

MASTER

Het meten van halothaan concentraties in lachgas-zuurstof mengsels, alsmede de bepaling van de samenstelling van deze lachgas-zuurstof mengsels

Drupsteen, J.

Award date:
1974

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

HET METEN VAN HALOTHAAN KONSENTRATIES
IN LACHGAS-ZUURSTOF MENGSELS, ALSMEDE
DE BEPALING VAN DE SAMENSTELLING VAN
DEZE LACHGAS-ZUURSTOF MENGSELS.

J. Drupsteen

Verslag van het afstudeerwerk verricht
in de onderwerpgroep Fysische Onderzoek
Methoden van de afdeling der technische
natuurkunde.

Afstudeerdocent: Prof.Dr. P. van der Leeden
Afstudeercoach : Dr.Ir. C.H. Massen

Eindhoven, juni 1974

Inhoudsopgave

	<u>Blz.</u>
1. Inleiding	1
2. Narcosemachine	3
2.1. Verdampers	4
2.2. Open-gesloten circuits	5
2.3. Halothaan	6
3. Enige analysemethoden voor gasmengsels	7
4. Warmtegeleidbaarheidscel of Katharometer	19
4.1. De verandering van gassamenstelling in de cel	21
4.2. De verandering van warmtegeleidings- vermogen van het gas of het gasmengsel	31
4.3. De verandering van temperatuur van de draad	42
4.4. De verandering van weerstand van de draad	49
4.5. De verandering van de uitgangsspanning	51
4.6. Gevoeligheid van de detector	53
5. De ijking	54
5.1. De ijkcyliner	54
5.2. Ijking met gemeten drukverhoging	60
5.3. Invloed van de Halothaan-verdamping op de temperatuur en druk van het gasmengsel	63
6. Ijking van twee verdampers "Fluotec MK II" en "Dräger"	65
7. Halothaan in O ₂ - N ₂ O mengsels	69
8. Metingen tijdens operaties	75
9. Samenvatting	77
10. Litteratuur	78

1. INLEIDING.

In de reeks inhalatie-anesthetica neemt halothaan (hoofdst. 2) een zeer belangrijke plaats in.

De toediening ervan geschiedt door een lachgas-zuurstof mengsel door een zg. halothaan verdamper (hfdst. 2) te leiden. Met een instelknop op deze verdamper wordt ingesteld welk deel van de totale gasflow door de verdamper wordt geleid. De halothaan afgifte wordt hiermee geregeld en dus ook de halothaan concentratie in de totale gasflow. De stand van de instelknop is niet de enige faktor welke bepalend is voor het volumepercentage anestheticum in het zuurstof-lachgas mengsel. Afhankelijk van het type verdamper spelen o.a. de grootte van de totale zuurstof-lachgas flow, de temperatuur en de warmtecapaciteit van de verdamper een belangrijke rol.

Omdat er meestal geen verdere controle is op het volumepercentage halothaan in het O_2/N_2O mengsel dat de patient bereikt, is het enige houvast dat de anesthesist heeft, de ingestelde stand van de knop op de verdamper. In het verslag dat de anesthesist van de narcose tijdens een operatie maakt, wordt dan ook vermeld in welke stand de knop van de verdamper heeft gestaan.

Van dr. Van Hout, anesthesist van het St. Anna Ziekenhuis in Geldrop, is het verzoek gekomen een instrument te ontwikkelen welke het volumepercentage halothaan in een willekeurig zuurstof-lachgas mengsel aangeeft, met als eisen een relatieve fout kleiner dan 5% en een responsietijd kleiner dan een halve minuut.

Na vergelijking van een aantal analysemethoden (hfdst. 3) werd gekozen voor een methode die erop berust, dat het warmtegeleidingsvermogen van een gasmengsel afhangt van de samenstelling van dat gasmengsel. Een detector welke volgens deze methode werkt is de warmtegeleidbaarheidscel of katharometer.

De mechanismen welke een rol spelen bij de werking van een katharometer zijn achtereenvolgens bekeken (hfdst. 4).

Met name werd aandacht besteed aan het gedrag van de detektor voor lachgas-zuurstof mengsels (hfdst.4.2) en halothaan in lachgas-zuurstof mengsels (hfdst. 7).

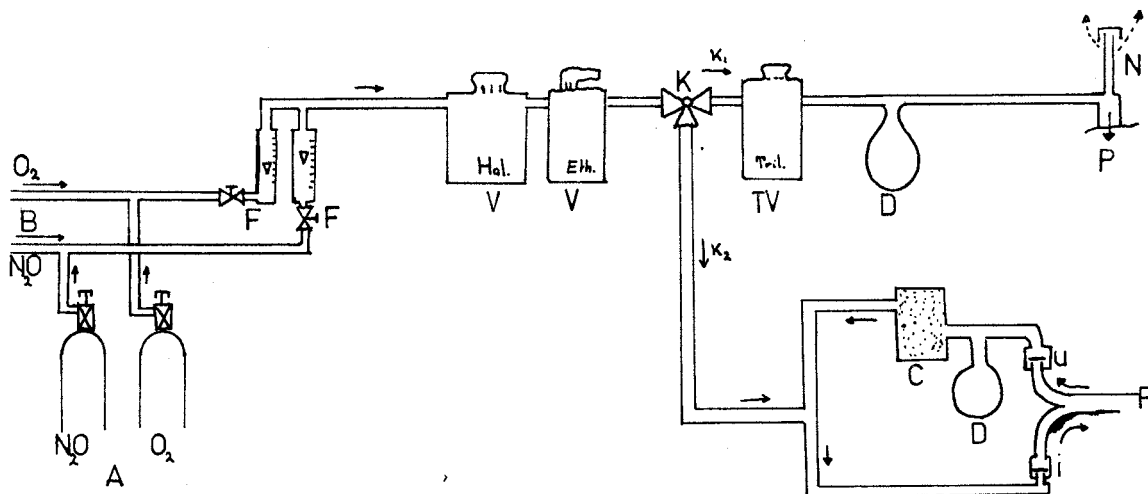
Teneinde de detektor te ijken met goed gedefiniëerde halothaan concentraties werd een ijkcilinder gemaakt (hfdst. 5).

Met een geijkte detektor zijn twee verschillende halothaan-verdampers doorgemeten (hfdst. 6).

In het St. Anna Ziekenhuis werden metingen verricht tijdens operaties, waarbij de detektor in het narcosecircuit was opgenomen (hfdst. 8).

2. Narcosemachine.

Figuur 1 geeft een overzicht van de voor ons belangrijke componenten van een narcosemachine.



Figuur 1 : narcosemachine

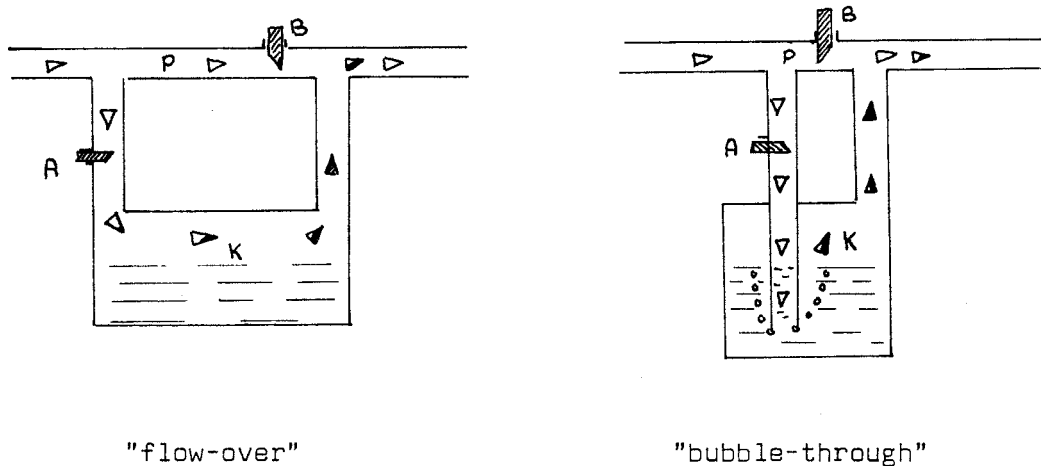
- waarin :
- A - gascilinders (N_2O en O_2)
 - B - gasleidingen
 - F - flowmeters
 - V - verdampers (Halothaan, Ether)
 - TV - trileen verdamper
 - K - keuzekraan; K_1 naar open systeem,
 K_2 naar gesloten systeem
 - C - CO_2 absorber
 - D - ademhalingsballon
 - P - patient
 - i - inademingsklep
 - u - uitademingsklep
 - N - "non rebreathing" klep-

De gassen O_2 en N_2O worden meestal betrokken uit betreffende gasleidingen. De narcosemachine is voorzien van (reserve) gas-cylinders waarop in noodgevallen kan worden overgeschakeld. Met behulp van flowmeters worden deze gassen in gewenste hoeveelheid gemengd; een gebruikelijke instelling b.v. is 4 l/min. N_2O en 2 l/min. O_2 . Het percentage zuurstof wordt boven de 20% (het O_2 gehalte in lucht) gehouden. Dit gasmengsel gaat de verdamper in.

2.1. Verdamper:

De taak van de verdamper is het zuurstof-lachgas mengsel te voorzien van de gewenste hoeveelheid damp van het vloeibaar anestheticum. Dit gebeurt door een klein gedeelte van het N_2O/O_2 mengsel door een kamer te sturen, terwijl de rest passeert door een by-pass (figuur 2).

Deze kamer (K) is gedeeltelijk gevuld met het vloeibare anestheticum en voor de rest met de damp hiervan. Figuur 2 geeft twee basis principes van verdamperen; figuur 2.a. is een oppervlakte-verdamper, terwijl figuur 2.b. een zg. "bubble-through" verdamper is.



Figuur 2 a, b : verdamper typen

waarin : K - verdamperkamer
 P - by-pass
 A, B - stromingsweerstand.

Het gas dat door de verdamperkamer stroomt wordt gedeeltelijk of geheel verzadigd met de damp van het vloeibare anestheticum. Dit met damp verrijkte gasmengsel voegt zich weer bij het gedeelte dat via de by-pass is geleid, zodat nu in de totale gasflow het anestheticum in een bepaalde concentratie voorkomt.

De verhouding van de gasflows door by-pass en verdampingskamer hangt af van de verhouding van de stromingsweerstand A en B in de betreffende leidingen. Deze weerstandverhouding wordt ingesteld met behulp van de instelknop op de verdamper.

2.2. Open-gesloten circuits:

Na de verdamper passeert het gas een keuzekraan (K, fig. 1). De keuzemogelijkheden zijn:

- K_1 direct naar de patient via het zg. open circuit.
De patient ademt de narcosegassen in uit de leiding en ademt ze dan in de ruimte weer uit via een "non-rebreathing" klep,
- K_2 naar de patient via een cirkelsysteem (gesloten circuit). De patient ademt in uit de leiding. De uitgeademde lucht wordt opgevangen, door een CO_2 absorber geleid en voorzien van een weinig vers gas (in dit geval vnl. zuurstof met een lage concentratie aan halothaan) weer aan de patient toegevoegd.

De trileen verdamper staat na de keuzekraan, omdat het trileen niet in contact mag komen met het CO_2 absorbermateriaal.

Voor een uitgebreid overzicht en behandeling van ademhalings-systemen, alsmede van soorten en eigenschappen van de verdampers, wordt verwezen naar de litteratuur (L.1)

2.3. Halothaan: (2 broom - 2 chloor - 1,1,1 trifluorethaan).

Van de tegenwoordig gebruikte inhalatie anesthetica is halothaan wel de belangrijkste. Andere middelen zijn o.a. ether, trileen en methoxyfluraan. Dr. Van Hout, anesthesist van het St. Anna Ziekenhuis te Geldrop, gebruikt in bijna alle gevallen halothaan als narcosemiddel.

Naast de goede regelbaarheid is het gebruik van halothaan mogelijk in zowel "non-rebreathing" als in "rebreathing" systemen. Het kan daarbij, zonder explosiegevaar, in elke gewenste hoeveelheid gemengd worden met een willekeurig lachgas-cuurstofmengsel. Daar het een zeer krachtig werkend anestheticum is, is de toegediende dosis in belangrijke mate bepalend voor de konditie van de patient tijdens de narcose. Overdosering kan ademhalings-depressie en verlaging van bloeddruk en cardiac-output veroorzaken.

Inleiding van de narcose kan met een konsentratie van ongeveer 3 vol.% in zuurstof-lachgas plaatsvinden. Voor het in stand houden van de gewenste narcosediepte kan de konsentratie verlaagd worden tot 0,5 à 1,5 vol.%.

Enkele eigenschappen van halothaan:

Formule	:	$CF_3CHBrCl$
Moleculair gewicht	:	197,39
Kookpunt (760 mm Hg)	:	50,2 °C
Soort.gewicht v/d vloeistof (n.p.t.)	:	1,86 gr./cc.
Soort.gewicht v/d damp (n.p.t.)	:	8,7 gr./liter
Dampdruk (20 °C)	:	242 mm Hg
Verdampingswarmte	:	35,2 kcal./kg.
1 gr. vloeistof geeft bij 20°C	:	0,123 liter damp
1 cc. vloeistof geeft bij 20°C	:	0,229 liter damp

3. Enige analysemethoden voor gasmengsels.

Dit hoofdstuk werd geschreven in samenwerking met B.J. Zwaga.

De hieronder genoemde analysemethoden hebben betrekking op die gassen en gasmengsels, welke voornamelijk van belang zijn in de anesthesie. Deze gassen zijn de normale ademhalingsgassen O_2 , N_2 , CO_2 en de narcosegassen N_2O en C_3H_8 . Bovendien zijn de dampen van de vluchtige inhalatienarcotica zoals ether, chloroform en vooral halothaan belangrijk.

Wat betreft de analysemethoden kan onderscheid gemaakt worden in fysische en chemische methoden.

a. Chemische methoden:

- volumetrische gasanalyse. (Scholander en Haldane gasanaly-sator). Van een bepaald volume gasmengsel wordt een bepaalde komponent door een geschikt reagens chemisch gebonden. Dit heeft een volumevermindering tot gevolg, welke een maat is voor de hoeveelheid van die komponent. Bijvoorbeeld koolzuurgas (CO_2) wordt gebonden door het reagens KOH; zuurstof (O_2) wordt gebonden door NaHS. In de praktijk neemt men samples van 0,5 cc. Hierin is het aanwezige percentage O_2 en CO_2 te bepalen met een relatieve nauwkeurigheid van 1,5 %.
- manometrische gasanalyse (Neill gasanalysator). Deze werkt volgens hetzelfde principe, maar nu worden drukveranderingen gemeten in plaats van volumeveranderingen.

b. Fysische methoden:

Fysische analysemethoden zijn van groot belang voor de anesthesie. Vanwege de doorgaans hoge responsiesnelheid zijn deze methoden aantrekkelijk. Bovendien kunnen de te meten grootheden vaak gepresenteerd worden als een elektrisch signaal. Sommige apparaten geven een uitgangsspanning evenredig met de konsentratie van een gaskomponent uit het mengsel.

Andere zijn juist ontwikkeld om een reeks van componenten te kunnen analyseren, zoals gaschromatografen en massaspectrometers.

Zowel bij de chemische als bij de fysische analysemethoden kan men onderscheid maken tussen specifieke en niet-specifieke methoden.

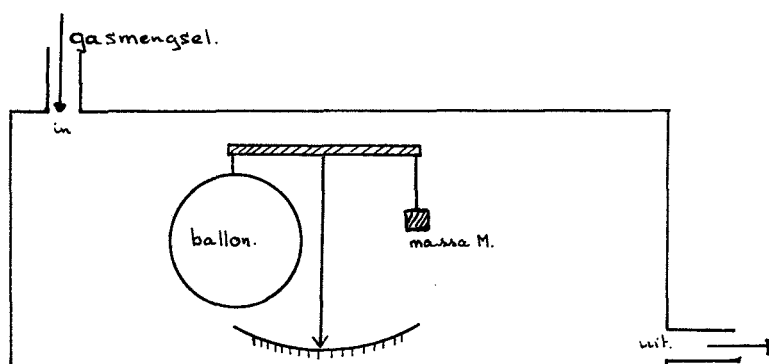
Bij de niet-specifieke methoden wordt gebruik gemaakt van stof-eigenschappen, zoals dichtheid, thermische geleidbaarheid, brekingsindex, geluidssnelheid of viscositeit.

Specifieke methoden zijn gebaseerd op karakteristieke stof-eigenschappen, zoals magnetische susceptibiliteit, emissie en absorptie van elektromagnetische straling met een bepaalde golflengte, affiniteiten (gaschromatografie) en atoom- of molekulgewicht (massaspektrometrie).

Niet-specifieke methoden:

a. Dichtheid.

Eén van de oudste instrumenten om concentraties te meten is de chloroformbalans van Waller (figuur 3). Dit apparaat is te gebruiken voor binaire mengsels. Het berust op het feit, dat de opwaartse kracht varieert met de dichtheid van een gas.



Figuur 3 : chloroformbalans van Waller

Deze balans is voornamelijk geschikt om de concentraties van die anesthetica te meten, welke een grote dampdichtheid hebben (tabel 1). Een dichte ballon van een bekend volume ondervindt een opwaartse kracht afhankelijk van de samenstelling van het omgevingsgas. Uit het verschil in gewicht van die ballon in het referentiegas en in datzelfde gas met daarin een hoeveelheid anestheticum is met het bekende volume van de ballon de concentratie van het anestheticum te bepalen. Deze balans is slechts beperkt geschikt, omdat de stroomsnelheid van het omgevingsgas beperkt moet zijn (geen turbulentie). Bovendien is een nagenoeg trillingsvrije opstelling vereist.

naam	formule	soortelijke massa (gr/l) damp (n.t.p.)
halothaan	CF_3CHClBr	8,7
methoxyfluraan	$\text{C}_3\text{H}_4\text{F}_2\text{O}$	7,4
trichloorethyleen	C_2HCl_3	5,9
fluoxene	$\text{C}_4\text{H}_5\text{F}_3\text{O}$	5,6
chloroform	CHCl_3	5,5
ether	$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	3,3
cyclopropan	C_3H_6	1,9
zuurstof	O_2	1,4
stikstof	N_2	1,2

Tabel 1 : Soortelijke massa (gr/l) van gassen en dampen.

b. Thermische geleidbaarheid.

Bij verandering van de samenstelling van een gasmengsel verandert de thermische geleidbaarheid van dat mengsel. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt in katharometers. Een gasmengsel wordt in contact gebracht met elektrisch verwarmde draadjes. Afhankelijk van de λ van het gasmengsel koelen de draadjes af tot er een evenwicht is bereikt tussen de ontwikkelde joule-warmte en het warmtetransport door het gas.

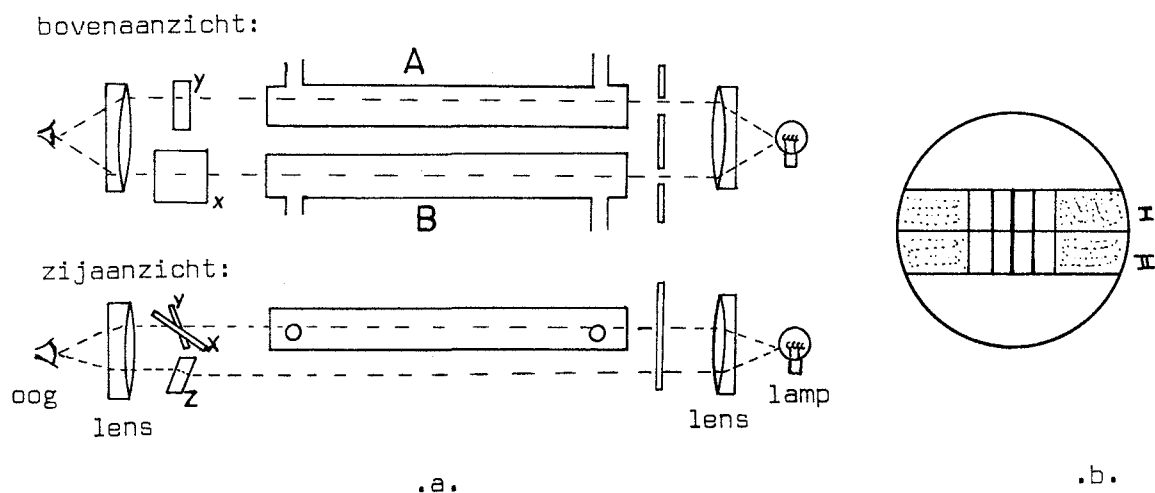
Temperatuursveranderingen van de draadjes veroorzaken weerstandsveranderingen daarvan. De draadjes zijn opgenomen in een brug van Wheatstone, waarvan de bruguitslag V_0 een maat voor de konzentratie is. Vooral bij onderling sterk verschillende warmtegeleidingskoefficienten zijn konzentraties nauwkeurig te bepalen. Tabel 2 geeft voor een aantal gassen het warmtegeleidingsvermogen (L.9).

gassoort	λ ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) (T=300K)
helium	0,1499
stikstof	0,0259
zuurstof	0,0267
lachgas	0,0174
kooldioxide	0,0166

Tabel 2

c. Brekingsindex. (Rayleigh interferentie-refractometer).

Van een gewone lichtbron wordt het licht in vier bundels gesplitst (zie figuur 4.a.).



Figuur 4. : Rayleigh interferentie-refractometer.

