



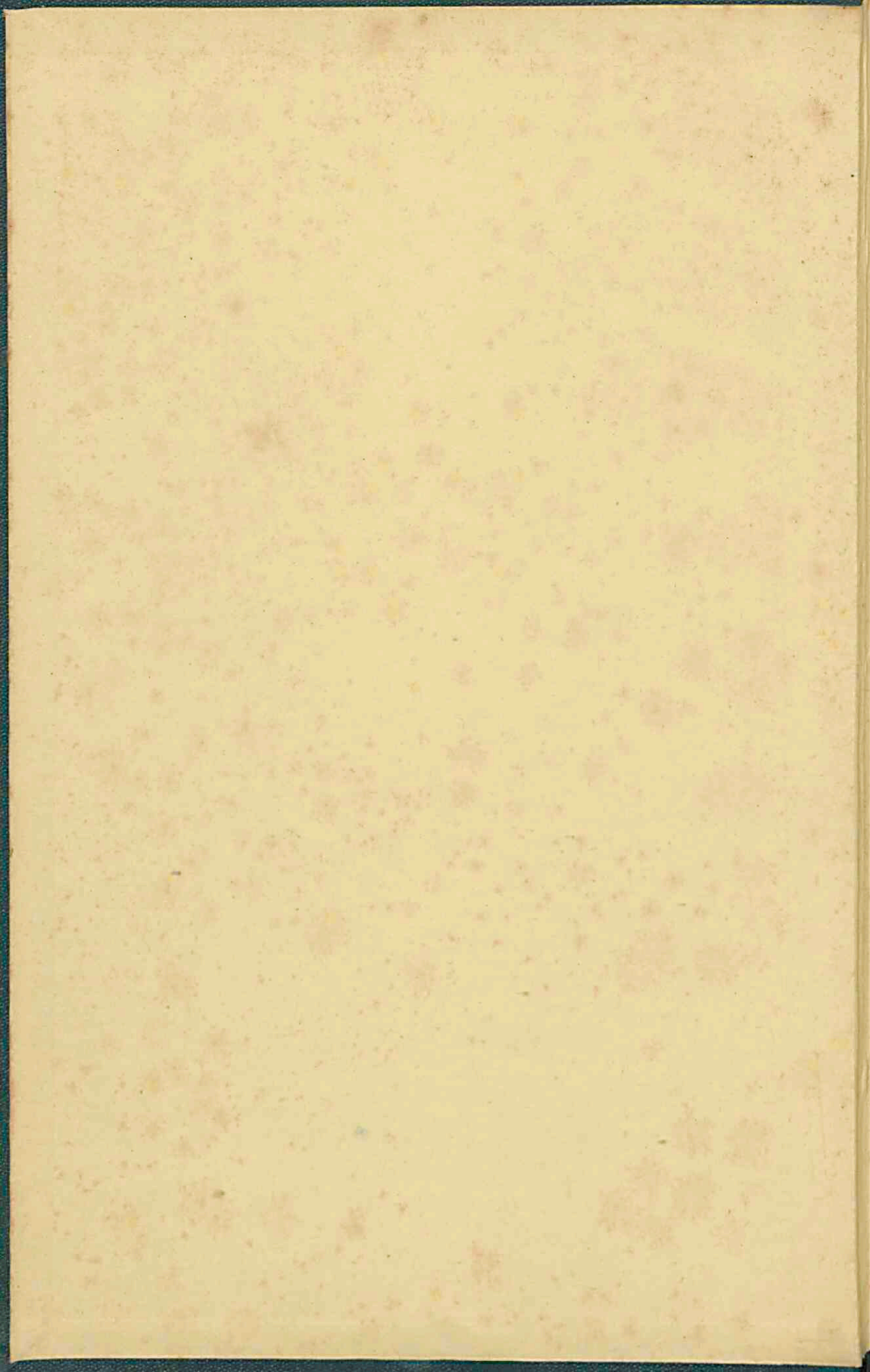
Over de verhouding tusschen de opgenomen zuurstof en het uitgescheiden koolzuur bij de zoogdieren

<https://hdl.handle.net/1874/250830>

1875.

