



Rapportage ontwikkeling geur sensor voor het gebruik van geurmetingen bij varkensstallen

Electronic determination of odour by olfactory with the Multi Gas Analyser (MGA)
Interpretation by an Artificial Neural Network

Inleiding

Geur meting is niet eenvoudig uitvoerbaar. Een exacte wetenschappelijk onderbouwde geurmeting moet altijd worden uitgevoerd volgens de VDI richtlijnen. Deze geurmeting is tijdrovend, duur en heeft niet de reproduceerbare nauwkeurigheid die een meetinstrument normaal heeft. De uitslagen van de geurmeting kunnen nogal veranderen. Omdat er geen goede alternatieven op de markt zijn om eenvoudig geurmetingen uit te voeren bij varkensstallen is in 2010-2011 in een project gekeken naar de haalbaarheid van een elektronische geurmeting. Tevens is een geurmeetsysteem ontwikkeld dat speciaal gebruikt kan worden bij een varkensstal.

Alternatieven voor het bepalen van geur(overlast)

Olfactometrie: VDI 3882

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (Vereniging van Duitse ingenieurs) is een organisatie van 135.000 ingenieurs en natuurwetenschappers. Opgericht in 1856 is VDI vandaag de grootste engineering vereniging in West-Europa. De rol van de VDI in Duitsland is vergelijkbaar met dat van de American Society of Civil Engineers (ASCE) in de Verenigde Staten. De VDI is geen unie. De VDI bevordert de vooruitgang van de technologie en vertegenwoordigt de belangen van ingenieurs en engineering bedrijven in Duitsland.

Intensiteit waarden

In (1992) wordt beschreven wat de geur intensiteit is. Omdat geur een subjectieve waarneming is wordt met behulp van de Weber-Fechner wet een relatie gelegd tussen de concentratie gas in lucht en de beleving hiervan.

Geur intensiteit kan worden onderverdeeld in de volgende categorieën op basis van intensiteit:

- 0 geen geur
- 1 zeer zwak (geur drempel)
- 2 Zwak
- 3 Onderscheiden
- 4 Sterk
- 5 zeer sterk
- 6 onaanvaardbare

Tabel 1 Intensiteit waarden

Deze waarden worden toegekend aan een geur door een geurpaneel. De geur wordt een aantal keer verdund en beoordeeld door het geurpaneel. Na een serie beoordelingen kan de intensiteit en geurgrenzen worden bepaald.

Raiffeisenstraat 24
4697 CG Sint-Annaland

t +31 (0) 166 65 72 00
f +31 (0) 166 65 72 10

e info@macview.nl
l www.macview.nl





Hedonische waarden

De hedonische waarde geeft de (on)aangenaamheid van een geur aan. De hedonische waarde is een middel om de maat van geurhinder te voorspellen.

+4	uiterst aangenaam
+3	zeer aangenaam
+2	aangenaam
+1	enigszins aangenaam
0	Neutraal
-1	enigszins onaangenaam
-2	Onaangenaam
-3	zeer onaangenaam
-4	uiterst onaangenaam

Tabel 2: Hedonische schaal

De hedonische waarde van een geur wordt doorgaans bepaald door een geurpanel en kan zowel in het laboratorium als in het veld worden bepaald. De hedonische waarde van een geur hangt af van de sterkte van een geur. Daarom wordt de hedonische waarde altijd gekoppeld aan een geuronderzoek waarbij tevens de intensiteit in geureenheden wordt bepaald.

Een geur kan bij het betreden van een ruimte een hedonische waarde “onaangenaam” hebben. Door enige tijd in de ruimte aanwezig te zijn kan de geur in de beleving naar de achtergrond van het bewustzijn raken waardoor de geur enigszins onaangenaam of neutraal wordt beoordeeld. Omgekeerd zijn er reukstoffen die in eerste instantie een aangename geur afgeven. Echter na enkele minuten werken deze geurstoffen sterker in op ons reukorgaan waarbij de geur als zeer onaangenaam kan worden ervaren.

Wetsvoorstel geurhinder en veehouderij

Het rapport (2006) is naar aanleiding van het wetsvoorstel “geurhinder en veehouderij” geschreven. In dit rapport wordt de relatie gelegd tussen geurhinder en de intensieve veehouderij in Nederland.

In tegenstelling tot de VDI richtlijnen wordt de omgeving ook meegenomen in het bepalen van de geurhinder. Dit is gedaan omdat de indeling van het landschap ook invloed heeft op het bereik van geur. Ook is aangetoond dat bewoners van een streek met intensieve landbouw veel minder last hebben van geurhinder dan bewoners in een stedelijk gebied.

Om geurhinder aan te tonen wordt een sample genomen van de lucht. Deze wordt vervolgens in stappen verdund tot de geurgrens met een geurpanel is bepaald. Als deze grens is bepaald kan de geurhinder worden bepaald.

In het wetsvoorstel is vastgelegd hoeveel procent geurhinder in een bepaald gebied is toegestaan.

Conclusie

In beide alternatieven is de concentratie gas in lucht nodig. Volgens de VDI richtlijnen kan voor verschillende gassen worden bepaald hoe groot de intensiteit en hedonische waarde is. Dit is in tegenstelling met het wetsvoorstel want hierbij wordt de emissie van veehouderij gezien als één soort lucht. In beide gevallen zijn geen parameters





beschikbaar om met de concentratie de geurhinder te bepalen. Het voordeel van het wetsvoorstel is dat er vaststaat wat de hoeveelheid geurhinder moet zijn om in overtreding te zijn. Omdat de VDI 3882 richtlijnen zijn wordt dit niet aangegeven.

