligheidssituatie uit deze tabel. Hierbij is aangenomen dat de mate van onacceptabel zijn het complement hiervan vormt.

De situaties A1, A2 en B1 hebben een membershipwaarde van 1 voor de linguïstische term onacceptabel en dit impliceert een membershipwaarde van 0 op acceptabel. De situaties A3, B2 en C1 hebben een waarde 0,7 voor onacceptabel en de waarde 0,3 voor acceptabel. De situaties B3 en C2 hebben de waarde 0,3 voor onacceptabel en 0,7 voor acceptabel. De situaties A4, B4, C3, C4, D1, D2, D3, D4, E1, E2, E3 en E4 worden gezien als 100% veilige situaties (i.e. membershipwaarde 1 voor acceptabel en 0 voor onacceptabel).

4 Beschrijving van fuzzy-logicmodel ARBO-VLV

ARBO-VLV beoordeelt de arbeidsomstandigheden in een vleesvarkenproductiesysteem van een gemiddelde werknemer op basis van de belastende kenmerken: tillen, duwen/trekken, geluid, chemische en biologische agentia en veiligheid (zie hoofdstuk 2). In dit hoofdstuk wordt eerst de structuur van de fuzzy-logicmodellen van de deelkenmerken beschreven (paragraaf 4.1 tot en met 4.5) en daarna volgt de structuur van het model voor de berekening van de ARBO-score (paragraaf 4.6). Het fuzzy-logicmodel is zodanig opgezet dat de arbeidsomstandigheden in de twee fictieve stalsystemen uit hoofdstuk 5 kunnen worden beoordeeld. In hoofdstuk 5 worden deze twee fictieve stalsystemen, stal A en B, uitgebreid beschreven.

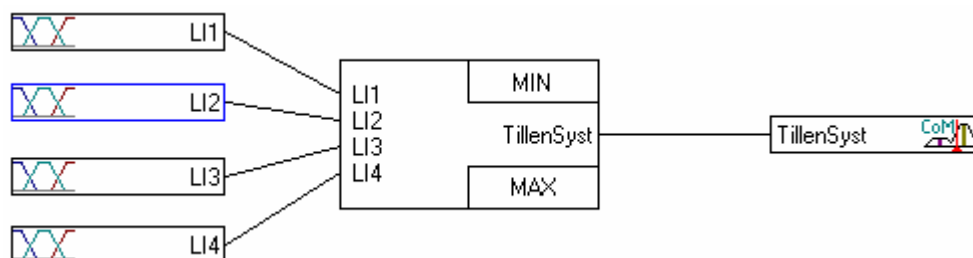
De ARBO-score kan variëren tussen 0 (= onacceptabele arbeidsomstandigheden) en 100 (= acceptabele arbeidsomstandigheden). In het beoordelingsmodel wordt aangenomen dat de ARBO-score altijd volledig onacceptabel is (= 0 punten), indien één van de belastende kenmerken volledig onacceptabel is. ARBO-VLV gebruikt de membershipfuncties uit hoofdstuk 3 om de beoordelingsaspecten van de belastende kenmerken te fuzzificeren. In paragraaf 1.2 zijn de eigenschappen van fuzzy-logicmodellen kort samengevat en de terminologie uit deze paragraaf wordt in dit hoofdstuk gebruikt.

4.1 Beoordeling van tillen

De Lifting-Index (Peereboom, 1996) wordt gebruikt als input om de tilscore van één handeling te bepalen (zie hoofdstuk 2). De mate van (on)acceptabel zijn van één Lifting-Index (i.e. één handeling met tillen) wordt bepaald met de membershipfunctie uit paragraaf 3.1. Daarna worden de tilscores van de individuele handelingen met een rule-base samengevoegd tot een tilscore voor het systeem (voor definitie rule-base, zie paragraaf 1.2 en/of Satter (2000)). Het beoordelingsmodel voor tillen is gebaseerd op vier til-handelingen in stal A en vijf til-handelingen in stal B (zie hoofdstuk 5). De rule-base combineert de scores voor de individuele til-handelingen tot een systeemscore voor tillen 'TillenSyst'. De rule-bases zijn voor beide stalsituaties gelijk:

IF 'all lifting indices are acceptable, THEN 'TillenSyst' is high
IF 'one lifting-index' is unacceptable, THEN 'TillenSyst' is medium_high
IF 'two lifting-indices' are unacceptable, THEN 'TillenSyst' is medium_low
IF 'more than two lifting-indices' are unacceptable, THEN 'TillenSyst' is low

De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator (zie paragraaf 1.2). De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van tillen voor stal A is als voorbeeld weergegeven in figuur 18.

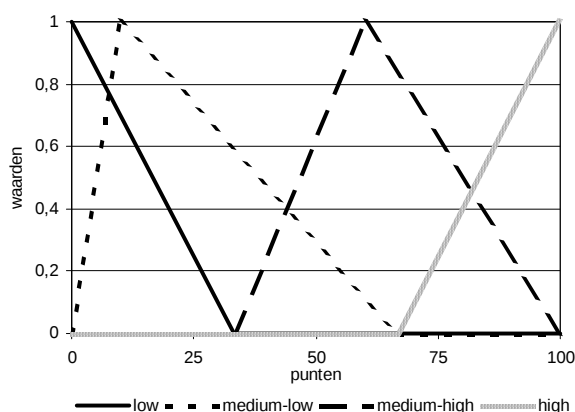


Figuur 18 Fuzzy-logicstructuur van beoordeling van tillen voor stal A.

Figure 18 Fuzzy logic structure of the assessment of lifting for housing system A.

Uit figuur 18 blijkt dat de Lifting-Indices LI1 tot en met LI4 van de individuele til-handelingen de ingangen van het model vormen en de tilscore van het systeem (= TillenSyst) het modelresultaat is. De tilscore van het systeem TillenSyst is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium_high', 'medium_low' en 'low'. Voor de beoordeling van TillenSyst

bleken meer linguïstische termen dan 'acceptabel' en 'onacceptabel' noodzakelijk te zijn. Een praktische vuistregel is dat de beoordeling van het fuzzy-logicmodel beter is, wanneer iedere conclusie gemodelleerd wordt met een aparte linguïstische term. De hierboven genoemde rule-base voor de bepaling van TillenSyst bevat vier conclusies en daarom zijn ook vier linguïstische termen nodig voor het fuzzy-logicmodel. De membershipfuncties bij de linguïstische termen low, medium_low, medium_high en high hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 0, 10, 60 en 100 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 0 punten overeenkomt met een volledig onacceptabele situatie en 100 punten met een volledig acceptabele situatie. De membershipfuncties van TillenSyst zijn weergegeven in figuur 19.



Figuur 19 Membershipfunctie van de output TillenSyst (= tilscore van het systeem).
Figure 19 Membership function of output TillenSyst (= system score for lifting).

De output TillenSyst wordt later in het beoordelingsmodel ARBO-VLV met de andere systeemscores voor duwen/trekken, geluid, agentia en veiligheid gecombineerd tot de uiteindelijke ARBO-score. De combinatie van deze vijf systeemscores met ieder vier linguïstische termen (low, medium-low, medium-high en high) zou een rule-base met 1024 logische regels opleveren. Om het aantal logische regels te beperken wordt de output TillenSyst daarom eerst gedefuzzificeerd in een score liggend tussen 0 en 100 punten. De gebruiker krijgt hierdoor ook kwantitatief inzicht in de acceptabelheid van de tilomstandigheden in het beoordeelde systeem. De systeemscore voor tillen wordt daarna weer gefuzzificeerd met behulp van de linguïstische termen 'acceptabel' en 'onacceptabel'. Daarna wordt deze systeemscore gecombineerd tot de ARBO-score (zie paragraaf 4.6). De tussentijdse (de-)fuzzificatie heeft tot gevolg dat het aantal logische regels in de bepaling van de ARBO-score afneemt van 1024 tot 32.

De output TillenSyst (zie figuur 18) wordt gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' (zie paragraaf 1.2) en de membershipfuncties uit figuur 19. De ligging van de membershipfuncties is bepaald op basis van het door de expert geschatte aantal punten van TillenSyst voor mogelijke waarden van de vijf Lifting-Indices (= inputs van het beoordelingsmodel voor tillen). De door de expert geëvalueerde waarden van een Lifting-Index zijn: 0,3 (volledig acceptabele Lifting-Index); 0,65; 1,0; 1,4 en 1,74 (volledig onacceptabele Lifting-Index). De expert heeft de score (0 – 100 punten) van output TillenSyst bepaald voor alle mogelijk combinaties van deze vijf waarden voor een Lifting-Index. Aangezien vijf Lifting-Indices de inputs van het beoordelingsmodel vormen, werd voor 3125 combinaties de output TillenSyst geschat. De expert gebruikte de volgende formule voor de schatting van de output TillenSyst:

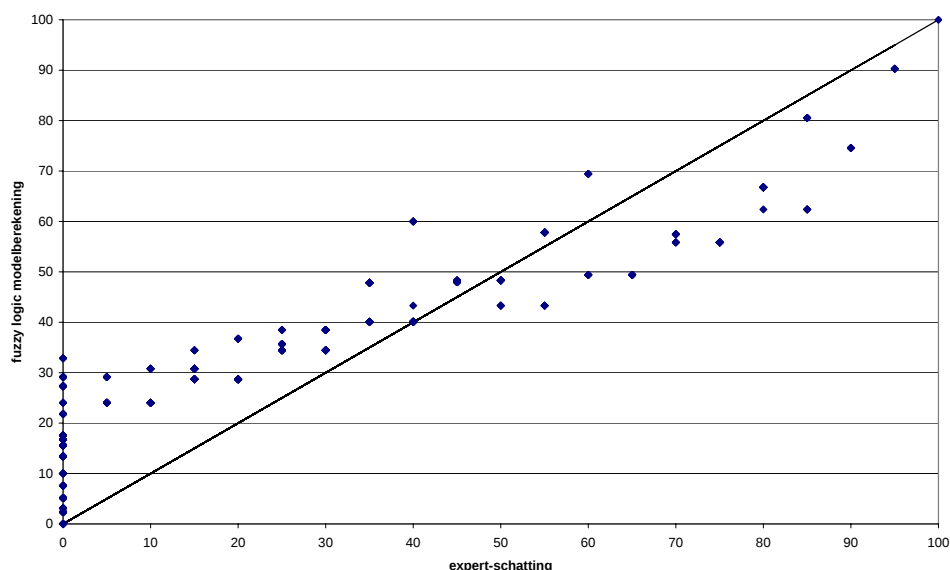
$$\text{Output TillenSyst} = 100 - a \cdot 0 - b \cdot 5 - c \cdot 15 - d \cdot 40 - e \cdot 60$$

Met:

- a is aantal inputs met een Lifting-Index gelijk aan 0,3
- b is aantal inputs met een Lifting-Index gelijk aan 0,65
- c is aantal inputs met een Lifting-Index gelijk aan 1,0
- d is aantal inputs met een Lifting-Index gelijk aan 1,4
- e is aantal inputs met een Lifting-Index gelijk aan 1,74

De door de expert geschatte output TillenSyst is dus gelijk aan 100 punten, indien alle vijf ingaande Lifting-Indices gelijk zijn aan 0,3. Wanneer één Lifting-Index gelijk is aan 0,65 dan is de output TillenSyst gelijk aan 95 punten. Negatieve scores van de door de expert geschatte output TillenSyst worden omgezet naar 0 punten.

Om de voorspelling van het fuzzy logic beoordelingsmodel voor tillen te laten aansluiten op de expert-schattingen zijn in dit rapport de membershipfuncties van de output TillenSyst verschoven. Het doel van deze verschuiving was om het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de expert-schatting en het fuzzy logic model kleiner te maken. Zoals vermeld staat in hoofdstuk 1 is de huidige arbeidsbeoordeling op kwalitatieve kennis gebaseerd. De expert-schatting is dus ook maar een kwantitatieve benadering van de werkelijkheid. Daarom had het fuzzy logic model niet als doel om de expert-schatting exact te benaderen. In figuur 20 worden de door het fuzzy logicmodel voorspelde systeemscores voor tillen uitgezet tegen de bijbehorende expertschattingen.



Figuur 20 Relatie tussen systeemscores voor tillen berekend met het fuzzy logic model en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

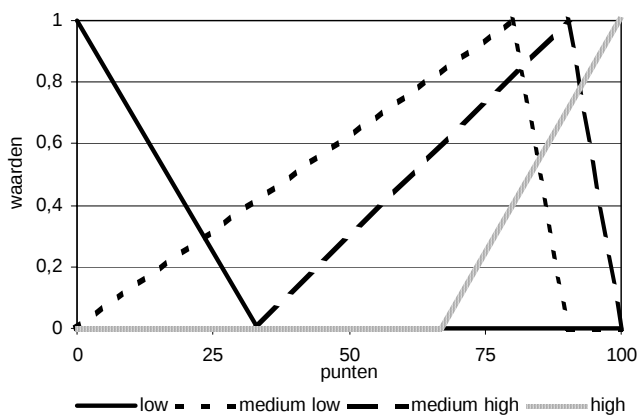
Figure 20 Relation between system scores for lifting calculated with the fuzzy logic model and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

De door de expert geschatte scores voor TillenSyst worden als uitgangspunt genomen voor de validatie van het fuzzy logicbeoordelingsmodel voor tillen. De rechte lijn in figuur 20 geeft de waarden aan, waarop de fuzzy logicvoorspelling gelijk is aan de expertschatting (b.v. bij TillenSyst van 100 punten). In werkelijkheid wijken de door het fuzzy logicmodel voorspelde scores af van deze ideale lijn. Uit figuur 20 blijkt dat het fuzzy logicmodel de hoge expertscores onderschat en de lage expertscores overschat. De grootste absolute verschillen treden op rond de geschatte nulpunten door de expert. In deze situaties berekent het fuzzy logicmodel nog steeds een positieve systeemscore voor tillen (zie figuur 20). Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy logicmodel zijn respectievelijk 11,8 en 7,6 punten.

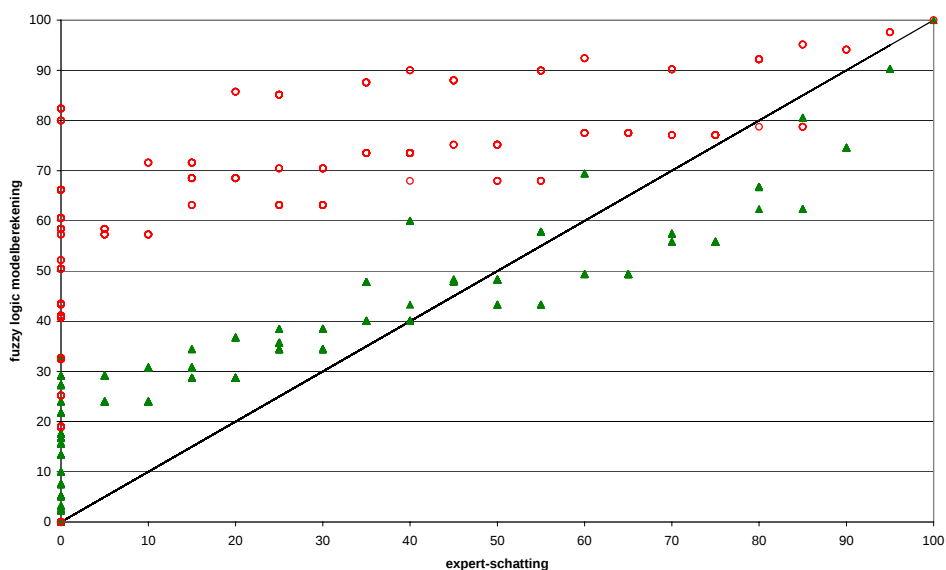
De invloed van de ligging van de membershipfuncties op het aantal punten van de output TillenSyst wordt nader toegelicht in voorbeeld 4.1

Voorbeeld 4.1: Toelichting aanpassen voorspelling fuzzy logic model 'tillen'

In ARBO-VLV is de voorspelling van de fuzzy logic modellen alleen aangepast door de membershipfuncties van de output te verschuiven. Hieronder worden als voorbeeld de membershipfuncties 'medium_high' en 'medium_low' van TillenSyst ten opzichte van de membershipfuncties van figuur 19 verschoven. Het fuzzy logic model met de membershipfuncties van figuur 19 wordt fuzzy logic model A (σ) genoemd.



De membershipfuncties 'medium_high' en 'medium_low' hebben nu een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 90 (was 60) en 80 (was 10) punten en dit model wordt nu fuzzy logic model B ($\circ$) genoemd. Het gevolg van deze verschuiving op de waarden van de output is te zien in de onderstaande figuur.



In deze figuur is duidelijk te zien dat een verschuiving van de membershipfuncties de voorspelling van het fuzzy logic model aanzienlijk verandert.

Andere aanpassingen van een fuzzy-logicmodel (onder andere verschuiving van membershipfuncties) worden uitgebreid beschreven in Satter (2000).

4.2 Beoordeling van duwen/trekken

De beoordeling van duwen/trekken valt uiteen in twee fasen, te weten:

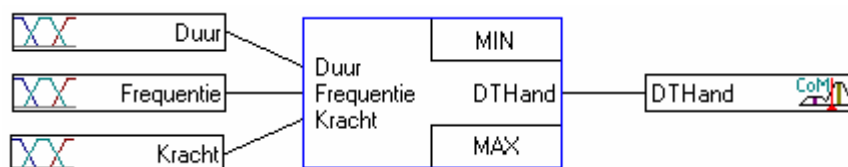
1. berekening van de duw/trekscore van een individuele handeling (paragraaf 4.2.1);
2. berekening van de duw/trekscore van het systeem (paragraaf 4.2.2).