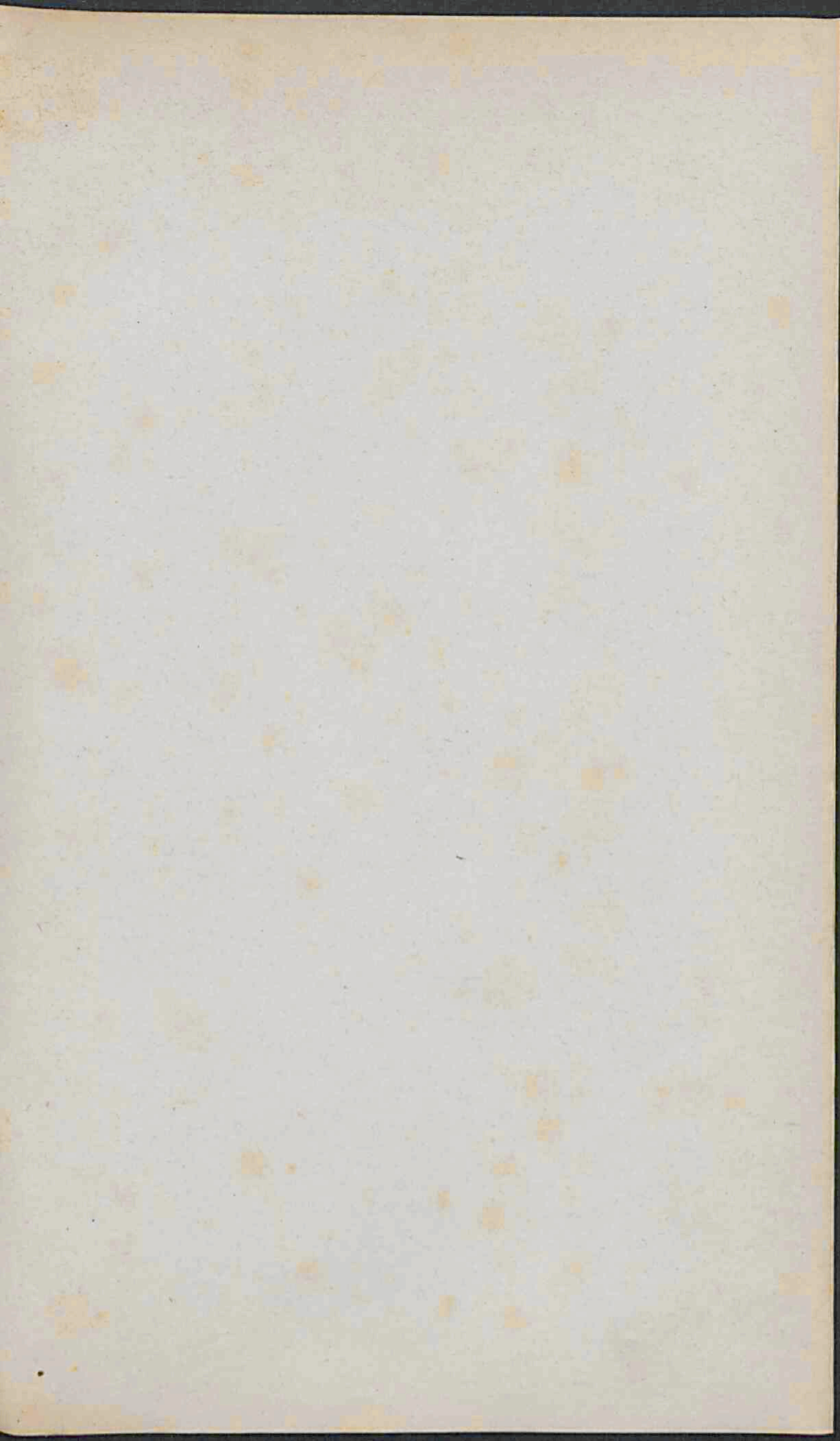


u.
2



Amicisimo H. C. Kuhn

J. van Gans.



OVER DE VERHOUDING

TUSSEN

DE OPGENOMEN ZUURSTOF EN HET UITGE-
SCHEIDEN KOOLZUUR BIJ DE ZOOGDIEREN.

OVER DE VERHOUDING
TUSSCHEN
DE OPGENOMEN ZUURSTOF EN HET UITGE-
SCHEIDEN KOOLZUUR BIJ DE ZOOGDIEREN.

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT,
NA MACHTIGING VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS
M^r. H. P. G. QUACK,
GEWOON HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID
MET TOESTEMMING VAN DEN ACADEMISCHEN SENAAT
EN
VOLGENS BESLUIT DER GENEESKUNDIGE FACULTEIT
TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN
DOCTOR IN DE GENEESKUNDE;
AAN DE HOOGESCHOOL TE UTRECHT,
TE VERDEDIGEN