Twee stralenbundels hiervan worden buiten de cellen A en B om door een prisma Z geleid, waardoor een interferentiepatroon I ontstaat dat gebruikt wordt als referentie. De twee andere stralenbundels gaan door de cellen A en B. Door cel B wordt een bekend gas geleid en door cel A datzelfde gas met een onbekende konsentratie van een tweede gas. Het optredende verschil in optische weglengte ten gevolge van dichtheidsverschillen in de twee cellen wordt gekompenseerd door de standhoek van twee plan-parallelle platen X en Y, die zich in de stralengangen bevinden, te wijzigen. Het variabele interferentiepatroon II wordt dan in overeenstemming gebracht met het interferentiepatroon I (figuur 4.b.). De hoekverdraaiing van X ten opzichte van Y is gerelateerd aan het verschil in brekingsindex en daarmee aan de konsentratie van het te meten gasmengsel. In tabel 3 is van een aantal gassen de brekingsindex gegeven.

gassoort	brekingsindex (n.t.p.)
zuurstof	1,000272
stikstof	1,000297
kooldioxide	1,000450
lachgas	1,000515
chloroform	1,001455
halothaan	1,001510
trichloorethyleen	1,001784

Tabel 3.

d. Geluidssnelheid.

De geluidssnelheid hangt af van het soort gas of van de samenstelling van een gasmengsel. Van deze eigenschap kan op verschillende manieren gebruik gemaakt worden.

- In een cel hangt de resonantiefrekwentie af van de geluidssnelheid en daarmee van de samenstelling van het gasmengsel.

- Verder is de tijd welke een geluidspuls nodig heeft om een gasmengsel te doorlopen via de geluidssnelheid afhankelijk van de gassamenstelling.

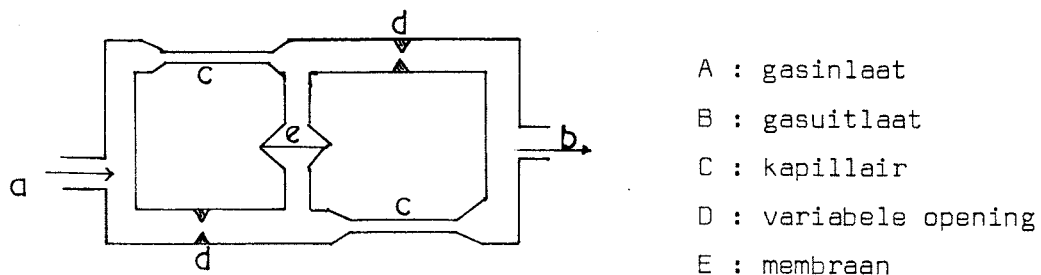
In tabel 4 is voor een aantal gassen de geluidssnelheid weergegeven.

gassoort	geluidssnelheid m/sec. (n.t.p.)
He	965
N ₂	334
lucht	331
O ₂	316
N ₂ O	263
CO ₂	259

Tabel 4

e. Viskositeit.

In feite berust deze methode zowel op het molekuulgewicht als op de viskositeit van een stof. De gasflow door een kapillair is afhankelijk van de viskositeit, terwijl de flow door een opening wordt bepaald door het molekuulgewicht. Deze twee eigenschappen worden gebruikt in een zg. pneumatische brug van Wheatstone (figuur 5).



Figuur 5 : pneumatische brug van Wheatstone

Door de grootte van de doorstroomopeningen D te variëren voor een referentiegas, wordt het membraan in de middenstand gebracht. Wanneer door het te analyseren gas de viskositeit of het molekulgewicht verandert, wordt de brug in onbalans gebracht. De druk links en rechts van het membraan verschilt, waardoor een membraanuitwijking ontstaat. Deze membraanuitwijking wordt weer teniet gedaan door de doorstroomopeningen aan te passen. Uit deze verandering is de konsentratie te bepalen van het te analyseren gas.

In tabel 5 is de viskositeit gegeven van enkele gassen.

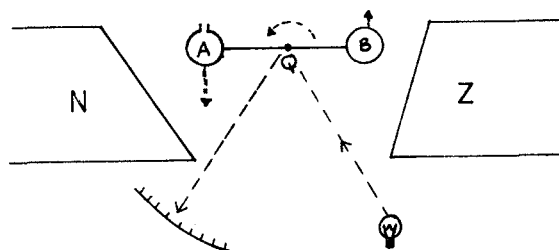
gassoort	viskositeit (μ poise)
O ₂	189
He	186
lucht	171
N ₂	165
CO ₂	140
N ₂ O	135

Tabel 5

Specifieke methoden:

a. Magnetische susceptibiliteit.

O₂ is een gas dat paramagnetisch is. Hiervan wordt gebruik gemaakt in de paramagnetische zuurstofanalysator (figuur 6).

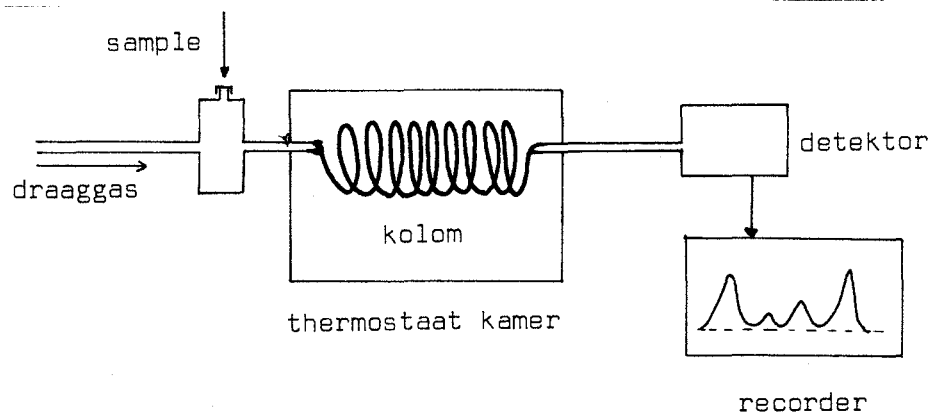


Figuur 6 : paramagnetische zuurstofanalysator

Het apparaat bestaat uit een halter van twee glazen bolletjes, A en B, opgehangen aan een kwartsdraad, Q. Bolletje A is gevuld met N_2 , bolletje B is open. Dit systeem bevindt zich in een inhomogeen magneetveld. Wanneer een zuurstofflow door het inhomogene magneetveld stroomt, ondervinden de zuurstofmolekulen een kracht naar het centrum van het magneetveld. De halter ondergaat hierdoor een hoekverdraaiing evenredig met de partiële zuurstofdruk. Deze hoekverdraaiing van de halter wordt optisch gemeten. Als nauwkeurigheid wordt opgegeven 0,1 % op een aanwijzing tussen 0-100% O_2 , terwijl voor de responsietijd geldt dat in 8 sec. 90% van de eindwaarde wordt bereikt.

b. Affiniteit (gaschromatografie).

In een gaschromatograaf (figuur 7) worden in een kolom (kapillair) gevuld met een stationaire fase de componenten uit een gasmengsel gescheiden.



Figuur 7 : gaschromatograaf

Dit sample in een draaggas noemt men de bewegende fase. Het scheiden van de componenten vindt plaats, omdat iedere component zijn eigen affiniteit heeft ten opzichte van de stationaire fase; hierdoor zijn de verblijftijden in de stationaire fase verschillend. De aldus gescheiden componenten worden één voor één aan het einde van de kolom gedetekteerd met behulp van:

- een katharometer (zie warmtegeleidbaarheid).

- een vlam-ionisatiedetektor.

Een kontinu brandende vlam tussen twee elektroden veroorzaakt ionisatie van de komponent. Deze ionisatiestroom wordt gemeten. De vlamionisatiedetektie is gevoeliger dan detektie met behulp van een katharometer.

- elektron-capture detektor.

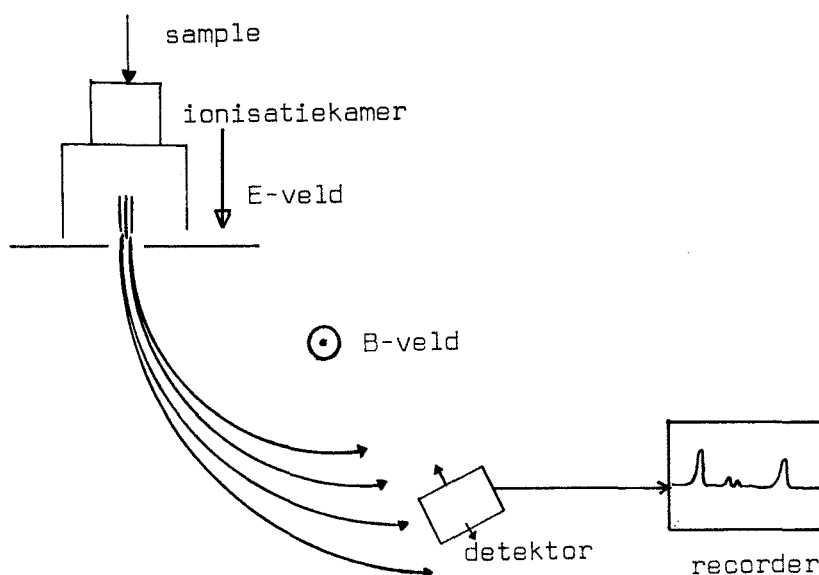
Deze detektiemethode is zeer geschikt om gehalogeneerde samenstellingen (halothaan, chloroform, trichloorethyleen, methoxyfluraan) te analyseren. Laag-energetische vrije elektronen worden ingevangen door een bepaalde komponent. Hierdoor neemt de elektronenstroom af.

- γ straling.

De molekulen worden gebombardeerd met γ -stralen, hetgeen ionisatie van de molekulen veroorzaakt.

c. Atoom- en molekuulgewicht.

In een massaspektrometer (figuur 8) worden de komponenten van een sample eerst geïoniseerd.



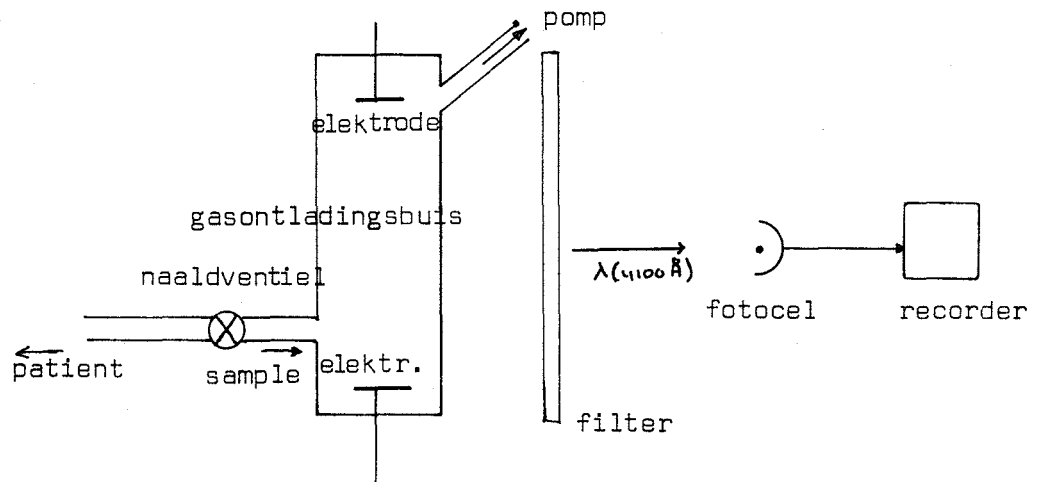
Figuur 8 : massaspektrometer

De ionen worden in een elektrisch veld versneld en daarna in een magneetveld afgebogen. De componenten worden nu gescheiden naar verhouding lading / massa. Aldus ontstaat er een "massaspektrum". Plaatsafhankelijk worden deze ionen gedetekteerd. Het is moeilijk molekulen met dezelfde massa (b.v. CO_2 en N_2O - beide molekuulgewicht 44) te scheiden. Tijdens de ionisatie echter kunnen sommige molekulen ontleed worden, zodat het mogelijk is de brokstukken te detekteren (b.v. $\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}$ met molekuulgewicht 30).

d. Emissie van elektro-magnetische straling.

Voor longfunctie onderzoek wordt voor detektie van N_2 wel gebruik gemaakt van de gasontlading in N_2 .

De expiratoire gassen worden in een gasontladingsbuis (fig. 9) gezogen (druk ~ 5 mm Hg).

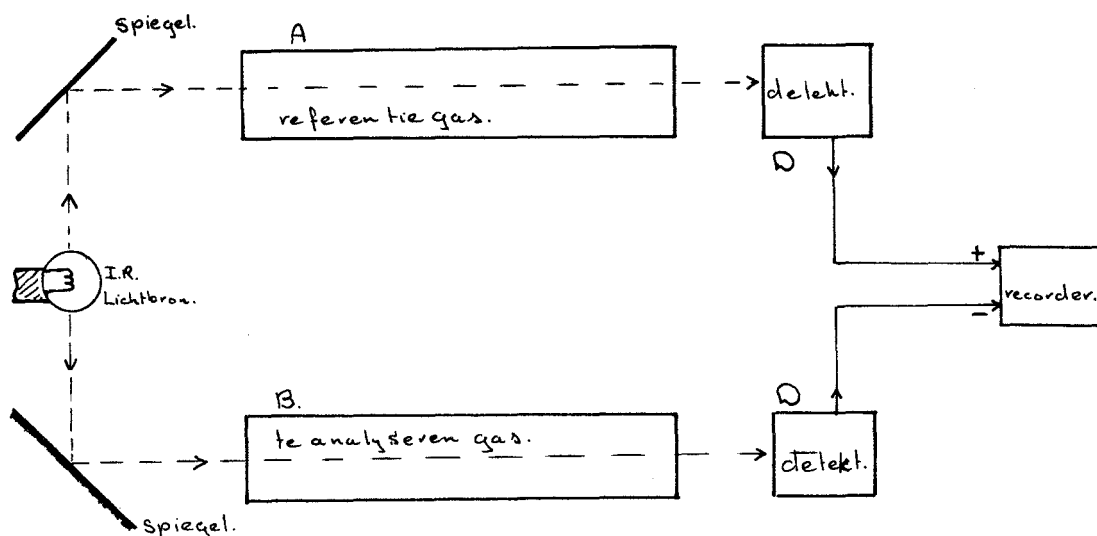


Figuur 9 : gasontlading in N_2 .

In de buis veroorzaakt een elektrodenspanning van ongeveer 1,5 KV een paarskleurige gasontlading, welke karakteristiek is voor de aanwezigheid van N_2 ($\lambda \approx 4100 \text{ \AA}$). Door middel van filters wordt alleen straling van deze golflengte doorgelaten. Met een fotocel wordt de straling gedetekteerd. De responsietijd is in de orde van $2 \cdot 10^{-2}$ sec. en dus geschikt om het ademhalingsritme (frekwentie $\frac{1}{4}$ Hz) te volgen.

e. Absorptie van straling.

Veel gassen absorberen uit het infrarood-spektrum straling met een specifieke golflengte. Hiervan wordt gebruik gemaakt in een I.R. spectrometer (figuur 10).



Figuur 10 : I.R. spectrometer

In een I.R. spectrometer wordt I.R. straling gesplitst in twee identieke bundels welke door twee parallelle cellen A en B gestuurd worden. Cel A is gevuld met een referentie-gas, terwijl cel B een sample van een gasmengsel bevat, waarin een onbekende concentratie van een bepaalde component Q. Een gedeelte van de straling met golflengte λ_1 wordt door de component Q in het gasmengsel geabsorbeerd. Dit heeft tot gevolg dat voor de golflengte λ_1 de intensiteit in de bundel uit A verschilt van die in de bundel uit B. Dit verschil in intensiteit, welke een maat is voor de concentratie van component Q, wordt gemeten met een detector D.

f. Speciaal voor halothaan:

- Absorptie van ultraviolette straling.

Halothaan absorbeert straling in het ultraviolet gebied. Op basis van deze eigenschap is een halothaanmeter gekonstrueerd.

De golflengte waarbij de absorptie maximaal is, bedraagt 2000 Å. Als lichtbron wordt een lage-druk kwik-lamp gebruikt. Analooq aan de I.R. spectrometer (fig. 10) doorlopen twee bundels een meet- en referentiecel. Door middel van fotocellen wordt het verschil in stralingsintensiteit van de twee U.V. bundels gedetekteerd.

Nadelen : 1. Ultraviolet licht ontleedt halothaan, waardoor toxische bijprodukten kunnen ontstaan. Hiervoor zijn voorzieningen noodzakelijk om deze bijprodukten uit te filteren wanneer de meetflow teruggevoerd wordt in het beademingsysteem.

2. De opwarmtijd van de Hg-lamp bedraagt tenminste 1 uur. Hierdoor is deze detektor ongeschikt voor acute situaties.

- Absorptie van massa (Dräger Narcotest).

Het gasmengsel passeert vier strips van siliconenrubber. Door halothaan-absorptie in deze stript treeds een lengteverandering op, welke gemeten wordt. Er wordt gekompenseerd voor temperatuursveranderingen (bi-metalen strip) en vochtigheid (dit kan slechts in beperkte mate).

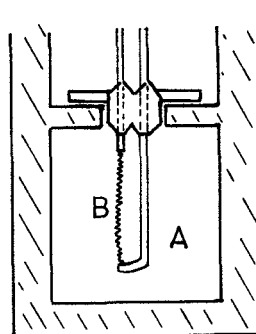
Met dit instrument kan 0-3 vol.% halothaan gemeten worden met een nauwkeurigheid van 0,2%. De responsietijd is flowafhankelijk. Bij een gasflow van 8 liter/min. wordt 90% van het eindsignaal bereikt na 18 sec., terwijl deze tijd voor 1 liter/min. ongeveer 90 sec. bedraagt. De methode is niet zeer specifiek. Een mengsel van 70% N₂O en 30% O₂ geeft een uitslag equivalent aan 0,25% halothaan. Een mengsel van 10% CO₂ en 90% O₂ geeft een aanwijzing equivalent aan 0,1% halothaan.

4. Warmtegeleidbaarheidscel of katharometer.

De katharometer is als detector veel toegepast in de gaschromatografie. Als algemene voordelen kunnen genoemd worden: de eenvoud, betrouwbaarheid en algemene toepasbaarheid.

Nadeel is dat de gevoeligheid beperkt is, waardoor in de gaschromatografie veelal overgegaan wordt naar gevoeliger detectoren (i.c. de vlamionisatie-detektor en de elektron-capture-detektor, L.8).

Figuur 11 geeft een schematische voorstelling van het instrument.



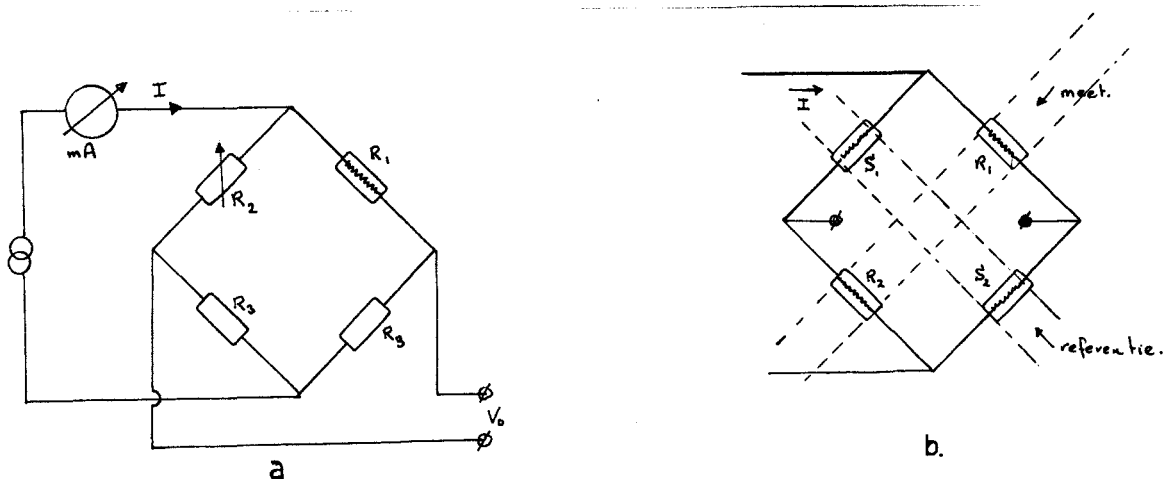
Figuur 11 : warmtegeleidbaarheidscel

In een holte(cel) A bevindt zich het gas, waarvan het warmtegeleidingsvermogen moet worden bepaald. De wand van de cel wordt op konstante temperatuur gehouden. In de cel bevindt zich een elektrisch verwarmings element B (meetdraad of draad).

Door een konstante stroom door het element te sturen, is de hoeveelheid geproduceerde (joule) warmte erin konstant. Deze warmte wordt grotendeels door warmtegeleiding door het gas afgevoerd. Aanwezigheid van een damp in het gas verandert de warmtegeleiding van dat gas. Hierdoor verandert de temperatuurgradiënt, nodig voor de warmte dissipatie en daarmee de temperatuur van het element.

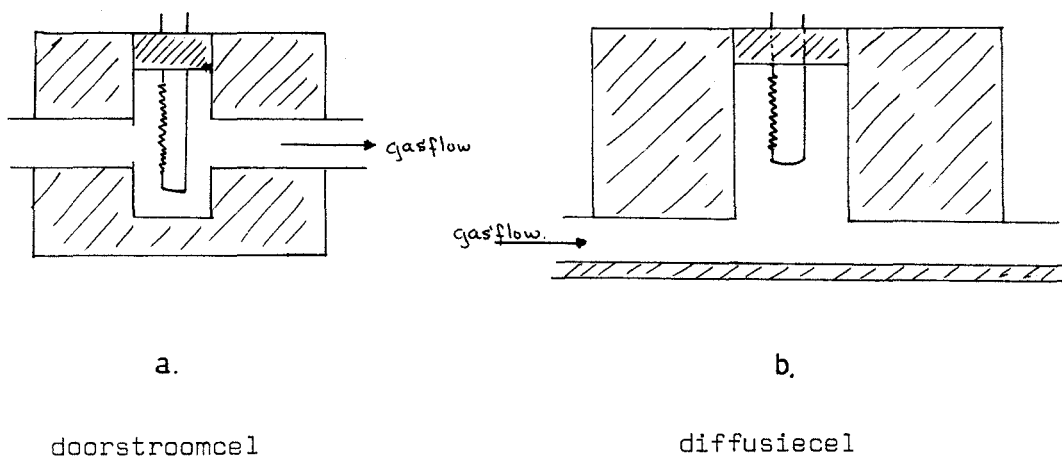
Temperatuurverandering van het element veroorzaakt een weerstandsverandering daarvan.