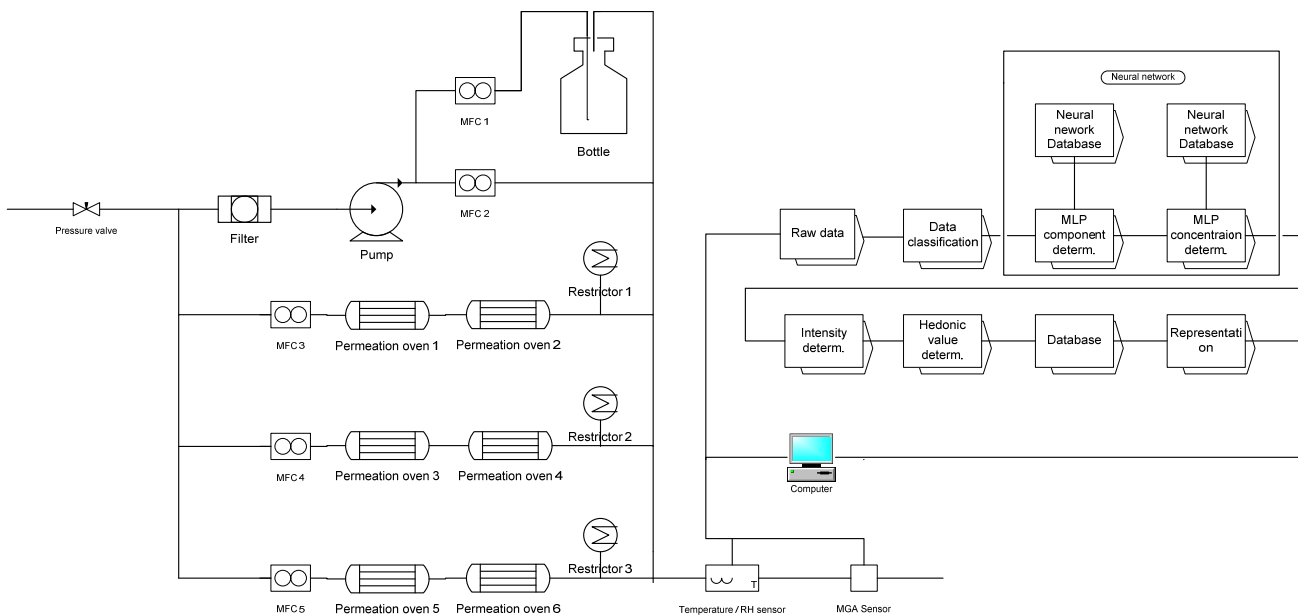
Aangenomen wordt dat de emissie van stallen verschillende concentraties stoffen kan bevatten. Daarom wordt gekozen voor de VDI richtlijnen omdat in tegenstelling tot het wetsvoorstel de intensiteit van verschillende stoffen kan worden bepaald.

Het project "Elektronische geurmeting"

Het meetonderzoek en testopstelling heeft als doel om met behulp van elektronische sensoren een betrouwbare benadering te maken van de geur intensiteit en de hedonische waarde. Het project is ingedeeld in 5 fasen.

Opzet / technische plan van aanpak

Om te komen tot de bepaling van de geurhinder en de intensiteit is het belangrijk dat de componenten uit een gassamenstelling bekend zijn. Als deze componenten bekend zijn kan er vervolgens een koppeling gemaakt worden naar de daadwerkelijke benadering. Schematisch gezien is de volgende opzet gebouwd:



Figuur 1: Schematische opzet van de MFCs, de permeatieovens en het neurale netwerk waarin de data verwerkt wordt.

Fase 1: Uitwerken lab opstelling

Fase 1 is uitgewerkt. Er is een inventarisatie gemaakt van alle geurcomponenten. Deze componenten worden gesimuleerd door gebruik van permeation tubes. De permeation tubes zijn ondergebracht in 6 permeation ovens en uiteindelijk gekoppeld aan 1 systeem met een multi-array solid-state sensor

Raiffeisenstraat 24
4697 CG Sint-Annaland

t +31 (0) 166 65 72 00
f +31 (0) 166 65 72 10

e info@macview.nl
l www.macview.nl





Dit systeem is een multi-array sensor geplaatst in een temperatuur geconditioneerd ontwerp waarbij met een klep nul-lucht kan worden toegevoerd en waarbij de uitkomsten van de sensor kunnen worden verwerkt in een neurale netwerk.

De stoffen die zijn geïnventariseerd zijn geëxtraheerd uit diverse wetenschappelijk publicaties. De meeste publicaties handelen over de samenstelling van gasconcentraties uit varkensmest. We zijn gekomen tot een classificatie van een top 10 aan componenten:

Methyl mercaptan
Phenol
Pentanoic Acid/Valeric acid
Butyric Acid
Indole
Skatole
P-Cresol (4-Methylphenol)
Acetic Acid
Ammoniak
Hydrogen Sulfide

Tabel 3: Overzicht van de meest aanwezige gascomponenten die aanwezig zijn in varkenslucht, verkregen uit een literatuurstudie.