Maandag, den 15 Februari 1875, des namiddags te 6 ure,

DOOR

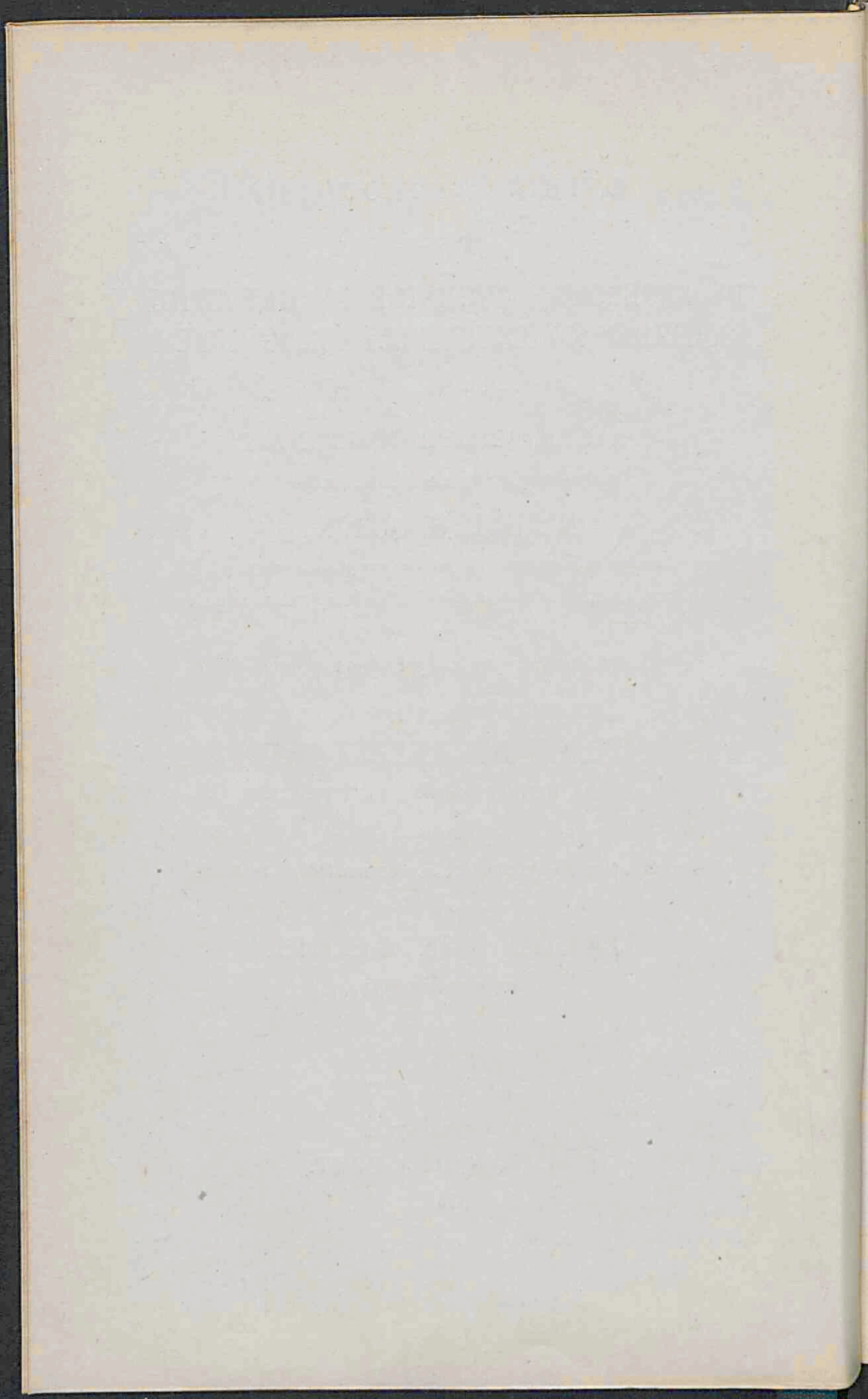
JAKOB VAN GEUNS,

GEBOREN TE AMSTERDAM.

AMSTERDAM,
C. G. VAN DER POST.

1875.

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.



Aan mijn Vader

OPGEDRAGEN.

INLEIDING.

Het was reeds den allereersten onderzoekers van de respiratieproducten bekend, dat de verbruikte hoeveelheid zuurstof en de geproduceerde hoeveelheid koolzuur niet constant zijn, maar afhankelijk van allerhande invloeden. Reeds LAVOISIER merkte op, dat de temperatuur, spierinspanning, de toestand der digestieorganen verandering in de ademhalingsproducten veroorzaken. Een grootere productie van koolzuur deed natuurlijk een grootere hoeveelheid opgenomen zuurstof onderstellen. Geschikte methoden voor onderzoek ontbraken nog, en de directe bepaling van de ingeademde zuurstof werd niet verricht. Men stelde zich aanvankelijk tevreden met de quantitatieve bepaling van het uitgeademde koolzuur.

Te recht had LAVOISIER het leven der dieren met een verbrandingsproces vergeleken, maar omtrent het eigenlijke proces der gaswisseling ontbrak nog de juiste voorstelling. Men dacht, dat het koolzuur in de longen door onmiddellijke verbranding van oxydabele stoffen in de opgenomen zuurstof geleverd werd. De verschillen tusschen arterieel en veneus bloed waren niet doorgrond, en onbe-

kend was het, dat uit beide zoowel koolzuur als zuurstof kunnen verkregen worden.

Veranderingen in de quantiteit van het uitgeademde koolzuur moesten dus, volgens de toenmalige opvatting, altijd met onmiddellijke verandering in de opgenomen hoeveelheid zuurstof gepaard gaan.

Allengs ontwikkelde zich echter de kennis der gaswisseling, waartoe door MAGNUS de eerste krachtige stoot gegeven was. Al werd zijn mechanische ademhalingstheorie door een juistere vervangen, toch had men geleerd, dat in het bloed altijd een wisselende hoeveelheid zuurstof voorhanden is, en dat het koolzuur, door de stofwisseling in alle organen en weefsels gevormd, aan het bloed wordt afgestaan, om in de long daaruit te ontwijken. Opnemen van zuurstof en uitscheiden van koolzuur bleken dus niet in onmiddellijk verband met elkander te staan. VALENTIN en BRUNNER trachtten, wel is waar, nog aan te toonen, dat de diffusiewet van GRAHAM de wisseling der gassen in de long beheerscht, doch deze voorstelling, geheel in strijd met een juist begrip der stofwisseling, werd door DONDEES en LUDWIG weldra weerlegd, en de eerste toonde aan, dat de proeven van VALENTIN en BRUNNER zelven geenszins tot zoodanig besluit rechtigden. De aard van het voedsel is het, die de hoeveelheid van het koolzuur en daarmee ook indirect de quantiteit der zuurstof bepaalt. Uit de proeven van DULONG en DESPRETZ was reeds gebleken, dat bij herbivoren de hoeveelheid dier gassen nauwelijks verschilt, terwijl de carnivoren veel meer O opnemen dan zij aan

CO₂ afgeven. Bij dezelfde dieren zal onder gelijke voeding natuurlijk een ruimere productie van koolzuur meer zuurstof vereischen; maar daaruit volgt niet, dat die ruimere productie onmiddellijk met het opnemen van meer zuurstof moet gepaard gaan. Wil men de juiste verhouding der ademhalingsgassen leeren kennen, dan is het noodig voor bepaalde tijden de hoeveelheid uitgetreden koolzuur niet alleen, maar ook die van de opgenomen zuurstof experimenteel te bepalen.

Niet slechts door DULONG ¹⁾ en DESPRETZ ²⁾ maar ook door VALENTIN en BRUNNER werd dit reeds beproefd, maar eerst in den laatsten tijd zijn zoodanige proeven met de vereischte nauwkeurigheid verricht. Proeven van REGNAULT en REISET, en die van PETTENKOFER en VOIT, naar een verschillend beginsel, maar beiden met groote omzichtigheid uitgevoerd, hebben het eerst de juiste verhouding aan het licht gebracht. Het bezwaar, aan deze proefnemingen verbonden, is niet gering. Eensdeels, omdat de nauwkeurige bepaling der gassen groote moeilijkheden oplevert, en ten anderen, omdat de ademhaling van het dier door de proefneming licht wordt gestoord. Het onderzoek van REGNAULT en REISET leerde ons voornamelijk kennen de verhouding van de absolute hoeveelheden der ademhalingsgassen over een langer tijdsverloop in verband met den aard van het dier en het opgenomen voedsel. De proeven van PETTENKOFER en VOIT gaven buitendien eenig licht over de tijdelijke verhouding van

¹⁾ Ueber thier. Wärme. Bull. de la Soc. méd. Schweigg. J. 38.