4.2.1 Beoordeling van een individuele duw/trek-handeling

De kracht, belastingsduur en belastingsfrequentie van een duw- of trekhandeling worden gebruikt als beoordelingsaspecten om de duw/trekscore van één handeling te bepalen. De mate van (on)acceptabelheid in relatie tot duwen/trekbelasting wordt voor deze aspecten bepaald door de membershipfuncties uit paragraaf 3.2. Daarna wordt de duw/trekscore van een individuele handeling, DTHand, bepaald met een rule-base:

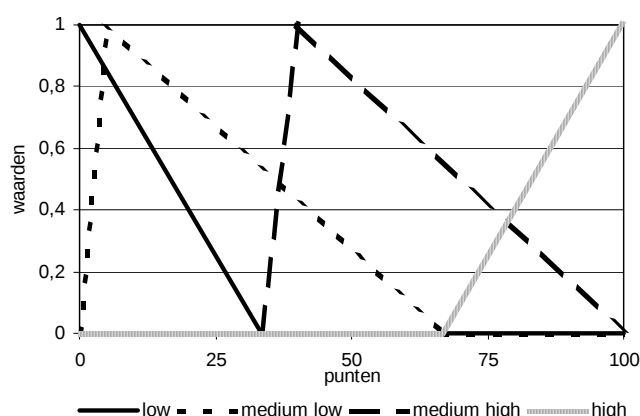
*IF 'kracht, belastingsduur and belastingsfrequentie' are acceptable, THEN 'DTHand' is high
 IF 'belastingsduur' or '-frequentie' is unacceptable, THEN 'DTHand' is medium_high
 IF 'kracht' is unacceptable, THEN 'DTHand' is medium_low
 In all other situations 'DTHand' is low*

De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van een individuele duw/trek-handeling is weergegeven in figuur 21.



Figuur 21 Fuzzy-logicstructuur van beoordeling van een individuele duw/trek-handeling.
 Figure 21 Fuzzy logic structure of the assessment of one push/pull action.

Uit figuur 21 blijkt dat de belastingsduur, belastingsfrequentie en de kracht de ingangen van het model vormen en de duw/trekscore van een handeling (= DTHand) het modelresultaat is. De duw/trekscore van een handeling is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium_high', 'medium_low' en 'low'. De bijbehorende membershipfuncties zijn weergegeven in figuur 22.



Figuur 22 Membershipfunctie van de output DTHand (= duw/trekscore van een handeling).
 Figure 22 Membership function of output DTHand (=score for one push/pull action).

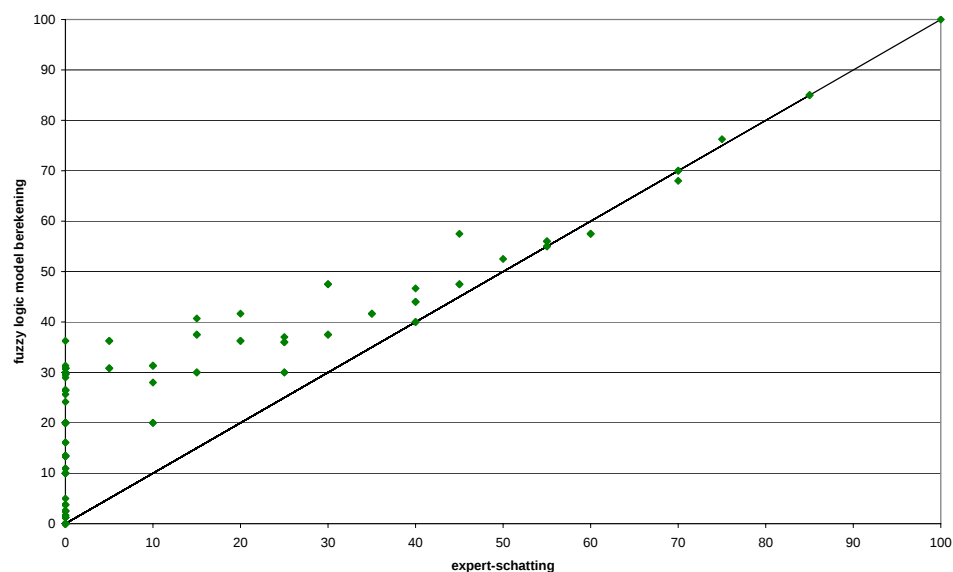
De membershipfuncties met de linguïstische termen high, medium_high, medium_low en low van DTHand hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 40, 5 en 0 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 100 punten overeenkomt met een volledig acceptabele situatie en 0 punten met een volledig onacceptabele situatie. De output DTHand wordt defuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties uit figuur 22. Deze membershipfuncties zijn bepaald op basis van het geschatte aantal punten van DTHand door een expert voor een aantal mogelijke waarden van de beoordelingsaspecten kracht (40; 155; 270; 345 en 500 N), belastingsfrequentie (5; 8,25; 11,5; 14,75 en 18 keer per minuut) en –duur (0,05; 0,29; 0,53; 0,76 en 1 uur). De expert oordeelde dat de score voor DTHand afneemt met 25 punten, indien de kracht met één stap toeneemt (b.v. van 40 naar 155 N). Indien de duur of frequentie met één stap toenemen, dan neemt de score voor DTHand af met 15 punten. De expert gebruikte de volgende formule voor de schatting van de output DTHand:

$$\text{Output DTHand} = 100 - a \cdot 25 - b \cdot 15 - c \cdot 15$$

Met:

- a is aantal stappen dat de kracht toeneemt
- b is aantal stappen dat de duur toeneemt
- c is aantal stappen dat de frequentie toeneemt

Indien bijvoorbeeld de kracht, duur en frequentie gelijk zijn aan respectievelijk 155 N, 0,53 uur en 5 keer per minuut, dan is de expert-schatting van DTHand gelijk aan 55 punten. De inputs kracht, duur en frequentie zijn dan namelijk toegenomen met respectievelijk één, twee en nul stappen. Negatieve expert-scores van de output DTHand worden gelijk aan nul gesteld. In figuur 23 worden de voorspelde scores voor een individuele duw/trek-handeling door het fuzzy-logicmodel uitgezet tegen de bijbehorende expertschattingen.



Figuur 23 Relatie tussen scores van een individuele duw/trek-handeling berekend met het fuzzy logic model en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

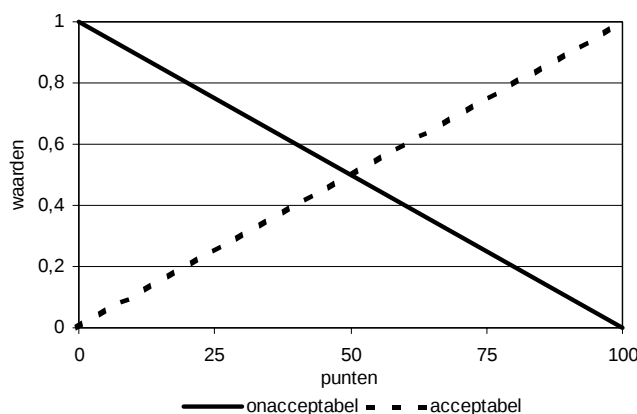
Figure 23 Relation between scores of one push/pull action calculated with the fuzzy logic model and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

De door het fuzzy-logicmodel voorspelde scores wijken duidelijk af van de expertschattingen. Uit figuur 23 blijkt dat het fuzzy-logicmodel vooral de lage expertscores overschat. De grootste absolute verschillen treden op rond de geschatte nulpunten van de expert. In deze situaties berekent het fuzzy-logicmodel nog steeds een positieve systemscore voor duwen/trekken (zie figuur 23). Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute

verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel zijn respectievelijk 12,6 en 11,3 punten.

4.2.2 Combinatie van meerdere individuele duw/trekscores

De gedefuzzificeerde outputs van het fuzzy-logicmodel van paragraaf 4.2.1 (i.e. individuele duw/trekscores in punten) worden gefuzzificeerd voordat ze gecombineerd worden tot een systeemscore voor duwen/trekken. Fuzzificatie betekent hier de vertaling van crisp values naar de linguïstische termen 'acceptabel' en 'onacceptabel'. De mate van (on)acceptabelheid van deze duw/trekscores van één individuele handeling (c.q. aantal punten) wordt bepaald met de membershipfuncties uit figuur 24.



Figuur 24 Membershipfunctie van een individuele duw/trekscore.

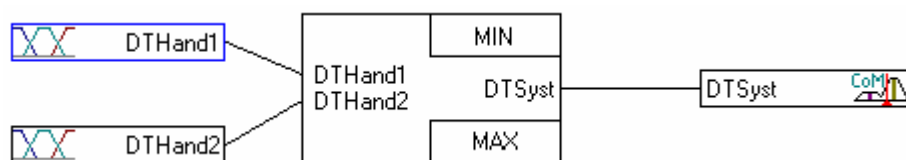
Figure 24 Membership function of a score for an individual push/pull action.

De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft bij 100 punten de membershipwaarde 1 en bij 0 punten de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' vormt het complement van deze functie.

In de te beoordelen vleesvarkensproductiesystemen komen twee duw- of trekhandelingen voor, namelijk bij het afleveren van de varkens en tijdens het reinigen en ontsmetten. De twee individuele duw/trekscores (DTHand) van deze handelingen worden met een rule-base samengevoegd tot een duw/trekscore voor het systeem. De rule-base voor het bepalen van de duw/trekscore voor het systeem, DTSyst, is als volgt samengesteld:

IF 'all DTHand' are acceptable, THEN 'DTSyst' is high
 IF 'one DTHand' is unacceptable, THEN 'DTSyst' is medium
 IF 'all DTHand' are unacceptable, THEN 'DTSyst' is low

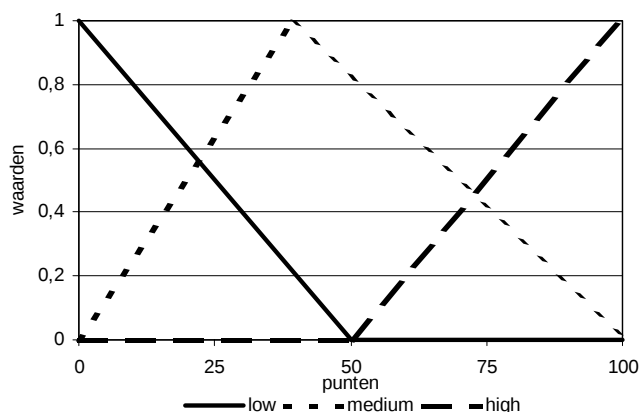
De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van de combinatie van twee individuele duw/trek-handelingen tot een systeemscore is weergegeven in figuur 25.



Figuur 25 Fuzzy-logicstructuur van combinatie van twee individuele duw/trek-handelingen.

Figure 25 Fuzzy logic structure of the combination of two push/pull actions.

Uit figuur 25 blijkt dat de individuele duw/trekscores de ingangen van het model vormen en de duw/trek-systeemscore (= DTSyst) het modelresultaat is. De duw/trek-systeemscore is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium' en 'low'. De bijbehorende membershipfuncties zijn weergegeven in figuur 26.



Figuur 26 Membershipfuncties van de output DTSyst (= systeemscore voor combinatie van individuele duw/trekscores).

Figure 26 Membership functions of output DTSyst (=system score for combination push/pull actions).

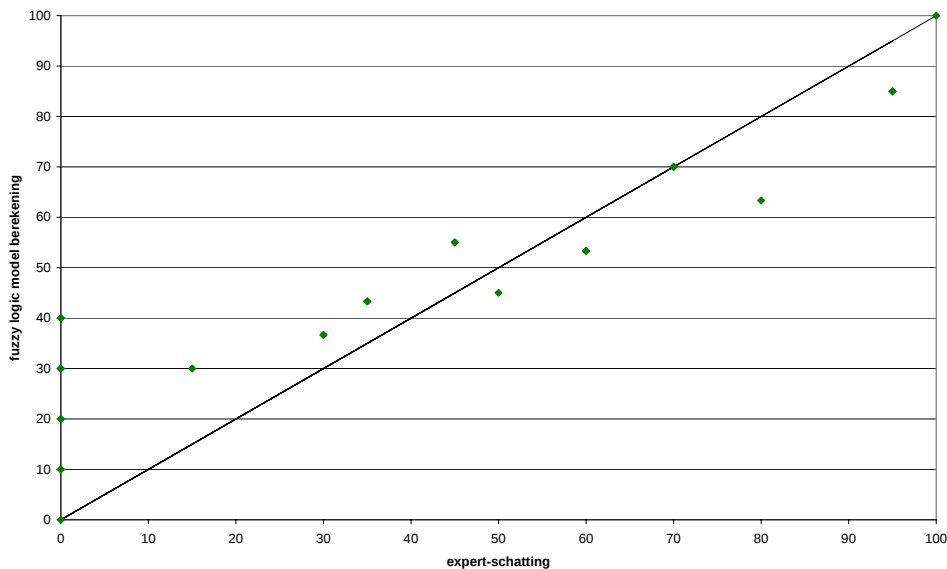
De membershipfuncties met de linguïstische termen high, medium en low van DTSyst hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 40 en 0 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 100 punten overeenkomt met een volledig acceptabele situatie en 0 punten met een volledig onacceptabele situatie. De output DTSyst wordt gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties van figuur 26. Deze membershipfuncties zijn bepaald op basis van het geschatte aantal punten voor DTSyst door een expert voor een aantal mogelijke van de ingaande duw/trekscores (100, 75, 50, 25 en 0 punten). In tabel 3 staan de expert-schattingen vermeld, waarbij DTHand 1 en DTHand 2 als gelijkwaardig worden beschouwd. Dit betekent dat een score van DTHand 1 gelijk aan 75 punten en DTHand 2 gelijk aan 100 punten ook een expert-schatting van 95 punten voor DTSyst geeft. Indien een combinatie van scores voor DTHand niet voorkomt in deze tabel, dan is de expert-schatting gelijk aan 0 punten.

Tabel 3 Expert-schatting van DTSyst voor verschillende waarden van twee scores voor duwen/trekken.

Table 3 Expert judgement of DTSyst for different values of two scores for push/pull.

DTHand 1	DTHand 2	Expert-schatting DTSyst
100	100	100
100	75	95
100	50	70
100	25	45
75	75	80
75	50	60
75	25	35
50	50	50
50	25	30
25	25	15

In figuur 27 zijn de door het fuzzy-logicmodel voorspelde scores voor DTSyst uitgezet tegen de bijbehorende expertschattingen.



Figuur 27 Relatie tussen systeemscores van duwen/trekken berekend met het fuzzy logic model en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

Figure 27 Relation between system scores of push/pull actions calculated with the fuzzy logic model and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

Uit figuur 27 blijkt dat het fuzzy-logicmodel de hoge expertscores onderschat en de lage expertscores overschat. De grootste absolute verschillen treden op rond de geschatte nulpunten door de expert. In deze situaties berekent het fuzzy-logicmodel nog steeds een positieve systeemscore voor duwen/trekken (zie figuur 27). Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel zijn respectievelijk 12,8 en 11,4 punten.

4.3 Beoordeling van geluid

Gelijk aan de beoordeling van duwen/trekken valt de beoordeling van geluid uiteen in twee stappen, te weten:

1. berekening van de geluidscore van een individuele handeling (paragraaf 4.3.1);
2. berekening van de geluidscore van het systeem (paragraaf 4.3.2).

4.3.1 Beoordeling van een individuele handeling met geluid

Het geluidsniveau (dB(A)), de belastingsduur en belastingsfrequentie van een handeling met geluid worden gebruikt als beoordelingsaspecten om de geluidscore van één handeling te bepalen. De mate van (on)acceptabelheid in relatie tot geluidbelasting wordt voor deze aspecten bepaald met de membershipfuncties uit paragraaf 3.3. Daarna wordt de geluidscore van een individuele handeling met geluid, GeluidHand, bepaald met een rule-base:

*IF 'geluidsniveau, belastingsduur and belastingsfrequentie' are acceptable,
 THEN 'GeluidHand' is high
 IF 'belastingsduur' or '-frequentie' is unacceptable, THEN 'GeluidHand' is medium_high
 IF 'geluidsniveau' is unacceptable, THEN 'GeluidHand' is medium_low
 In all other situations GeluidHand is low*

De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van een individuele handeling met geluid is weergegeven in figuur 28.



Figuur 28 Fuzzy-logicstructuur van beoordeling van een individuele handeling met geluid.
 Figure 28 Fuzzy logic structure of the assessment of one action with noise.

Uit figuur 28 blijkt dat de belastingsduur, belastingsfrequentie en het geluidsniveau de ingangen van het model vormen en de geluidscore van een handeling (= GeluidHand) het modelresultaat is. De geluidscore van een handeling is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium_high', 'medium_low' en 'low'. De bijbehorende membershipfuncties, defuzzificatie-methode en de performance van het fuzzy-logicmodel zijn gelijk aan die van de fuzzy-logicmodellering van de duw/trekscore van één handeling (zie figuren 22 en 23).