Deze weerstandsverandering wordt gemeten door het verwarmingselement op te nemen in een tak van een brug van Wheatstone (figuur 12.a). Meestal wordt in de andere tak van de brug een identiek verwarmingselement geplaatst, dat zich in een referentiegas bevindt. Ook kan de gehele brug opgebouwd worden met dergelijke elementen (figuur 12.b)



Figuur 12 : brug van Wheatstone

De uitvoering van de cel kan zo zijn, dat het element in een doorstromende flow staat (figuur 13.a) of erbuiten, zodat de verandering van gassamenstelling in de cel plaatsvindt door diffusie (figuur 13.b).



Figuur 13

Aangezien de weerstanden van de brug in ons geval (40-100 Ω) veel kleiner zijn dan de ingangsimpedantie van een recorder (1-5 $M\Omega$), kan de recorder direkt op de brug aangesloten worden en aldus kan de onbalans van de brug geschreven worden. De keten van opvolgende gebeurtenissen welke beschouwd worden tussen de aankomst van de te detekteren damp in het gas of gasmengsel (draaggas) in de cel en de geregistreeerde onbalans van de brug met behulp van een recorder of millivoltmeter, is de volgende:

1. de verandering van gassamenstelling in de cel, door langsstromen of diffusie,
2. de verandering van warmtegeleidingsvermogen van het gas of het gasmengsel,
3. de verandering van temperatuur van de draad,
4. de verandering van weerstand van de draad,
5. de verandering van de uitgangsspanning (onbalans van de brug).

Deze vijf gebeurtenissen zijn bekeken en zullen één voor één de revue passeren.

4.1. De verandering van gassamenstelling in de cel.

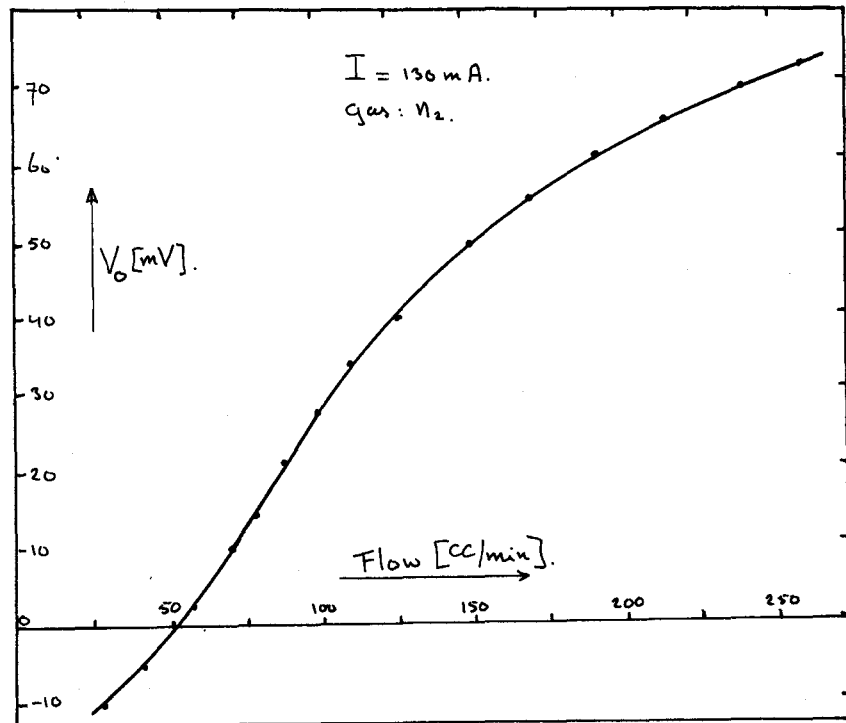
Zoals al werd gezegd, kan de gassamenstelling in de cel op 2 manieren worden gewijzigd, afhankelijk van de stand van het element t.o.v. het doorstromende gas (fig. 13 a,b). De twee typen katharometers zijn beide bekeken.

a. Doorstroomcel:

Een groot nadeel van het eerste type, zg. flow through, is de sterke flowafhankelijkheid, d.w.z. dat er een variatie in de uitgangsspanning V_0 optreedt tengevolge van een veranderende flow door de detektor. Metingen welke gedaan zijn maken duidelijk dat deze flowafhankelijkheid niet toelaatbaar is wanneer dit type detektor in een narcose-circuit opgenomen zou worden.

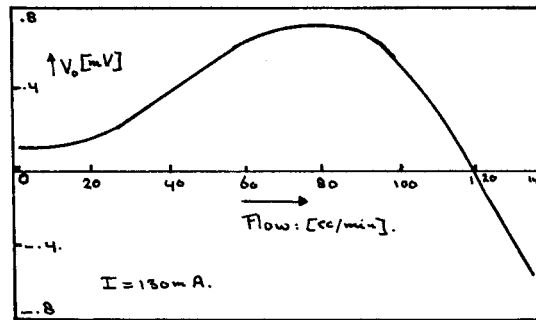
De flow hierin kan door instelling variëren tussen de 3 en 8 liter/ minuut, terwijl door de ademhaling van een aan het open narcosecircuit aangesloten patient de flow met de ademhalingsfrequentie (~ 15 /minuut) met ongeveer $\frac{1}{2}$ liter kan schommelen. De gebruikte katharometer was een 4-draads Gow Mac, type 9285, met wolfraam meetdraden, type W2-333. De doorstroomopeningen hadden een diameter van 2,5 mm. Met een referentie flow van 50 cc/min. werd de meetflow gevariëerd tussen de 0 en 250 cc/min.

Figuur 14 geeft de uitgangsspanning van de brug bij variërende meetflow.



Figuur 14 : flowafhankelijkheid

Door meet- en referentiekanaal in serie te zetten werd de flow in beide gelijk gemaakt. De op deze manier gevonden uitgangsspanning van de brug als functie van de flow (0-140 cc/min.) is uitgezet in figuur 15.

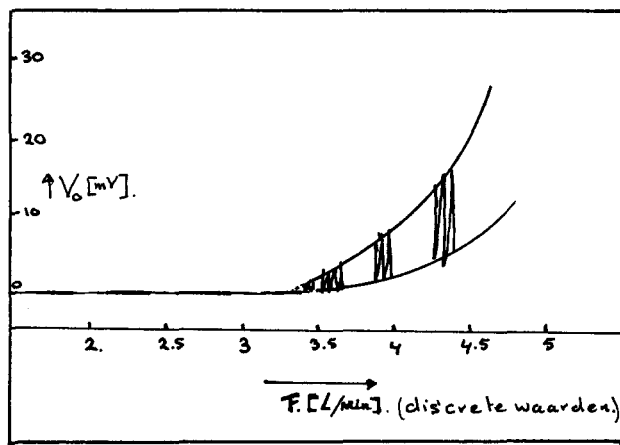


Figuur 15 : Flowafhankelijkheid, meet- en referentiekanaal in serie

Uit deze grafieken blijkt dat bij een klein verschil in flow in meet- en referentiekanaal (b.v. 50 cc/min.) een uitgangsspanning op kan treden van 10 mV bij deze ingestelde gevoeligheid (stroom 130 mA), terwijl bij gelijke flows door de kanalen een uitgangsspanning van 1 mV nog te verwachten is. Bij grotere gevoeligheid, d.w.z. grotere stroom door de meetdraden (hfdst.4.6) worden deze ongewenste spanningen nog vergroot.

b. Diffusiecel:

Als basis voor de metingen met een diffusiecel (fig. 13.b) werd een 8-draads detektor gebruikt (Gow Mac, type 30.S-8 9454), met wolfram meetdraden (type W-9225) en doorstroomopeningen van 4 mm \emptyset . Aanbevolen gasflow: 750 cc/min. (max. 1000; min. 50 cc/min.). De flowafhankelijkheid van dit type cel bleek zeer veel kleiner te zijn dan die gemeten bij het vorige type. De variatie in uitgangsspanning van de brug V_o is kleiner dan 0,2 mV over het bereik van 50-1000 cc/min. Ook bij vergroting van de flow tot ~ 3 l/min. treedt geen flowafhankelijkheid op ($\Delta V < 0,3$ mV). Daarboven echter zien we vrij plotseling sterke fluktuaties optreden in de uitgangsspanning V_o (figuur 16).



Figuur 16 : fluktuaties in V_0 t.g.v. turbulentie

Dit effect is het gevolg van optredende turbulentie in de doorstroomopeningen. Turbulentie treedt op wanneer Re groter is dan ≈ 2000 , waarbij

$$Re = \frac{2RpV}{\eta} \quad (\text{getal van Reynolds}) \quad (1)$$

hierin is : $2R$: diameter buis (m)

ρ : dichtheid van het gas ($1,2 \text{ kg/m}^3$ voor N_2)

V : snelheid van het gas (m/sec.)

η : dynamische viscositeit

($200 \text{ } \mu\text{P} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Nm}^{-2} \text{ sec.}$ voor N_2)

De snelheid van het gas is te schrijven als:

$$v = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi R^2} \quad (2)$$

waarin F de totale gasflow ($\text{m}^3/\text{sec.}$)

Uit vergelijking (1) en (2) volgt dat er een turbulentie te verwachten is voor $\frac{2RpF}{\eta\pi R^2} > 2000$ (3)

hetgeen met ingevulde waarden voor ρ en η oplevert :

$$\frac{F}{2R} > 1/40 \quad (\text{m}^2/\text{sec.}) \quad (4)$$

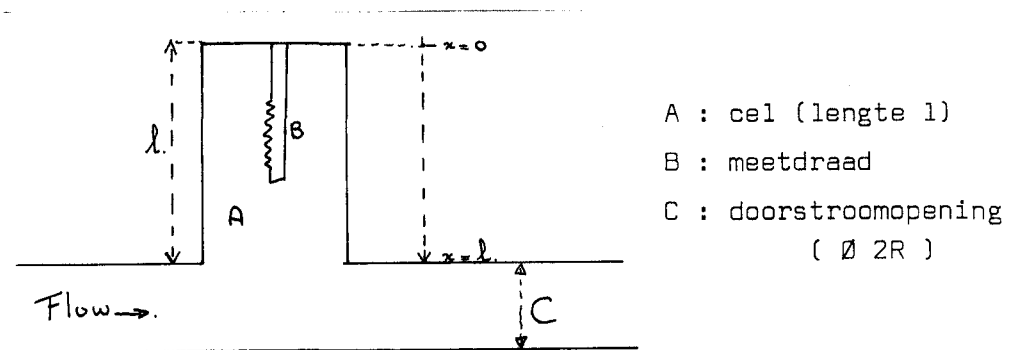
Door optredende oneffenheden in de buis (o.m. overgangen cel-buis), zal deze turbulentie reeds eerder optreden.

In het genoemde geval was $F = 4 \text{ l/min.}$ en $2R = 4 \text{ mm}$ ($4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$), zodat $\frac{F}{2R} = 1/60$.

Teneinde bij de maximaal optredende flow (10 l/min.) nog geen turbulentie op te laten treden, moet een diameter gekozen worden groter dan 7 mm. Bij de uiteindelijk gekozen diameter van 9 mm trad turbulentie pas op bij flows groter dan 11 l/min. De flowafhankelijkheid van de aldus gekonstrueerde detektor is kleiner dan 0,3 mV over het bereik 0,5-10 l/min.

Diffusie van het gasmengsel in de cel:

We beschouwen de diffusie van één component, b.v. Halothaan (H) in een draaggas (b.v. N_2) naar de cel A met lengte l (figuur 17):



Figuur 17 : diffusiecel

Aangenomen wordt dat er alleen diffusie in de x-richting plaatsvindt. De diffusie vergelijking luidt:

$$D_{H,N_2} \frac{\partial^2 C_H(x,t)}{\partial x^2} = \frac{\partial C_H(x,t)}{\partial t} \quad (5)$$

waarin : $C_H(x,t)$: halothaan concentratie

D_{H,N_2} : diffusiecoëfficiënt van halothaan in N_2 .

De begin- en randvoorwaarden luiden:

op $t = 0$ is de concentratie voor $0 \leq x < l$ gelijk aan 0,
 op elk tijdstip is de halothaanconcentratie ter
 plaatse $x=l$ gelijk aan C_0 .

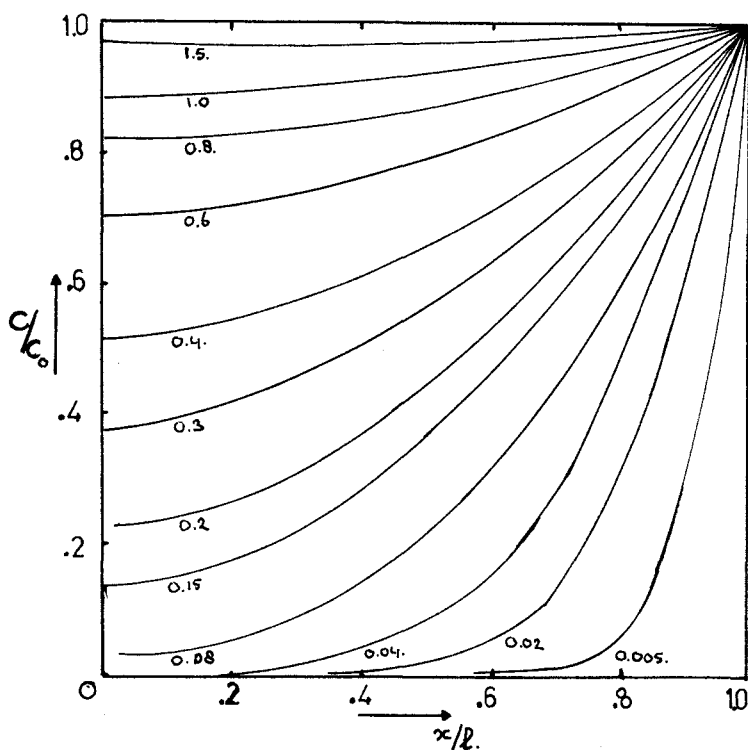
Aan deze randvoorwaarde wordt in ons geval voldaan door een continue aanvoer van het gasmengsel waarin de halothaan-konsentrasië C_0 is. Verder is er geen flux door de wand, dus voor

$$x = 0 \text{ is } \left. \frac{\partial C_H}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$$

De oplossing van deze diffusievergelijking (5) (L.5) luidt dan:

$$C_H(x,t) = C_0 - \frac{4C_0}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)} \exp\left\{-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4 l^2}\right\} \cdot \cos\left[\frac{(2n+1)}{2l} \pi x\right] \quad (6)$$

Een grafische oplossing van de concentratieverdeling in de cel ($0 < x < l$) met $C_H(x,t=0) = 0$ en $C_H(x=l,t) = C_0$ is gegeven in figuur 18.



De getallen bij de krommen geven de waarde van $\frac{Dt}{l^2}$.

Figuur 18 : Concentratieverdeling op verschillende tijden.

Uit de oplossing (6) is de gemiddelde waarde $C_H(t)$ van de concentratie $C_H(x,t)$ te berekenen op het interval $0 < x < l$

$$C_H(t) = \frac{1}{l} \int_0^l C_H(x,t) \cdot dx \quad (7)$$

$$= C_0 - \frac{8C_0}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \cdot \exp\left\{-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{4 l^2}\right\} \quad (8) \quad (L.11)$$

Om te kijken waar we de reeks uit vergelijking (8) af kunnen breken zonder een te grote fout (1%) te maken, wordt de reeks gemajoreerd naar een meetkundige reeks:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \cdot e^{-p \cdot (2n+1)^2} = e^{-p} + \frac{1}{9} \cdot e^{-9p} + \frac{1}{25} \cdot e^{-25p} + \dots \quad (9)$$

$$\text{waarbij : } p = \frac{D\pi^2 t}{4 l^2}$$

Er geldt :

$$\frac{1}{9} \cdot e^{-9p} + \frac{1}{25} \cdot e^{-25p} + \dots < \frac{1}{9} \cdot e^{-9p} + \frac{1}{9} \cdot e^{-25p} + \dots < \frac{1}{9} \cdot e^{-9p} + \frac{1}{9} \cdot e^{-10p} + \dots + \frac{1}{9} \cdot e^{-25p} + \dots \quad (10)$$

Dit laatste is een meetkundige reeks met als eerste term

$$t_1 = \frac{1}{9} \cdot e^{-9p} ; \text{ reden } r = e^{-p} \text{ (} e^{-p} < 1 \text{) en som } S = \frac{e^{-9p}}{9(1-e^{-p})} \quad (11)$$

De fout die gemaakt wordt door de reeks (9) af te breken na de eerste term is kleiner dan de som S (11), ofwel:

$$\frac{e^{-9p}}{9(1-e^{-p}) \cdot e^{-p}} \cdot 100\% \quad (12)$$

Deze fout is kleiner dan 1% voor $e^{-p} < 0,64$, d.w.z. voor $p > 0,45$.

$$\text{Als we (8) dus schrijven als } C(t) = C_0 \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot e^{-\left(\frac{\pi}{2l}\right)^2 D t}\right) \quad (13)$$

maken we een fout van hoogstens 1% als:

$$\left(\frac{\pi}{2l}\right)^2 D t > 0,45 \quad (14)$$

Kijken we naar de tijd welke $C_H(t)$ nodig heeft om 90% van zijn eindwaarde C_0 te bereiken, dan geldt:

$$\frac{90}{100} \cdot C_0 = C_0 \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot e^{-\left(\frac{\pi}{21}\right)^2 Dt} \right) \quad (15)$$

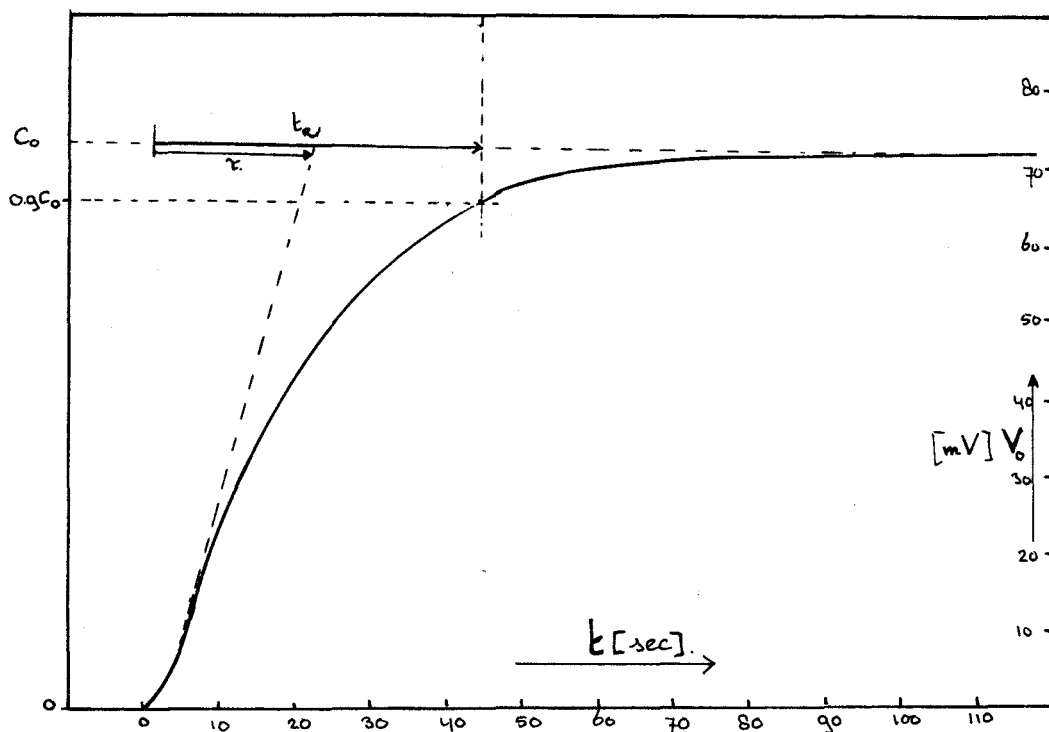
waarmee het verband tussen t , D en l gegeven wordt door:

$$t = 2,1 \cdot \frac{4l^2}{\pi^2 D} \quad \text{of} \quad t_R = 2,1 \tau \quad (16)$$

Hierin noemen we t de responsietijd t_R , en $\frac{4l^2}{\pi^2 D}$ de tijdconstante τ .

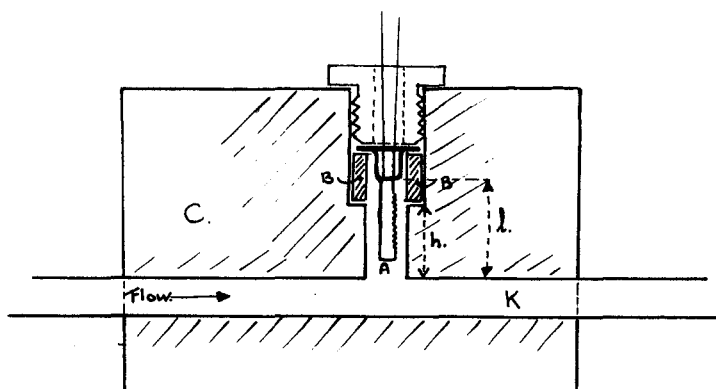
De responsie op een verandering in de gassamenstelling (welke we veronderstellen instantaan plaats te vinden) heeft dus een exponentieel verloop, mits aan (14) voldaan is.

Figuur 19 geeft een dergelijke karakteristiek zoals op de recorder wordt geschreven wanneer de gassamenstelling gewijzigd wordt.