²⁾ Rech. experim. s. l. causes de la chaleur animale. Ann. de Chimie 26.

de hoeveelheden dier gassen. Daarbij bleek, dat die verhouding geen constante is, maar hoofdzakelijk afhangt van den toestand van digestie en van het verrichten van arbeid. Het scheen aanvankelijk, dat gedurende den slaap in het algemeen veel meer zuurstof werd opgenomen dan aan koolzuur uitgescheiden werd. De zuurstof zou dus in het lichaam worden opgehoopt, om later te worden verbruikt. Wel zag men spoedig, dat dit verschijnsel veeleer met de spijsvertering samenhangt, maar in elk geval was met zekerheid gebleken, — al was dit verschijnsel nu ook niet aan den toestand van slapen of waken gebonden — dat tijdelijke ophooping van zuurstof in het lichaam mogelijk is. PETTENKOFER en VOIT onderzochten echter slechts de verschillen in de verhouding van de opgenomen zuurstof en het uitgescheiden koolzuur, voor een grooter tijdsverloop, telkens van 12 uren.

Het scheen mij niet van belang ontbloot, die verhouding over kleinere tijdsruimten nauwkeurig te onderzoeken. In verband met de periodieke schommelingen, die polsfrequentie en lichaamstemperatuur vertoonen, mag het niet onwaarschijnlijk heeten, dat die verhouding ook onafhankelijk van het opnemen van voedsel en van spierinspanning bepaalde schommelingen vertoont.

Reeds lang voor de proeven der genoemde onderzoekers had men getracht het koolzuur te bepalen, dat op verschillende tijden van den dag wordt uitgeademd, en inderdaad werd voornamelijk door VIERORDT gevonden, dat de hoeveelheid daarvan in den loop van elk etmaal periodiek wisselt.

Het is de vraag, of en in hoeverre daaraan schommelingen in de opgenomen hoeveelheid zuurstof beantwoorden. Dit onderzoek, waarbij vele bronnen van dwaling moeten worden vermeden, en waarvoor gecompliceerde toestellen noodig zijn, vereischt, indien men de gewenschte nauwkeurigheid wil bereiken, veel inspanning en tijd. Het aantal mijner proefnemingen is daarom niet zeer groot. Daar ik echter zorg droeg, mij van de juistheid der methode te vergewissen, meen ik, dat mijne proeven vertrouwen verdienen. In verband met dit onderwerp, zijn natuurlijk ook de oudere bepalingen van het uitgeademde koolzuur op verschillende tijden van den dag, al werd daarbij ook op de ingeademde zuurstof geen acht geslagen, niet van belang ontbloot. Ik meen daarom van deze onderzoekingen een kort historisch overzicht te moeten geven.

I.

- De eerste, naar ik meen, die bepaalde wetten over de grootte der CO_2 productie op verschillende gedeelten van den dag trachtte te vinden, is PROUT ¹⁾. De methode, die hij aanwendde, is zeker volstrekt niet nauwkeurig te noemen, maar toch verdienen de resultaten, waartoe hij kwam, er een oogenblik de aandacht aan te wijden. PROUT gebruikte een blaas, voorzien van een metalen aanzetstuk, waarin de lucht van zes ademhalingen werd opgevangen. De aldus gevulde blaas werd aan een met water gevulde, gecalibreerde buis bevestigd. Door het water uit te laten vloeien, werd de lucht in de buis gebracht. Wanneer nu het CO_2 door natronloog werd geabsorbeerd, liet zich uit de vergelijking van de volumina vóór en na de absorbtie de hoeveelheid CO_2 bepalen.

PROUT meende te kunnen aannemen, dat door het water 1 % van het koolzuur werd opgenomen, en telde dit dus

1) Annals of Philosophy. 1813. pag. 328.

bij het gevondene koolzuur. Dat de ademhalingen niet normaal waren, erkent PROUT zelf: zij waren dieper en langzamer. Dat de resultaten bij dergelijke omstandigheden geen aanspraak mogen maken op groote nauwkeurigheid, spreekt wel van zelf.

Nadat PROUT zich gewend had aan een zeer regelmatige levenswijze, deed hij op verschillende tijden van dag en nacht proeven op zich zelf: hoe die levenswijze was ingericht wordt niet opgegeven. Uit tal van proeven komt PROUT tot het besluit, dat de hoeveelheid gevormd koolzuur, en dus ook van verbruikte zuurstof, bij de ademhaling altijd het grootste is op een en hetzelfde gedeelte van den dag. Het maximum valt tusschen 10 a.m. en 2 p.m. of gewoonlijk tusschen 11 a.m. en 1 p.m. Het minimum begint te 8 u. 30 p.m. en blijft ongeveer constant tot 3 u. 30 a.m. Het maximum wordt dus waargenomen, als de zon het hoogste punt aan den hemel heeft bereikt, en dit vindt PROUT ook natuurlijk omdat alle levensprocessen dan hun meeste energie vertoonen. Het blijkt echter, dat PROUT zijn middagmaal op het midden van den dag gebruikte en hoewel het hem wel bekend was, dat het gebruik van voedsel invloed op de CO_2 productie had, schijnt hij te meenen dien te kunnen uitsluiten, door zijn maal zeer eenvoudig in te richten.

Korten tijd daarop verschenen belangrijke onderzoekingen van DULONG en die van DESPRETZ, waarop ik in de inleiding reeds gewezen heb. Hoe gewichtig de door hen verkregen resultaten ook zijn, is het niet noodig in eene uitvoerige bespreking van hunnen arbeid te treden.

Deze proeven toch leeren niets aangaande de vragen, die ik trachtte te beantwoorden.