4.3.2 Combinatie van meerdere individuele geluidscores

De gedefuzzificeerde outputs van het fuzzy-logicmodel van paragraaf 4.3.1 (i.e. individuele geluidscores in punten) worden voor de combinatie weer eerst gefuzzificeerd. De mate van (on)acceptabelheid van deze geluidscores van één individuele handeling (c.q. aantal punten) wordt bepaald met dezelfde membershipfuncties als de individuele duw/trekscores (zie figuur 24). De twee individuele geluidscores (GeluidHand) worden, gelijk aan de individuele duw/trek scores, met een rule-base samengevoegd tot een geluidscore voor het systeem. De rule-base voor het bepalen van de geluidscore voor het systeem, GeluidSyst, is als volgt samengesteld:

IF 'all GeluidHand' are acceptable, THEN 'GeluidSyst' is high
IF 'one GeluidHand' is unacceptable, THEN 'GeluidSyst' is medium
IF 'all GeluidHand' are unacceptable, THEN 'GeluidSyst' is low

De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van de combinatie van twee individuele handelingen met geluid is weergegeven in figuur 29.



Figuur 29 Fuzzy-logicstructuur van combinatie van twee individuele handelingen met geluid.
 Figure 29 Fuzzy logic structure of the combination of two actions with noise.

Uit figuur 29 blijkt dat de individuele geluidscores de ingangen van het model vormen en de geluid-systeemscore (= GeluidSyst) het modelresultaat is. De geluid-systeemscore is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium' en 'low'. De bijbehorende membershipfuncties, defuzzificatie-methode en de performance van het fuzzy-logicmodel zijn analoog aan die van de fuzzy-logicmodellering van de systeemscore voor duwen/trekken (zie figuren 26 en 27).

4.4 Beoordeling van biologische en chemische agentia

De beoordeling van biologische en chemische agentia valt uiteen in de beoordeling van inhaalbaar stof, ammoniak (= NH_3) en chemische reinigingsmiddelen. De beoordeling van individuele handeling met stof, ammoniak en chemisch reinigingsmiddel vindt plaats met precies dezelfde fuzzy-logicstructuur. Als voorbeeld zal de beoordeling van reinigingsmiddel worden behandeld (paragraaf 4.4.1). In paragraaf 4.4.2 wordt de combinatie van vijf individuele scores met dezelfde agentia tot een eindscore voor de desbetreffende agentia

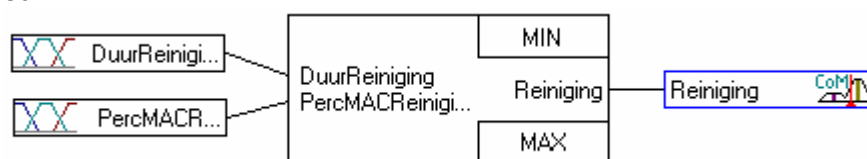
beschreven. Dit fuzzy-logicmodel wordt gebruikt voor de combinatie van vijf individuele handelingen met zowel stof als ammoniak (zie beschrijving van de twee fictieve stallen in hoofdstuk 5). Paragraaf 4.4.3 presenteert de berekening van de uiteindelijke systeemscore voor biologische en chemische agentia.

4.4.1 Beoordeling van een individuele handeling met stof, ammoniak of chemische reinigingsmiddel

Het percentage van de MAC-waarde en de blootstellingsduur van een handeling in een willekeurig agentia worden gebruikt als beoordelingsaspecten om de agentiascore van één handeling te bepalen. Het percentage van de MAC-waarde is de verhouding tussen de huidige en de geadviseerde concentratie van agentia (= MAC-waarde) vermenigvuldigd met 100%. De mate van (on)acceptabelheid in relatie tot de agentabelasting wordt voor de aspecten bepaald met de membershipfuncties uit paragraaf 3.4. Daarna wordt de agentiascore van een individuele handeling, bijvoorbeeld Reiniging, bepaald met een rule-base:

IF 'blootstellingsduur and percentage MAC' are acceptable, THEN 'Reiniging' is high
IF 'blootstellingsduur' is unacceptable, THEN 'Reiniging' is medium_high
IF 'percentage MAC' is unacceptable, THEN 'Reiniging' is medium_low
In all other situations 'Reiniging' is low

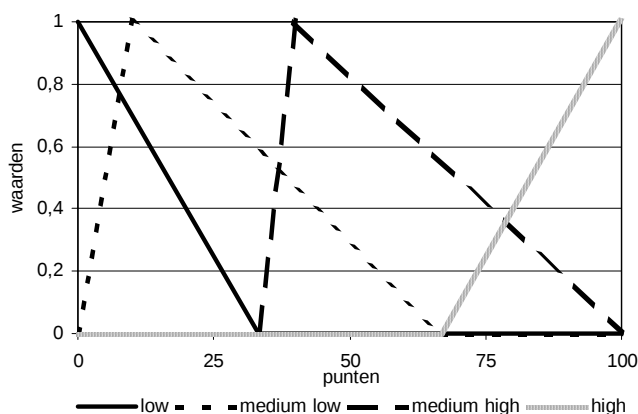
De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van een individuele handeling met bijvoorbeeld chemisch reinigingsmiddel is weergegeven in figuur 30.



Figuur 30 Fuzzy-logicstructuur van beoordeling van een handeling met chemisch reinigingsmiddel.

Figure 30 Fuzzy logic structure of the assessment of one action with chemical cleaner.

Uit figuur 30 blijkt dat de blootstellingsduur en het percentage van de MAC-waarde de ingangen van het model vormen en de agentiascore van één handeling in stof, ammoniak of reiniging het modelresultaat is. De agentiascore van een handeling is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium_high', 'medium_low' en 'low'. De bijbehorende membershipfuncties van de score voor chemisch reinigingsmiddel (= Reiniging) zijn weergegeven in figuur 31.



Figuur 31 Membershipfunctie van de output Reiniging (= score van een handeling met chemisch reinigingsmiddel).

Figure 31 Membership function of output Reiniging (= score for one action with chemical cleaner).

De membershipfuncties van de stof- en ammoniakscores van één handeling zijn gelijk aan de membershipfuncties voor Reiniging uit figuur 31. De membershipfuncties met de linguïstische termen high, medium_high, medium_low en low van de agentiascore van een individuele handeling hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 40, 10 en 0 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 100 punten overeenkomt met een volledig acceptabele situatie en 0 punten met een volledig onacceptabele situatie. De agentiascore van een individuele handeling wordt gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties uit figuur 31. Deze membershipfuncties zijn bepaald op basis van het geschatte aantal punten van de agentia-score voor één handeling door een expert voor een aantal mogelijke waarden van de beoordelingsaspecten percentage van de MAC-waarde (40; 55; 70; 85 en 100%) en blootstellingsduur (2; 3; 4; 5 en 6 uur). De expert oordeelde dat de agentiascore van één individuele handeling afneemt met 22,5 punten, indien het percentage van de MAC-waarde met één stap toeneemt (b.v. van 40 naar 55%). Indien de blootstellingsduur met één stap toeneemt, dan neemt de agentiascore voor één individuele handeling af met 15 punten. De expert gebruikte de volgende formule voor de schatting van de agentia-score van één individuele handeling:

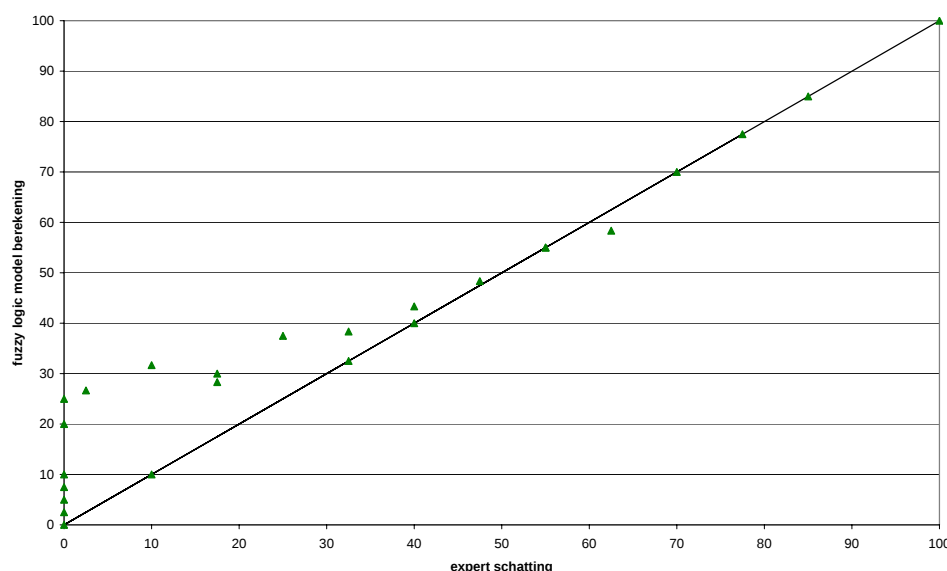
$$\text{Agentia-score van één individuele handeling} = 100 - a \cdot 22,5 - b \cdot 15$$

Met:

a is aantal stappen dat het percentage van de MAC-waarde toeneemt

b is aantal stappen dat de blootstellingsduur toeneemt

Indien bijvoorbeeld het percentage van de MAC-waarde en de blootstellingsduur frequentie gelijk zijn aan respectievelijk 70% en 5 uur, dan is de expert-schatting van de agentia-score van deze handeling gelijk aan 10 punten. De inputs, percentage van de MAC-waarde en de blootstellingsduur, zijn dan namelijk toegenomen met respectievelijk twee en drie stappen. Negatieve expert-scores worden gelijk aan nul gesteld. In figuur 32 zijn de door het fuzzy-logic-model voorspelde scores voor een individuele handeling met agentia uitgezet tegen de bijbehorende expertschattingen.



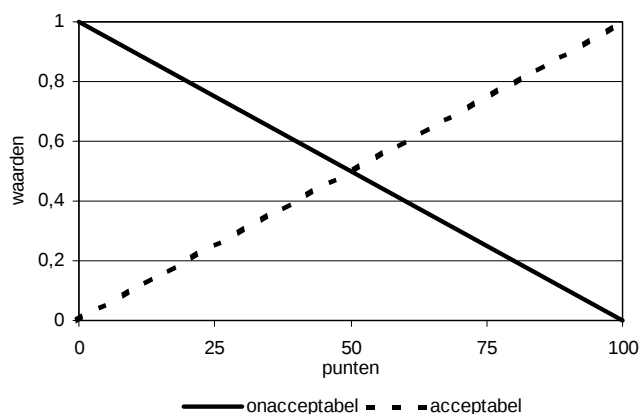
Figuur 32 Relatie tussen de scores van een individuele handeling met agentia berekend met het fuzzy logic model en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.
 Figure 32 Relation between the scores of one action with agentia calculated with the fuzzy logic model and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

Uit figuur 32 blijkt dat het fuzzy-logicmodel vooral de lage expertscores overschat. De grootste absolute verschillen treden op rond de geschatte nulpunten van de expert. In deze situaties berekent het fuzzy-logicmodel nog steeds een positieve score voor een handeling

met agentia (zie figuur 32). Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel zijn respectievelijk 6,6 en 8,3 punten. De scores van individuele handelingen in stof, ammoniak en chemisch reinigingsmiddel vertonen precies dezelfde karakteristieken. Aangezien maar één handeling met chemische reiniging optreedt in de te beoordelen vleesvarkensproductiesystemen, vormt deze individuele handelingscore meteen de systeemscore voor reiniging.

4.4.2 Combinatie van meerdere scores voor individuele handelingen in stof of ammoniak

De defuzzificeerde outputs van de fuzzy-logicmodellen van paragraaf 4.4.1 (i.e. individuele agentiascores in punten) worden voor de combinatie weer eerst gefuzzificeerd. De mate van (on)acceptabelheid van deze agentiascores van één individuele handeling (c.q. aantal punten) wordt voor zowel stof, ammoniak als chemisch reinigingsmiddel bepaald met de membershipfuncties uit figuur 33.



Figuur 33 Membershipfunctie van een individuele agentiascore.

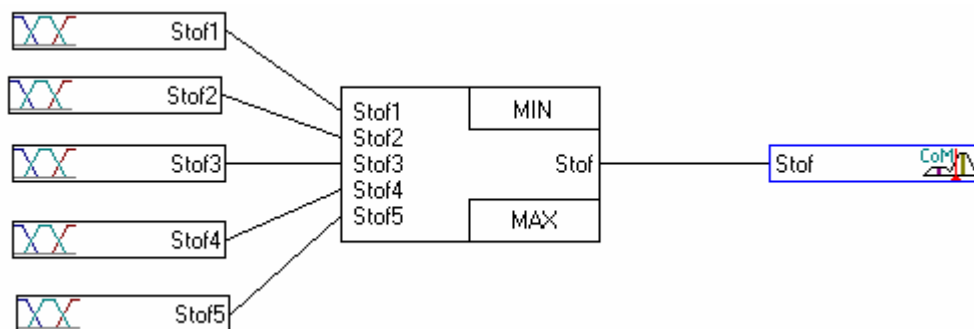
Figure 33 Membership function of one action with agentia.

De membershipfunctie met de linguïstische term 'acceptabel' heeft bij 100 punten de membershipwaarde 1 en bij 0 punten de membershipwaarde 0. De membershipfunctie van 'onacceptabel' vormt het complement van deze functie.

De vijf individuele agentiascores (voor stof en ammoniak) worden met een rule-base samengevoegd tot een agentiascore voor het systeem. De rule-base voor het bepalen van de agentiascore voor het systeem is als volgt samengesteld:

IF 'all agentiascores' are acceptable, THEN 'systeem agentiascore' is high
IF 'one agentiascore' is unacceptable, THEN 'systeem agentiascore' is medium_high
IF 'two agentiascores' are unacceptable, THEN 'systeem agentiascore' is medium_low
IF 'more than two agentiascores' are unacceptable, THEN 'systeem agentiascore' is low

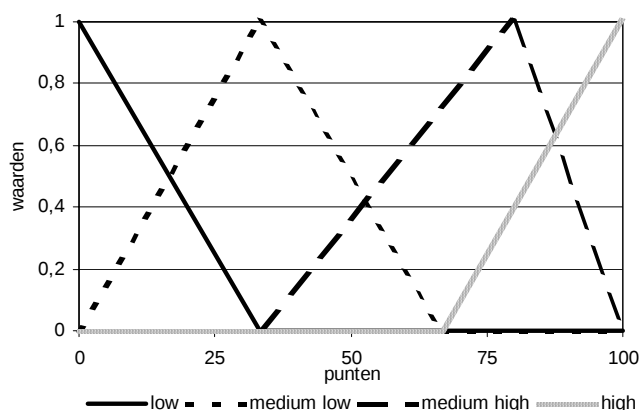
De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van de combinatie van vijf individuele handelingen met stof tot een systeemscore wordt als voorbeeld weergegeven in figuur 34. Dezelfde structuur geldt voor de bepaling van de systeemscore voor handelingen met ammoniak.



Figuur 34 Fuzzy-logicstructuur van combinatie van vijf individuele handelingen voor één agentia (hier: stof).

Figure 34 Fuzzy logic structure of the combination of five actions with one agentia (dust).

Uit figuur 34 blijkt dat de individuele agentiascores de ingangen van het model vormen en de systeemscore voor agentia (hier: stof of ammoniak) het modelresultaat is. De systeemscore voor agentia is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium_high', 'medium_low' en 'low'. Als voorbeeld zijn de bijbehorende membershipfuncties van stof weergegeven in figuur 35. De membershipfuncties van de systeemscore voor ammoniak vertonen precies dezelfde karakteristieken.



Figuur 35 Membershipfuncties van de systeemscore voor één agentia (b.v. stof of ammoniak) bij vijf hoge ingaande individuele agentia-scores.

Figure 35 Membership functions of system score for one agentia (e.g. dust or ammonia) with five high individual agentia-scores.