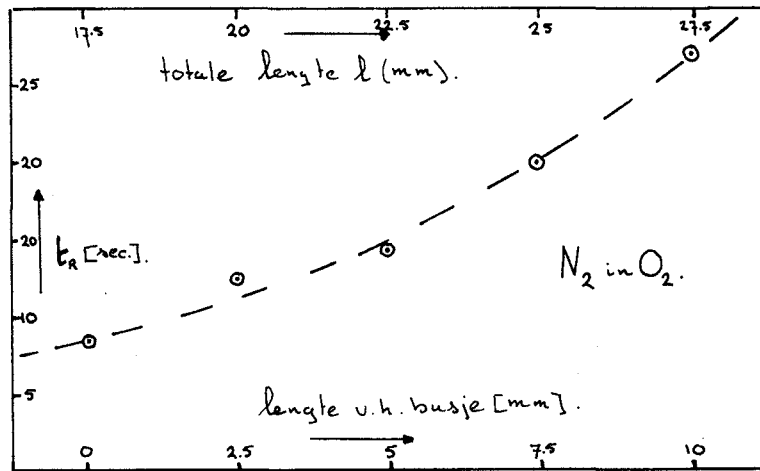
Figuur 19 : responsie op verandering van gassamenstelling

Uit (16) volgt dat de responsietijd recht evenredig is met l^2 ; hierbij is l een maat voor de afstand welke de meetdraad heeft tot het doorstromingskanaal in de detektor. Om de responsietijd te minimaliseren moet l zo klein mogelijk gekozen worden. Een nadeel is echter dat de flow direct de meetdraad beïnvloedt wanneer deze afstand te klein wordt, waardoor flowafhankelijkheid optreedt. Om deze effecten te kunnen bekijken werd een katharometer gekonstrueerd volgens figuur 20, waarin de afstand van de meetdraad A tot het doorstromingskanaal K ingesteld kan worden door middel van opvulbusjes B. De gebruikte meetdraden waren van het type W9252-333.



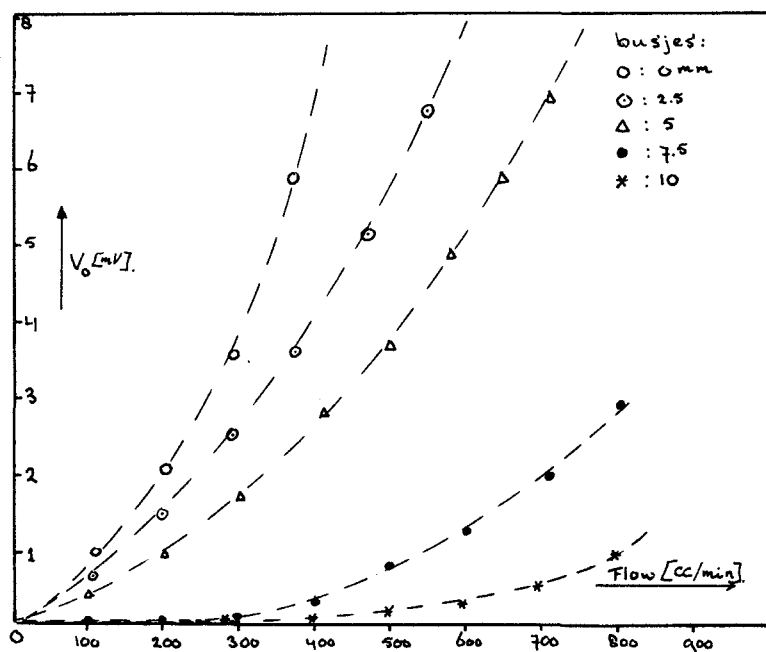
Figuur 20 : Katharometer waarin l variabel is door plaatsing van verschillende busjes B.

Er zijn busjes gemaakt met een lengte van 10, $7\frac{1}{2}$, 5 en $2\frac{1}{2}$ mm. Samen met de hoogte h (≈ 17 mm) bepalen deze dus de afstand l . Figuur 21 geeft het gemeten verband tussen de responsietijd en de lengte van het busje.



Figuur 21 : verband tussen responsietijd en lengte van het busje

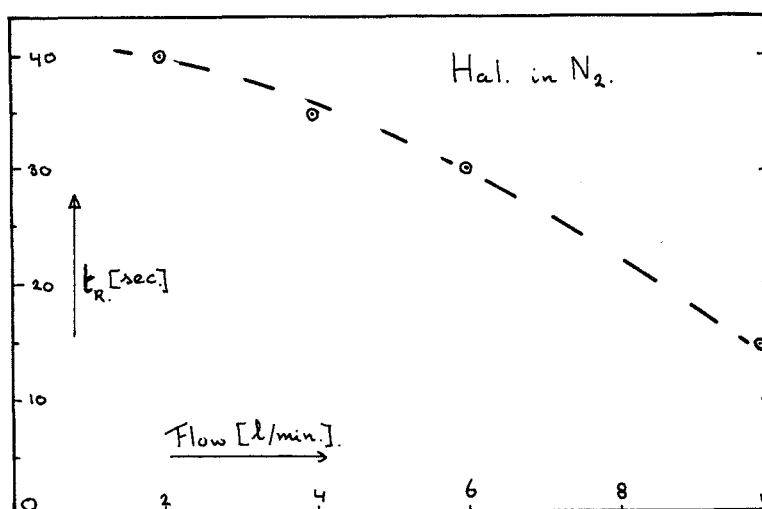
Met deze verschillende busjes is ook gekeken naar de flowafhankelijkheid. Dit is aangegeven in figuur 22.



Figuur 22 : verband tussen flowafhankelijkheid en lengte van het busje

Uit deze metingen blijkt dat de responsietijd van de zelf gekonstrueerde katharometer wel kleiner te maken is, maar dat de hiermee gepaard gaande gevoeligheid voor flowveranderingen ontoelaatbaar is.

Vergelijkende metingen met de Gow Mac "fabrieks" 30-S-8 katharometer geven aan dat deze voor ons doel erg geschikt was nadat de doorstroomopening (om turbulentie te voorkomen) op 9 mm gebracht was en de kanalen nageruimd waren om bramen te verwijderen. De zeer geringe invloed van grote flowveranderingen (0,5-10 l/min.) op de uitgangsspanning werd belangrijker geacht dan het terugbrengen van de responsietijd. Bij vergroting van de flow door de doorstroomopening neemt de responsietijd af (figuur 23).



Figuur 23 : verband tussen flow en responsietijd

Hoe groter de flow des te verder zal het stromingspatroon in de cel dringen. Deze "indringdiepte" verkleint de afstand l van de meetdraad tot de flow en daarmee volgens (16) de responsietijd t_R .

4.2. De verandering van warmtegeleidingsvermogen van het gas of het gasmengsel.

Wanneer de samenstelling van een gasmengsel verandert, verandert het warmtegeleidingsvermogen λ van dat mengsel.

Een eenvoudige formule voor het warmtegeleidingsvermogen $\lambda_{1,2}$ van een binair mengsel ontstaat, wanneer we een lineair verband aannemen tussen het warmtegeleidingsvermogen en de molaire frakties x_1 en x_2 van de componenten met een warmtegeleidingsvermogen λ_1 en λ_2 .

$$\lambda_{1,2} = x_1 \cdot \lambda_1 + x_2 \cdot \lambda_2 = \lambda_2 + x_2(\lambda_1 - \lambda_2) \quad (17)$$

De verandering van de warmtegeleiding tengevolge van een veranderde samenstelling is dan:

$$\frac{\partial \lambda_{1,2}}{\partial x_2} = \lambda_1 - \lambda_2 \quad (18)$$

Een vergelijking voor het warmtegeleidingsvermogen voor een binair gasmengsel gebaseerd op kinetische gastheorie, is the Wassiljewa vergelijking (L.7,9):

$$\lambda_{1,2} = \frac{\lambda_1}{1 + A_{1,2} \left(\frac{x_2}{x_1} \right)} + \frac{\lambda_2}{1 + A_{2,1} \left(\frac{x_1}{x_2} \right)} \quad (19)$$

waarin :

$$A_{1,2} = \left(\frac{d_1 + d_2}{2d_1} \right)^2 \left(\frac{M_1 + M_2}{2M_2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (19a)$$

$$A_{2,1} = \left(\frac{d_1 + d_2}{2d_2} \right)^2 \left(\frac{M_1 + M_2}{2M_1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (19b)$$

hierin zijn d_1 en d_2 de moleculaire diameters van gas 1 en gas 2, terwijl M_1 en M_2 de moleculaire gewichten van gas 1 en gas 2 voorstellen. De koëfficiënten $A_{1,2}$ en $A_{2,1}$ (Sutherland koëfficiënten) geven aan in welke mate de twee gassen elkaar wat betreft warmtegeleidingsvermogen beïnvloeden. $A_{1,2}$ en $A_{2,1}$ zijn beide ongeveer 1. Indien $A_{1,2} = A_{2,1} = 1$, wordt vergelijking (17) verkregen. In een gasmengsel waarin x_2 klein is, is x_1 ongeveer 1.

In dat geval kan als volgt een benadering voor $\lambda_{1,2}$ geschreven worden:

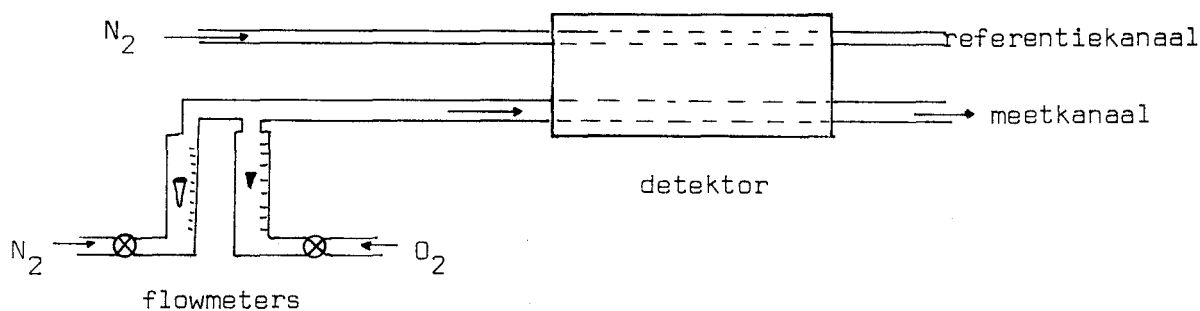
$$\lambda_{1,2} \sim \frac{\lambda_1}{1+A_{1,2} \cdot x_2} + \frac{\lambda_2}{1+A_{2,1} / x_2} \quad (20)$$

$$\sim \lambda_1 \{1 - A_{1,2} \cdot x_2\} + \frac{\lambda_2 \cdot x_2}{A_{2,1}} \quad (21)$$

$$\text{waaruit volgt : } \frac{\partial \lambda_{1,2}}{\partial x_2} = \frac{\lambda_2}{A_{2,1}} - A_{1,2} \cdot \lambda_1 \quad (22)$$

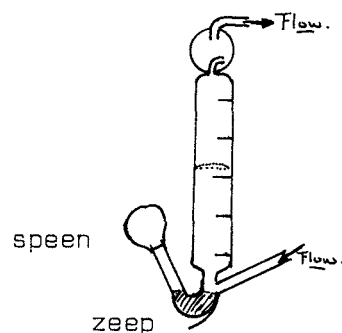
hetgeen een lineair verband aangeeft tussen x_2 en $\lambda_{1,2}$.

Om te kijken in hoeverre de niet lineariteit van vergelijking (19) terug te vinden is bij onze metingen, is een opstelling gemaakt waarmee V_0 als functie van het percentage O_2 in N_2 kan worden gemeten. Door het referentiekanaal van de detector (30-S-8) wordt stikstofgas gestuurd (flow ~ 300 cc/min.) en door het meetkanaal een mengsel van zuurstof en stikstof (figuur 24).



Figuur 24

De mengverhouding werd bepaald met behulp van rotameterflowmeters (L1-93 voor N_2 en L1-93a voor O_2). Deze werden eerst geijkt op een zeepvlies-flowmeter. Deze flowmeter (fig. 25) bestaat uit een gekalibreerde glazen buis, waar het gas doorstroomt met onderin een reservoir voor een zeepoplossing.



Figuur 25

Met behulp van een speen wordt een zeepvlies in de buis gebracht. Uit de tijd t welke het zeepvlies nodig heeft om een gedeelte van de buis (met een volume V) te doorlopen, kan de flow F worden bepaald ($F=V/t$).

In tabel 6 zijn de ijkwaarden voor de rotameters L1-93 (N_2) en L1-93a (O_2) weergegeven.

L1-93 N_2		L1-93a O_2	
mm	cc/min.	mm	cc/min.
70	48,8	30	52
100	88,2	50	102
120	119	60	133
150	169	70	164
170	205	85	219
200	279	98	276

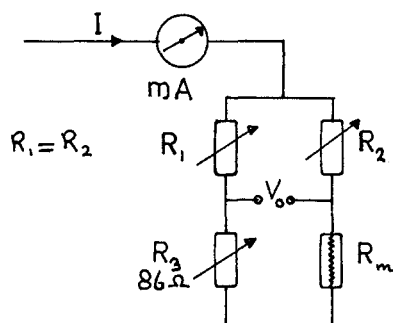
Tabel 6

Het 0-punt van de brug ($V_o=0$) wordt vastgelegd door N_2 door meet- en referentiekanaal te sturen ($I=160$ mA). Daarna wordt V_o gemeten als functie van het percentage O_2 in de meetflow, door bij de meetflow O_2 toe te voegen tot de verhouding $O_2:N_2$ ongeveer 1:1 is (zie tabel 7). Daarna wordt de hoeveelheid N_2 verminderd. Tabel 7 geeft de gemeten uitgangsspanning V_o bij de verschillende uitgerekende mengverhoudingen. Deze waarden zijn uitgezet in figuur 27.

L1-93 mm	N ₂	L1-93a mm	O ₂	% O ₂ in N ₂	30-S-8 (I=160mA) V _o (mV)
200		0		0	0
200		30		15,7	23,1
200		50		26,8	38,3
200		60		32,3	45,5
200		70		37,6	51,5
200		85		44,0	60,1
200		98		49,7	66,9
170		98		57,4	75,9
150		98		62,0	81,0
120		98		69,9	89,6
100		98		75,8	95,7
70		98		85,0	104,1
0		98		100,0	117,1

Tabel 7

Met de eigen gemaakte detektor (figuur 20) werd een gelijksoortige meting verricht. Er werd één meetdraadje gebruikt. De brugschakeling werd volgens figuur 26 gekompleteerd met decadenbanken.



Brugopstelling met één meetelement R_m , waarbij de grootte van R_m ingesteld kan worden.

Figuur 26

Op deze manier kan de weerstand van de meetdraad R_m gelijk gemaakt worden aan R_3 door de stroom aan te passen.

Wanneer de stroom 162,92 mA is, is V_0 gelijk aan 0, hetgeen betekent dat $R_m = R_3 = 86 \text{ Ohm}$.

Eerst wordt de brug op 0 geregeld bij 100% N door het meetkanaal. Bij toenemende O_2 concentratie wordt de uitgangsspanning V_0 gemeten (tabel 8, kolom 2).

Vervolgens wordt de brug op 0 geregeld bij 100% O_2 door het meetkanaal. De hiervoor benodigde stroom bedraagt 166,78 mA. De temperatuur van de meetdraad is nu voor de 0-punten (100% O_2 en 100% N_2) gelijk. In tabel 8, kolom 3 is de aldus gemeten $V_{0,2}$ weergegeven.

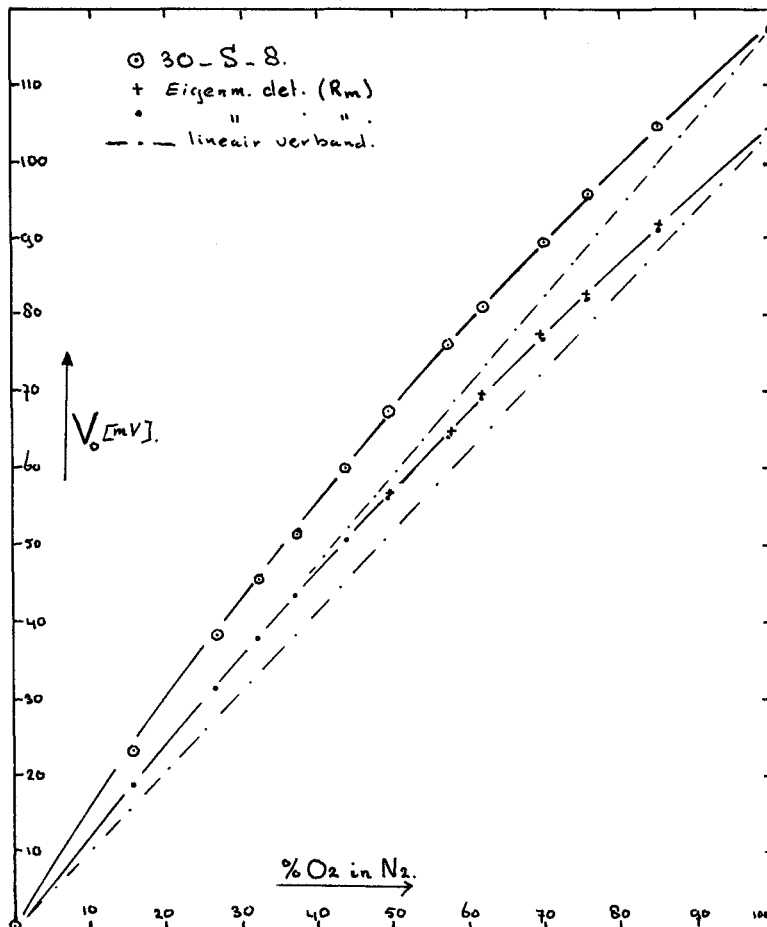
% O_2 in N_2	$V_{0,1}$	$V_{0,2}$	$V_{0,2}$ gecorr.	104,1 + $V_{0,2}$ gecorr.
0,0	0,0	-112,5	-104,1	0
15,7	18,6			
26,8	31,3			
32,3	37,9			
37,1	43,1			
44,0	50,6			
49,7	56,2	-51,2	-47,4	56,7
57,4	64,5	-42,4	-39,2	64,9
62,0	69,2	-37,2	-34,4	69,7
69,9	76,7	-29,1	-26,9	77,2
75,8	82,3	-23,0	-21,3	82,8
85,0	91,2	-14,0	-12,95	91,15
100,0	104,1	0	0	104,1

Tabel 8

Kolom 4 van tabel 8 geeft een gecorrigeerde waarde van de $V_{0,2}$ uit kolom 2. Door verhoging van de stroom neemt de gevoeligheid toe en wel zodanig dat omschakeling van 100% N_2 naar 100% O_2 bij $I=162,92 \text{ mA}$ een V_0 geeft van +104,1 mV, terwijl een omschakeling van 100% O_2 naar 100% N_2 bij $I=166,67 \text{ mA}$ een V_0 geeft van -112,5 mV.

Als korrektiefactor is daarom genomen $104,1/112,5$.
 Kolom 5 van tabel 8 geeft $104,1 \text{ mV} + V_{0,2}$ gekorr.
 Op deze manier kan deze kolom met kolom 2 vergeleken worden.

In figuur 27 zijn de gegevens uit tabel 7 en tabel 8 in grafiek uitgezet.



Figuur 27 : brugspanning als functie van de
 concentratie O₂ in N₂.

De aldus gevonden afwijkingen van lineariteit (vgl.17) komen overeen met literatuurwaarden (L.7). Daar de warmtegeleidingscoëfficiënten variëren met de temperatuur, is een eksakte vergelijking niet mogelijk, omdat bij onze metingen de temperatuur van de draadjes en daarmee de temperatuur van het gas in de cel niet konstant blijft.

De temperatuur van de draadjes van de 30-S-8 verandert ongeveer 8°C (rond de 190°C) en die van de tweede detector $12,5^{\circ}\text{C}$ (rond de 240°C) (hoofdstuk 4.4)

In hoofdstuk 4.3 wordt behandeld hoe de temperatuur van het gas in de cel verandert met de temperatuur van de draadjes.

Vergelijken we de grootheden welke bepalend zijn voor het warmtegeleidingsvermogen van binaire mengsels (vgl. 19) in de gevallen $\text{O}_2\text{-N}_2$ en $\text{O}_2\text{-N}_2\text{O}$ (tabel 9), dan is de verwachting dat het verband tussen het warmtegeleidingsvermogen en de lachgas-konsentratie in zuurstof niet lineair zal zijn. Dit betekent dat we in onze metingen geen lineair verband mogen verwachten tussen de lachgas-konsentratie in zuurstof ($C_{\text{N}_2\text{O}}$) en V_0 .

gas	mol. gew. M	mol. diam. d(Å)	λ bij 22°C ($\text{mW}/\text{m}^{\circ}\text{K}$)	Sutherland koëfficiënt.	$\lambda_{1,2}$ (50-50) uitger. ($\text{mW}/\text{m}^{\circ}\text{K}$)	$\lambda_{1,2}$ (50-50) interp. ($\text{mW}/\text{m}^{\circ}\text{K}$)
N_2	28	3,15	25,61	$A_{1,2} = 0,91$	26,3	26,22
O_2	32	2,95	26,83	$A_{2,1} = 1,08$ $A_{1,2} = 1,34$		
N_2O	44	4,2	16,93	$A_{2,1} = 0,80$	20,9	21,88

Tabel 9

Tabel 10 geeft de gemeten uitgangsspanning als functie van de N_2O konsentratie in O_2 . De N_2O konsentratie werd bepaald door de L1-93 flowmeter te ijken voor N_2O zoals op blz. beschreven werd voor N_2 .