SCHARLING ¹⁾ was de eerste, die op de gedachte kwam een mensch in een afgesloten ruimte te plaatsen, waardoor koolzuurvrije lucht gevoerd werd, terwijl het koolzuurgehalte van de uitstroomende lucht bepaald werd. Hij ging daarbij als volgt te werk: in een houten kast, van 1 kubiekmeter inhoud, voorzien van een glazen ruit, trad de persoon, die voor de proefneming moest dienen, door een daarin gebracht luik. Alle randen en spleten werden met groote zorgvuldigheid gesloten. Door een olie-manometer overtuigde men zich van de voldoende sluiting, bij positieve en negatieve drukking. De lucht werd uit de kamer verwijderd door twee luchtpompen, later door een aspirator, die de lucht zogen door zwavelzuur en kali-apparaten, waardoor de lucht gedroogd en daarna van het koolzuur ontdaan werd. Door weging werd dan dit laatste gevonden. De lucht kwam in de kamer door een LIEBIG's kali-apparaat, zoodat de toegevoerde lucht koolzuurvrij was. Aan het begin en einde van de proef werd een gedeelte der lucht in de kamer in absorbtiebuizen opgevangen en daarvan het koolzuurgehalte bepaald. Elke proef duurde gewoonlijk van 30—45 min., soms langer dan een uur.

Het is zeer te betreuren, dat deze proeven, die zooveel moeite gekost hebben, niet geheel en al juiste resultaten kunnen gegeven hebben.

1) Versuche über d Quantität der von einem Menschen ausgeathmeten Kohlensäure, Wöhler u. Liebig's Ann. der Chemie u. Pharm. 1843.

De reden, waarom de proeven niet langer achtereen konden duren, was, dat de ventilatie niet sterk genoeg was, om CO_2 ophooping te voorkomen. Reeds gedurende het sluiten van den toestel, waarbij niet kon worden ge-ventileerd, steeg het CO_2 -gehalte aanmerkelijk, zoodat men bij het begin der eigenlijke proef van 0.55 % tot 5 % bij het einde van 1.25 %—5.75 % CO_2 vond. Ongelukkig schijnt SCHARLING zich er niet van overtuigd te hebben, (het blijkt althans nergens uit) dat de toegevoerde lucht werkelijk koolzuurvrij was. Een enkel LIEBIG's kali-apparaat, dat, volgens de teekening, klein was, schijnt mij daartoe niet voldoende te zijn. Evenmin vind ik eene aanduiding, dat SCHARLING er aan gedacht heeft, dat ook koolzuur opgelost kan worden in het water, dat zich zeker niet in onbelangrijke hoeveelheid aan de wanden afzette. Ook tegen de door SCHARLING medegedeelde cijfers heb ik groot bezwaar. Op pag. 232 geeft hij de hoeveelheden CO_2 aan, die door elk dergenen, die voor zijne proeven gediend hebben, per 24 uren worden uitgedemd. Evenals alle gewichten bij hem, zijn ook deze in Deensche »Loth» en »Gran» uitgedrukt, maar buitendien tot grammen gereduceerd. Blijkbaar zijn daarbij fouten ingeslopen ¹⁾. Hoe SCHARLING nu uit zijn gegevens berekend heeft, hoeveel elk individu per 24 uur aan koolzuur

1) De verdeling en reductie van het Deensche gewicht, volgens GEHLER's Phys. Wörterbuch geeft geheel andere getallen als SCHARLING mededeelt. Ik wilde daarom de verhouding berekenen uit de gegeven cijfers, welke de volgende zijn:

Door de verschillende personen wordt gedurende 24 uur uitgedemd:

produceert, is mij een raadsel, en ik geloof dan ook, dat het niet overbodig geweest ware, als hij zijne berekening daarbij gevoegd had.

Buitendien is het zeker bedenkelijk, uit de koolzuurhoeveelheden, gevonden voor korten tijd, de geheele quantiteit voor 24 uur te berekenen. Ook nog om een andere reden hebben SCHARLING's cijfers weinig beteekenis. Ongeveer de helft der proeven toch zijn gedaan, wanneer de personen pas het een of ander gebruikt hadden, dan koffij en brood, dan koffij en brandewijn, dan middageten, enz.

Met voldoende zekerheid blijkt echter toch uit SCHARLING's proeven, dat de CO_2 -productie gedurende den slaap geringer is, dan gedurende het waken. Een verdere beschouwing van de cijfers komt mij echter overbodig voor, daar er zoovele omstandigheden bij in aanmerking

I.	14	Loth	171	Gran	=	219.47	gram.
II.	15	"	1	"	=	224.37	"
III.	16	"	17	"	=	239.714	"
IV.	11	"	29	"	=	165.877	"
V.	8	"	222	"	=	133.126	"
VI.	5	"	92	"	=	125.42	"

Nu blijkt al dadelijk, dat de reductie of de opgave van No. VI foutief moet zijn. Vermenigvuldigen wij toch de getallen met twee, dan zou 10 Loth 184 grn. 250.84 grm. zijn, terwijl uit al de andere reducties blijkt, dat 250 grm. meer dan 16 Loth moet zijn. Uit de overige opgaven blijkt, dat 1 Loth = 250 Gran, en 1 Gran. = 0.0598 grm. moet zijn. Daarmede komen nu de 5 eerste reducties ongeveer, hoewel niet nauwkeurig, uit (No. I = 219.52 grm. enz.), terwijl No. II dan moet zijn of 80.25 grm. of, wat waarschijnlijker is, 8 Loth 97 Gran.

dienen genomen te worden, wier invloed zich uit de gegevens niet laat bepalen.

De omstreeks denzelfden tijd verrichte proeven van ANDRAL en GAVARRET ¹⁾ vallen buiten den kring mijner beschouwing, daar deze zich uitsluitend ten doel stelden, den invloed van leeftijd, geslacht en constitutie te bepalen. Zij verrichtten, ten einde zooveel mogelijk tot onderling vergelijkbare cijfers te komen, hunne proeven onder dezelfde omstandigheden en op hetzelfde gedeelte van den dag.

Een meer afzonderlijke bespreking vorderen echter de proeven van VIERORDT, ²⁾ die te recht zooveel genoemd worden. Zijne methode was de volgende: hij ademde uit in een glazen ballon, die van boven van een mondstuk was voorzien, van onderen een groote opening had en in water gedompeld was. In den tijd van 1 tot 1½ minuut was de ballon gevuld. Het koolzuurgehalte dier lucht werd bepaald. Gedurende de proef telde VIERORDT zelf het aantal zijner ademhalingen en hij zegt, door veel moeite en oefening het zoover gebracht te hebben, dat hij op zijne ademhaling opmerkzaam is, zonder dat dit er invloed op heeft.