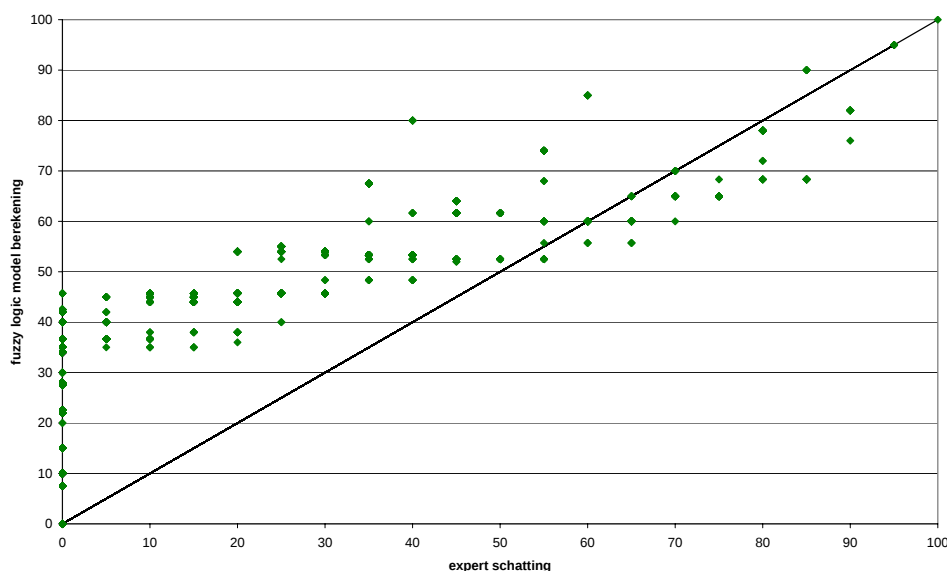
De membershipfuncties met de linguïstische termen high, medium_high, medium_low en low van de systeemscore voor agentia hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 80, 30 en 0 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 100 punten overeenkomt met een volledig acceptabele situatie en 0 punten met een volledig onacceptabele situatie. De systeemscore voor agentia (hier: stof of ammoniak) wordt gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties uit figuur 35. Deze membershipfuncties zijn bepaald op basis van het geschatte aantal punten van de systeemscore voor één agentia door een expert voor een aantal mogelijke waarden van de ingaande individuele agentia-scores (100, 75, 50, 25 en 0 punten). De expert gebruikte de volgende formule voor de schatting van de output van de systeemscore voor één agentia (stof of ammoniak):

$$\text{Systeemscore voor één agentia (stof of ammoniak)} = 100 - a \cdot 0 - b \cdot 5 - c \cdot 15 - d \cdot 40 - e \cdot 60$$

Met:

- a is aantal inputs met een individuele agentia-score gelijk aan 100
- b is aantal inputs met een individuele agentia-score gelijk aan 75
- c is aantal inputs met een individuele agentia-score gelijk aan 50
- d is aantal inputs met een individuele agentia-score gelijk aan 25
- e is aantal inputs met een individuele agentia-score gelijk aan 0

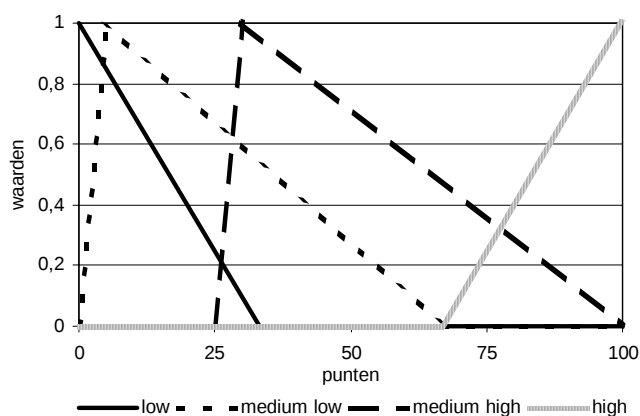
De door de expert geschatte systeemscore voor één agentia is dus gelijk aan 100 punten, indien alle vijf ingaande individuele agentia-scores gelijk zijn aan 100. Wanneer één individuele agentia-score gelijk is aan 75 dan is de systeemscore voor één agentia gelijk aan 95 punten. Negatieve scores van de door de expert geschatte systeemscore voor één agentia worden handmatig omgezet naar 0 punten. In figuur 36 zijn de door het fuzzy-logicmodel voorspelde systeemscores voor agentia uitgezet tegen de expertschattingen.



Figuur 36 Relatie tussen systeemscores van één agentia berekend met het fuzzy logic model 'hoge individuele agentia-scores' en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

Figure 36 Relation between system scores for one agentia calculated with the fuzzy logic model 'high individual agentia-scores' and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

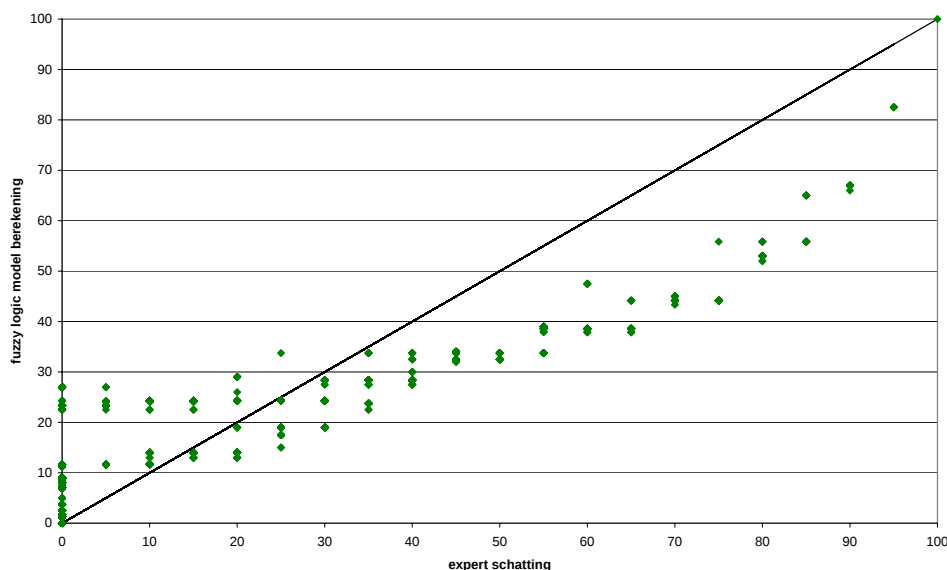
Uit figuur 36 blijkt dat het fuzzy-logicmodel vooral de lage expertscores overschat. Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel zijn respectievelijk 21,5 en 12,1 punten. Uitgebreide analyse van bovenstaand fuzzy-logicmodel toonde aan dat in het geval van lage individuele agentiascores (= aspecten) de membershipfuncties van de systeemscore voor agentia aangepast moesten worden. De membershipfuncties van de systeemscore voor agentia bij lage individuele agentiascores zijn weergegeven in figuur 37.



Figuur 37 Membershipfuncties van de systeemscore voor één agentia (b.v. stof of ammoniak) bij vijf lage ingaande individuele agentia-scores.

Figure 37 Membership functions of system score for one agentia (e.g. dust or ammonia) with five low individual agentia-scores.

De membershipfuncties met de linguïstische termen high, medium_high, medium_low en low van de systeemscore voor agentia hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 30, 5 en 0 punten. De systeemscore voor één agentia (hier: stof of ammoniak) wordt ook nu gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties uit figuur 37. Deze membershipfuncties van de systeemscore voor één agentia zijn opnieuw bepaald op basis van de geschatte beoordelingspunten door een expert voor een aantal mogelijke ingaande individuele agentiascores. In figuur 38 zijn door het fuzzy-logicmodel voorspelde systeemscores voor één agentia uitgezet tegen de expertschattingen. Figuur 38 maakt gebruik van het fuzzy-logicmodel voor de combinatie van lage individuele agentiascores.



Figuur 38 Relatie tussen systeemscores voor één agentia berekend met het fuzzy logic model 'lage individuele agentiascores' en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

Figure 38 Relation between system scores for one agentia calculated with the fuzzy logic model 'low individual agentia-scores' and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

Uit figuur 38 blijkt dat het fuzzy-logicmodel voor combinatie van lage individuele systeemscores inderdaad een beter resultaat geeft dan het model van figuur 36. Het fuzzy-logicmodel voor combinatie van lage individuele scores onderschat zoals verwacht vooral de hoge expertscores (zie figuur 38). Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel voor lage scores zijn respectievelijk 9,0 en 7,8 punten. Het fuzzy-logicmodel voor lage scores levert dus in het algemeen wel een betere benadering van de schatting van de expert, hetgeen vooral komt door de grotere hoeveelheid lage scoremogelijkheden.

Afgesproken wordt dat het fuzzy-logicmodel voor hoge individuele agentiascores (figuren 35 en 36) wordt toegepast, indien het gemiddelde van de vijf individuele agentia-scores hoger is dan 50. Het fuzzy-logicmodel voor lage individuele agentiascores (figuren 37 en 38) wordt toegepast, indien het gemiddelde van de vijf individuele agentia-scores gelijk is aan of lager is dan 50. De bovengenoemde fuzzy-logicmodellen worden dus gebruikt voor de berekening van de systeemscores voor stof en ammoniak.

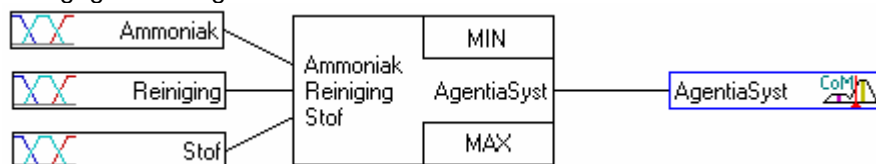
4.4.3 Combinatie van de systeemscores stof, ammoniak en chemische reiniging

De gedefuzzificeerde outputs van de systeemscores voor stof, ammoniak en chemische reiniging worden voor de combinatie weer eerst gefuzzificeerd. De mate van (on)acceptabelheid van deze systeemscores (c.q. aantal punten) wordt voor zowel stof, ammoniak als chemisch reinigingsmiddel bepaald met de membershipfuncties uit figuur 33. De drie systeemscores voor agentia worden met een rule-base samengevoegd tot een agentscore voor het totale systeem.

De rule-base voor het bepalen van de agentscore voor het totale systeem, AgentiaSyst, is als volgt samengesteld:

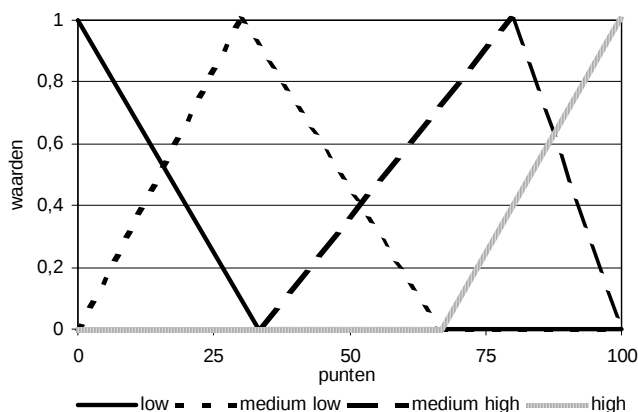
IF 'all agentia systeemscores' are acceptable, THEN 'AgentiaSyst' is high
IF 'one agentia systeemscore' is unacceptable, THEN 'AgentiaSyst' is medium_high
IF 'two agentia systeemscores' are unacceptable, THEN 'AgentiaSyst' is medium_low
IF 'more than two agentia systeemscores' are unacceptable, THEN 'AgentiaSyst' is low

De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van de combinatie van drie systeemscores voor stof, ammoniak en chemische reiniging wordt weergegeven in figuur 39.



Figuur 39 Fuzzy-logicstructuur van combinatie van drie systeemscores voor agentia.
 Figure 39 Fuzzy logic structure of the combination of three system scores for agentia.

Uit figuur 39 blijkt dat de systeemscores voor stof, ammoniak en chemische reiniging de ingangen van het model vormen en de systeemscore voor agentia (= AgentiaSyst) het modelresultaat is. De systeemscore voor agentia is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium_high', 'medium_low' en 'low'. De bijbehorende membershipfuncties van deze output zijn weergegeven in figuur 40.



Figuur 40 Membershipfuncties van de output AgentiaSyst (= systeemscore voor combinatie van drie systeemscores van agentia).

Figure 40 Membership functions of output AgentiaSyst (=system score for combination of three system scores with agentia).

De membershipfuncties met de linguïstische termen high, medium_high, medium_low en low van de totale systeemscore voor agentia hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 80, 30 en 0 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 100 punten overeenkomt met een volledig acceptabele situatie en 0 punten met een volledig onacceptabele situatie. De totale systeemscore voor agentia wordt gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties uit figuur 40. De ligging van de membershipfuncties is bepaald op basis van het door de expert geschatte aantal punten van

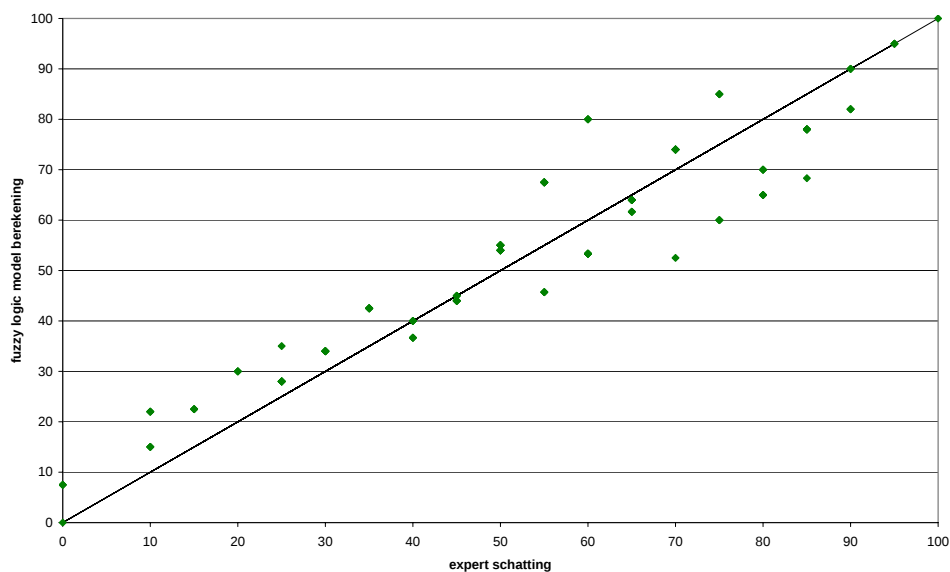
de systeemscore voor agentia voor mogelijke waarden van de drie systeemscores voor stof, ammoniak en reiniging (= inputs van het beoordelingsmodel voor de totale systeemscore). De door de expert geëvalueerde waarden van de systeemscores voor stof, ammoniak en reiniging zijn: 100 (volledig acceptabele score); 75; 50; 25 en 0 (volledig onacceptabele score). De expert heeft de score (0 – 100 punten) van de totale systeemscore bepaald voor alle mogelijk combinaties van deze vijf waarden voor een systeemscore van één agentia. Aangezien drie systeemscores voor een agentia de inputs van het beoordelingsmodel vormen, werd voor 125 combinaties de totale systeemscore geschat. De expert gebruikte de volgende formule voor deze schatting:

$$\text{Totale systeemscore} = 100 - a \cdot 0 - b \cdot 5 - c \cdot 10 - d \cdot 25 - e \cdot 40$$

Met:

- a is aantal inputs met een systeemscore voor één agentia gelijk aan 100
- b is aantal inputs met een systeemscore voor één agentia gelijk aan 75
- c is aantal inputs met een systeemscore voor één agentia gelijk aan 50
- d is aantal inputs met een systeemscore voor één agentia gelijk aan 25
- e is aantal inputs met een systeemscore voor één agentia gelijk aan 0

De door de expert geschatte totale systeemscore is dus gelijk aan 100 punten, indien alle drie ingaande systeemscores voor stof, ammoniak en reiniging gelijk zijn aan 100. Wanneer één van deze systeemscores gelijk is aan 75 dan is de totale systeemscore gelijk aan 95 punten. Negatieve scores van de door de expert geschatte totale systeemscore worden handmatig omgezet naar 0 punten. In figuur 41 worden de door het fuzzy-logicmodel voorspelde totale systeemscores voor agentia uitgezet tegen de expertschattingen.



Figuur 41 Relatie tussen de totale systeemscore voor agentia berekend met het fuzzy-logic model en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

Figure 41 Relation between the total system score for agentia calculated with the fuzzy-logic model and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

Uit figuur 41 blijkt dat het fuzzy-logicmodel de expertscores goed benadert. Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel zijn respectievelijk 6,3 en 4,8 punten.

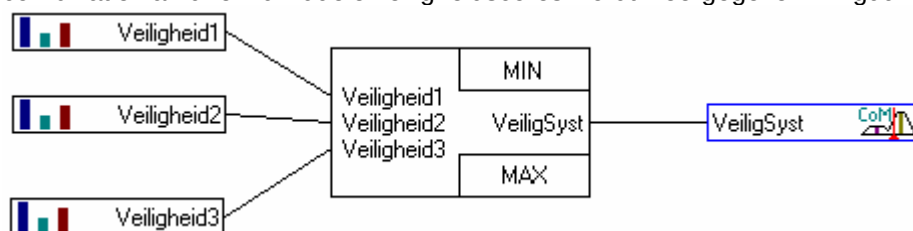
4.5 Beoordeling van veiligheid

De beoordeling van veiligheid heeft fuzzy waarden als beoordelingsaspecten, namelijk de (on)acceptabelheid van een situatie. De membershipwaarden worden bepaald volgens de methode in hoofdstuk 3.5. De drie situaties waarin veiligheid een rol speelt worden met een rule-base samengevoegd tot een systeemscore voor veiligheid.

De rule-base voor het bepalen van de systeemscore voor veiligheid, VeiligSyst, is als volgt samengesteld:

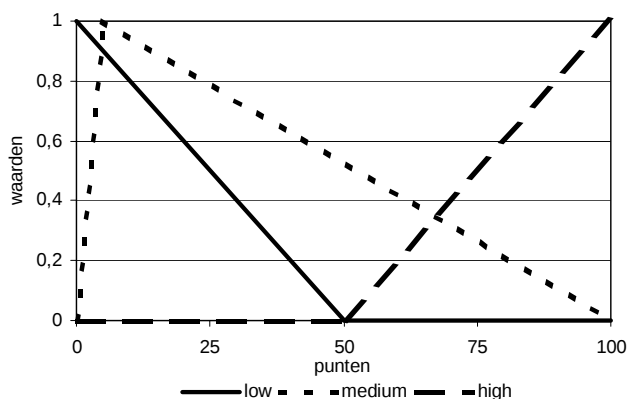
IF 'all individual veiligheidsscores' are acceptable, THEN 'VeiligSyst' is high
IF 'one individual veiligheidsscore' is unacceptable, THEN 'VeiligSyst' is medium
IF 'more than one individual veiligheidsscores' are unacceptable, THEN 'VeiligSyst' is low

De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van de combinatie van drie individuele veiligheidsscores wordt weergegeven in figuur 42.



Figuur 42 Fuzzy-logicstructuur van combinatie van drie individuele veiligheidsscores.
 Figure 42 Fuzzy logic structure of the combination of three individual safety scores.