% N ₂ O in O ₂	V _O (mV)	V _B (V)
0	0	8,665
11,7	82	8,829
18,5	128	8,921
26,4	181	9,028
32,8	222	9,112
38,7	263	9,195
44,3	299	9,269
49,5	336	9,345
53,0	363	9,389
58,7	401	9,463
65,5	446	9,557
70,0	483	9,625
75,3	518	9,697
85,7	591	9,845
100,0	687	10,035

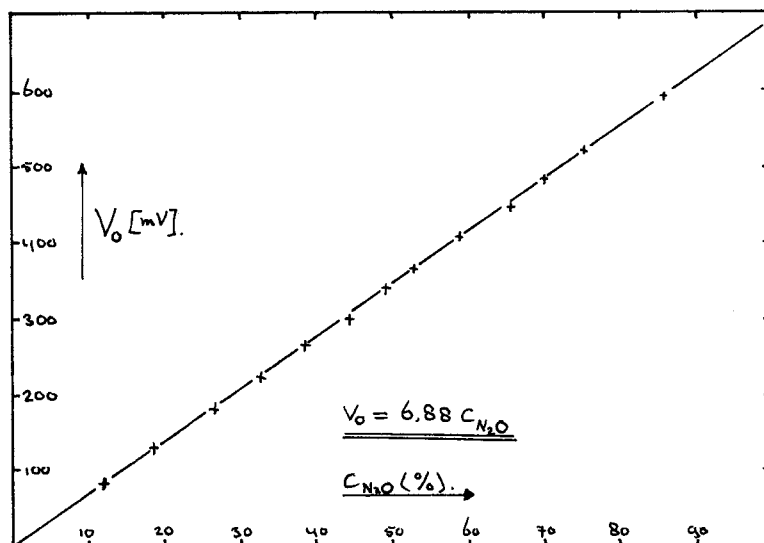
Tabel 10.

In figuur 28 zijn de waarden uit de tabel 10 uitgezet.

Tabel 11 geeft de ijkwaarden voor de L1-93 voor N₂O:

L1-93 N ₂ O	
mm	cc/min.
50	36,8
75	62,8
100	99,2
125	135
150	174
175	220
200	270
220	311

Tabel 11

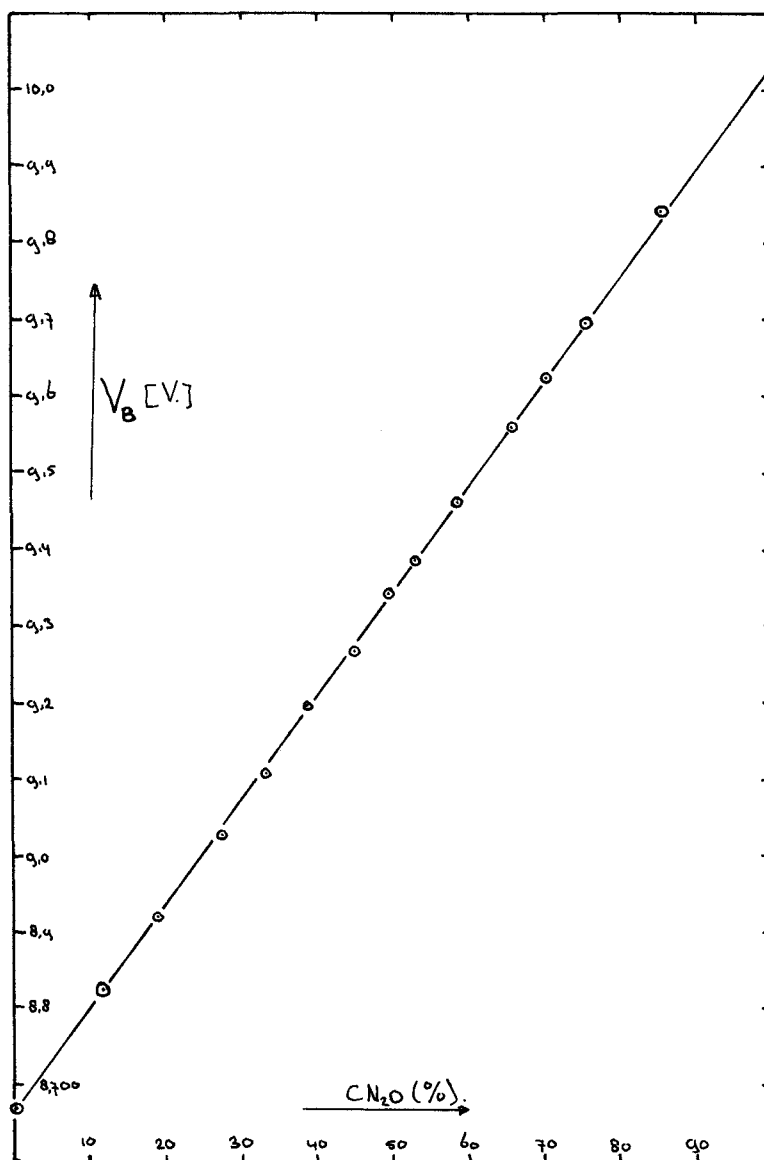


Figuur 28 : verband tussen V_0 en C_{N_2O}

We zien dat V_0 lineair is met de N_2O concentratie in zuurstof. Er geldt : $V_0 = 6,88 \cdot C_{N_2O}$ mV. Dat betekent dat, wanneer we bij een konstante stroom I meten, ook de totale brugspanning $V_{B,M}$ lineair varieert met deze N_2O concentratie, daar $V_{B,M} = V_{B,0} + V_0$ (23)

Hierin is $V_{B,0}$ de totale brugspanning, wanneer $V_0=0$. Hiervan is als volgt gebruik gemaakt:

Wanneer we het mengsel van $N_2O + O_2$ door zowel meet- als referentiekanaal sturen, veranderen in het ideale geval alle weerstanden van de brug evenveel. V_0 blijft dus 0, terwijl de totale brugspanning $V_{B,0}$ varieert met de N_2O concentratie (C_{N_2O}) en wel zoals uit het bovenstaande blijkt lineair met C_{N_2O} . Op deze manier kan uit $V_{B,0}$ de N_2O concentratie in O_2 bepaald worden (tabel 10, fig. 29).



Figuur 29 : verband tussen V_B en C_{N_2O}

Voor het verband tussen C_{N_2O} en $V_{B,0}$ geldt in dit geval:

$$V_{B,0} = 8665 + 13,7 \cdot C_{N_2O} \text{ mV}$$

$$\text{of } C_{N_2O} = \frac{V_{B,0} - 8665}{1370} \cdot 100\% \quad (24)$$

$$\text{Algemeen geldt: } C_{N_2O} = \frac{V_{B,0} - V_{B,0,O_2}}{V_{B,0,N_2} - V_{B,0,O_2}} \cdot 100\% \quad (25)$$

waarbij: $V_{B,0}$: de totale brugspanning wanneer $V_0=0$
 $V_{B,0,O_2}$: de brugspanning wanneer meet- en referentiekanaal gevuld zijn met O_2
 $V_{B,0,N_2}$: de brugspanning wanneer meet- en referentiekanaal gevuld zijn met N_2O .

4.3. De verandering van temperatuur van de draad.

Teneinde te bekijken op welke wijze het element zijn per seconde toegevoerde warmte I^2R kwijt raakt, beschouwen we zijn vermogenbalans voor het stationaire geval:

$$I^2R = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (26)$$

hierin is : Q_1 : de warmtegeleiding door het gas

Q_2 : het warmteverlies per sec. door massatransport

Q_3 : het warmteverlies per sec. door straling

Q_4 : het verlies door warmtegeleiding naar de steunen van het element

Q_5 : het warmteverlies per sec. door convectie.

- Q_1 is de voornaamste term, vandaar dat we de overige termen verliezen noemen. Q_1 wordt verkregen uit de temperatuurverdeling in de cel.

Vatten we het draadje op als een cylindertje met lengte l op de as van een cilindrische cel (fig. 30), dan geldt voor de warmtestroom q ter plaatse r , wanneer we λ konstant veronderstellen (λ is de warmtegeleidingscoëfficiënt van het gas in de cel) :

$$q = -2 \pi r l \lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \quad (27)$$

$$\text{of} \quad \partial T = - \frac{q}{2 \pi l \lambda} \cdot \frac{\partial r}{r} \quad (27a)$$

Integratie van (27a) levert:

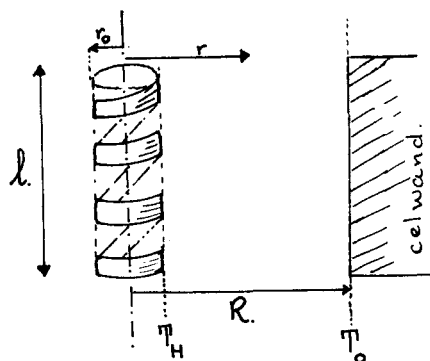
$$T_H - T_0 = \frac{q}{2 \pi l \lambda} \log \frac{R}{r_0} \quad (28)$$

waarin : T_H : de temperatuur van het draadje

T_0 : de temperatuur van de wand van de cel

r_0 : de straal van het cylindertje

R : de straal van de cel.



Figuur 30 :

cylindervorming element
in de cel.

Voor de warmtestroom q vinden we dan:

$$q = \frac{2 \pi l}{\log R/r_0} \cdot \lambda \cdot (T_H - T_0) = G \cdot \lambda \cdot (T_H - T_0) \quad (29)$$

waarin $G = \frac{2 \pi l}{\log R/r_0}$. (de celkonstante)

De celkonstante is alleen afhankelijk van de geometrie van de cel.

Met: $r_0 = 230 \cdot 10^{-6}$ m, $R = 2,5 \cdot 10^{-3}$ m en $l = 12 \cdot 10^{-3}$ m vinden we voor $G \sim 30$ mm.

- Q_2 is het warmteverlies per sec. door massatransport. Warm gas in de buurt van het element wordt meegenomen door de gasflow. Deze term speelt een rol bij flowafhankelijke katharometers, welke gebruikt kunnen worden als flowmeters (Anemometers)

$$Q_2 = K \cdot F \cdot C_p \cdot \Delta T^x \quad (L.8) \quad (30)$$

waarin K : een konstante
 F : de draaggasflow (l/min.)
 C_p : de soortelijke warmte van het draaggas bij konstante druk
 ΔT^x : het gemiddelde temperatuurverschil tussen in- en uitstromend gas.

In ons geval beschouwen we de flowonafhankelijke katharometer (diffusiecel). Dit betekent dat we $Q_2 = 0$ stellen.

- Q_3 is het warmteverlies per sec. door straling.
Het stralingsverlies kan berekend worden met de stralingswet van Stefan-Boltzman (L.14).

$$Q_3 = \epsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_H^4 - T_0^4) \quad (31)$$

- waarin ϵ : emissiecoëfficiënt van het stralend oppervlak ($0 < \epsilon < 1$)
 A : het stralend oppervlak van het element (m^2)
 T_H : de temperatuur van het stralend oppervlak ($^{\circ}K$)
 T_0 : de omgevingstemperatuur ($^{\circ}K$)
 σ : de Stefan-Boltzman konstante ($6 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$).

Voor een draadtemperatuur van $500^{\circ}K$ is het zo uitgerekenede stralingsverlies 5% van de toegevoerde 175 mW per draad ($I=80 \text{ mA}$, $R=27 \Omega$). Hierbij is ϵ gelijk aan 0,3 genomen. Waarschijnlijk is ϵ kleiner (L.14), waardoor Q_3 kleiner wordt.

- Q_4 is het verlies door warmtegeleiding naar de steunen van het draadje (element).
Samen met Q_3 is deze te bepalen door de druk p_0 in de cel te verlagen tot de warmtegeleiding door het gas geen rol meer speelt; d.w.z. tot de gemiddelde vrije weglengte L van de gasmolekullen in de cel groter wordt dan de afmetingen van de cel (5 mm).
Snowden en Eanes (L.15) vonden dat bij een druk van 10^{-4} mm Hg de Q_3 en Q_4 resp. 4% en 20% bedroegen van het toegevoerde vermogen I^2R .

- Q_5 is het warmteverlies per sec. door convectie.
Er werd gekonstateerd dat er geen verschil in toegevoerd vermogen nodig is om de draad op een bepaalde temperatuur te houden, wanneer het element vertikaal dan wel horizontaal geplaatst wordt (L.15). De invloed van convectie zal klein zijn.

Vergelijking (26) gaat nu over in:

$$I^2 R = G \cdot \lambda \cdot (T_H - T_0) + S \quad (32)$$

waarbij S de termen Q_3 , Q_4 en Q_5 mag bevatten.

Door vergelijking (32) drie keer toe te passen voor drie verschillende gassen, kunnen G en S bepaald worden, alsmede de temperatuur waarbij we λ moeten nemen.

De gebruikte gassen zijn O_2 , N_2 en CO_2 .

In figuur 26 op blz. 35 is reeds de brugopstelling weergegeven waarmee we de temperatuur van het draadje kunnen instellen met de stroom I , door deze zodanig te regelen dat $R_m = R_3$ wanneer $V_0 = 0$.

$$I_1^2 R_m = \lambda_1 \cdot G \cdot \Delta T + S \quad (33)$$

$$I_2^2 R_m = \lambda_2 \cdot G \cdot \Delta T + S \quad (34)$$

$$I_3^2 R_m = \lambda_3 \cdot G \cdot \Delta T + S \quad (35)$$

waarin I_1 , I_2 , I_3 : de respektievelijke stromen, nodig om voor O_2 , N_2 en CO_2 de weerstand $R_m = R_3$ te maken,

R_m : de weerstand van het draadje, waardoor zijn temperatuur bepaald is,

ΔT : het temperatuurverschil tussen draadje en celwand ($T_H - T_0$)

λ_1 , λ_2 , λ_3 : de gemiddelde λ van de gassen, welke bij een zodanige temperatuur T^x gekozen wordt ($T_0 < T < T_H$), dat voor de berekeningen de aanname " λ is konstant" gerechtvaardigd is,

G : de celkonstante

S : de verliesterm.

Uit (33) en (34), respektievelijk (33) en (35) volgt:

$$(I_1^2 - I_2^2) \cdot R = (\lambda_1 - \lambda_2) \cdot G \cdot \Delta T \quad (36)$$

$$(I_1^2 - I_3^2) \cdot R = (\lambda_1 - \lambda_3) \cdot G \cdot \Delta T \quad (37)$$

Uit (36) en (37) volgt:
$$\frac{I_1^2 - I_2^2}{I_1^2 - I_3^2} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_3} \quad (38)$$

Experimenten ter bepaling van het aldus verschillend toegevoerd vermogen zijn gedaan bij drie verschillende temperaturen van de meetdraad, waarbij de weerstandswaarden van R_m respectievelijk waren 50, 55 en 60 Ω . De bijbehorende temperaturen zijn bepaald met vergelijking (45) en bedragen resp. 418, 453 en 485 $^{\circ}\text{K}$. ($R_0 = 29,2\Omega$). Het gebruikte meetelement was een deel van de 30-S-8 katharometer, bestaande uit twee meetdraadjes in serie in twee cellen. Bij de berekeningen wordt één draadje beschouwd waarbij we aannemen dat de temperatuur in beide draadjes dezelfde is. De weerstand bij kamertemperatuur voor beide draadjes was gelijk ($R_{23^{\circ}\text{C}} = 16,2\Omega$). De totale brugstroom $2I$ werd gemeten met een kompensator (Portametric PVB 300). De stroom door de draadjes is dan die door één tak van de brug en gelijk aan I .

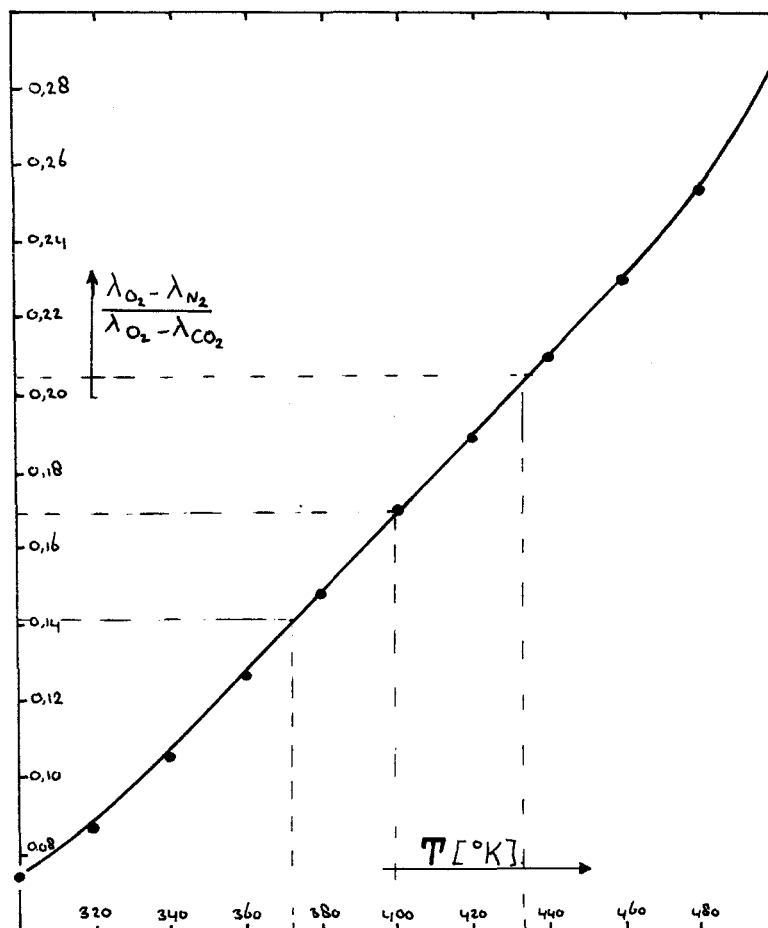
In tabel 12 zijn de waarden van R , T_H , I en $I_1^2 - I_2^2 / I_1^2 - I_3^2$ weergegeven.

R (Ω)	T_H ($^{\circ}\text{C}$)	I (mA)			$I_1^2 - I_2^2 / I_1^2 - I_3^2$
		O ₂ (1)	N ₂ (2)	CO ₂ (3)	
25,0	145	74,16	72,64	62,55	0,141
27,5	180	81,52	79,61	69,65	0,172
30,0	212	87,71	85,41	75,79	0,205

Tabel 12

In figuur 31 is grafisch uitgezet het verband tussen

$\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_3}$ en de temperatuur.



Figuur 31 : verband tussen $\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_3}$ en de temperatuur

Met de waarden van $\frac{I_1^2 - I_2^2}{I_1^2 - I_3^2}$ uit tabel 12 kan uit deze

grafiek de bijbehorende temperatuur T^* afgelezen worden. Dit is dus de temperatuur waarbij we de waarde van λ voor het gas kunnen nemen om bij de berekeningen λ temperatuur-onafhankelijk te kunnen kiezen.

Deze waarden zijn weergegeven in tabel 13.

R (Ω)	T_H (°K)	T_L (°K)	T^* (°K)	λ_{T^*} (mW/m°K)		
				O ₂	N ₂	CO ₂
25,0	418		372	32,18	30,77	21,44
27,5	453	296	400	34,20	32,52	24,41
30,0	485		432	36,34	34,50	26,93

Tabel 13

Met vergelijkingen (36) en (37) kan de waarde van G worden bepaald. Als gemiddelde waarde voor G werd gevonden:
 $G = 32 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, hetgeen in goede overeenstemming is met de theoretisch berekende waarde van G (blz.43).

Tenslotte kan met de nu verkregen gegevens de grootte van S worden bepaald (vgl. 32). De op deze manier gevonden waarde voor de term S bedraagt ongeveer 8% van het toegevoerd vermogen I^2R .

Tenslotte wordt de verandering in de temperatuur van de meetdraad tengevolge van een verandering in λ gevonden door differentiatie van vgl. (32) naar λ .

$$\frac{\partial T_H}{\partial \lambda} = - \frac{(I^2R - S)}{G \cdot \lambda^2} \quad (39)$$

4.4. De verandering van weerstand van de draad.

De temperatuur van een weerstandsdraadje bepaalt zijn weerstand. Het eenvoudigste verband tussen temperatuur en weerstand wordt gegeven door:

$$R(T) = R_0(1 + \alpha T) \quad (40)$$

waarin T : de temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
 R_0 : de weerstand bij 0°C
 α : de temperatuurcoëfficiënt van de weerstand
 (materiaal konstante).

Gow Mac (L.12) geeft voor α de volgende waarden:

$$\begin{aligned} \text{voor } 0^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C} & \quad \alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \\ \text{voor } 100^{\circ}\text{C} < T < 500^{\circ}\text{C} & \quad \alpha = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1} \end{aligned} \quad (41)$$

Hieruit blijkt al dat α niet konstant is, dus R is geen lineaire functie van de temperatuur.