De koolzuurbepaling geschiedde met den »anthrakometer» en is niet van onjuistheden vrij te pleiten. VIERORDT zegt zelf dan ook: »es kommen allerdings Analysen vor, welche offenbar mehr oder minder starke Fehler zeigen»

1) Ann. de Chim. & de Phys. 1843, pag. 129.

2) Physiologie des Athmens. Karlsruhe 1845.

en LUDWIG ¹⁾ merkt op, dat VIERORDT verzuimd heeft, de gasvolumina te brengen op een gelijk of bekend watergehalte, en dat de temperatuurbepaling niet met de vereischte nauwkeurigheid is geschied, zoodat menig cijfer niet vertrouwd kan worden.

Onverklaarbaar is het mij eindelijk, hoe VIERORDT beweren kan, dat door het uitademen in een toestel en wel bij voorover gebogen houding, als men daarbij nog op zijn eigen ademhaling letten moet, aantal en diepte der respiratiën en daarmede ook de gaswisseling niet zouden worden gewijzigd. Ik wil in het midden laten, of hem dit werkelijk gelukt is.

VIERORDT nam zijne proeven tusschen 's morgens 9 en 's avonds 7 uur en merkte daarbij op, dat de CO₂-productie haar hoogste punt bereikt tegen 2 uur en dan weder geregeld daalt. Van 10—11 uur stijgt de productie, maar daalt daarna tot 1 uur. Deze conclusie is getrokken uit de cijfers van een zeer groot aantal proeven, waarvan de gemiddelde waarden zijn genomen. VIERORDT schrijft de stijging en daling geheel en al toe aan de individueele levensverhouding en ontkent natuurlijk alle invloeden, die van zon, maan en sterren uitgaan, als vroegere onderzoekers aannamen. Of nu echter de door hem gevonden klimming en daling de juiste verhouding aangeven, meen ik te moeten betwijfelen. Men kan geen oordeel vellen over de CO₂-productie van één uur, door slechts de lucht te verzamelen, die gedurende 1½ minuut

1) Lehrbuch der Physiologie.

wordt uitgeademd. Alles of een bepaald bekend gedeelte moet opgevangen en de aldus verkregen cijfers moeten met elkander vergeleken worden.

Om deze reden hebben de proeven van VALENTIN en BRUNNER ¹⁾, wier arbeid twee jaren te voren verschenen was, volgens mijne meening ten opzichte van de hoeveelheden koolzuur, op verschillende tijden van den dag uitgeademd, weinig waarde. Afwijkend van de twee laatstgenoemde onderzoekers zochten zij trouwens ook de verbruikte hoeveelheid zuurstof te bepalen. Slechts in een klein gedeelte hunner proeven werden de absolute hoeveelheden bepaald: in verreweg het grootste gedeelte alleen de verhouding tusschen geproduceerd koolzuur en verbruikte zuurstof. Zooals ik reeds in de inleiding zeide, stelden zij zich voor, dat de gaswisseling afhankelijk is van de diffusiewet van GRAHAM en maakten zij hunne berekening met het doel, om de juistheid dier opvatting aan te toonen. Voor ons doel zijn daarom die proeven van minder gewicht.

Dit laatste geldt ook van de andere onderzoekingen, die over ademhalingsproducten gedaan zijn en die ik met stilzwijgen voorbij gegaan ben. Het mag dus overbodig heeten ze hier te vermelden, en zoo bespreek ik dan ook niet de beroemde proeven van REGNAULT en REISSET, daar deze zich over een lang tijdsverloop uitstrekten.

Er blijft mij dus slechts over enkele resultaten, door PETTENKOFER en VOIT verkregen, te bespreken, die in verband met het hier behandelde onderwerp staan.

1) Roser u. Wunderlich's Archiv f. phys. Heilk. 1843 en Valentin's Lehrbuch der Physiologie.

De proeven van PETTENKOPF en VOIT, ¹⁾ genomen over het stofverbruik van den normalen mensch, duurden meest 24 uren, een enkele maal 36 uren, maar werden steeds verdeeld in afzonderlijke waarnemingen, elk van 12 uur, die steeds duurden van 6 uur tot 6 uur. Binnen de eene periode valt onder normale omstandigheden de tijd van arbeid en voeding, binnen de andere die van slaap en voor zoover er niet geslapen wordt, van rust. De vergelijking der cijfers bracht hen tot merkwaardige resultaten.

De hoeveelheid koolzuur, bij dag geproduceerd, overtreft steeds die van 's nachts. In de proeven zonder arbeid, bij honger en verschillend soort van voedsel, waarbij verschillende absolute hoeveelheden koolzuur geproduceerd worden, is de verhouding van dag tot nacht:

58:42 55:45 57:43.

Wordt het voedsel op beide helften van den dag gelijkmatig verdeeld, dan wordt de verhouding 52:48. Bij het gebruik van voedsel zonder eiwit wordt de verhouding van dag tot nacht als 61:39, maar nog veel aanzienlijker wordt het verschil, wanneer des daags wordt gearbeid. De verhouding wordt dan 78:22 en bij gemiddeld voedsel 69:31 en 73:27.

Opmerkelijk is het, dat de hoeveelheden koolzuur, 's nachts geproduceerd, het hoogste zijn bij voeding, die rijk aan eiwit is: 423 en 442 gram, minder bij gemiddeld voedsel: 379 tot 400, terwijl het ontbreken van

1) Zeitschr. f. Biologie. Bd. II. Hft. IV.

eiwit in het voedsel de koolzuur-productie doet dalen tot 331.