Naast deze componenten worden de grootheden temperatuur en RV op een traditionele wijze verwerkt door respectievelijk een PID temperatuurregeling toe te passen op de sensor en de RV te compenseren op de sensoren. Hiervoor zijn afzonderlijke testen uitgevoerd om de compensaties zo optimaal te laten verlopen. Er is dus voor gekozen om de traditionele grootheden temperatuur en relatieve vochtigheid niet in een neurale net mee te laten analyseren teneinde de resolutie van de overige componenten zo hoog als mogelijk te houden.

Van alle componenten is vastgesteld wat de bovenste en de onderste geurgrenzen zijn. Dit is eveneens verkregen uit literatuurstudies. Dezelfde componenten in verschillende onderzoeken laten nogal uiteenlopende niveau's zien. Uiteindelijk is gekozen voor de meest logische benaderingen.

Kunstmatig neurale netwerk

Neurale netwerken zijn ontworpen naar analogie van het biologische brein, m.a.w. het zijn zeer uitgebreide en onderling verbonden netwerken van neuronen. Kunstmatige neurale netwerken zijn toe te passen in computersystemen. Een kunstmatig neurale netwerk bestaat uit verscheidene (eventueel door software gesimuleerde) meestal zeer eenvoudige processoren (neuronen) met een hoge mate van onderlinge connectie waarover simpele scalaire berichten verzonden worden. De interactie tussen de diverse onderling verbonden processoren waaruit het netwerk bestaat is bovendien adaptief, zodat verbindingen tussen andere processoren in het neurale netwerk kunnen ontstaan, kunnen worden versterkt, verzwakt of weer verbroken kunnen worden. Dit betekent dat een neurale netwerk te 'trainen' is. Het trainen van neurale netwerken gebeurt met backpropagation. Hierbij wordt een willekeurig sample ingevoerd in het netwerk en wordt vervolgens afhankelijk van de grootte van de fout die ontstaat de gewichten aangepast. (Jang, 1997)

Raiffeisenstraat 24
4697 CG Sint-Annaland

t +31 (0) 166 65 72 00
f +31 (0) 166 65 72 10

e info@macview.nl
l www.macview.nl





Soorten netwerken

Bekende netwerken zijn de *Multilayer Perceptron* netwerken en de *Generalized Feed Forward* netwerken.

De *multilayer perceptrons (MLPs)* zijn netwerken die uit meerder lagen bestaan die de informatie voorwaarts doorgeven. Layered feed forward netwerken worden typisch getraind met statische backpropagation (Verkregen informatie wordt terug het netwerk ingekoppeld). Dit type netwerken vind in ontelbaar veel applicatie hun weg, bijzonder daar waar een statische classificatie patroon nodig is. De voordelen van deze netwerken zijn dat ze eenvoudig zijn en dat ze vrijwel alle applicaties met alle inputs-output structuren aankunnen. Het belangrijkste nadeel is dat de training van deze netwerken relatief langzaam gaat en ze vereisen veel trainingsdata. (Meestal meer dan 3 keer meer training samples dan netwerk gewichten.)

Generalized Feed Forward

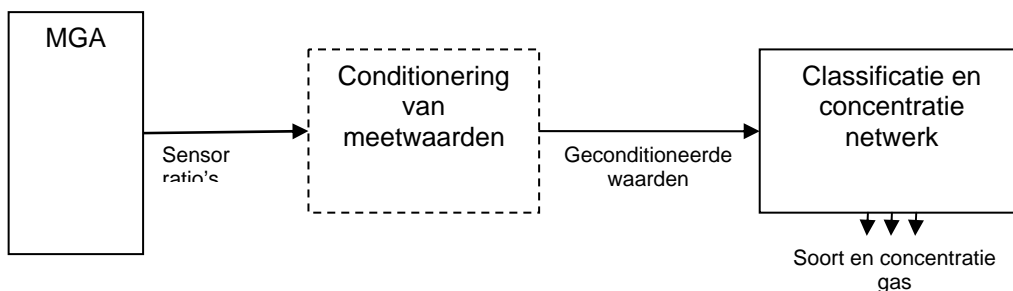
Generalized feed forward netwerken zijn een basis van de MLP netwerken, zodanig dat de verbindingen in theorie kunnen overspringen naar elk andere laag of punt in een laag. In theorie kan een MLP network alle problemen oplossen die een *generalized feed forward network* ook kan oplossen. Echter in de praktijk is een *generalized feed forward network* networks vaker sneller met de oplossing en wordt het probleem ook meer efficiënt opgelost.

Voor het netwerk wordt gekozen voor een *Generalized Feed Forward Multilayer Perceptron Network*. Het voordeel van dit netwerk tegenover een standaard MLP netwerk is dat er minder trainingsdata nodig is. Het nadeel van het netwerk is dat er meer parameters zijn dus dit kost extra geheugen wat in een embedded oplossing beperkt is. De beperkte hoeveelheid trainingsdata is echter een zeer groot voordeel omdat het verzamelen van de trainingsdata relatief veel tijd kost.

Topologie

Na een literatuurstudie over de toepassingen van kunstmatige neurale netwerken in gasmeet technieken blijkt dat er vooral over twee soorten topologieën worden gebruikt.