Een beter verband tussen R en T wordt dan ook gegeven (L.9) door:

$$R(T) = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2 + \gamma T^3) \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \text{met voor wolfram : } \alpha &= 5,24 \cdot 10^{-3} \\ \beta &= 0,7 \cdot 10^{-6} \\ \gamma &= 0,062 \cdot 10^{-9} \end{aligned} \quad (43)$$

voor $T > 75^{\circ}\text{C}$ is $\beta T^2 > 1\%$ van αT

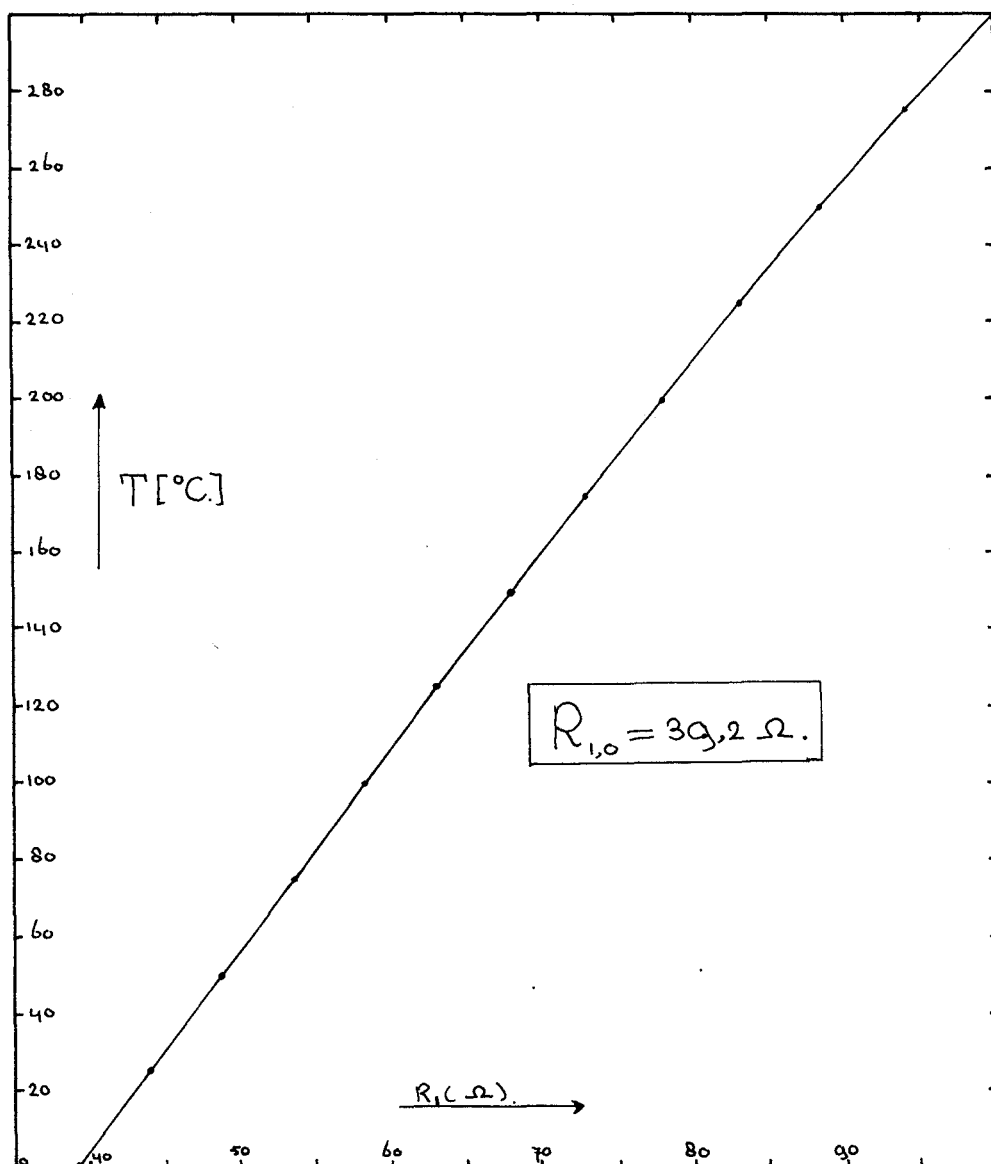
voor $T > 950^{\circ}\text{C}$ is $\gamma T^3 > 1\%$ van αT ,

zodat we voor temperatuur tot 400°C voor (42) mogen schrijven:

$$R(T) = R_0(1 + \alpha T + \beta T^2) \quad (44)$$

Vanwege het te grote verschil tussen de waarden van α uit (41) en (43) werd besloten zelf de weerstand van het gebruikte meetdraadje als functie van de temperatuur te bepalen.

Daartoe werd in een blok messing ($4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$) een meetdraadje geschroefd, terwijl in de cel een koper-constantaan thermokoppel was aangebracht. Met behulp van een kookplaat werd het blok langzaam ($2 \text{ à } 3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min.}$) opgewarmd en door uitschakelen van de kookplaat weer afgekoeld. Aldus werd de weerstand R_1 van het draadje als functie van de thermospanning U gemeten bij opwarmen en afkoelen. Uit het bekende verband tussen U en de temperatuur T kan dan het verband tussen R en T bepaald worden (figuur 32).



Figuur 32 : verband tussen R_1 en T

Wanneer nu van een draadje (wolfram) de weerstanden bij de onbekende temperatuur ($R_2(T)$) en zijn R_0 bekend zijn, kan met behulp van de grafiek uit figuur 32 en vergelijking (42) of (44) de onbekende temperatuur bepaald worden volgens:

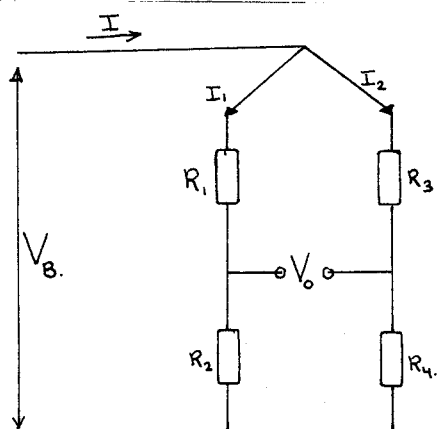
$$R_1(T) : R_2(T) = R_{1,0} : R_{2,0} \quad (2 \text{ keer vgl. 44}) \quad (45)$$

waarin $R_1(T)$ en $R_{1,0}$ de waarden zijn behorende bij de weerstand uit figuur 32.

Hieruit volgt $R_1(T)$, waarbij in de grafiek de temperatuur opgezocht kan worden.

4.5. De verandering van de uitgangsspanning (onbalans van de brug).

Om de verandering van de uitgangsspanning V_o van een brug van Wheatstone (figuur 33) te bepalen wanneer één van de weerstanden (b.v. R_4) verandert, gebruiken we de volgende vergelijkingen:



- I : totale brugstroom
 V_B : totale brugspanning
 V_o : uitgangsspanning
 I_1, I_2 : stroom door de 2 takken van de brug met in:
 tak 1 - R_1 en R_2
 tak 2 - R_3 en R_4

Figuur 33 : brug van Wheatstone

$$V_o = I_1 \cdot R_2 - I_2 \cdot R_4 \quad (46)$$

$$I_1 = V_B / (R_1 + R_2) \quad (47a)$$

$$I_2 = V_B / (R_3 + R_4) \quad (47b)$$

$$I = I_1 + I_2 = V_B / R_B \quad (48)$$

(R_B is substitutieweerstand van de brug)

waaruit voor V_o volgt:

$$V_o = V_B \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

zodat
$$\frac{\partial V_o}{\partial R_4} = -V_B \cdot \frac{R_3}{(R_3 + R_4)^2} \quad (49)$$

$\partial V_o / \partial R_4$ is maximaal wanneer $R_3 = R_4$ (vgl. 49 differentiëren naar R_3). Vergelijking (49) wordt dan ($R_3 = R_4 = R$):

$$\frac{\partial V_o}{\partial R_4} = -\frac{V_B}{4R} \quad (50)$$

Indien ook R_1 als meetelement is opgenomen in de brug, en $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ (R_B is dan ook gelijk aan R):

$$\frac{\partial V_o}{\partial R} = -\frac{V_B}{2R} \quad (51)$$

of met $V_B = I \cdot R$:
$$\frac{\partial V_o}{\partial R} = -\frac{I}{2} \quad (52)$$

In het bovenstaande is geen rekening gehouden met het feit dat de totale brugweerstand verandert wanneer één van de weerstanden verandert. Voor de brugweerstand R_B geldt, wanneer $R_1 = R_4 = R + \Delta R$ en $R_2 = R_3 = R$:

$$\frac{1}{R_B} = \frac{2}{2R + \Delta R} \approx \frac{1}{R} \cdot \left(1 - \frac{\Delta R}{2R} \right)$$

Uit de gebruikte waarden van R , V_o en I (resp. 60Ω , max. 100 mV en 160 mA) wordt met vgl. (52) gevonden dat $\Delta R = 1,2 \Omega$. Met $R = 60 \Omega$ levert dit voor $\frac{\Delta R}{2R} = 0,01$.

De verandering van de brugweerstand blijft dus (bij $V_o = 100 \text{ mV}$ maximaal) binnen de 1%.

4.6. Gevoeligheid van de detector.

Als gevoeligheid, K , van de detector definiëren we: de verandering van V_0 t.g.v. een verandering van een concentratie, x_2 , in het meetkanaal.

$$K = \frac{\partial V_0}{\partial x_2} \quad (53)$$

Wanneer we de vergelijkingen (51), (40), (39) en (18) onafhankelijk beschouwen, hetgeen voor kleine veranderingen van de variabelen korrekt is, is K te schrijven als:

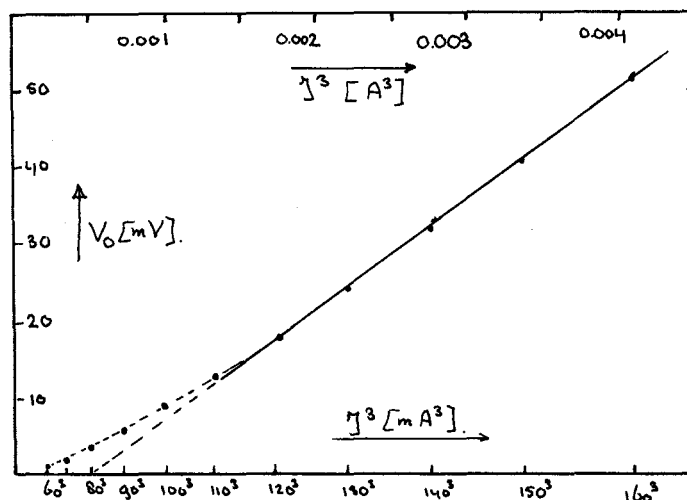
$$K = \frac{\partial V_0}{\partial R} \cdot \frac{\partial R}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial x_2}$$

dus volgens vgl. (51), (40), (39) en (18) geldt:

$$K = -\frac{I}{2} \cdot R_0 \cdot \alpha \cdot \frac{I^2 R}{4G\lambda_1^2} \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) = \frac{\alpha I^3 R_1 R_0}{8G} \cdot \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1^2} \right) \quad (54)$$

Hierin is K evenredig met I^3 .

Figuur 34 geeft de uitgangsspanning V_0 van de brug als functie van I^3 , zoals deze is gemeten.



Figuur 34 : verband tussen V_0 en I^3

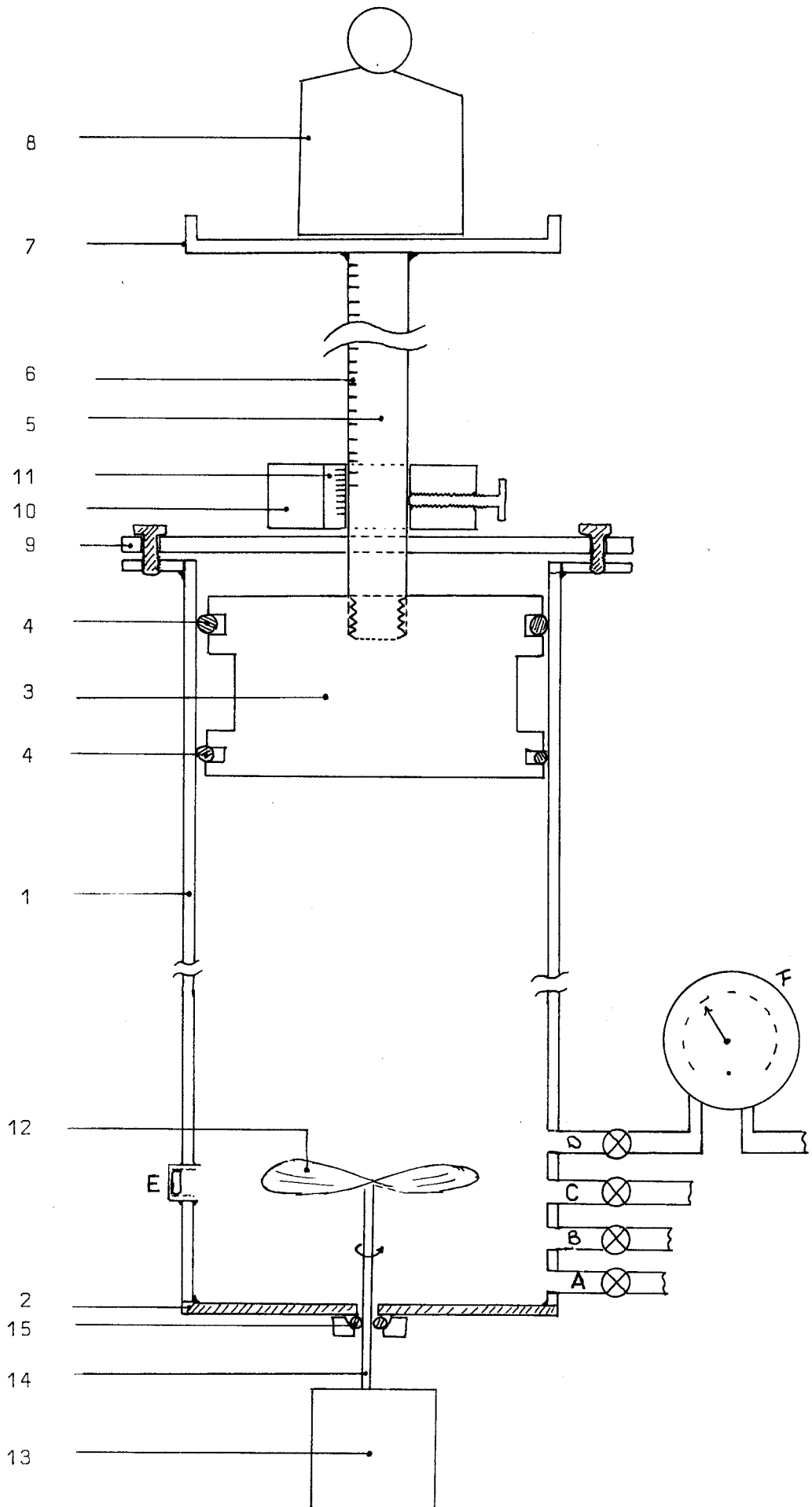
5. De ijking.

5.1. De ijkcylander.

Om de detector te kunnen ijken met goed gedefiniëerde gasmengsels, werd een ijkcylander gebouwd, figuur 35. Het volume van de cylander is ongeveer 3000 cc, zodat het mogelijk is gedurende 4 minuten een flow van 750 cc/min. te maken. Deze tijd is ruim voldoende voor de diffusie om zijn eindwaarde te bereiken (fig.19 en vgl.16).

De bedoeling was om in een bepaald volume gas (b.v. N_2 , O_2 of N_2) een bekende hoeveelheid halothaan te injecteren. Hiermee is de konsentratie halothaan in het gekozen gas bekend. Door nu dit gas door de katharometer (i.c. het meetkanaal) te sturen, wordt een ijkpunt verkregen.

De ijkcylander bestaat uit een messing buis met een inwendige diameter van 96,0 mm, wanddikte 2 mm en lengte 400 mm. De cylander (1) werd van onderen afgesloten door er een bodemplaat (2) aan te solderen. In de cylander kan een aluminium zuiger (3) op en neer bewegen, welke dient om het in de cylander aanwezige gasmengsel uit de cylander te drukken. Om een goede afdichting tussen cylanderwand en zuiger te verkrijgen zijn twee O-ringen (4) toegepast, welke in O-ringgroeven in de zuiger liggen. De zuiger zelf heeft hierdoor geen kontakt met de wand. De cylanderwand is gepolijst en ingevet om de zuiger schokvrij te laten lopen. Aan de zuiger is een zuigerstang (5) bevestigd, waarop een maatverdeling (6) in mm is aangebracht. Boven op deze zuigerstang is een plateau (7) waarop een gewicht (8) kan worden geplaatst. Een opgeschroefde bovenplaat (9) voorkomt dat de zuiger uit de cylander kan glijden. Op deze bovenplaat ligt een ring (10) rond de zuigerstang. Deze ring kan worden vastgeklemd aan de stang waarmee de zuiger vastgezet kan worden. Op deze ring is een "nonius" (11) gelijkmd. Hiermee is de stand van de cylander op 0,1 mm af te lezen.



Figuur 35 : de ijkcylander

Verder zijn in de cylinder diverse in- of uitlaten (A, B, C, D) gemaakt, ieder af te sluiten door middel van een kraan. De functies van A, B, C en D zijn respectievelijk: het inlaten van het gewenste draaggas, het uitlaten van het gasmengsel, het uitlaten van de inhoud van de cylinder tijdens het schoonspoelen en het verbinden met een verschildrukmeter F. Het halothaan wordt geïnjecteerd door een (verwisselbaar) siliconen rubberschijfje (E). Om een goede menging te krijgen van het draaggas met halothaan, is onder in de cylinder een ventilator (12) geplaatst, welke door een onder de cylinder staande motor (13) wordt aangedreven. De afdichting tussen aandrijfas van de ventilator (14) en bodemplaat (2) geschiedt d.m.v. een O-ring (15). De motor wordt buiten de cylinder geplaatst om warmte-dissipatie te voorkomen. Met een verschildrukmeter (F) (bereik 0-36 mm Hg) wordt het drukverschil gemeten tussen het gas in de cylinder en de buitendruk (P atm).

Het volume van de cylinder werd als volgt bepaald:

De zuiger wordt op een plaats h_1 vastgezet; h_1 wordt afgelezen en hierna wordt de druk in de cylinder gelijk gemaakt aan de barometerdruk P_0 door één van de kranen te openen. De kraan wordt gesloten en de zuiger (evt. met een gewicht G, zodat eigen gewicht van de zuiger + G de wrijving met de wand overwint) vrijgelaten. Hierdoor treedt een drukverhoging ΔP op bij een zuigerdaling Δh . De nieuwe zuigerstand is h_2 . Voor het gas in de cylinder geldt volgens Boyle-Gay Lussac (als we T konstant veronderstellen) :

$$P_0 \cdot V = (P_0 + \Delta P)(V - \Delta V) \quad (55)$$

waarin P_0 : de barometerdruk
 V : het volume bij zuigerstand h_1
 ΔP : de gemeten drukverhoging
 ΔV : de volume verandering.

$$\text{Uit (55) volgt : } V = \Delta V \cdot \left(1 + \frac{P_0}{\Delta P}\right) \quad (56)$$

delen door het oppervlak van de zuiger A levert:

$$l = \frac{V}{A} = \frac{\Delta V}{A} \left(1 + \frac{P_0}{\Delta P}\right) \quad \text{of} \quad l = (h_1 - h_2) \left(1 + \frac{P_0}{\Delta P}\right) \quad (57)$$

Hierin is l dus een lengte die, vermenigvuldigd met het zuigeroppervlak A , het volume geeft behorende bij stand h_1 van de zuiger. Deze procedure is voor meerdere zuigerstanden h_1 uitgevoerd.

Met de kleinste kwadraten-methode is door de verkregen punten een rechte bepaald, waarvoor geldt:

$$l \text{ (cm)} = 1,001 \cdot h_1 \text{ cm} + 3,029 \text{ cm} \quad (58)$$

De richtingscoëfficiënt van deze rechte is in het ideale geval natuurlijk 1. De gevonden waarde 1,001 geeft een idee van de nauwkeurigheid. De waarde 3,029 cm (het snijpunt van de rechte met de l -as) wordt bepaald door de dode ruimten van kranen en drukmeter en de plaats van de maatverdeling op de zuigerstang. De oppervlakte van de zuiger is bepaald door de cylinderdiameter op te meten:

$$A = \frac{(96,0)^2}{4} = 723,8 \text{ cm}^2$$

Voor het volume bij stand h_1 (cm) geldt dan:

$$V(h_1) = 723,8 \{1,001 \cdot h_1 + 3,029\} \text{ cm}^3 \quad (59)$$

De hoeveelheid halothaan welke geïnjecteerd werd, werd bepaald door de injectiespuit voor en na het injecteren te wegen. Met de algemene gaswet $pV = nRT$, wordt de partiële halothaandruk ΔP_H uitgerekend. Voor de ΔP_H geldt:

$$\Delta P_H = \frac{m}{M} \cdot \frac{R T}{V} \cdot \frac{760}{1,013} \text{ mm Hg} \quad (60)$$

waarin m : de geïnjecteerde hoeveelheid (kg)

M : het molekuulgewicht (197,4)

R : de gaskonstante (8,315 J/mol °K)

T : de temperatuur (°K)

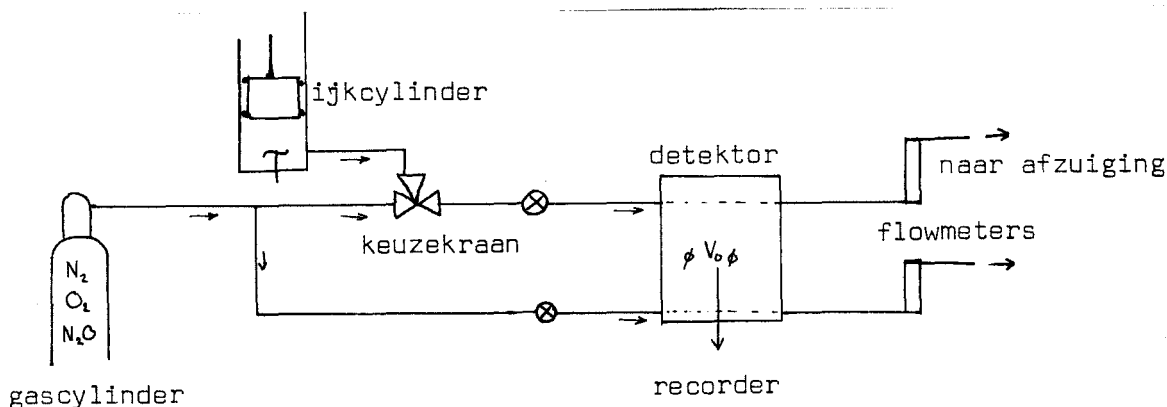
V : het volume van de cylinder

$$1,013 \text{ N/m}^2 = 760 \text{ mm Hg.}$$

De halothaan concentratie C_H is dan:

$$C_H = \frac{\Delta P_H}{P_{\text{barom.}} + \Delta P_H} \quad (61)$$

Figuur 36 geeft de opstelling tijdens de ijking.