Uit figuur 42 blijkt dat de individuele veiligheidsscores de ingangen van het model vormen en de systeemscore voor veiligheid (= VeiligSyst) het modelresultaat is. De systeemscore voor veiligheid is een output met de linguïstische termen 'high', 'medium' en 'low'. De bijbehorende membershipfuncties van deze output zijn weergegeven in figuur 43.



Figuur 43 Membershipfuncties van de output VeiligSyst (= systeemscore voor combinatie van drie individuele veiligheidsscores).
 Figure 43 Membership functions of output VeiligSyst (=system score for combination of three individual safety scores).

De membershipfuncties met de linguïstische termen high, medium en low van de systeemscore voor veiligheid hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 50 en 0 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 100 punten overeenkomt met een volledig acceptabele situatie en 0 punten met een volledig onacceptabele situatie. De systeemscore voor veiligheid wordt gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties uit figuur 43. De ligging van de membershipfuncties is bepaald op basis van het door de expert geschatte aantal punten van de systeemscore voor veiligheid voor mogelijke waarden van de drie ingaande fuzzy veiligheidsscores. De door de expert geëvalueerde 'acceptabele' membershipwaarden van de fuzzy veiligheidsscores zijn: 1 (i.e. 0 onacceptabel); 0.7 (i.e. 0.3 onacceptabel); 0.3 (i.e. 0.7 onacceptabel) en 0 (i.e. 1

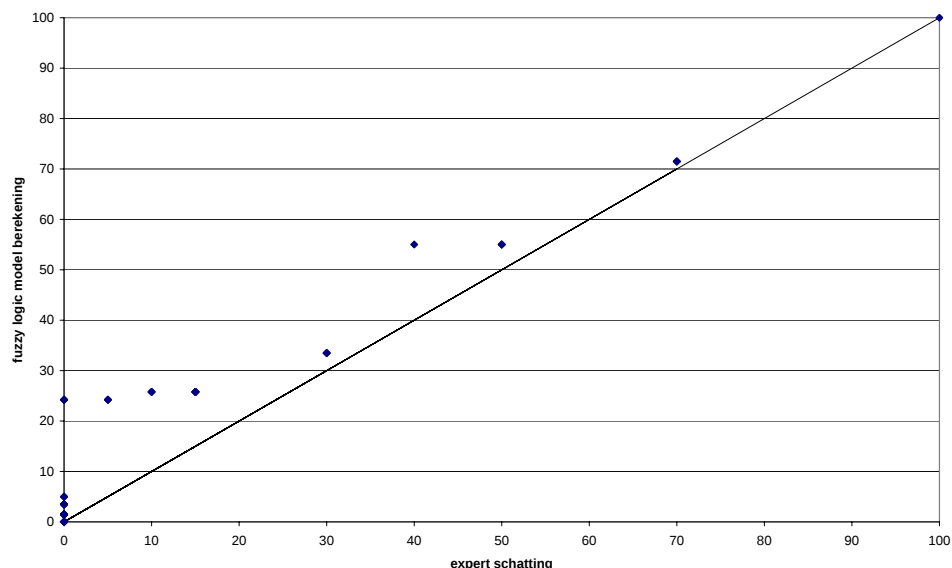
onacceptabel). De expert heeft de score (0 – 100 punten) van de systeemscore voor veiligheid bepaald voor alle mogelijk combinaties van deze vier waarden voor een ingaande veiligheidscore. Aangezien drie veiligheidscores de inputs van het beoordelingsmodel vormen, werd voor 64 combinaties de systeemscore voor veiligheid geschat. In tabel 4 staan de expert-schattingen vermeld, waarbij Veiligheid 1, 2 en 3 als gelijkwaardig worden beschouwd. Dit betekent dat een score van Veiligheid 1 gelijk aan 75 punten en Veiligheid 2 gelijk aan 100 punten ook een expert-schatting van 95 punten voor de systeemscore van veiligheid geeft. Indien een combinatie van scores voor Veiligheid 1, 2 en 3 niet voorkomt in deze tabel, dan is de expert-schatting voor de systeemscore veiligheid gelijk aan 0 punten.

Tabel 4 Expert-schatting van systeemscore veiligheid voor verschillende waarden van drie 'acceptabele' fuzzy scores voor individuele veiligheidsacties.

Table 4 Expert judgement of system score for safety for different values of three 'acceptable' fuzzy scores for individual safety actions.

Veiligheid 1	Veiligheid 2	Veiligheid 3	Systeemscore veiligheid
1	1	1	100
1	1	0.7	70
1	1	0.3	30
1	0.7	0.7	50
1	0.7	0.3	15
1	0.3	0.3	5
0.7	0.7	0.7	40
0.7	0.7	0.3	10

De door de expert geschatte systeemscore voor veiligheid is dus gelijk aan 100 punten, indien alle drie fuzzy veiligheidscores volledig acceptabel zijn. Wanneer één van deze veiligheidscores voor 70% acceptabel en voor 30% onacceptabel is, dan is de systeemscore voor veiligheid gelijk aan 70 punten. In figuur 44 worden de door het fuzzy-logicmodel voorspelde systeemscores voor veiligheid uitgezet tegen de expertschattingen.



Figuur 44 Relatie tussen de systeemscores voor veiligheid berekend met het fuzzy-logic model en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

Figure 44 Relation between system scores for safety calculated with the fuzzy-logic model and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

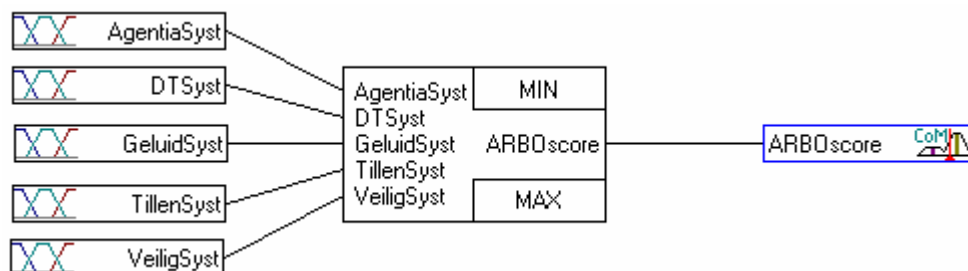
Uit figuur 44 blijkt dat het fuzzy-logicmodel de expertscores overschat. Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel zijn respectievelijk 5,9 en 7,1 punten.

4.6 Berekening van ARBO-score

De ARBO-score wordt gebaseerd op de systeemscores voor tillen, duwen/trekken, geluid, agentia en veiligheid. De gedefuzzificeerde outputs van deze systeemscores (zie voorgaande paragrafen) worden voor de berekening van de ARBO-score eerst weer gefuzzificeerd. De mate van (on)acceptabel zijn van deze systeemscores (c.q. aantal punten) wordt voor alle systeemscores bepaald met de membershipfuncties uit figuur 33. De vijf systeemscores worden met een rule-base samengevoegd tot de ARBO-score. De rule-base voor het bepalen van de ARBO-score van het totale systeem is als volgt samengesteld:

IF 'all systeemscores' are acceptable, THEN 'ARBO-score' is very_high
IF 'one systeemscore' is unacceptable, THEN 'ARBO-score' is high
IF 'two systeemscores' are unacceptable, THEN 'ARBO-score' is medium
IF 'three systeemscores' are unacceptable, THEN 'ARBO-score' is low
IF 'more than three systeemscores' are unacceptable, THEN 'ARBO-score' is very_low

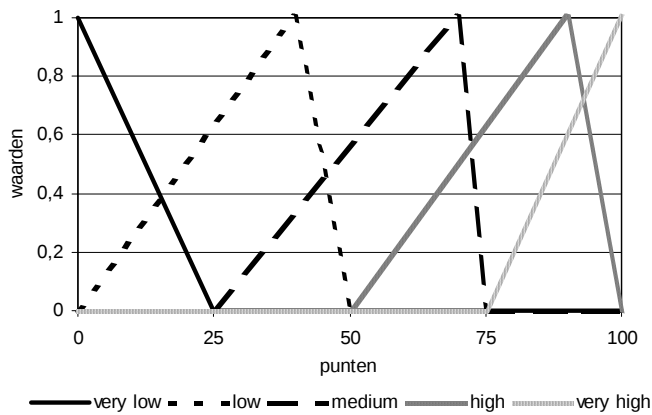
De rule-bases berekenen het IF-gedeelte met de minimumoperator en het THEN-gedeelte met de maximumoperator. De fuzzy-logicstructuur van het beoordelingsmodel van de combinatie van de systeemscores wordt weergegeven in figuur 45.



Figuur 45 Fuzzy-logicstructuur van combinatie van systeemscores tot ARBO-score.
 Figure 45 Fuzzy logic structure of the combination system scores to ARBO-score.

Uit figuur 45 blijkt dat de systeemscores voor tillen, duwen/trekken, geluid, agentia en veiligheid de ingangen van het model vormen en de ARBO-score het modelresultaat is. Gelijk aan de berekening van de systeemscores voor stof en ammoniak wordt ook de ARBO-score berekend met twee fuzzy-logicmodellen. Indien het gemiddelde van de vijf systeemscores hoger is dan 50 punten, dan wordt het fuzzy-logicmodel ARBO-hoog gebruikt. Bij een gemiddelde systeemscore gelijk aan of lager dan 50 punten wordt dus het fuzzy-logicmodel ARBO-laag toegepast.

In figuur 46 worden de membershipfuncties van de output ARBO-score met de linguïstische termen 'very_high', 'high', 'medium', 'low' en 'very_low' van het model ARBO-hoog weergegeven.



Figuur 46 Membershipfuncties van de output ARBO-score van model ARBO-hoog.
 Figure 46 Membership functions of output ARBO-score of model ARBO-high.

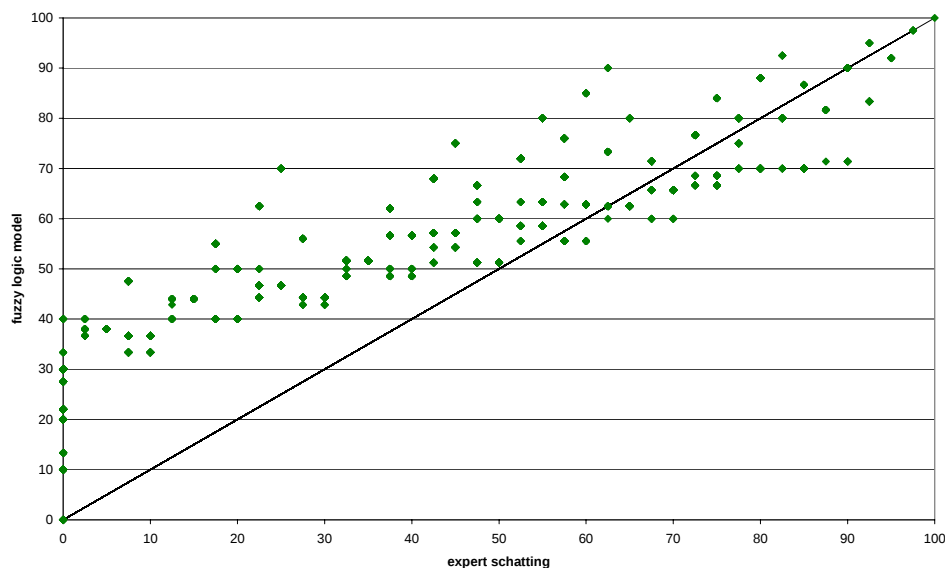
De membershipfuncties met de linguïstische termen *very_high*, *high*, *medium*, *low* en *very_low* van de output ARBO-score van het model ARBO-hoog hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 90, 70, 40 en 0 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 100 punten overeenkomt met een volledig acceptabele situatie en 0 punten met een volledig onacceptabele situatie. De ARBO-score wordt gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties uit figuur 46. De ligging van de membershipfuncties is bepaald op basis van het door de expert geschatte aantal punten van de ARBO-score voor mogelijke waarden van de vijf systeemscores voor tillen, duwen/trekken, geluid, agentia en veiligheid. De door de expert geëvalueerde waarden van een systeemscore zijn: 100 (volledig acceptabele systeemscore); 75; 50; 25 en 0 (volledig onacceptabele systeemscore). De expert heeft de score (0 – 100 punten) van ARBO-score bepaald voor alle mogelijk combinaties van deze vijf waarden voor een systeemscore. Aangezien vijf systeemscores de inputs van het beoordelingsmodel vormen, werd voor 3125 combinaties de ARBO-score geschat. De expert gebruikte de volgende formule voor de schatting:

$$\text{ARBO-score} = 100 - a \cdot 0 - b \cdot 2,5 - c \cdot 7,5 - d \cdot 17,5 - e \cdot 37,5$$

Met:

- a is aantal inputs met een systeemscore gelijk aan 100 punten
- b is aantal inputs met een systeemscore gelijk aan 75 punten
- c is aantal inputs met een systeemscore gelijk aan 50 punten
- d is aantal inputs met een systeemscore gelijk aan 25 punten
- e is aantal inputs met een systeemscore gelijk aan 0 punten

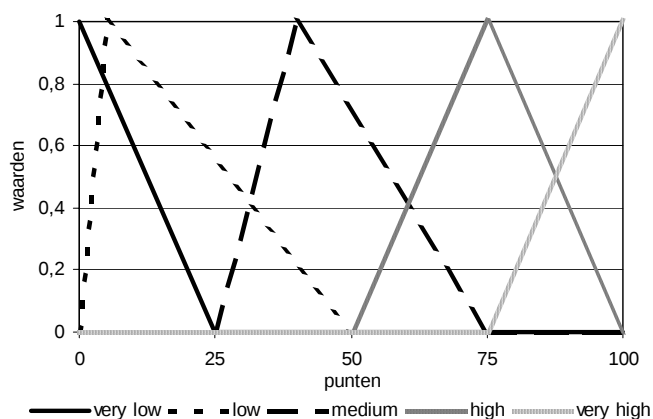
De door de expert geschatte ARBO-score is dus gelijk aan 100 punten, indien alle vijf ingaande systeemscores gelijk zijn aan 100 punten. Wanneer één systeemscore gelijk is aan 75 punten dan is de ARBO-score gelijk aan 97,5 punten. Negatieve scores van de door de expert geschatte ARBO-score worden handmatig omgezet naar 0 punten. In figuur 47 worden de door het fuzzy-logicmodel ARBO-hoog voorspelde de ARBO-scores uitgezet tegen de bijbehorende expertschattingen.



Figuur 47 Relatie tussen ARBO-scores berekend met het fuzzy-logic model ARBO-hoog en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

Figure 47 Relation between ARBO-scores calculated with the fuzzy-logic model ARBO-high and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

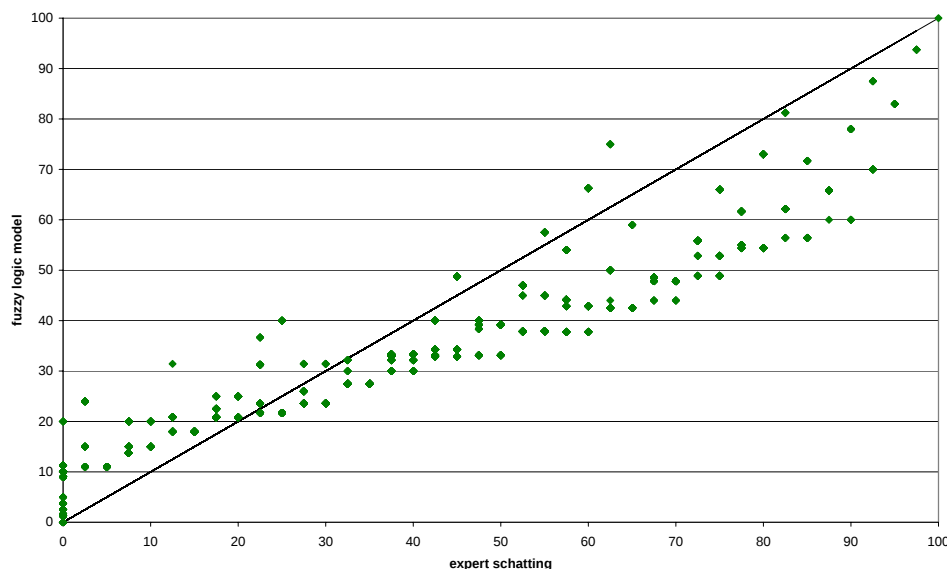
Uit figuur 47 blijkt dat het fuzzy-logicmodel ARBO-hoog inderdaad de hoge expertscores goed benadert en zoals verwacht de lage expertscores overschat. Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel zijn respectievelijk 17,2 en 10,7 punten. Het gemiddelde en de standaardafwijking van de absolute verschillen zijn relatief hoog, omdat de dataset relatief meer lage ARBO-scores bevat. In figuur 48 worden de membershipfuncties van de output ARBO-score met de linguïstische termen 'very_high', 'high', 'medium', 'low' en 'very_low' van het fuzzy-logicmodel ARBO-laag weergegeven.



Figuur 48 Membershipfuncties van de output ARBO-score van model ARBO-laag.

Figure 48 Membership functions of output ARBO-score of model ARBO-low.

De membershipfuncties met de linguïstische termen *very_high*, *high*, *medium*, *low* en *very_low* van de ARBO-score hebben een membershipwaarde van 1 bij respectievelijk 100, 75, 40, 5 en 0 punten. Hierbij is aangenomen dat een score van 100 punten overeenkomt met een volledig acceptabele situatie en 0 punten met een volledig onacceptabele situatie. De ARBO-score wordt gedefuzzificeerd met de methode 'Center-of-Maximum' en de membershipfuncties uit figuur 48. De ligging van de membership-functies is bepaald met dezelfde methode als de membership-functies van figuur 46. In figuur 49 worden de door het fuzzy-logicmodel ARBO-laag voorspelde ARBO-scores uitgezet tegen de bijbehorende expertschattingen.