Wanneer er geen voedsel gebruikt wordt, volgt het zuurstofverbruik denzelfden rhythmus als de koolzuur-afgifte. Bij gemiddeld voedsel wordt 's nachts zooveel zuurstof opgenomen, als er over dag afgegeven wordt, en wanneer aan het begin van beide daghelften dezelfde hoeveelheid voedsel gegeven wordt, draait de verhouding van het koolzuur voor dag en nacht (52:48) zich voor het zuurstofverbruik om (47:53). Bij eiwitrijk voedsel wordt er 's nachts zoo weinig zuurstof opgenomen, dat het niet genoeg is voor het geproduceerde koolzuur en dus een gedeelte nog over moet zijn van datgene, wat over dag is opgenomen.

Het is dus bepaald mogelijk, dat zich zuurstof ophoopt, die niet dadelijk verbruikt wordt, hetgeen •bijv. blijkt uit de volgende proef: op de 100 opgenomen deelen zuurstof werden er overdag 218 als koolzuur uitgescheiden, des nachts echter slechts 44. Die zuurstofophooping is echter volstrekt niet gebonden aan dag of nacht, maar van allerlei omstandigheden afhankelijk.

Deze ophooping bleek vooral uit proeven, die HENNEBERG te *Weende* heeft genomen, met een soortgelijk apparaat als door PETTENKOFER en VOIT werd gebruikt. Hij deed zijne proeven over dag en vond, dat de hoeveelheid zuurstof, aanwezig in het uitgescheiden koolzuur, steeds de opgenomen hoeveelheid aanmerkelijk overtreft, — een paar malen meer dan het dubbele bedroeg.

Terwijl nu bij de runderen die zuurstofopzameling des nachts schijnt plaats te hebben, heeft dit bij den mensch

niet alleen des nachts maar onder zekere omstandigheden ook over dag plaats. Hieruit volgt dus, dat het zuurstof-verbruik en de koolzuur-productie van elkander tot op zekere hoogte onafhankelijk zijn, wat den tijd betreft.

Twee wegen zijn gevolgd bij de studie der gaswisseling: men beperkte zich nam. òf tot het onderzoek der uitgedemde lucht, die direct opgevangen werd, òf men bracht het geheele individu in een afgesloten ruimte en droeg zorg het geproduceerde koolzuur steeds te verwijderen en de verbruikte zuurstof door nieuwe te vervangen.

De laatste methode, waarbij alle gasvormige uitscheidingen bepaald worden, levert in de uitvoering aanmerkelijke bezwaren op, vooral wanneer men de proeven wil doen op den mensch. Het groote voordeel is echter, dat de ademhaling niet behoeft belemmerd te worden. De toestellen van SCHARLING en het groote Munchener apparaat zijn tot nu toe de eenige, die daarvoor uitgedacht en in gebruik genomen zijn. SCHARLINGS inrichting en eenige bezwaren daartegen vermeldde ik reeds hierboven, terwijl het wel overbodig mag genoemd worden, PETTENKOFER en VOIT's toestel te beschrijven ¹⁾. Evenmin is het noodig ons bezig te houden met de welbekende inrichting van REGNAULT en REISET ²⁾.

1) De nauwkeurige beschrijving met uitvoerige teekeningen vindt men in de Ann. d. Chem. u. Pharm. II. Suppl. Bd. 1862 en 1863.

2) Ann. d. Chim. et Phys. 3^{me} Serie t. 27. 1849. -

Het zij genoeg te vermelden, dat in hunne proeven de afgesloten ruimte niet door een luchtstroom werd geventileerd, maar de verbruikte zuurstof steeds door zuivere zuurstof vervangen en de geproduceerde hoeveelheid koolzuur door natronloog geabsorbeerd werd.

Zoo ver mij bekend is, zijn deze proeven de eenige van dien aard. Enkele oudere, waarbij het dier geplaatst werd in een ruimte, waarvan de lucht niet ververscht, maar na eenigen tijd onderzocht werd, zal men daarmede toch niet willen vergelijken. Het is duidelijk, dat men langs dien weg alleen leert kennen, hoe zich de gaswisseling onder een dergelijken abnormalen toestand verhoudt

Beperkt men zich tot de eerste der twee genoemde methoden, namelijk tot het onderzoek der uitgeademde lucht, dan komt het er vooral op aan, die lucht op te vangen zonder noemenswaardige belemmering der ademhaling. Door de verschillende onderzoekers werden hiertoe verschillende toestellen gebezigd. Bij dieren werd soms een tracheaal-canule ingebracht of een goed sluitende »Schnauzenkappe'' om mond en neus bevestigd. Bij menschen en dieren werd ook wel een canule in den neus gebracht en de mond gesloten. Doorgaans werden bij proeven op den mensch eenvoudige mondstukken gebruikt, in een enkele reeks van onderzoekingen een masker, dat luchtdicht voor het aangezicht sloot.

De uitgeademde lucht werd opgevangen, of in een blaas (PROUT), of in toestellen naar het principe van den spirometer ingericht, waarbij tot afsluiting water, zoutoplossing of kwik werd gebezigd (ALLEN en PEPYS, VIERORDT,

SPECK, PANUM, ROSENTHAL e. a.). Bij proeven op dieren is het natuurlijk noodig zorg te dragen, dat de uitgeademde lucht steeds in het daarvoor bestemde reservoir worde opgevangen, dat bij de inademing afgesloten moet zijn. Dit wordt bereikt door het gebruik van ventielen, waarvan het een zich bij inademing, het andere bij uitademing opent.

Door MÜLLER werden met dit doel de bekende kwikventielen ingevoerd, die echter steeds bij langeren duur van de proef een hinderlijken weerstand aanbieden, waardoor de krachten van het dier allengs worden uitgeput. Betere ventielen, bestaande uit dunne, elastische, licht bewegelijke vliezen, die aan de lucht, bij zeer gering verschil van drukking, den doortocht versperren of openlaten, en die zeer weinig krachtsinspanning voor hare beweging eischen, werden door SPECK (darmventielen) en door LOVÈN (goudvliesventielen) gebruikt. Ook bij proeven op den mensch werden dergelijke ventielen gebezigd. Waar te gelijker tijd het volumen der ingeademde lucht moet worden bepaald, of waar lucht van een bepaalde samenstelling moet worden ingeademd, kan men het inademingsventiel met een reservoir (een spirometer, bijv.) verbinden, zooals door verschillende onderzoekers is gedaan, (SPECK, MÜLLER, ROSENTHAL, LOVÈN).