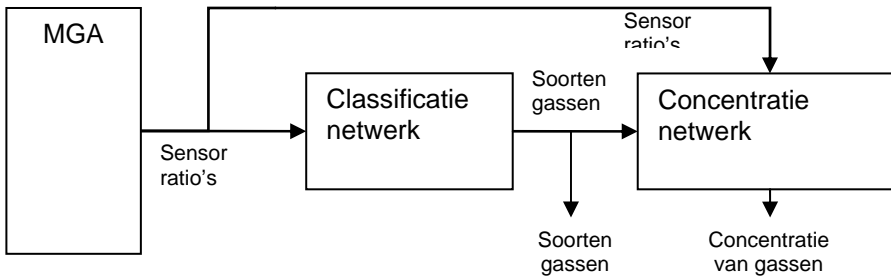
De eerste topologie gaat over een enkelvoudig netwerk waar de sensor verhoudingen (ratio's) direct in het neurale netwerk worden ingevoerd. De ratio's kunnen direct na de meting of alleen op een bepaald tijdstip worden ingevoerd. Het is ook nog mogelijk om de ratio's eerst te conditioneren. Omdat de sensor bij alle soorten gassen een unieke stabilisatie en meettijd heeft kunnen ook alleen de unieke kenmerken van deze periode worden ingevoerd. Deze topologie is in een wetenschappelijk onderzoek gebruikt om de concentratie van één soort gas in lucht te bepalen.



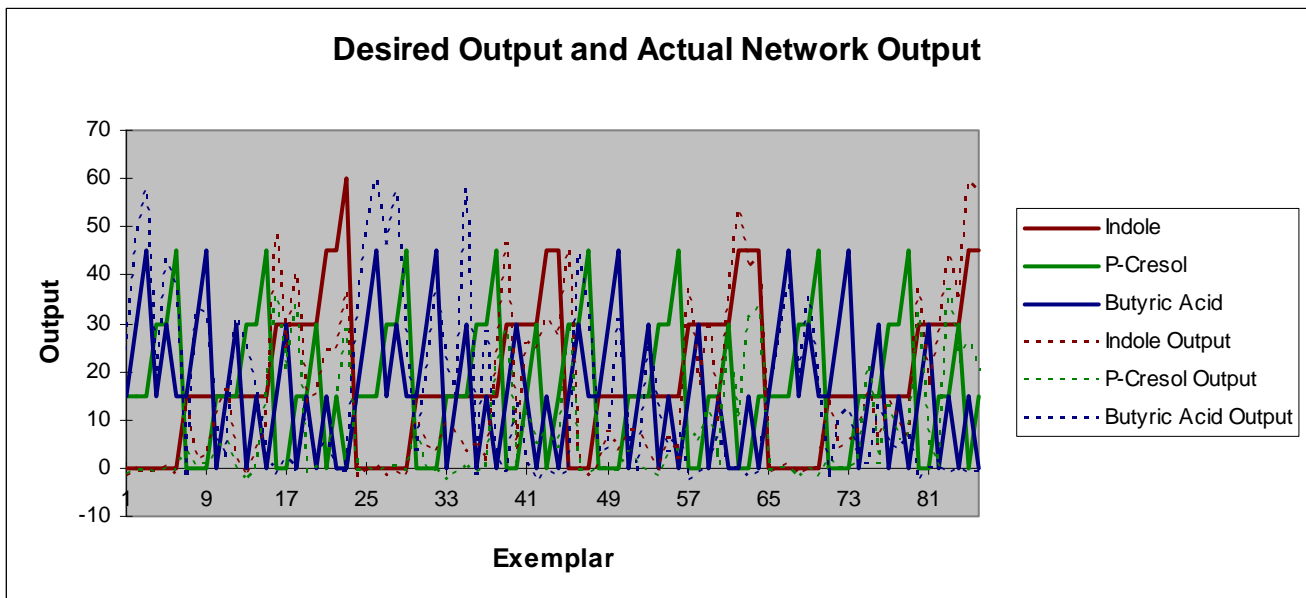


Figuur 2: Enkelvoudige topologie waarbij conditionering optioneel is

Bij een twee lagen topologie wordt eerst welke gassen zich er in de lucht bevinden en vervolgens wordt hiervan de concentratie bepaald.



Figuur 3: Twee lagen topologie



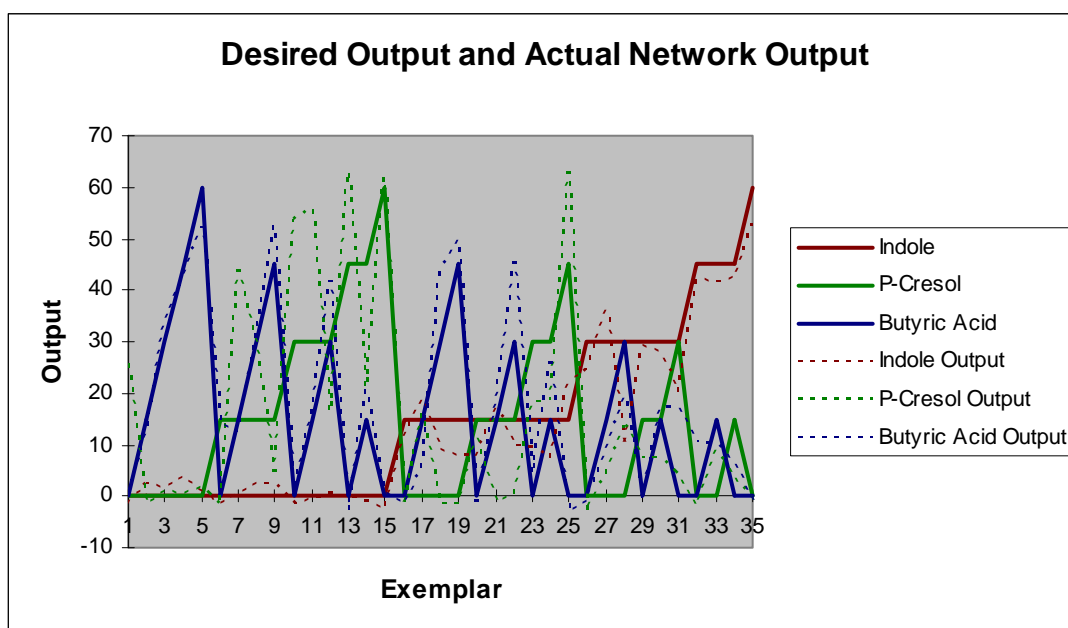
Figuur 4: Relatie tussen de gemeten waarden (ononderbroken lijnen) en de gewenste output (stippellijnen)