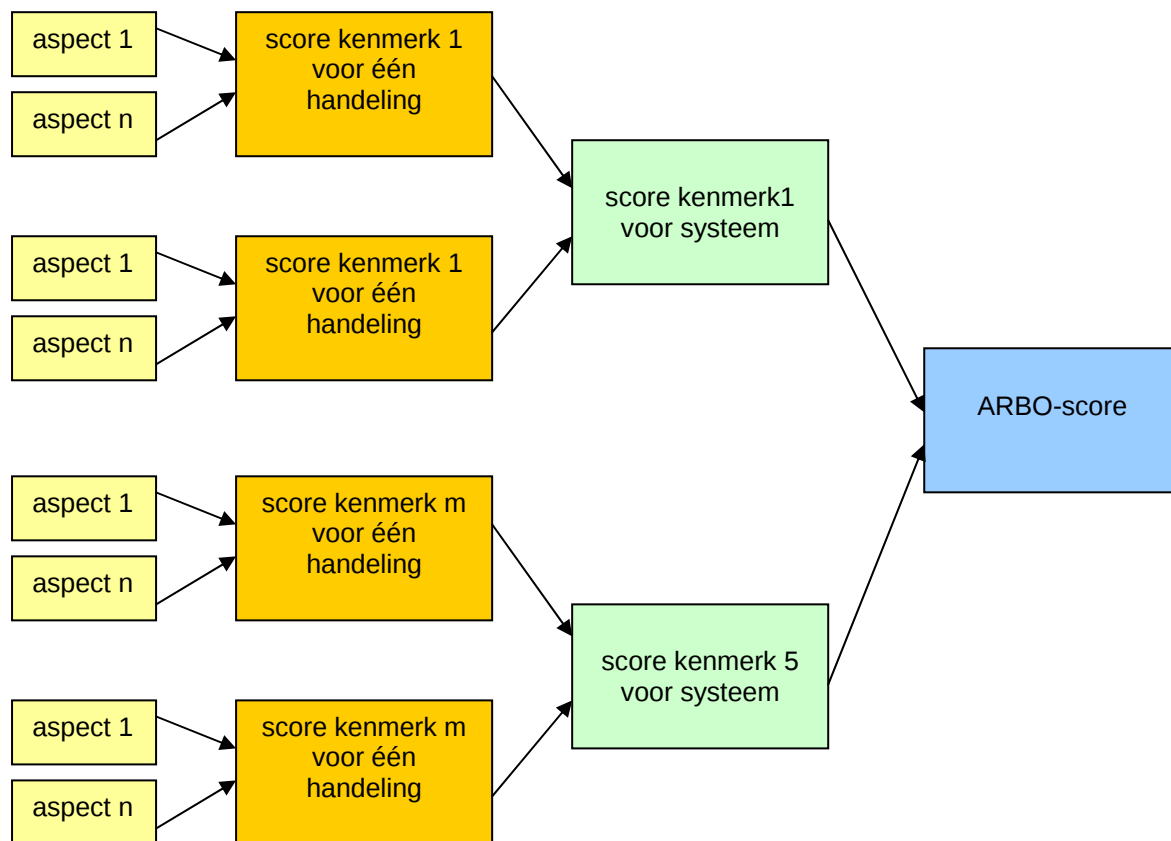


Figuur 49 Relatie tussen ARBO-scores berekend met het fuzzy-logic model ARBO-laag en geschat door de expert. De doorgetrokken lijn is de lijn $y=x$.

Figure 49 Relation between ARBO-scores calculated with the fuzzy-logic model ARBO-low and obtained by expert judgement. The solid line represents the line $y=x$.

Uit figuur 49 blijkt dat het fuzzy-logicmodel ARBO-laag vooral de hoge expertscores onderschat. Het gemiddelde en de standaarddeviatie van de absolute verschillen tussen de schatting van de expert en het fuzzy-logicmodel zijn respectievelijk 9,8 en 6,8 punten.

Samenvattend is in figuur 50 weergegeven hoe de opbouw van dit fuzzy-logicmodel ARBO-VLV eruit ziet.



Figuur 50 Schematisch overzicht fuzzy-logicmodel ARBO-VLV.
 Figure 50 Schematic overview fuzzy logic model ARBO-VLV.

5 Test van het fuzzy-logicmodel met twee fictieve situaties

5.1 Beschrijving van twee fictieve stallen

Voor de eerste test van het fuzzy-logicmodel ARBO-VLV om arbeidsomstandigheden te beoordelen wordt gebruik gemaakt van fictieve gegevens voor de arbeidsomstandigheden in twee fictieve stallen. Deze twee fictieve stallen verschillen duidelijk in arbeidsomstandigheden van elkaar. Stal A heeft goede arbeidsomstandigheden (zie paragraaf 5.2) en stal B heeft slechtere arbeidsomstandigheden (zie paragraaf 5.3). Eerst wordt een algemene beschrijving van de gemeenschappelijke kenmerken van beide stallen gegeven, daarna volgt een beschrijving van de arbeidsomstandigheden per stal. Deze arbeidsomstandigheden vormen tevens de enige inputs van het fuzzy-logicmodel ARBO-VLV die een gebruiker moet opgeven. Paragraaf 5.4 presenteert de resultaten van ARBO-VLV voor de arbeidsomstandigheden in twee fictieve stallen.

5.1.1 Inleiding

De fictieve stallen zijn vleesvarkenbedrijven met 1600 varkensplaatsen, verdeeld over 20 afdelingen. De bedrijven hebben een afdelingstype, waarin de varkens van big tot aan het afleveren gehouden worden, het betreft een all-in-all-out systeem met 80 varkens per afdeling. De hokken zijn uitgevoerd met een gedeeltelijke roostervloer en een gedeeltelijke betonvloer. Het werk wordt onderverdeeld in dagelijks werk, periodiek werk en incidenteel werk. Het dagelijks werk komt iedere dag voor, het periodieke werk komt niet elke dag voor, maar wordt zeer geregeld uitgevoerd (b.v. een aantal keren per week). Het incidentele werk komt veel minder voor dan 1 keer per week. Ten opzichte van het dagelijks en het periodieke werk komt het incidentele werk dus erg weinig voor. Voor de verdere beoordeling van de arbeidsomstandigheden wordt het incidentele werk daarom niet meegenomen. De mestronde van vleesvarkens duurt ongeveer 16 weken en daarna staat een afdeling 1 week leeg voor schoonmaken.

Uit de professiogrammen van de varkenshouderij (van de Schilden *et al.*, 1992) zijn de volgende bewerkingen als belastend naar voren gekomen:

Tillen

Het tillen komt voor bij de volgende werkzaamheden:

- dagelijks bij het uitmesten
- periodiek bij het aanvoeren van de biggen
- periodiek bij het afleveren van de varkens
- periodiek bij het reinigen en ontsmetten

Duwen/trekken

Het duwen/trekken komt voor bij de volgende werkzaamheden:

- periodiek bij het afleveren van de varkens
- periodiek bij het reinigen en ontsmetten

Geluid

Geluid komt voor bij de volgende werkzaamheden:

- periodiek bij het reinigen en ontsmetten
- dagelijks bij het betreden van de stal (vooral bij het voeren) (eigen inzicht)

Chemische en biologische agentia

Chemische en biologische agentia komen voor bij de volgende werkzaamheden:

- dagelijks bij het voeren
- dagelijks bij de gezondheidscontrole/gezondheidszorg
- dagelijks bij het uitmesten
- periodiek bij het aanvoeren van de biggen
- periodiek bij het afleveren van de varkens
- periodiek bij het reinigen en ontsmetten

Veiligheid

Onveilige situaties komen voor bij de volgende werkzaamheden:

- dagelijks bij het uitmesten
- periodiek bij de aanvoer van biggen
- periodiek bij het afleveren van de varkens

5.1.2 Dagelijks werk

De vleesvarkens worden 2 keer per dag gevoerd. Het voeren gebeurt automatisch. Tijdens het voeren vindt ook de controle op voeropname en gezondheid plaats en worden de dieren eventueel behandeld. Onder gezondheidszorg worden alle preventieve en curatieve werkzaamheden begrepen, die nodig zijn voor het gezond houden van de veestapel. Doorgaans bestaat de gezondheidscontrole uit het toedienen van een injectie bij één of meer varkens. Het voeren duurt maximaal 2 uur per dag. Alle mest wordt afgevoerd in de vorm van faeces en urine (mengmest). Het grootste gedeelte van de faeces en urine valt door de roosters in een kelder. Het restant dat op de dichte betonvloer terechtkomt moet nog handmatig met een schep verwijderd worden. Het handmatig verwijderen van mest heeft een maximale duur van 1 uur per dag. Een schep met mest weegt 6 kg en kan met een frequentie van ongeveer 8 keer per minuut verwijderd worden.

5.1.3 Periodiek werk

Wanneer de biggen (gewicht variërend van 23 tot 28 kg) van een vermeerderingsbedrijf worden aangekocht, worden ze meestal met een vrachtwagen met hydraulische laadklep aangevoerd. De biggen worden naar de juiste afdeling gebracht. Dit gebeurt door ze te drijven of door ze dragend naar de afdeling te brengen. Het ontvangen van de biggen duurt circa 3 uur en vindt ongeveer één keer in de 2 weken plaats.

Op de bedrijven worden de gemeste varkens uit één afdeling in 2 keer afgeleverd. Het uit de hokken halen van de geselecteerde varkens is zwaar werk. De varkens worden gedreven met behulp van drijfschotten. Bij het afleveren worden de varkens in groepjes op de hydraulische laadklep van de vrachtauto gedreven waarna ze, als in een lift, worden opgetild tot aan de juiste laadvloer. Bij het afleveren verleent de varkenshouder assistentie. Het afleveren duurt circa 3 uur en vindt ongeveer wekelijks plaats.

Na het afleveren van de laatste varkens van een afdeling wordt deze eerst bezemschoon gemaakt. Daarna wordt de vloer ingeweekt met een mengsel van water en een inweekmiddel. Vervolgens wordt de afdeling met water onder hoge druk schoongespoten. Daarna wordt de afdeling ontsmet met een ontsmettingsmiddel. Het schoonmaken, inclusief het ontsmetten, neemt in het totaal ongeveer 5 uur in beslag en vindt ongeveer één keer in de 2 weken plaats. Reinigings- en ontsmettingsmiddelen zijn in onverdunde vorm vaak bijtend, irriterend en soms giftig.

5.2 Beschrijving van werkzaamheden in een stal met goede arbeidsomstandigheden

5.2.1 Tillen

Het maximaal te tillen gewicht wordt berekend door de volgende formule (NIOSH, 1981; zie ook paragraaf 2.2.1):

$$\text{Recommended Weight Limit (RWL)} = 23 \times H_f \times V_f \times D_f \times F_f \times A_f \times C_f$$

Het tillen vindt in deze stal plaats onder gunstige omstandigheden, de werkplek is beter aangepast aan het te verrichten werk. De omstandigheden zijn:

horizontale afstand (H) = 19 cm; $H_f = 1$;
 verticale afstand (V) = 75 cm; $V_f = 1$;
 verticale verplaatsingsafstand (D) = 25 cm; $D_f = 1$;
 draaihoek (A) = 0°; $A_f = 1$;

grip (C) is goed; $C_f = 1$;

de tilfrequentie (F) is afhankelijk van de uit te voeren handeling.

- Uitmesten: het scheppen gebeurt met een schep (6 kg) met een frequentie van 8 keer per minuut en dit duurt ongeveer 1 uur lang, de $F_f = 0,6$. Voor het uitmesten geldt als maximaal te tillen gewicht = $23 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,60 \times 1 \times 1 = 13,80$ kg.
Lifting-Index tillen schep van 6 kg = $6/13,8 = 0,43$.
- Aanvoeren biggen: drijfschotten verplaatsen. Het aanvoeren van de biggen duurt ongeveer 3 uur en de drijfschotten wordt getild met een frequentie van minder vaak dan 1 keer per 5 minuten. Het maximaal te tillen gewicht = $23 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,95 \times 1 \times 1 = 21,85$ kg.
Lifting-Index tillen drijfschotten van 12 kg = $12/21,85 = 0,55$.
- Afleveren varkens: drijfschotten (12 kg) verplaatsen. Het afleveren duurt ongeveer 3 uur en het verplaatsen van de drijfschotten vindt minder vaak plaats dan 1 keer per 5 minuten. Het maximaal te tillen gewicht = $23 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,95 \times 1 \times 1 = 21,85$ kg.
Lifting-Index tillen drijfschotten van 12 kg = $12/21,85 = 0,55$.
- Reinigen en ontsmetten: hierbij worden de roosters getild, dit gebeurt minder vaak dan 1 keer in de 5 minuten en ongeveer 5 uur. Het maximaal te tillen gewicht = $23 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,95 \times 1 \times 1 = 21,85$ kg.
Lifting-Index tillen roosters van 20 kg $20/21,85 = 0,92$.

Alle bovenstaande gegevens staan samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 5 Overzicht gegevens voor tilhandelingen onder goede arbeidsomstandigheden.

Table 5 Survey of data for lifting operations with good working conditions.

	Hf	Vf	Df	Ff	Af	Cf	Lifting-Index
Uitmesten	1	1	1	0,60	1	1	0,43
Tillen drijfschotten aanvoer	1	1	1	0,95	1	1	0,55
Tillen drijfschotten afleveren	1	1	1	0,95	1	1	0,55
Tillen roosters	1	1	1	0,95	1	1	0,92

5.2.2 Duwen/trekken

De varkens zijn in deze stal iets gewilliger waardoor er minder grote krachten moeten worden uitgevoerd om de varkens te verplaatsen bij het afleveren. De samenvattende gegevens staan in tabel 6.

- Afleveren van varkens: duwen van onwillige varkens. De kracht die hiervoor nodig is bedraagt 100 N, het werk duurt ongeveer 3 uur, hierbij wordt ervan uitgegaan dat er circa 10% van de tijd wordt geduwd en getrokken, dit is 0,3 uur. En er wordt minder dan 5 keer per minuut geduwd.
 - *kracht 100 N;*
 - *duur 0,3 uur;*
 - *frequentie 5 keer/min.*
- Reinigen en ontsmetten: tegendruk geven bij hogedrukspuit. De kracht die hiervoor nodig is bedraagt 100 N, het werk duurt 5 uur, hierbij wordt ervan uitgegaan dat er circa 10% van de tijd wordt geduwd en getrokken, dit is 0,5 uur. En er wordt 12 keer/min tegendruk gegeven.
 - *kracht 100 N;*
 - *duur 0,5 uur;*
 - *frequentie 12 keer/min.*

Tabel 6 Gegevens duwen en trekken onder goede arbeidsomstandigheden.

Table 6 Data for pushing and pulling with good working conditions.

	kracht (N)	duur (uur)	frequentie (aantal/min)
Afleveren varkens	100	0,3	5
Reinigen en ontsmetten	100	0,5	12

5.2.3 Geluid

De varkens produceren bij het betreden van de stal een geluid van circa 70 dB(A). Er wordt aangenomen dat alleen bij de eerste 15 minuten nadat de stal betreden wordt er een geluidsniveau van 70 dB(A) is. Bij het reinigen en ontsmetten wordt er gebruik gemaakt van een nieuwe pomp, deze produceert een geluid van circa 65 dB(A). Er wordt aangenomen dat deze pomp ongeveer 10% van de tijd aan staat. De samenvattende gegevens staan in tabel 7.

- Voeren: geschreeuw van varkens.
 - *geluid 70 dB(A);*
 - *duur 0,25 uur;*
 - *frequentie 12 keer/min.*
- Reinigen en ontsmetten: pomp van de hogedrukspuit.
 - *geluid 65 dB(A);*
 - *duur 0,5 uur;*
 - *frequentie 12 keer/min.*

Tabel 7 Gegevens geluid onder goede arbeidsomstandigheden.

Table 7 Data for noise with good working conditions.

	geluid (dB(A))	duur (uur)	frequentie (aantal/min)
Voeren en controle	70	0,25	12
Reinigen en ontsmetten	65	0,5	12

5.2.4 Chemische en biologische agentia

De omgevingslucht in deze stal wordt redelijk goed gereinigd, daardoor liggen de concentraties aan stof en ammoniak in deze stal op circa 50% van de MAC-waarde. De blootstelling aan reinigings- en ontsmettingsmiddelen is hierdoor 20% van de MAC-waarde. De samenvattende gegevens staan in tabel 8.

- Voeren: blootstelling aan stof en ammoniak.
 - *concentratie 50% van de MAC waarde;*
 - *duur 2 uur.*
- Gezondheidscontrole/gezondheidszorg: blootstelling aan stof en ammoniak. 2 keer per dag vaak tijdens het voeren, zie bovenstaande
- Uitmesten: blootstelling aan stof en ammoniak.
 - *concentratie 50% van de MAC waarde;*
 - *duur 1 uur.*
- Aanvoeren biggen: blootstelling aan stof en ammoniak.
 - *concentratie 50% van de MAC waarde;*
 - *duur 3 uur.*
- Afleveren varkens: blootstelling aan stof en ammoniak.
 - *concentratie 50% van de MAC waarde;*
 - *duur 3 uur.*
- Reinigen en ontsmetten: contact met reinigings- en ontsmettingsmiddelen.
 - *concentratie 20% van de MAC waarde;*
 - *duur 5 uur.*

Tabel 8 Gegevens chemische en biologische agentia onder goede arbeidsomstandigheden.
Table 8 Data for chemical and biological agents with good working conditions.