Figuur 36 : ijkopstelling

Met de keuzekraan A kan òf het gasmengsel uit de ijk-cylinder òf het referentiegas toegelaten worden tot de detektor. Het 0-punt van de brug wordt bepaald door hetzelfde gas door het meet- en het referentiekanaal te sturen. Deze 0-stand kan bijgesteld worden door een kleine weerstand R_V ($R_V = 0,1 - 0,2 \Omega$) in één van de takken van de brug te plaatsen (In het ideale geval van identieke meetdraden is de weerstandswaarde van R_V gelijk aan 0). Daarna wordt, door de keuzekraan in een andere stand te zetten, het gasmengsel tot het meetkanaal van de detektor toegelaten en de optredende uitgangsspanning V_0 gemeten. Met een universele digitale voltmeter (Fluke) wordt de spanning V_0 afgelezen wanneer deze volgens het verloop op de recorder zijn eindwaarde bereikt heeft.

In tabel 14 zijn een aantal op deze manier berekende concentraties genoteerd met de bijbehorende brugspanning V_o . ($T=22^\circ\text{C}$ en $I_{\text{brug}} = 128 \text{ mA}$).

m (mgr)	V (cc)	ΔP (mm Hg) ($\pm 0,2 \text{ mmHg}$)	C_H (%) ($\pm 0,02$)	V_o (mV) ($\pm 0,2 \text{ mV}$)	mV / %
401	2370	15,7	2,03	33,5	16,5
447	1850	22,5	2,87	52,5	18,3
471	1400	31,3	3,98	76,0	19,1

Tabel 14

Uit de waarden uit tabel 14 kolom 6 blijkt reeds dat het verband tussen V_o en de concentratie geen rechte door de oorsprong op kan leveren.

De afwijkingen kunnen de volgende oorzaken hebben:

- 1) het niet goed genoeg bepalen van de halothaanconcentratie in het draaggas,
- 2) het niet lineair zijn van de detector.

Een eerste controle vormde het bij injectie van halothaan meten van de drukverhogingen. Deze kunnen dan vergeleken worden met de volgens vgl.(60) berekende ΔP_H . Het bleek dat de gemeten drukverhoging steeds lager uitkwam dan de berekende. Dit kan betekenen dat de afgewogen hoeveelheid halothaan òf niet in de cylinder kwam (door b.v. een lek in de injectiespuit) òf, wat waarschijnlijker was, niet in het gas in de cylinder kwam door absorptie van halothaan in de O-ringen en het vet en de slangen, waardoor de hoeveelheid in het gas, en daarmee de concentratie lager is dan de berekende.

5.2. Ijking met gemeten drukverhoging.

De nieuwe ijking bestond uit het meten van de drukverandering en het met vgl. (61) bepalen van de concentratie. Hierbij is verondersteld dat de temperatuur van het gasmengsel tijdens de concentratie-bepaling konstant blijft. Een voordeel van deze methode is dat zowel het gasvolume waarin geïnjecteerd wordt, als de hoeveelheid halothaan onbekend kunnen zijn.

De lineariteit van de detector werd als volgt getest: Bij injectie van een hoeveelheid halothaan wordt de drukverandering gemeten en hieruit de concentratie bepaald. Het mengsel wordt door de detector gestuurd en de uitgangsspanning V_o wordt gemeten. Dan wordt bij een konstante druk een hoeveelheid draaggas bijgelaten, hetgeen leidt tot een volumevergroting ΔV .

Voor de nieuwe concentratie x_2 geldt dan:

$$x_2 = \frac{V_1}{\Delta V + V_1} \cdot x_1 = \frac{l_1}{l_1 + \Delta h} \cdot x_1 = \frac{(h_1 + 3,03)}{(h_2 + 3,03)} \cdot x_1 \quad (62)$$

waarin V_1 : het volume bij lengte l_1 of zuigerstand h_1
 $(l_1 = h_1 + 3,03)$
 ΔV : de volume toename = $(h_1 - h_2) \cdot \text{zuigeroppervlakte}$
 x_1 : de vorige concentratie.

De uitgangsspanning van de brug behorende bij deze nieuwe concentratie wordt ook gemeten en het volume wordt opnieuw vergroot door bijlaten van het draaggas.

In tabel 15 zijn de zo berekende concentraties (C_H) en de gemeten V_o genoteerd.

($P_B = 762,5$ mm Hg , $\Delta P_H = 31,3 \pm 0,1$ mm Hg , $C_H = 3,93$ %
 en $I = 150$ mA).

h_1 (mm)	h_2 (mm)	$\frac{h_1+30,3}{h_2+30,3}$	V_o (mV) ($\pm 0,2$ mV)	C_H (%)
320,0			111,6	3,93
200,0	230,0	0,88	100,0	3,47
190,0	220,0	0,88	88,0	3,06
160,0	190,0	0,86	76,2	2,69
150,0	190,0	0,82	62,8	2,16
140,0	185,0	0,79	50,0	1,71
130,0	156,0	0,86	42,6	1,47
80,0	120,0	0,73	31,8	1,08
70,0	110,0	0,71	23,4	0,77
70,0	100,0	0,77	18,2	0,59
70,0	120,0	0,67	12,4	0,39
70,0	120,0	0,67	8,6	0,26
70,0	120,0	0,67	6,1	0,18

Tabel 15

Voor het verband tussen V_o en C_H uit tabel 15 geldt:

$$V_o = 1,3 + 28,3 C_H \text{ mV} \pm 0,15 \text{ mV.}$$

We zien hieruit dat de rechte vrijwel door de oorsprong gaat ($V_o=1,3$ mV als $x=0$), terwijl de spreiding der punten rond de rechte ongeveer 0,5% bedraagt.

Vervolgens wordt de detector geijkt door voor elk ijkpunt een nieuw mengsel te maken. Na iedere meting wordt de cylinder zo lang gespoeld met het draaggas N_2 , tot V_o behorende bij het gas uit de cylinder, kleiner is dan 0,5 mV. De verschuldrukmeter heeft een maximaal bereik van 36 mm Hg. Dit betekent dat de maximale concentratie beperkt is tot ongeveer 4,5%. Hogere concentraties kunnen in twee stappen gemaakt worden.

Na de eerste injectie (ΔP_1) wordt een gedeelte van het gasmengsel uit de cylinder gelaten tot de druk in de cylinder weer gelijk aan de P_0 is. Vervolgens wordt opnieuw geïnjecteerd (ΔP_2). Voor de halothaan concentratie geldt dan :

$$C_H = \frac{\Delta P_1 \cdot P_B + \Delta P_2 \cdot P_B + \Delta P_1 \cdot \Delta P_2}{P_B^2 + P_B \cdot \Delta P_1 + P_B \cdot \Delta P_2 + \Delta P_1 \cdot \Delta P_2} \cdot 100\% \quad (63)$$

In tabel 16 staan de gemeten ΔP_H , V_0 en de berekende C_H voor halothaan in N_2 .
(bij $I = 160$ mA)

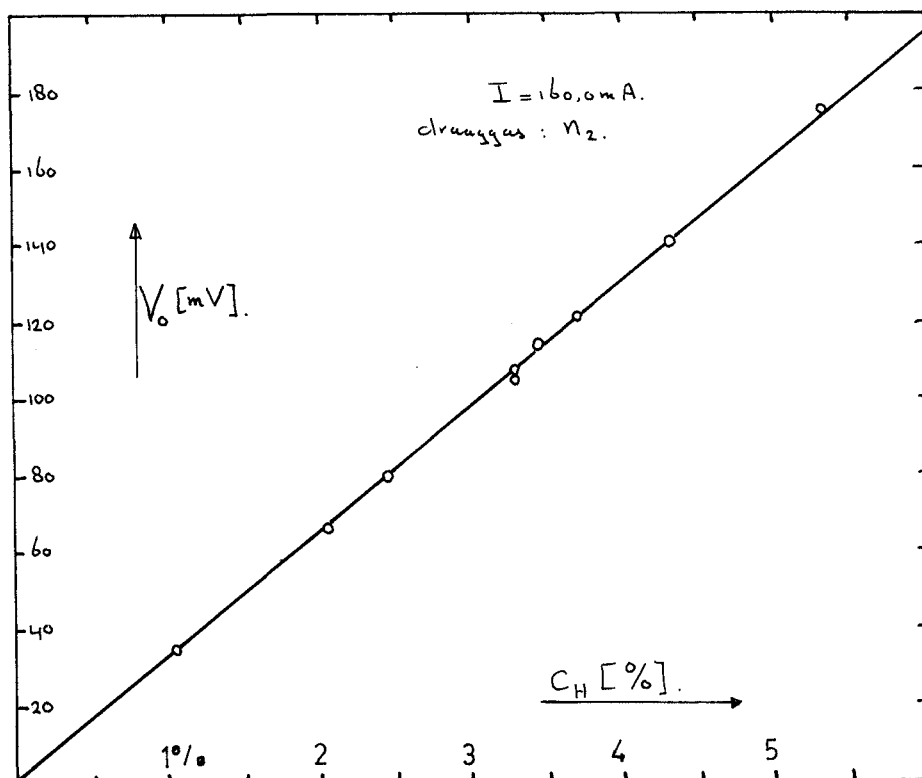
P_0 (mm Hg) ($\pm 0,5$ mm Hg)	ΔP_H (mm Hg) ($\pm 0,1$ mm Hg)	C_H (%)	N_2 (mV) ($\pm 0,1$ mV)
771	27,5	3,45	114,0
771	26,3	3,29	105,8
770,5	26,2	3,29	107,4
770,5	26,2	3,29	106,6
770,5	34,7	4,32	140,3
770,5	34,7 + 8,2	5,32	172,3
770,5	8,2	1,05	34,4
770,5	16,0	2,04	66,0
770,5	19,3	2,45	79,6
770,5	29,7	3,71	121,3

Tabel 16

In figuur 37 is de ijkgrafiek voor halothaan in N_2 uitgezet. Voor het verband tussen V_0 en C_H geldt :

$$V_0 = (32,5 \pm 0,2) C_H \text{ mV} \quad (64)$$

Tot vrij grote concentraties (6%) is er een lineair verband tussen de concentraties en de uitgangsspanning V_0 .



Figuur 37 : ijkgrafiek voor halothaan in N_2

5.3. Invloed van de halothaanverdamping op de temperatuur en druk van het gasmengsel.

Tengevolge van het verdampen van halothaan wordt warmte onttrokken aan de cylinder met inhoud. Hierdoor zal de temperatuur daarvan dalen, hetgeen een drukverlaging voor het gas betekent. Een te grote temperatuurverandering veroorzaakt aldus een foutieve drukmeting, welke immers verondersteld werd plaats te vinden bij konstante temperatuur van het gasmengsel.

Om m gram halothaan te verdampen is $35,2 \text{ m.cal.}$ nodig. Deze hoeveelheid wordt in eerste instantie onttrokken aan het gasmengsel in de ijkcylinder (b.v. N_2). Een volume van 3000 cc bevat $3000 \times 1,15 \text{ mg } N_2 = 3,45 \text{ g } N_2$. De warmtecapaciteit C_p van N_2 is $0,18 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, dus de warmtecapaciteit van het N_2 -gas in de cylinder is $0,62 \text{ cal./}^\circ\text{C}$.

Er was nodig 35,2 m.cal. dus de temperatuurdaling van het gas zou in eerste instantie $35,2.m/0,62 \approx 57.m^{\circ}C$ bedragen. In tweede instantie wordt de 35,2.m.cal. aan de messing-ijkcylinder + aluminium-zuiger onttrokken. Het volume van het messing bedraagt ongeveer 300 cc, het volume van het aluminium ook ongeveer 300 cc. Met de soortelijke massa's (8,6 voor messing en 2,7 voor Al) en de soortelijke warmten (0,092 voor messing en 0,215 voor Al), vinden we dan de warmtecapaciteit voor het messing en het aluminium :

$$\text{voor messing} : 300 \times 8,6 \times 0,092 \approx 240 \text{ cal./}^{\circ}C$$

$$\text{voor aluminium} : 300 \times 2,7 \times 0,215 \approx 175 \text{ cal./}^{\circ}C$$

totaal voor messing + aluminium + gas is de warmtecapaciteit $\sim 415 \text{ cal./}^{\circ}C$.

Er was nodig 35,2 m.cal. dus de temperatuurdaling van de totale ijkcylinder (met het gas erin) bedraagt ongeveer:

$$35,2.m/415 = 0,085.m^{\circ}C.$$

Volgens de ideale gaswet betekent deze temperatuurdaling bij kamertemperatuur een drukverlaging ΔP^x van :

$$\frac{0,085.m}{295} \times 760 \text{ mm Hg} = 0,22.m \text{ mm Hg.}$$

Tengevolge van het verdampen van m gram halothaan is de druktoename ΔP_H waaruit de concentratie C_H wordt berekend (vgl. 60), gelijk aan: $\Delta P_H = 31.m \text{ mm Hg}$, zodat voor $\Delta P^x / \Delta P_H$ geldt:

$$\frac{\Delta P^x}{\Delta P_H} = \frac{0,22 \text{ m}}{31 \text{ m}} \cdot 100\% = 0,7 \%$$

Hieruit blijkt dat de drukverandering tengevolge van het afkoelen bij injectie van halothaan verwaarloosbaar is.

6. Ijking van twee verdamper. ("Fluotec MK II" en "Dräger").

Met behulp van de in hoofdstuk 5.2. bepaalde ijkgrafiek (figuur 37) is voor twee verdamper het verband bepaald tussen de grootte van de draaggasflow (N_2) en de halothaan-koncentratie.

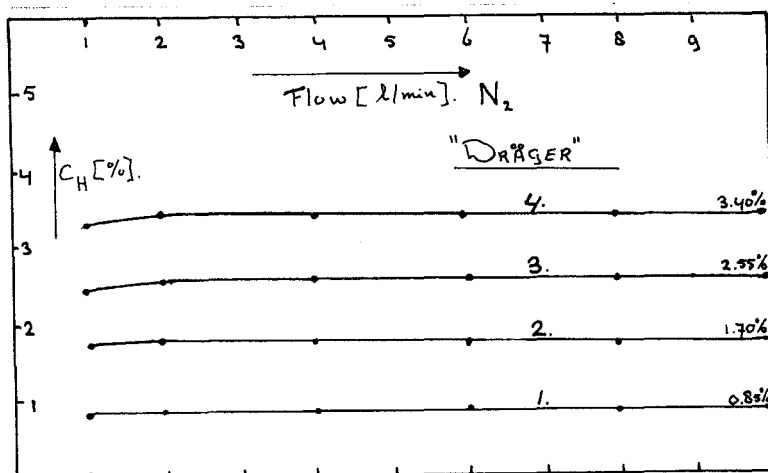
De gemeten halothaan-koncentraties staan uitgezet als functie van de flow bij verschillende knopstanden:

voor de Dräger verdamper : in figuur 38, en

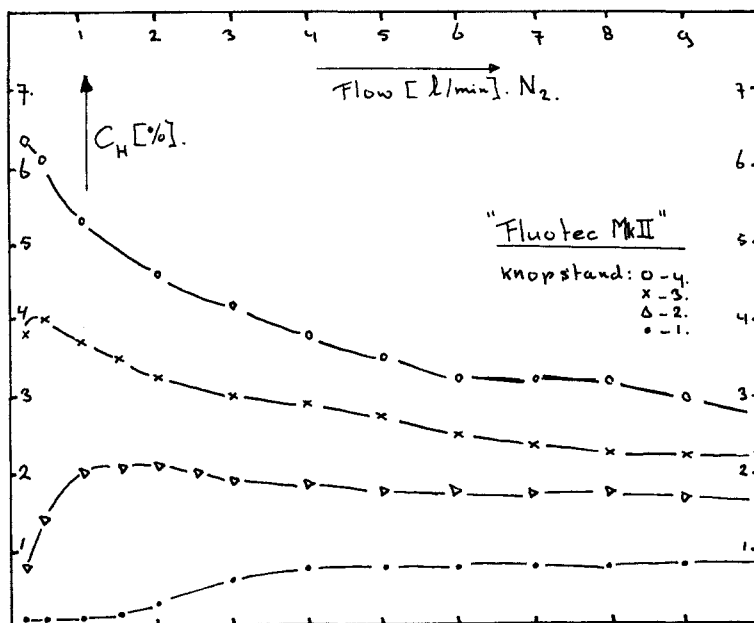
voor de Fluotec MK II verdamper : in figuur 39.

Figuur 40 geeft de fabrieksopgave van de halothaan-koncentratie als functie van de flow bij de verschillende knopstanden.

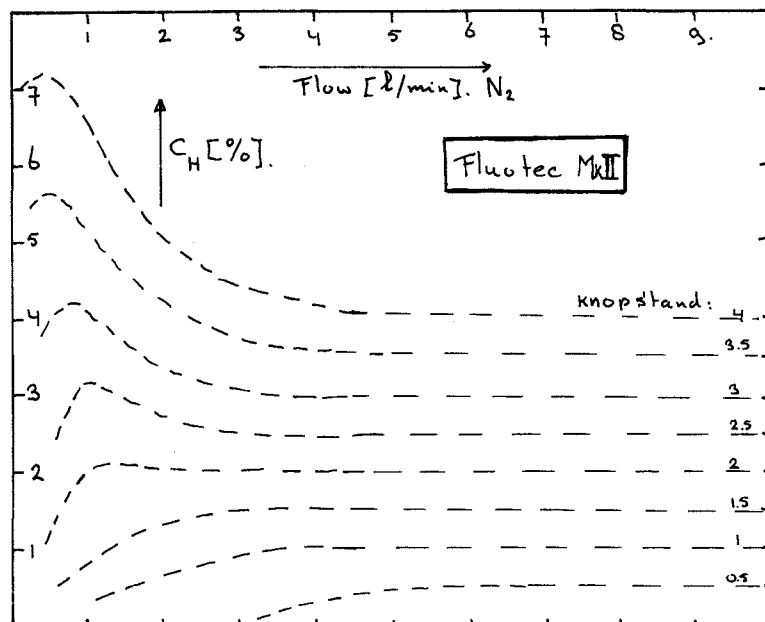
Deze grafiek wordt bij de verdamper geleverd.



Figuur 38 : Dräger



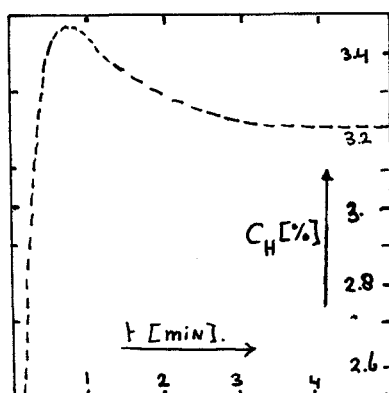
Figuur 39 : Fluotec MK II



Figuur 40 : Fluotec MK II, fabrieksopgave

Het bleek dat bij de Dräger verdamper voor flows groter dan 2 l/min. de afgegeven halothaan concentratie onafhankelijk was van de flow. De gemeten waarden waren reproduceerbaar binnen de meetnauwkeurigheid en instelmogelijkheid. (Deze verdamper heeft een continue instelmogelijkheid). Bij flows kleiner dan 1,5 à 2 l/min. week de gemeten concentratie iets (2 à 3%) naar beneden af. De gemeten waarden bleken voor alle instelwaarden 15% minder te zijn dan de waarden volgens de instelknop.

Bij de Fluotec MK II daarentegen is de concentratie afgifte van halothaan bij vooral lage flows sterk flowafhankelijk. Ook is gekonstateerd dat, vooral bij grote flows (8 l/min.) en hoge knopstand (b.v. stand 4), dus wanneer er veel halothaan verdampt, de afgegeven concentratie in de tijd daalt (fig. 41).



Figuur 41 :

Koncentratiedaling in de tijd, voor de Fluotec MK II bij flow 8 l/min. en knopstand 4.

Dit is het gevolg van een temperatuurdaling in de verdamper, waardoor de dampspanning daalt en de afgegeven halothaanconcentratie lager wordt.

Op deze manier is het dus eenvoudig een verdamper op zijn halothaanafgifte te controleren. Een dergelijke controle is nodig, daar halothaan 0,01% thymol als stabilisator bevat (L.4). Deze thymol verdampt niet mee, zodat, wanneer de verdamper veel gebruikt wordt, de concentratie ervan toeneemt.

Daarom worden de verdamperen ook regelmatig schoongemaakt, om te voorkomen dat ze te grote concentraties thymol gaan bevatten, welke verstoppingen in de gaskanalen kunnen veroorzaken.

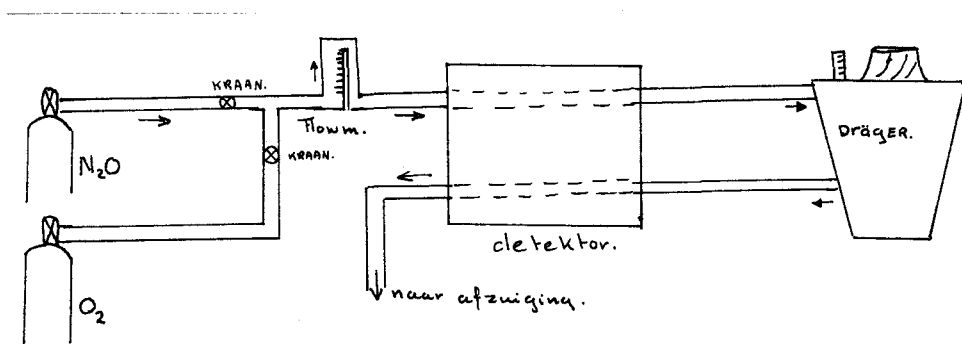
Door regelmatige controle met de hier beschreven methode kan tijdig worden beslist of tot schoonmaken of tot veranderen van instelling moet worden overgegaan.

7. Halothaan in O_2 - N_2O mengsels.

Door het verschil in warmtegeleidingsvermogen van zuurstof en lachgas (λ bij 300 °K resp. 26,74 en 17,35 mW/m^oK), zal eenzelfde concentratie halothaan in deze gassen een verschillende verandering van het totale warmtegeleidingsvermogen veroorzaken, hetgeen een verschillende uitgangsspanning V_o voor de brug ten gevolge heeft.

Te bepalen is nu dus de uitgangsspanning V_o als functie van het percentage N_2O (C_{N_2O}) in het N_2O - O_2 mengsel. Voor wat betreft de pure gassen O_2 en N_2O kan dit gebeuren met behulp van de ijkcylander, zoals dit voor N_2 is gedaan (hfdst. 5).