Performance	Indole	P-Cresol	Butyric Acid
MSE	126.2733405	471.5152749	199.1914232
NMSE	0.597315442	2.345525271	1.068479668
MAE	8.371652246	17.52764081	11.04322773
Min Abs Error	0.017299954	0.076797221	0.034178076
Max Abs Error	45.54439157	46.70068218	32.69469265
r	0.782346579	-0.159821897	0.62426319

Tabel 4: Bijbehorende afwijkingen van de gemeten waarden en de gewenste waarden.



Figuur 5: Relatie tussen de gemeten waarden (ononderbroken lijnen) en de gewenste output (stippellijnen)

Performance	Indole	P-Cresol	Butyric Acid
MSE	29.94917093	199.2941651	53.11927596
NMSE	0.110922855	0.738126537	0.196738059
MAE	3.988914929	11.10540487	5.480077289
Min Abs Error	0.247990571	0.489905225	0.000933466
Max Abs Error	20.28415467	29.0716076	17.21323142
r	0.951154943	0.73565366	0.920110634

Tabel 5: Bijbehorende afwijkingen van de gemeten waarden en de gewenste waarden.

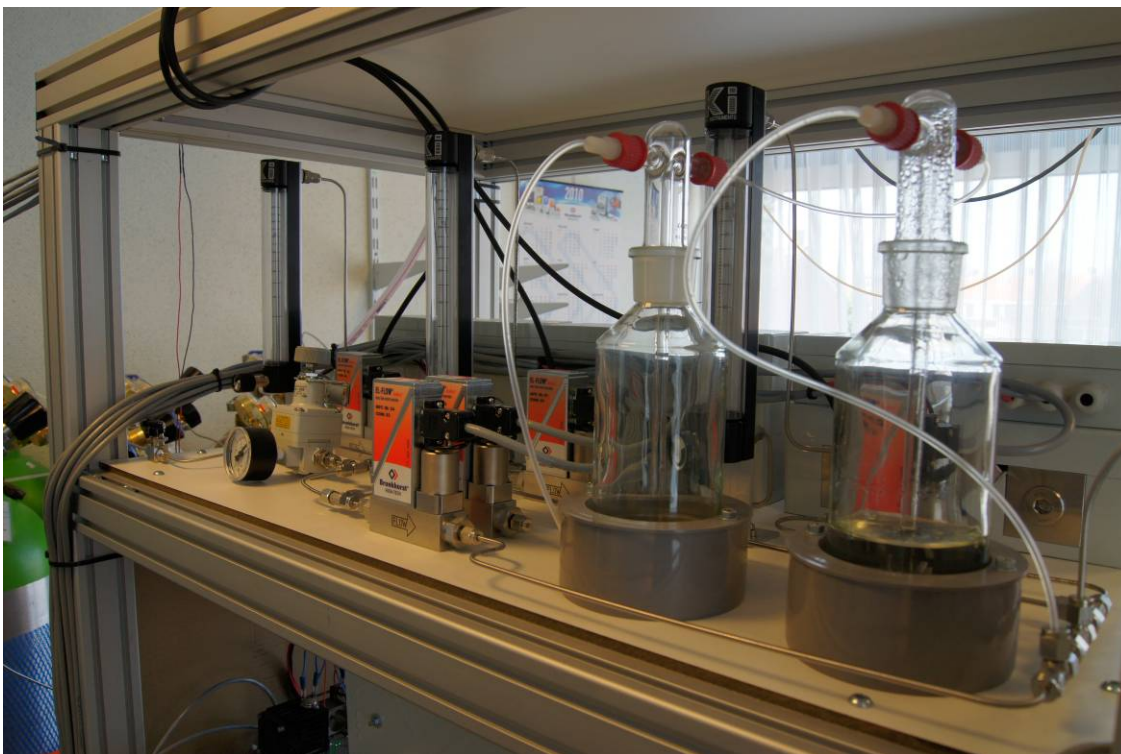
Grafische voorstelling en tabel van enkele resultaten uit het project van een training in een neuraal netwerk.