	Concentratie (% MAC waarde)	blootstellingduur (uur)
Voeren (stof en ammoniak)	50	2
Gezondheidszorg (stof en ammoniak)	50	2
Uitmesten (stof en ammoniak)	50	1
Aanvoeren biggen (stof en ammoniak)	50	3
Afleveren varkens (stof en ammoniak)	50	3
Reinigen en ontsmetten	20	5

5.2.5 Veiligheid

De gegevens over de veiligheid tijdens het werk worden in tabel 9 samenvattend weergegeven.

- Uitmesten: contact met vee.
 - effect = verwaarloosbaar;
 - frequentie = frequent.
- Aanvoeren biggen: contact met vee.
 - effect = marginaal;
 - frequentie = incidenteel.
- Afleveren varkens:
 - effect = marginaal;
 - frequentie = incidenteel.

Tabel 9 Gegevens veiligheid onder goede arbeidsomstandigheden.
Table 9 Data for safety with good working conditions.

	effect	frequentie	index
Uitmesten	verwaarloosbaar	frequent	A4
Aanvoeren biggen	marginaal	incidenteel	C3
Afleveren varkens	marginaal	incidenteel	C3

5.3 Beschrijving van werkzaamheden in een stal met slechte arbeidsomstandigheden

5.3.1. Tillen

Het maximaal te tillen gewicht wordt berekend door de volgende formule (NIOSH, 1981; zie ook paragraaf 2.2.1):

$$\text{Recommended Weight Limit (RWL)} = 23 \times H_f \times V_f \times D_f \times F_f \times A_f \times C_f$$

Het tillen vindt in deze stal plaats onder ongunstige omstandigheden en bij het aanvoeren van de biggen worden deze getild, de omstandigheden zijn:

horizontale afstand (H) = 32 cm; $H_f = 0,78$;

verticale afstand (V) = 100 cm; $V_f = 0,93$;

verticale verplaatsingsafstand (D) = 40 cm; $D_f = 0,93$;

draaihoek (A) = 10° ; $A_f = 0,97$;

grip (C) is gewoon; $C_f = 0,93$;

de tilfrequentie (F) is afhankelijk van de uit te voeren handeling.

- Uitmesten: het scheppen gebeurt met een schep (6 kg) met een frequentie van 8 keer per minuut en dit duurt ongeveer 1 uur lang, de $F_f = 0,6$. Voor het uitmesten geldt als maximaal te tillen gewicht = $23 \times 0,78 \times 0,93 \times 0,93 \times 0,6 \times 0,97 \times 0,93 = 8,40$ kg.
Lifting-Index tillen schep van 6 kg = $6/8,4 = 0,71$.
- Aanvoeren biggen: biggen (23 kg) moeten van een laadvoer worden afgetild en naar de afdelingen worden gebracht, de drijfschotten (12 kg) moeten zo nu en dan worden verplaatst. Het aanvoeren van de biggen duurt ongeveer 3 uur en er wordt getild met een

frequentie van ongeveer 1 big per 5 minuten en de drijfschotten moeten minder vaak verplaatst worden dan 1 keer per 5 minuten. Het maximaal te tillen gewicht = $23 \times 0,78 \times 0,925 \times 0,93 \times 0,95 \times 0,97 \times 0,93 = 13,30$ kg.

Lifting-Index tillen biggen van 23 kg = $23/13,30 = 1,73$.

Lifting-Index tillen drijfschotten van 12 kg = $12/13,30 = 0,90$.

- Afleveren varkens: drijfschotten (12 kg) verplaatsen. Het afleveren duurt ongeveer 3 uur en het verplaatsen van de drijfschotten vindt minder vaak plaats dan 1 keer per 5 minuten. Het maximaal te tillen gewicht = $23 \times 0,78 \times 0,93 \times 0,93 \times 0,95 \times 0,97 \times 0,93 = 13,30$ kg. *Lifting-Index tillen drijfschotten van 12 kg = $12/13,30 = 0,90$.*
- Reinigen en ontsmetten: hierbij worden de roosters getild, dit gebeurt minder vaak dan 1 keer in de 5 minuten en ongeveer 5 uur. Het maximaal te tillen gewicht = $23 \times 0,78 \times 0,93 \times 0,93 \times 0,95 \times 0,97 \times 0,93 = 13,30$ kg. *Lifting-Index tillen roosters van 20 kg = $20/13,30 = 1,50$.*

Alle bovenstaande gegevens staan samengevat in tabel 10.

Tabel 10 Overzicht gegevens voor tilhandelingen onder slechte arbeidsomstandigheden.

Table 10 Survey of the data for the lifting-operations with bad working conditions.

	Hf	Vf	Df	Ff	Af	Cf	Lifting-Index
Uitmesten	0,78	0,93	0,93	0,60	0,97	0,93	0,71
Tillen biggen	0,78	0,93	0,93	0,95	0,97	0,93	1,73
Tillen drijfschotten aanvoer	0,78	0,93	0,93	0,95	0,97	0,93	0,90
Tillen drijfschotten afleveren	0,78	0,93	0,93	0,95	0,97	0,93	0,90
Tillen roosters	0,78	0,93	0,93	0,95	0,97	0,93	1,50

5.3.2 Duwen/trekken

De varkens zijn in deze stal wat minder gewillig waardoor er grote krachten moeten worden uitgevoerd om de varkens te verplaatsen bij het afleveren. De samenvattende gegevens staan in tabel 11.

- Afleveren van varkens: duwen van onwillige varkens. De kracht die hiervoor nodig is bedraagt 200 N, het werk duurt ongeveer 3 uur, hierbij wordt ervan uitgegaan dat er circa 10% van de tijd wordt geduwd en getrokken, dit is 0,3 uur. En er wordt minder dan 5 keer per minuut geduwd.
 - *kracht 200 N;*
 - *duur 0,3 uur;*
 - *frequentie 5 keer/min.*
- Reinigen en ontsmetten: tegendruk geven bij hogedrukspuit. De kracht die hiervoor nodig is bedraagt 200 N, het werk duurt 5 uur, hierbij wordt ervan uitgegaan dat er circa 10% van de tijd wordt geduwd en getrokken, dit is 0,5 uur. En er wordt 12 keer/min tegendruk gegeven.
 - *kracht 200 N;*
 - *duur 0,5 uur;*
 - *frequentie 12 keer/min.*

Tabel 11 Gegevens duwen en trekken onder slechte arbeidsomstandigheden.

Table 11 Data of pushing and pulling with bad working conditions.

	kracht (N)	duur (uur)	Frequentie (aantal/min)
Afleveren varkens	200	0,3	5
Reinigen en ontsmetten	200	0,5	12

5.3.3 Geluid

De varkens produceren bij het betreden van de stal veel geluid, circa 80 dB(A). Er wordt aangenomen dat alleen bij de eerste 15 minuten nadat de stal betreden wordt er een geluidsniveau van 80 dB(A) is. Bij het reinigen en ontsmetten wordt er gebruik gemaakt van een oude pomp, deze produceert een geluid van circa 75 dB(A). Er wordt aangenomen dat deze pomp ongeveer 10% van de tijd aan staat. De samenvattende gegevens staan in tabel 12.

- Voeren en controle: geschreeuw van varkens.
 - *geluid 80 dB(A);*
 - *duur 0,25 uur;*
 - *frequentie 12 keer/min.*
- Reinigen en ontsmetten: pomp van de hogedrukspuit.
 - *geluid 75 dB(A);*
 - *duur 0,5 uur;*
 - *frequentie 12 keer/min.*

Tabel 12 Gegevens geluid onder slechte arbeidsomstandigheden.

Table 12 Data for noise with bad working conditions.

	geluid (dB(A))	duur (uur)	frequentie (aantal/min)
Voeren en controle	80	0,25	12
Reinigen en ontsmetten	75	0,5	12

5.3.4 Chemische en biologische agentia

De omgevingslucht in deze stal wordt niet goed gereinigd, daardoor komen de concentraties aan stof en ammoniak in deze stal in de buurt van de MAC-waarde. De blootstelling aan reinigings- en ontsmettingsmiddelen is hierdoor 40% van de MAC-waarde. De samenvattende gegevens staan in tabel 13.

- Voeren: blootstelling aan stof en ammoniak.
 - *concentratie 95% van de MAC waarde;*
 - *duur 2 uur.*
- Gezondheidscontrole/gezondheidszorg: blootstelling aan stof en ammoniak. 2 keer per dag vaak tijdens het voeren, dus zie bovenstaande.
- Uitmesten: blootstelling aan stof en ammoniak.
 - *concentratie 95% van de MAC waarde;*
 - *duur 1 uur.*
- Aanvoeren biggen: blootstelling aan stof en ammoniak.
 - *concentratie 95% van de MAC waarde;*
 - *duur 3 uur.*
- Afleveren varkens: blootstelling aan stof en ammoniak.
 - *concentratie 95% van de MAC waarde;*
 - *duur 3 uur.*
- Reinigen en ontsmetten: contact met reinigings- en ontsmettingsmiddelen.
 - *concentratie 40% van de MAC waarde;*
 - *duur 5 uur.*

Tabel 13 Gegevens chemische en biologische agentia onder slechte arbeidsomstandigheden
Table 13 Data for chemical and biological agents with bad working conditions.

	Concentratie (% MAC waarde)	blootstellingduur (uur)
Voeren (stof en ammoniak)	95	2
Gezondheidszorg (stof en ammoniak)	95	2
Uitmesten (stof en ammoniak)	95	1
Aanvoeren biggen (stof en ammoniak)	95	3
Afleveren varkens (stof en ammoniak)	95	3
Reinigen en ontsmetten	40	5

5.3.5 Veiligheid

De gegevens over de veiligheid tijdens het werk worden in tabel 14 samenvattend weergegeven.

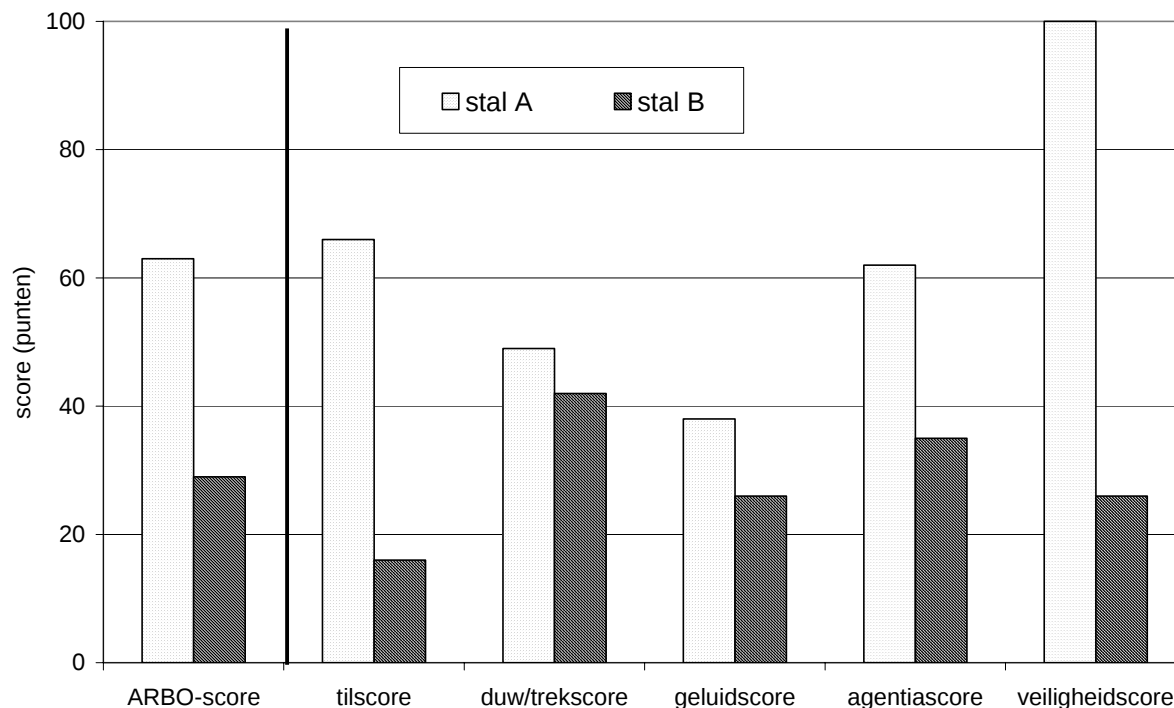
- Uitmesten: contact met vee.
 - *effect = marginaal;*
 - *frequentie = frequent.*
- Aanvoeren biggen: contact met vee.
 - *effect = kritisch;*
 - *frequentie = incidenteel.*
- Afleveren varken: contact met vee.
 - *effect = kritisch;*
 - *frequentie = incidenteel.*

Tabel 14 Gegevens veiligheid onder slechte arbeidsomstandigheden.
Table 14 Data for safety with bad working conditions.

	effect	frequentie	gevarenindex
Uitmesten	marginaal	frequent	A3
Aanvoeren biggen	kritisch	incidenteel	C2
Afleveren varkens	kritisch	incidenteel	C2

5.4 Berekening van ARBO-scores

De resultaten van de beoordeling van de arbeidsomstandigheden in de fictieve stallen A (= goede arbeidsomstandigheden) en B (= slechte arbeidsomstandigheden) met behulp van het fuzzy-logicmodel ARBO-VLV worden in figuur 51 weergegeven.



Figuur 51 ARBO-score en systeemscores van stal A en B berekend met fuzzy-logicmodel.
Figure 50 Resulting ARBO-score and system scores of housing system A and B with fuzzy logic model.

Uit de figuur blijkt dat de ARBO-score van stal A (63,4 punten) twee keer zo hoog is als de ARBO-score van stal B (29,4 punten). Dit betekent dat de arbeidsomstandigheden in stal A beter zijn dan in stal B. Vooral de systeemscores voor tillen, agentia en veiligheid zijn in stal A veel hoger dan in stal B. In tabel 15 worden alle betrokken systeem- en deelscores van beide stallen weergegeven.

In tabel 15 is te zien dat vooral de laagste individuele scores (bijvoorbeeld bij duwen/trekken) bepalend zijn voor de waarde van de systeemscore. Dit is het gevolg van het gebruik van de minimumoperator voor de berekening van het IF-gedeelte in alle rule-bases (zie paragraaf 4.1). De hoogte van de systeemscore wordt echter ook beïnvloed door de ligging van de bijbehorende membershipfuncties. Een voorbeeld hiervan is de berekening van de systeemscore voor stof (zie paragraaf 4.4.2).

Tabel 15 Gegevens van systeem- en deelscores voor stallen A en B.

Table 15 Data for system- and partial scores for housing systems A and B.

Belastende kenmerken	Stal A	Stal B
TillenSyst	66,3	15,6
DTSyst	49,4	42,3
DTHand1	67,3	50,8
DTHand2	42,6	38,1
GeluidSyst	37,6	26,1
Geluid1	35,6	19,2
Geluid2	38,4	29,6
AgentiaSyst	61,9	35,3
StofSyst	69,0	17,1*
Stof1	85,0	17,5
Stof2	85,0	17,5
Stof3	85,0	17,5
Stof4	65,0	16,4
Stof5	65,0	16,4
AmmoniakSyst	69,0	17,1*
Ammoniak1	85,0	17,5
Ammoniak2	85,0	17,5
Ammoniak3	85,0	17,5
Ammoniak4	65,0	16,4
Ammoniak5	65,0	16,4
ReinigingSyst	55,0	55,0
VeiligSyst	100,0	25,8
ARBO-score	63,4**	29,4***

* de systeemscores voor stof en ammoniak zijn uitgerekend met het fuzzy-logicmodel voor combinatie van lage individuele agentiascores

** berekend met fuzzy-logicmodel ARBO-hoog

*** berekend met fuzzy-logicmodel ARBO-laag

De lage systeemscore voor tillen in stal B wordt vooral beïnvloed door bijna onacceptabele Lifting-Indices bij het tillen van biggen en het tillen van roosters (respectievelijk 1,7 en 1,5). In stal A vindt het tillen van biggen niet meer plaats en is de tilbelasting van de andere handelingen circa 40% lager. Het enige verschil tussen de individuele duw/trekhandelingen in stal A en B is de benodigde kracht voor de duw/trekhandeling, respectievelijk 100 N en 200 N. Hetzelfde is van toepassing voor de individuele handelingen met geluid, waarbij alleen het geluidsniveau varieert tussen stal A en B (zie tabel 7 en 12).

De individuele stof- en ammoniakscores zijn in stal B veel lager dan in stal A, doordat in stal B de concentraties bijna in het onacceptabele gebied liggen. De reinigingscores zijn voor beide stallen gelijk. De concentraties van zowel stal A (20%) als stal B (40%) zijn beiden volledig acceptabel (zie figuur 16) en hebben daardoor dus dezelfde membershipwaarde voor (on)acceptabel. Daarnaast is de duur van blootstelling in beide stallen gelijk (= 5 uur), hetgeen ook dezelfde membershipwaarden oplevert. Het verschil in systeemscores voor agentia wordt dus alleen bepaald door de aanwezige verschillen in stof- en ammoniakconcentraties.

In tegenstelling tot stal B zijn in stal A alle situaties veilig (= volledig acceptabel). Vooral het uitmesten in stal B levert een onveilige situatie waaraan zo snel mogelijk iets gedaan moet worden. Deze situatie wordt als bijna volledig onacceptabel beschouwd.