Om de uitgangsspanning ten gevolge van een halothaankoncentratie in mengsels O_2 - N_2O te bepalen, is gebruik gemaakt van een Dräger verdamper in de opstelling (fig. 42), omdat voor deze verdamper de halothaankoncentratie in het afgegeven gas onafhankelijk is van de totale draaggasflow voor flows groter dan 2 l/min. (hfdst. 6).



Figuur 42 : bepaling van V_o als functie van de N_2O concentratie in O_2 m.b.v. een Dräger verdamper.

Dit betekent dat, wanneer bij een bepaalde stand van de knop van de verdamper de zuurstof- en de lachgasflows ten opzichte van elkaar gewijzigd worden, zodanig dat de totale flow ongeveer konstant blijft, de halothaankoncentratie van het afgegeven gasmengsel konstant blijft.

C_{N_2O} wordt bepaald uit de brugspanning V_B , zoals in hoofdstuk 4.2 beschreven is.

Wanneer de verdamper dicht staat, d.w.z. wanneer de totale gasflow door de bypass gaat en niet met halothaan in aanraking komt, is de totale brugspanning V_{B,O_2} wanneer er alleen zuurstof door de detektor gaat; wanneer een puur lachgas door de detektor gaat is de totale brugspanning V_{B,N_2O} .

Voor C_{N_2O} geldt dan :

$$C_{N_2O} = \left(\frac{V_{B,M} - V_{B,O_2}}{V_{B,N_2O} - V_{B,O_2}} \right) \cdot 100\% \quad (25)$$

waarin $V_{B,M}$ de gemeten totale brugspanning is.

Vervolgens werd de uitgangsspanning gemeten bij één stand (stand 3) van de Dräger verdamper bij verschillende lachgas-koncentraties. C_{N_2O} is te regelen door met behulp van de kranen 1 en 2 (figuur 42) de lachgas- en zuurstofflow onderling te wijzigen. Daar de konsentratieregeling op de verdamper continue kan gebeuren, wordt de verdamper in één stand gehouden, welke niet meer gewijzigd wordt. De halothaan-koncentratie behorende bij stand 3 van de Dräger verdamper bedraagt $2,55 \pm 0,02 \%$ (hoofdstuk 6).

Korrektie op het 0-punt:

In het ideale geval is de uitgangsspanning V_o gelijk aan 0 mV, wanneer door het meet- en het referentiekanaal hetzelfde gasmengsel wordt gestuurd. Door de vrij grote temperatuurverandering van de draad, welke optreedt bij overschakeling van 100% O_2 naar 100% N_2O ($\Delta T \approx 40^\circ C$), en de niet geheel identieke draadjes, verandert V_o enigszins, d.w.z. het 0-punt verandert.

Voor 0-punt bij 100% O_2 geldt: $V_o = -3,2$ mV $V_{B,O,O_2} = 8,25$ V
 voor 0-punt bij 100% N_2O geldt: $V_o = +1,2$ mV $V_{B,O,N_2O} = 10,109$ V.

V_{B,O,O_2} resp. V_{B,O,N_2O} zijn de brugspanningen, gemeten wanneer er O_2 resp. N_2O door de detektor gaat.

Het 0-punt is gekorrigeerd door aan te nemen dat dit 0-punt lineair verloopt met de lachgas-koncentratie. De correctie op het 0-punt is dan $0,044 \text{ mV} \times C_{\text{N}_2\text{O}}$, lopende van $-3,2 \text{ mV}$ bij $100\% \text{ O}_2$ tot $+1,2 \text{ mV}$ bij $100\% \text{ N}_2\text{O}$.

In tabel 17 kolom 1 en 2 staan resp. $V_{\text{B},\text{M}}$ en V_{O} genoteerd. Kolom 3 geeft $V_{\text{B},0}$ weer. $V_{\text{B},0}$ wordt verkregen volgens:

$$V_{\text{B},0} = V_{\text{B},\text{M}} - V_{\text{O}} \quad (23)$$

De getallen uit kolom 4 worden verkregen door $V_{\text{B},0}$ te verminderen met $V_{\text{B},0,\text{O}_2}$ ($V_{\text{B},0,\text{O}_2} = 8725 \text{ mV}$). Voor $C_{\text{N}_2\text{O}}$ geldt:

$$C_{\text{N}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{B},0} - V_{\text{B},0,\text{O}_2}}{V_{\text{B},0,\text{N}_2\text{O}} - V_{\text{B},0,\text{O}_2}} \cdot 100\% \quad (25)$$

waarbij $V_{\text{B},0,\text{N}_2\text{O}} = 10.109 \text{ mV}$

$V_{\text{B},0,\text{O}_2} = 8.725 \text{ mV}$.

De berekende $C_{\text{N}_2\text{O}}$ staan genoteerd in kolom 5.

$V_{\text{B},\text{M}}$	V_{O}	$V_{\text{B},\text{M}} - V_{\text{O}} =$ $V_{\text{B},0}$	$V_{\text{B},\text{M}} - V_{\text{O}} -$ $V_{\text{B},0,\text{O}_2}$	$C_{\text{N}_2\text{O}}$	V_{O}^*	$V_{\text{B},0}^*$	$V_{\text{B},\text{M}} - V_{\text{O}}^* -$ $V_{\text{B},0,\text{O}_2}$	$C_{\text{N}_2\text{O}}^*$
8813	87,7	8725	0	0	90,9	8721	0	0
8916	84,6	8831	106	7,6	87,5	8828	107	7,7
9065	80,5	8984½	260	18,7	82,9	8982	261	18,8
9135	79,0	9056	331	23,9	81,3	9054	332	24,0
9241	75,8	9165	440	31,6	77,6	9163	442	31,8
9342	72,0	9270	545	39,2	73,5	9268	547	39,4
9460	68,5	9315½	666	48,0	69,6	9390	669	48,1
9540	66,3	9474	749	53,9	67,1	9473	752	54,2
9683	61,0	9622	897	64,6	61,4	9622	901	64,8
9783	56,8	9726	1001	72,0	56,8	9726	1005	72,4
9882	52,9	9829	1104	79,6	52,6	9829	1108	79,8
9983	48,6	9934	1209	87,0	48,0	9935	1214	87,5
10050	47,8	10002	1277	91,8	47,0	10003	1282	92,4
10152	43,0	10109	1384	100	41,8	10110	1380	100

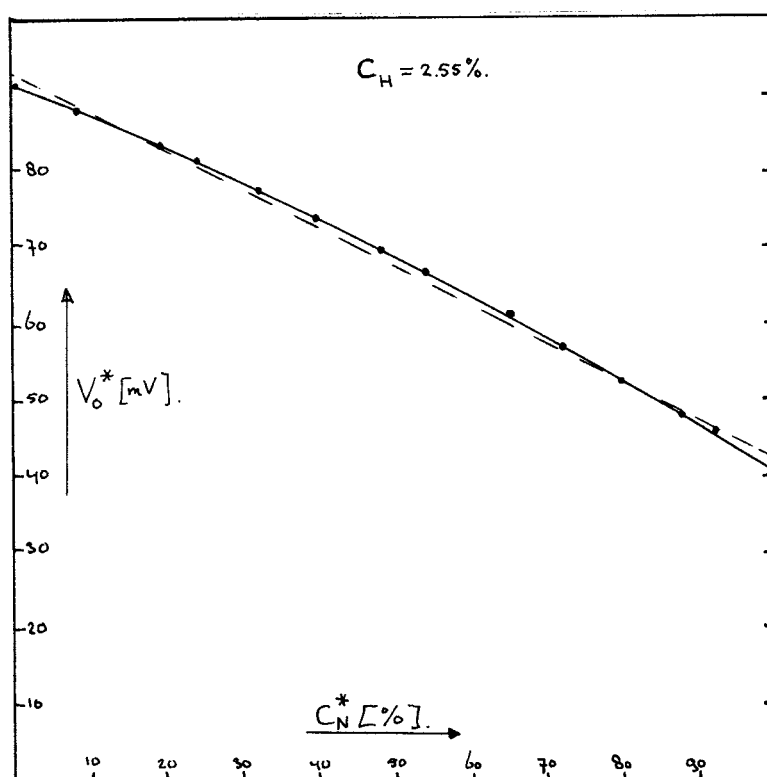
Tabel 17

Met behulp van C_{N_2O} worden de waarden van V_o in kolom 2 gekorrigeerd tot V_o^* (kolom 6), waarbij voor V_o^* geldt :

$$V_o^* = V_o + 3,2 - C_{N_2O} \cdot 0,044 \text{ mV} \quad (65)$$

Nadat aldus V_o gekorrigeerd is tot V_o^* , kan de gekorrigeerde waarde van $V_{B,0}$ ($V_{B,0}^*$) worden bepaald (kolom 7). Invullen van $V_{B,0}^*$ in vergelijking (25) levert $C_{N_2O}^*$, de gekorrigeerde waarde voor de lachgaskonsentratie (kolom 9).

In figuur 43 staan uitgezet de waarden van V_o^* tegen $C_{N_2O}^*$ (tabel 17, kolom 6 en 9).



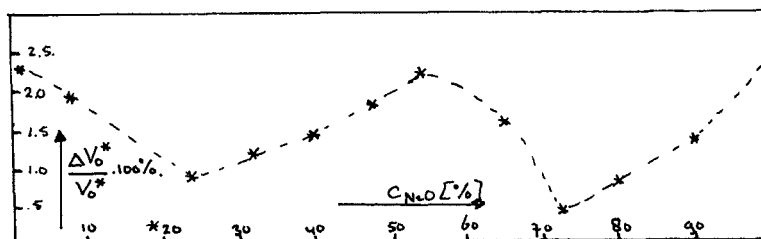
Figuur 43 : Uitgangsspanning V_o^* als functie van de lachgaskonsentratie $C_{N_2O}^*$, wanneer $C_H = 2,55\%$.

Voor $C_H = 2,55\%$ geldt :

$$V_o^* = 92,4 - 0,494 C_{N_2O}^* \quad (66)$$

Hierbij is de kromme van figuur 43 benaderd door een rechte, waarmee we een kleine fout introduceren.

In figuur 44 is uitgezet $\Delta V_o^x / V_o^x$ bij verschillende C_{N_2O} .



Figuur 44 : $\Delta V_o^x / V_o^x$ bij verschillende C_{N_2O} .

ΔV_o^x is gelijk aan de gemeten V_o^x - de berekende V_o^x (volgens vgl. 65). Hieruit zien we dat $\Delta V_o^x / V_o^x < 2,5\%$, hetgeen een geïntroduceerde onnauwkeurigheid betekent in de concentratiebepaling, doch welke echter kleiner is dan de maximaal toegestane 5%.

Voor een willekeurige halothaan-koncentratie C_H geldt dan:

$$V_o^x = C_H (36,2 - 0,194 C_{N_2O}^x) \quad (67)$$

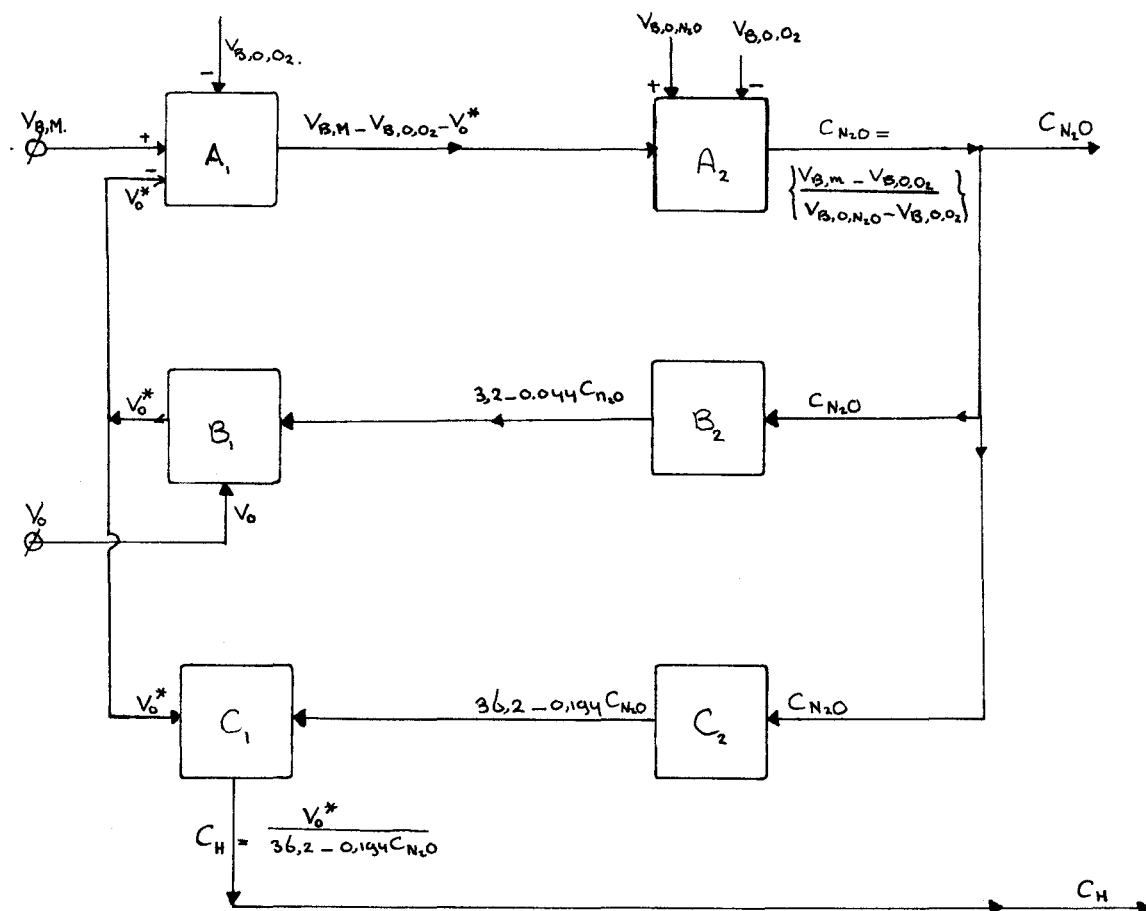
$$\text{of } C_H = \frac{V_o^x}{36,2 - 0,194 C_{N_2O}^x} \quad (68)$$

met een relatieve fout kleiner dan 3%.

Met de gevonden vergelijkingen (25) en (68) is het dus mogelijk, door zowel de uitgangsspanning V_o te meten als ook de totale brugspanning $V_{B,M}$, niet alleen de halothaan concentraties in lachgas-zuurstof mengsels te bepalen, maar ook de verhouding van het lachgas-zuurstof mengsel.

In figuur 45 is een blokschema getekend volgens welke een elektronische schakeling gebouwd kan worden. Met een dergelijke schakeling kunnen C_{N_2O} en C_H direkt in % digitaal uitgelezen worden, wanneer de spanningen welke C_{N_2O} en C_H bepalen met een geschikt gekozen faktor versterkt worden.

De bewerkingen gaan volgens vgl. (25) voor de lachgas-koncentratie (A_1, A_2), volgens vgl.(65) voor de correctie op het 0-punt (B_1, B_2) en volgens vgl. (68) voor de halothaan-koncentratie (C_1, C_2).



Figuur 45 : blokschema

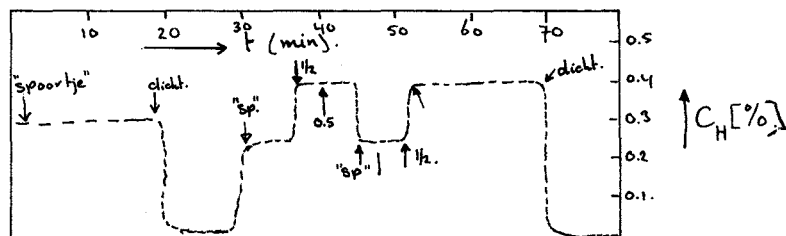
Volgens dit schema is door de heer Van der Steen een schakeling gebouwd. Met deze schakeling, aangesloten op de detector, zijn metingen verricht in het St. Anna Ziekenhuis (hoofdstuk 8).

8. Metingen tijdens operaties.

In het St. Anna Ziekenhuis te Geldrop zijn met de detektor metingen verricht tijdens operaties. De detektor was opgenomen in het narcosecircuit. Het N_2O/O_2 mengsel werd, voordat het de verdamper inging, door het referentiekanaal geleid en nà de verdamper door het meetkanaal, analoog aan de opstelling uit figuur 42. Het gebruikte type verdamper was de Fluotec MK II.

Bij de eerste meting geschiedde de narcose m.b.v. kunstmatige beademing in een gesloten circuit. De verdamper was overeenkomstig figuur 1 buiten dit circuit geplaatst. De flowmeters waren ingesteld op 3 l N_2O , en 1 l O_2 per minuut. De met de detektor gemeten N_2O concentratie bedroeg 73%.

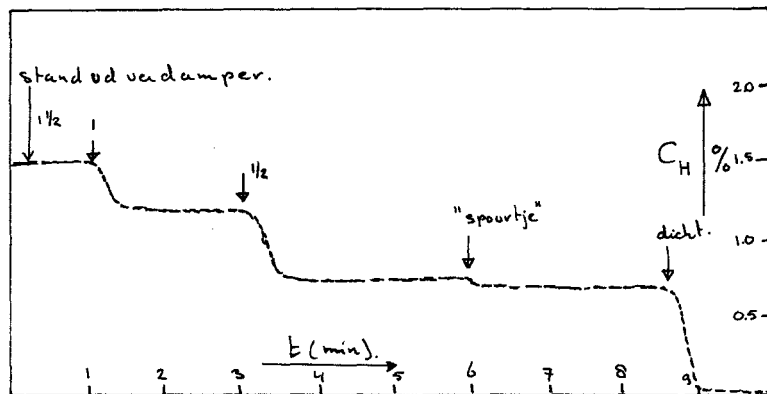
In figuur 46 is het verloop van de gemeten halothaan-konzentratie uitgezet als functie van de tijd.



Figuur 46

De tweede meting werd verricht bij een narcose welke plaatsvond via een open circuit. De patient ademde spontaan. De instelling van de flowmeters bedroeg 5 l N_2O en 2,2 l O_2 per minuut. De met de detektor gemeten N_2O concentratie bedroeg 64%.

In figuur 47 is het verloop van de gemeten halotaan-
konzentratie als functie van de tijd weergegeven.



Figuur 47

9. Samenvatting.

Tijdens het afstudeerwerk is de mogelijkheid onderzocht om met behulp van een warmtegeleidbaarheidscel (Katharometer) halothaan-konsentraties in lachgas-zuurstof mengsels te meten.

Als resultaat is een detektor tot stand gekomen waarmee :

- a) de halothaan-konsentratie in een zuurstof-lachgas mengsel kan worden bepaald (relatieve fout 3%),
- b) de samenstelling van dat lachgas-zuurstof mengsel kan worden bepaald (relatieve fout 0,5%).

De responsietijd van de detektor bedraagt bij een totaal flow van 8 l/min. ongeveer 22 seconden.

De detektor kan in het narcose-circuit worden opgenomen door het referentiekanaal vóór de verdamper en het meetkanaal ná de verdamper te schakelen. Hierbij kan het narcose-circuit zowel een gesloten als een open circuit zijn, mits de verdamper buiten het circuit geplaatst is.

Wanneer één gas als draaggas gebruikt wordt, kan met behulp van de detektor eenvoudig en met grote nauwkeurigheid een verdamper geijkt worden.

10. Litteratuur.

- L.1 Schreiber, P.
Anaesthesia Equipment.
- L.2 Weyer, v.d. W.F.
Afstudeerverslag afdeling T, T.H. Eindhoven.
- L.3 Burm, A.G.L.
Afstudeerverslag afdeling T, T.H. Eindhoven.
- L.4 Hoechst B.V.
Safe anaesthesia with halothane (brochure).
- L.5 Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C.
Conduction of heat in solids.
- L.6 Curtis, C.F. e.a.
Molecular theory of gases and liquids.
- L.7 Dijkema, K.M. en Stouthart, J.C.
Het warmtegeleidingsvermogen van N_2-O_2 mengsels.
Rapport T.H. Eindhoven NH 69 D1.
- L.8 Littlewood, A.B.
Gaschromatography.
- L.9 Touloukian, Y.S. e.a.
Thermophysical properties of matter.
Vol. 3: Thermal conductivity of gases.
- L.10 Keulemans, A.I.M.
Gaschromatography.
- L.11 Gijsbers, G.
Stageverslag afdeling N, T.H. Eindhoven.

- L.12 Gow Mac
 Service Bulletins.
- L.13 Lawson, A.E. and Miller, J.M.
 Thermal conductivity detectors in gaschromatography.
 Journal of Gas Chromatography, August 1966, 273.
- L.14 Bird, R.B.; Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N.
 Transport phenomena.
- L.15 Snowden, F.C. and Eanes, R.D.
 Ann. N.Y. Acad. Sci. 72, 764 (1959).
- L.16 Frey, R. e.a.
 Lehrbuch der Anaesthesiologie und Wiedererlebung.
- L.17 MacIntosh, R. e.a.
 Physics for the anaesthetist.
- L.18 Scurr, C. en Feldman, S.
 Scientific foundations of anaesthesia.
- L.19 Sykes, M. and Vickers, M.
 Principles of measurements for anaesthetists.
- L.20 Handbook of chemistry and physics.
- L.21 Jessop, G.
 Katharometers.
 J. Sci. Instrum. 1966 vol. 43, 777
- L.22 Schmauch, L.J.
 Response time and flow sensitivity of detectors
 for gas chromatography.
 J. Gas Chrom. vol. 31 no. 2 Febr. 1959, 225.
- L.23 Lewis, J.J. e.a.
 Malfunction of Vaporizers.
 Anaesthesiology vol. 27 no. 3, 325.
- L.24 Zwaga, B.J.
 Afstudeerverslag afdeling N, T.H. Eindhoven.