Permeatie-ovens

Een zeer speciaal aandachtspunt bij de opbouw van de opstelling waren de permeatie-ovens. De belangrijkste vraag bij de opbouw was: Hoe maken we geurcomponenten waarmee we op ppb niveau reproduceerbaar, relatief goedkoop en heel nauwkeurig kunnen kalibreren. EMS heeft naar aanleiding van deze vraag zelf 6 verschillende ovens gebouwd. De nauwkeurigheid is factoren hoger dan de versies die commercieel verkrijgbaar zijn. Met deze 6 ovens zijn allerlei soorten combinaties van stoffen samengesteld waarmee kon worden gemeten. De software van de MFCs in combinatie met de permeatie-ovens is in staat om de concentratie van een geurcomponent tot op een concentraties van 1 tot 2 ppb te regelen binnen een nauwkeurigheid van $\pm 2.5\%$.



Figuur 6: Achterzijde van de permeatie-oven met flowcontrollers en gaswasflessen.

MGA

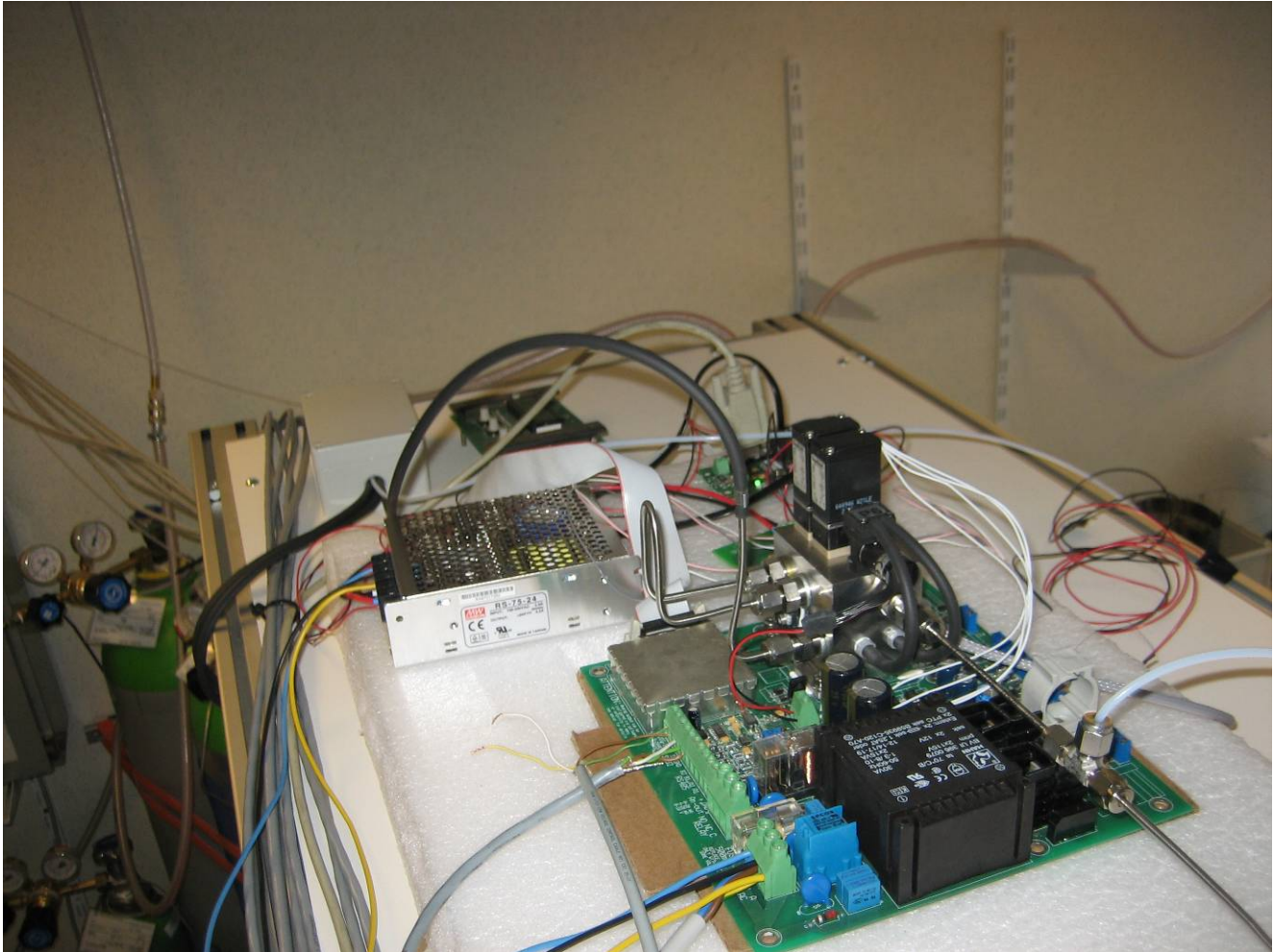
De MGA is een elektronisch systeem dat is opgebouwd en ontworpen op basis van een solid-state Array sensor. Deze sensor heeft meerdere sensoren (receptoren) waarbij elke sensor verschillende eigenschappen meegegeven kan worden. Dit kan gedaan worden door de aansturing van de sensoren m.b.v. elektrische parameters te beïnvloeden. (Temperatuur, stroom, spanning, frequentie etc.) Een kenmerk is dat deze sensordata door een mens moeilijk te interpreteren is. Echter voor een neurale netwerk is deze informatie goed te interpreteren. De MGA is geassembleerd opgebouwd en getest. Er is een temperatuurregeling aangebracht om e.a. te stabiliseren en geen condensatie te laten plaatsvinden. De output van de MGA bestaat uit een string met data die elke seconde wordt afgedrukt naar een PC. Deze data wordt door het neurale netwerk gebruikt om de conclusies te trekken.