6 Discussie, conclusies en aanbevelingen

Het fuzzy-logicmodel voor beoordeling van de arbeidsomstandigheden in vleesvarkensstallen (ARBO-VLV) kan kwalitatieve informatie kwantificeren. Het model beoordeelt systemen die binnen de grenzen van volledig acceptabel en volledig onacceptabel liggen. Op dit moment zullen de arbeidsomstandigheden van bijna alle praktijksystemen tot dit beoordelingsgebied behoren of volledig onacceptabel zijn. In dit laatste geval kan het model aangeven welke belastingskenmerken verantwoordelijk zijn voor de score volledig onacceptabel. De in dit onderzoek toegepaste fuzzy-logicmethode kan ook gebruikt worden in andere sectoren dan vleesvarkens en in andere disciplines (bijvoorbeeld dierenwelzijn). Hiervoor moeten dan onder andere de belastende kenmerken en de expertkennis opnieuw geïnventariseerd worden (zie Satter, 2000). Het ontwikkelde fuzzy-logicmodel zal aangepast moeten worden, indien een productiesysteem meer of minder handelingen met belastende kenmerken bevat dan de beoordeelde fictieve stallen. Verder onderzoek naar een meer algemeen geldend beoordelingsmodel lijkt daarom wenselijk.

Met dit model is het mogelijk om de belastingskenmerken van verschillende systemen via kwantitatieve scores te vergelijken. Daarnaast kan het model ook een kwantitatieve uitspraak doen over de totale arbeidsomstandigheden, door deze uit te drukken in één ARBO-score. De arbeidsbeoordelingen uitgevoerd met dit model zijn volledig gebaseerd op meetbare variabelen (zoals bijvoorbeeld Lifting-Index en duw/trekkracht). Dit in tegenstelling tot kwalitatieve arbeidsbeoordelingen waarin zowel kwantitatieve als kwalitatieve informatie de input vormt (bijvoorbeeld IMA-A). Kwalitatieve beoordelingsmodellen kunnen dus op basis van dezelfde gegevens resulteren in een andere conclusie.

Voor de bepaling van de membershipfuncties van de belastende kenmerken, zoals Lifting-Index en duw/trekkracht, zijn reeds enquêtevormen voor experts beschikbaar. De membershipfuncties in onderhavig onderzoek zijn echter gebaseerd op de mening van één expert. Indien het fuzzy-logicmodel in de praktijk gebruikt gaat worden dienen de membershipfuncties gebaseerd te worden op meerdere experts om de betrouwbaarheid van het model te vergroten. Een aantal methoden om deze membershipfuncties te schatten op basis van meerdere experts staat beschreven in Satter (2000).

De definitie van de rule-bases en de (de)fuzzificatie van systeemvariabelen (b.v. TillenSyst) zijn nu ontwikkeld in overleg tussen de modelleur en één expert. In de toekomst zullen ook deze variabelen gebaseerd moeten worden op de kennis van meerdere experts. Op dit moment zijn hiervoor nog geen inventarisatiemethoden aanwezig en deze zullen dus ontwikkeld moeten worden. Onderzoek van Turksen (1991) kan hiervoor een leidraad vormen.

Veel fuzzy-logicmodellen uit de literatuur beschrijven de performance van een meetbaar proces, hetgeen dus gevalideerd kan worden met meetbare data. In die situatie vormt het fuzzy-logicmodel een betrouwbare weergave van het proces, indien het model de meetbare data nauwkeurig voorspeld. Bij een meetbare validatie-set worden dan bijvoorbeeld de 95%- of 99%-betrouwbaarheidsintervallen als kwaliteitscriteria van de modelvoorspelling gebruikt. In onderhavig onderzoek beschrijft het fuzzy-logicmodel een niet-meetbaar proces en kan dus alleen maar gevalideerd worden op basis van niet-meetbare data (= kwalitatieve expertkennis). Ten behoeve van de ontwikkeling van het fuzzy-logicmodel moet de expert zijn kwalitatieve kennis vertalen in meetbare data. De uitkomst van deze vertaling kan per expert verschillen en hierdoor zal een grotere spreiding in de verkregen meetbare data aanwezig zijn. Het fuzzy-logicmodel wordt gevalideerd aan de hand van deze data en daarom zullen als kwaliteitscriteria voor de modelvoorspelling nu ruimere betrouwbaarheidsintervallen genomen moeten worden. Verder onderzoek naar mogelijke kwaliteitscriteria voor een fuzzy-logicmodel gebaseerd op expertkennis is noodzakelijk.

De voorspelling van een fuzzy-logicmodel kan op verschillende manieren verbeterd worden. In dit rapport is de voorspelling van ARBO-VLV verbeterd door de membershipfuncties van outputs te verschuiven (zie paragrafen 4.4.2 en 4.6). Andere mogelijkheden voor optimalisatie van een fuzzy-logicmodel zijn bijvoorbeeld het veranderen van (1) de operatoren voor

berekening van het IF- en THEN-gedeelte of (2) de wegingsfactoren van rules (zie Satter (2000)). Deze mogelijkheden moeten verder onderzocht worden.

Concluderend kan gesteld worden dat ARBO-VLV een methode blijkt te zijn om de arbeidsomstandigheden te kwantificeren en daarmee vergelijkbaar te maken. Verdere toetsing aan expertpanels kan de praktische bruikbaarheid in de varkenshouderij aantonen.

Summary

Until now, assessment of working conditions occurs mainly in a qualitative way. The disadvantage of a qualitative assessment is that definitions of terms like 'good' and 'very good' differ between researchers. Because of this conclusions of qualitative studies about working conditions in similar systems can differ. Another aspect of current qualitative assessments of working conditions is the use of classification into categories. In practice, boundary values of these classes are not as sharp as defined. With fuzzy logic it is possible for a variable to belong for a certain percentage to a class. The aim of this study is to develop a quantitative assessment model with fuzzy logic for working conditions in a housing system for fattening pigs.

The fuzzy logic model (ARBO-VLV) assesses the working conditions in a housing system for fattening pigs on the workload factors: lifting, push/pull, noise, chemical and biological agents and safety. The model results in a so-called ARBO-score varying from 0 (completely unacceptable working conditions) till 100 (completely acceptable working conditions). If one workload factor is completely unacceptable then the ARBO-score is manually set to zero.

ARBO-VLV uses so-called membership functions to convert qualitative expert knowledge in measurable data. The membership functions are until now based on the opinion of one expert. With an interview, the expert is asked to give an interval under which a workload factor is always acceptable and above which a workload factor is always unacceptable. With use of these membership functions it is indicated to what extent a workload factor belongs to the classes acceptable and unacceptable (*i.e.* membership values). The final system score of a workload factor is determined on basis of these membership functions and a rule base. In the rule base a specification is given of the relation between inputs and outputs of the model (example: if all workload factors are acceptable then the score is high). The calculated ARBO-scores of the fuzzy logic model ARBO-VLV were compared with the expert estimations of these scores.

The working conditions in two fictitious housing systems for fattening pigs were evaluated with ARBO-VLV. The two housing systems differ clearly from each other in working conditions. The ARBO-score from housing system A was 63,4 points and from housing system B 29,4 points, which indicates that the working conditions in housing system A are better than in housing system B.

The fuzzy logic model for assessment of working conditions in housing systems for fattening pigs (ARBO-VLV) is a useful method to quantify qualitative information. The fuzzy logic method used in this research can also be applied in other sectors and/or in other disciplines (for example assessment of animal welfare). Before the fuzzy logic model can be used in practice the membership functions and rule bases should be based on more experts to increase the reliability of the model. Further research is also necessary to optimise the model prediction.

Literatuur

- Dormolen, M. van, C.A.W.M. Hertog, F.J.H. van Dijk en R. Fortuin, 1988. Meervoudige belasting in arbeidssituaties: een literatuuroverzicht. Voorburg, Directoraat Generaal van de Arbeid, 139 pp.
- fuzzyTECH, 1999. fuzzyTECH 5.3 User's Manual. INFORM GmbH, 345 pp.
- Gründemann, R.W.M., P.G.W. Smulders en C.R. de Winter, 1993. VAG. Vragenlijst Arbeid en Gezondheid. Handleiding. Lisse, Swets & Zeitlinger.
- Hartman, E., H.H.E. Oude Vrielink en P.F.M.M. Roelofs, 1999. Arbeidsbelasting, fysieke klachten en ziekteverzuim bij varkenshouders. Rosmalen, PR, Proefverslag nummer P 1.217
- Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1997. Biologische agentia (Arbo-Informatieblad 9). Den Haag, Sdu Uitgevers, 68 pp.
- Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1999. Nationale MAC-lijst 1999. Voorburg, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 67 pp.
- Murphy, D.J., 1992. Safety and health for production agriculture. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 253 pp.
- NIOSH, 1981. Work practices guide for manual lifting. Cincinnati, Technical Report 81-122.
- N.N., 1997. Inspectie Methode Arbeidsomstandigheden-A. Zeist, Uitgeverij Kerckebosch B.V.
- Peereboom, K.J., 1996. Handboek fysieke belasting. Den Haag, Sdu Uitgevers, 150 pp.
- Satter, I.H.G., 2000. Development of fuzzy logic models – design aspects. Wageningen, IMAG confidential report (in voorbereiding).
- Schilden, M. van der, A.T.M. Hendrix, P. van Lookeren Campagne, A. Migchels, P.F.M.M. Roelofs, M. van den Top en A. Vink, 1992. Professiogrammen varkenshouderij. Wageningen, IMAG-DLO.
- Smulders, P.G.W. en J.M.J. op de Weegh, 1995. Arbeid en gezondheid: risicofactoren. Utrecht, Lemma en Faculteit Sociale Wetenschappen, Open Universiteit en TNO, 419 pp.
- Turksen, I.B., 1991. Measurement of membership functions and their acquisition. In: Fuzzy Sets and Systems 40, p. 5-38.
- Voskamp, P., 1998. Handboek ergonomie '98/'99. Alphen aan de Rijn, Samsom bedrijfsinformatie, 370 pp.
- Wagenberg, C. van, 1998. Arbeidsomstandigheden. Beschrijving voor het Hercules project. Praktijkonderzoek Varkenshouderij, Rosmalen.

Bijlage 1. ARBO-checklist - Kwaliteit van de Arbeid

Datum:..... Waarnemer:.....				
Bedrijf:.....Adres:.....				
Bedrijfstak:..... Gewas/ teelt:.....				
Bedrijfs grootte (aantal ha of aantal dieren).....				
Bewerking:..... Werkmethode:.....				
Ge- of verbruikte producten:.....				
Deelbewerkingen:		Deelwerkmethode (personen + hulpmiddel):		
1.		1.		
2.		2.		
3.		3.		
4.		4.		
Handelingen deelbewerking nr.: 1 / 2 / 3 / 4				
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
Uren werkmethode	Uren aaneengesloten	Uren per dag	Dagen per jaar	Periode per jaar
Aanvullende informatie				

1. Arbeidsinhoud

Nr.	Kenmerk	ja = x	Kenmerkend criterium	Eventueel aanvullende data		
1.1	Uitvoerend		> 25% van de tijd			
1.2	Vorbereidend		Voorkomen	Tijdsduur (min)		
1.3	Ondersteunend		Voorkomen	Tijdsduur (min)		

2. Fysieke belasting:

2.1 Fysieke Belasting						
Nr.	Kenmerk	Ja = x	Kenmerkend criterium	Eventueel aanvullende data		
Lichaamshoudingen						
2.1	Zitten		> 25% van de tijd			
2.2	Staan		> 25% van de tijd			
2.3	Lopen		> 25% van de tijd	Onverharde/ verharde ondergrond	Ongelijk / gelijk terrein	
2.4	Liggen		> 10% van de tijd			
2.5	Knielen, hurken, kruipen		> 10% van de tijd	Onverharde / verharde ondergrond		
Statische deelhoudingen						
2.6	Gedwongen werkhouding		voorkomen	Percentage gedwongen		
2.7	Gebogen werk		> 25% van de tijd > 15° > 4 sec	Percentage Gebogen	Mate van buiging°	
					15 / 30	30 / 60 >60
2.8	Gedraaid werk		25% van de tijd >15° > 4 sec	Percentage Gedraaid	Mate van draaiing°	
					15 / 30	30 / 60 > 60
2.9	Gebruik van nek		> 10% van de tijd, > 20 graden, > 8 sec	Percentage niet neutraal		
2.10	Reiken, armen heffen		> 25% van de tijd > 4 sec > 40cm reikafstand	Percentage continu		
2.11	Bovenhands werken		> 10% van de tijd > 4 sec	Percentage bovenhands		
2.12	Pols gebogen/gedraaid houden		25% van de tijd > 4 sec	Percentage Continu	1 of 2 handig	

Dynamisch lichaamsgebruik									
2.13	Hand- en vingergebruik		> 10% van de tijd			Precisiewerk ja / nee			
2.14	Kort cyclisch buigen en draaien		< 90 sec én > 15° >10% van de tijd	Mate van buigen en / of draaiing	Buiging in °			Draaiing in °	
					15/30	30/60	>60	15/30	30/60
2.15	Kort cyclisch repetitief hand/armwerk		< 90 sec én > 10% van de tijd						
Externe lasten / kracht zetten									
2.16	Tillen		> 3 kg voorkomen			NIOSH-gegevens hieronder invullen			
2.17	NIOSH gegevens: (handleiding blz. 16)		Gewicht	F (frequentie)	V (afstand handen-vloer) Min. Max.	A (draaihoek)	H (horizontale afstand)	C (grip)	D (verticale afstand)
2.18	Duwen en trekken		Voorkomen	Frequentie aantal maal per tijdseenheid		Borgschaal			
						Extreem/ veel/ behoorlijk/ enigszins/ nauwelijks			
2.19	Dragen, sjouwen		> 3 kg Voorkomen	Gewicht		Frequentie aantal maal per tijdseenheid		Afstand	
2.20	Anderszins kracht zetten met armen of handen		> 10% van de tijd	Percentage krachtzetten		Borgschaal			
						Extreem/ veel/ behoorlijk/ enigszins/ nauwelijks			
2.21	Kracht uitoefenen met voeten/ benen		> 10% van de tijd	Percentage kracht uitoefenen		Borgschaal			
						Extreem/ veel/ behoorlijk/ enigszins/ nauwelijks			
Verticale verplaatsing									
2.22	Traplopen		> 5 treden +/- 90 cm		Hoogte per trede		Frequentie aantal maal per tijdseenheid		
			> 10% van de tijd						
2.23	Klimmen en klauteren		> 1 meter		Hoogte		Frequentie aantal maal per tijdseenheid		
			> 10% van de tijd						

3. Omgeving:

Nr.	Kenmerk	Ja = X	Kenmerkend criterium	Eventueel aanvullende data				
3.1	Buitenwerk		> 25% van de tijd					
3.2	Tocht (binnenwerk)		Trek voelen > 25% van de tijd					
3.3	Koude (binnenwerk)		< 10 °C > 25% van de tijd	Seizoen afhankelijk/ onafhankelijk				
3.4	Hitte (binnenwerk)		> 30 °C > 25% van de tijd	Seizoen afhankelijk/ onafhankelijk				
3.5	Temperatuur-wisselingen		> 10 °C voorkomen	Gradenrange		Frequentie aantal maal per tijdseenheid		
3.6	Hoge luchtvochtigheid		> 80% > 25% van de tijd					
3.7	Nattigheid		> 25% van de tijd					
3.8	Geluid		Luide stem nodig op 1 meter afstand >10% van de tijd	Sprakcommunicatie mogelijk met:			Duur: percentage van de tijd	
			geluidspieken aanwezig	luide stem	schreeuwen	onmogelijk		
3.9	Gedwongen gereduceerde verlichting		> 25% van de tijd					
3.10	Hand / armtrillingen		> 10% van de tijd	Bron:				
			schokken	Bron:				
3.11	Lichaamstrillingen		> 10% van de tijd	Bron:				
			schokken	Bron:				
3.12	Stof		voorkomen	Mogelijke bronnen:				
3.13	Schimmels, bacteriën, virussen		voorkomen	Soort	Blootstellingsweg			
		Huid			Luchtwegen	mond	anders	
3.14	Chemische middelen		voorkomen	Gevaren symbool etiket	Blootstellingsweg			
		Huid			Luchtwegen	mond	anders	

4. Veiligheid, persoonlijk risico:

Nr.	Kenmerk	Ja = X	Kenmerkend criterium	Eventueel aanvullende data	
4.1	Omgaan met gereedschappen		Voorkomen	Onderverdeling gevaar (knellen, pletten, snijden, elektrisch, branden)	
4.2	Omgaan met rijdend of getrokken materieel		Voorkomen	Onderverdeling gevaar (knellen, pletten, snijden, elektrisch, branden)	
4.3	Omgaan met stationaire machines		Voorkomen	Onderverdeling gevaar (knellen, pletten, snijden, elektrisch, branden)	
4.4	Gestapelde goederen		Voorkomen		
4.5	Verhoogd werkniveau Verlaagd werkniveau		Voorkomen	Hoogte verschil in meters	
4.6	Risico op vallen, struikelen of stoten door drempels, richels of uitsteeksels.		Voorkomen	Vallen / struikelen	Stoten
4.7	Gladde ondergrond		Voorkomen		
4.8	Vee		Voorkomen		
4.9	Explosie en brandgevaar		Voorkomen	Bron	
4.10	Alleen werken		Voorkomen		
4.11	Werken in besloten ruimte		Voorkomen	Handelingen	