Raiffeisenstraat 24
4697 CG Sint-Annaland

t +31 (0) 166 65 72 00
f +31 (0) 166 65 72 10

e info@macview.nl
l www.macview.nl





Figuur 7: Opgebouwde MGA voordat deze is ingebouwd in een (portable) kast voor in het veld.

Fase 2: Inleren lab opstelling

Het principe van werken met neurale netwerken is een uiterst geschikte oplossing voor geursensoren. Het grote nadeel is dat er heel veel trainingsdata nodig moet zijn om alle mogelijke combinaties te trainen en te testen. Een oplossing hiervoor hebben we gevonden in een afweging te maken door te kiezen voor een lager resultaat in de uitkomsten, maar een hogere snelheid met inleren.

Het inleren is gebeurd door in stappen van verschillende concentraties stoffen aan de Multi Gas Analyser aan te bieden. In eerste instantie is dit uitgevoerd in kleine stappen. Er zijn 2 stoffen aangeboden om vervolgens te onderzoeken of het inleren van stoffen ook daadwerkelijk een significant resultaat opleverde. Na enige verbeterlagen was dit optimaal en is begonnen om elke gascomponent in verschillende stappen in te leren. Hierbij spelen reproductie van data, nauwkeurigheid van het systeem en stabiele omgevingsfactoren een cruciale rol.

Raiffeisenstraat 24
4697 CG Sint-Annaland

t +31 (0) 166 65 72 00
f +31 (0) 166 65 72 10

e info@macview.nl
l www.macview.nl





Fase 3 / 4: Onderzoek inleren geurwaarde en hedonische waarde lab / praktijk

Een belangrijke stap is de vertaalmethode om informatie uit een neurale netwerk omgezet te krijgen naar een intensiteit of een hedonische waarde. We vermelden er bij dat we het resultaat van de uitkomst uit de elektronische neus zo dicht als mogelijk de intensiteit en de hedonische waarde willen laten benaderen aan de methoden zoals beschreven in de VDI richtlijnen.

De methodiek om deze waarden te koppelen is als volgt opgezet: (Zeer kort samengevat daar de onderliggende complexiteit te ver voert voor dit verslag)

- De intensiteit is een logaritmische waarde. De sensoruitslag is eveneens een logaritme. Dit betekent dat deze waarden min of meer lineair met elkaar te vergelijken zijn. Een intensiteit met een waarde van 6 heeft een bijbehorende gasconcentratie in ppb / ppm. Deze waarde gebruikt men in het inleren van het neurale netwerk en stelt men gelijk aan waarde 6. De verhouding die hieruit voortkomt is een quasi lineaire benadering die ook in een aantal onderzoeken als zodanig wordt bevestigd. (Kwantitatieve benadering).
- De hedonische waarde is een vast getal per stof. In ons model berekenen we voor alle stoffen een partiële hedonische waarde naar de verhouding van het aantal stoffen dat kwalitatief wordt bepaald. Het totaal van deze partiële stoffen vormt de grondslag voor de optelsom van alle partiële hedonische waarden en vormt zodoende de totale hedonische waarde van een mengsel aan gassen. (Deels kwantitatief en kwalitatieve benadering).

Fase 5: Uitwerken resultaten, aanbrenen nieuw gevonden resultaten

Het resultaat van dit project is dat we een werkend systeem hebben gebouwd dat in het veld ook is gebruikt en dat bestaat uit een kast waarin elektronica is verwerkt met daarin een zelfaanzuigende pomp, een paar kleppen en een display. Deze kast werkt op 220VAC en stuurt elke seconde een datastring uit. Daarnaast staat een PC die de datastring verwerkt. De data wordt verwerkt in een neurale netwerk. Op de PC is software geschreven waarmee de data kan worden geïnterpreteerd en visueel worden weergegeven. Uiteindelijk wordt in een gassamenstelling bepaald welke van de eerder genoemde 10 majeure aanwezige geurcomponenten aanwezig zijn. (Kwalitatieve bepaling). Daarna wordt voor elke component ook bepaald wat de gasconcentratie is berekend naar genormaliseerde grootheden in ppbs. (Kwantitatieve bepaling). Vanuit deze informatie wordt met behulp van een kleine database de intensiteit en de hedonische waarde van een gas bepaald. De PC heeft een database waarbij de gevonden meetwaarden ook opgeslagen worden. De meetinterval voor een meting is circa 15-45 minuten. Dit komt omdat de sensoren opnieuw moeten worden gereinigd en hangt af van de concentratie van een gassamenstelling. Gezegd moet worden dat er op dit moment geen systemen zijn voor het meten van geur uit varkensmest die zo snel de geur kunnen bepalen.

Er is nog altijd een combinatie van een PC en een neurale netwerk nodig. Echter de werking verloopt zeer goed. De overeenkomsten met menselijke interpretatie van de beleving intensiteit en hedonische waarde komt goed overeen.

Conclusie / aanbevelingen

Er is een systeem gebouwd waarmee geur op zowel kwantitatieve als ook kwalitatieve alsook op kwantitatieve hoeveelheden beoordeelt. De intensiteit en de

Raiffeisenstraat 24
4697 CG Sint-Annaland

t +31 (0) 166 65 72 00
f +31 (0) 166 65 72 10

e info@macview.nl
l www.macview.nl





**OUR KNOWLEDGE
IS YOUR SUCCESS**

hedonische waarden worden bepaald. De relatie naar een menselijk geurpanel is niet gemaakt. Wel is de verwachte output gecontroleerd met echte gasconcentraties in die in een labomgeving zijn aangeboden. Daarin komt de uitslag overeen en is het systeem reproduceerbaar. Aanbevelingen voor verdere verbetering zijn miniaturisatie, de opname van een neuraal netwerk in een kleinere processor, en een mogelijke methode om de inleer-procedure / kalibratie procedure te versnellen of generiek te maken voor alle sensoren uit eenzelfde serie. Verder mag de meting versneld worden om meer real-time data te kunnen verkrijgen. De praktische uitvoering en het gebruik van deze sensor is onder handbereik, maar hangt af van de vraag van de overheden en de handhavende instanties.



Figuur 8: Voorzijde met de 6 permeatie-ovens en bovenop de ingebouwde MGA sensor.



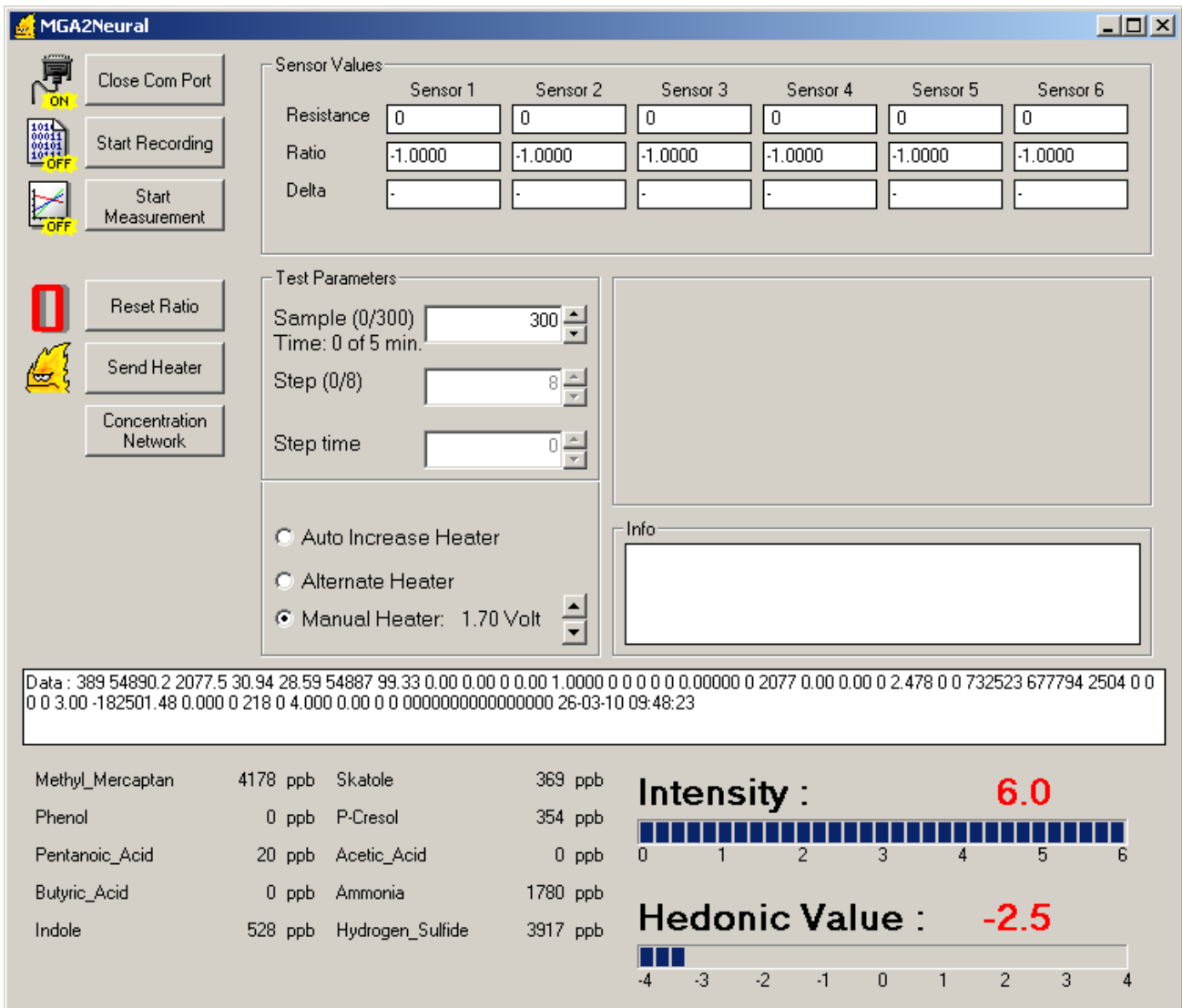
WWW.MACVIEW.NL

Raiffeisenstraat 24
4697 CG Sint-Annaland

t +31 (0) 166 65 72 00
f +31 (0) 166 65 72 10

e info@macview.nl
l www.macview.nl





Figuur 9: Programma voorbeeld van de MGA2Neural programma waarbij de intensiteit en de hedonische waarde worden weergegeven op het scherm van de PC.