VALENTIN en BRUNNER en ook LOSSEN lieten de uitgeademde lucht door een flesch strijken, waaruit de dampkringslucht allengs verdreven werd. De samenstelling van het gasmengsel in de flesch leert dan echter slechts, zooals PANUM terecht opmerkte, de procentische samenstelling van de lucht der laatste uitademingen kennen.

Onder LUDWIGS leiding werden door SCZELKOW, KOWALEWSKY en SANDERS EZN proeven genomen, met behulp van wel is waar zeer ingenieuse, maar tevens zeer samengestelde inrichtingen. Het dier werd hetzij door een T-vormige tracheaal-canule, hetzij door een »Schnauzenkappe" met ventielen, in verbinding gebracht met een afgesloten luchtruimte. Het geproduceerde koolzuur werd aan alkaliën gebonden, terwijl met behulp van een zich zelf regelend klepje telkens zooveel zuurstof uit een afzonderlijk reservoir werd aangevoerd, als door de ademhaling was verbruikt. Daarbij werd door beweging voor gelijkmatige menging en snelle absorptie van het koolzuur gezorgd. Men ziet, dat aan deze proeven het principe, dat door REGNAULT en REISET bij hunne proeven gevolgd werd, ten gronde ligt: het verschil bestaat alleen dáárin, dat niet het geheele dier zich in de afgesloten ruimte bevindt, maar alleen de ademhalingsorganen daarmede verbonden zijn. De groote complicatie der toestellen en de noodzakelijkheid, het dier gedurende de proefneming te bevestigen, maken deze methoden minder geschikt, waar het geldt de normale verhouding der gaswisseling te leeren kennen.

Zooals wij boven zagen, is het gebleken, dat er periodiciteit bestaat in de hoeveelheden koolzuur, geproduceerd gedurende 24 uren. Of ook in het opnemen van zuurstof eenige periodiciteit te erkennen is, werd niet onderzocht. Wij weten slechts uit de proeven van PETTENKOFER en VOIT en van HENNEBERG, dat er groote schommelingen in de opgenomen zuurstof-hoeveelheden

bestaan. De tijd, waarop het voedsel opgenomen wordt en de aard daarvan hebben blijkbaar invloed op de hoeveelheden van beide gassen. De zoo verrassende observatie, dat er een antagonisme tusschen dag en nacht bestaan zou, bevestigde zich niet. Maar om dergelijke schommelingen ook voor het zuurstofverbruik te vinden, als voor de uitscheiding van het koolzuur door VIERORDT werden aangetoond, moet men de tijdsruimte der proeven kleiner nemen, dan door de hierboven genoemde onderzoekers was gedaan. Van dit denkbeeld uitgaande, deed ik de proeven, welker beschrijving volgt, maar die slechts als een eerste stap op dien weg kunnen worden aangemerkt. De gelegenheid daartoe vond ik in het physiologisch laboratorium te Amsterdam, onder leiding en met medewerking van Prof. PLACE, wiens welwillende hulp ik niet genoeg waardeeren kan. Mijn hartelijke dank zij hem zoowel daarvoor toegebracht, als voor de bereidvaardigheid, waarmede hij mij het laboratorium en zijn hulpmiddelen openstelde.

II.

EIGEN ONDERZOEK.

Zooals wij boven zagen, heeft men tusschen twee methoden te kiezen. Volgens de eene had ik slechts de lucht, door mond en neus uitgeademd, op te vangen; volgens de andere moest het dier in een afgesloten ruimte geplaatst en deze ruimte geventileerd worden. De eerste methode kwam mij voor minder bezwaren op te leveren en trok mij vooral daarom aan, omdat het gemakkelijk zoude zijn langs dien weg ook proeven op den mensch te nemen. Het scheen mij buitendien geenszins onmogelijk, gebruik makende van de ondervinding, door andere onderzoekers opgedaan, de proef zoo in te richten, dat de belemmering der ademhaling tot een minimum werd gereduceerd.

In de eerste plaats was een luchtreservoir noodig, groot genoeg om de uitgeademde lucht van eenigszins langeren tijd op te vangen. Daartoe werd gemaakt een groote, zinken spirometer, waarvan de klok 120 liter kon bevatten. Deze moest zich echter zoo gemakkelijk bewegen, dat geen belemmering voor de ademhaling kon ontstaan:

in alle standen moest hij dus in evenwicht zijn. Verschillende inrichtingen zijn daarvoor aangegeven. SPECK had aan zijne spirometers een toestel gemaakt, waardoor het contrepoids lichter werd, naarmate de klok dieper in de vloeistof dompelde, en zwaarder, naarmate de klok meer uit de vloeistof te voorschijn kwam. Een uitvoerige beschrijving te geven van zijne inrichting, komt mij overbodig voor: het zij genoeg te vermelden, dat door de beweging van de klok hefboompjes in beweging gebracht werden, waarop metalen kogels gelegd waren. Deze rolden natuurlijk weg bij schuinschen stand. Het komt mij voor, dat op deze wijze toch niet in iederen stand het gewenschte evenwicht wordt verkregen, terwijl het in beweging brengen der hefboompjes een niet onbelangrijken weerstand moet opleveren. PANUM¹⁾ voerde den draad, waaraan het contrepoids is opgehangen over een excentrisch wiel. De hefboomsarm, die dus bij het dalen en stijgen van de klok korter of langer werd, maakte dat de klok: »möhlichst vollkommen in jeder Stellung compensirt" was.

Deze inrichting zou zeker zijn toegepast, ware het niet, dat m. i. het doel op nog eenvoudiger wijze bereikt kan worden. De klok werd bij den door mij gebruikten spirometer in evenwicht gehouden door drie gewichten, die aan de klok bevestigd zijn door koperen kettingen, loopende over houten schijven, waarvan de diameter 16 ctm. bedraagt. De koperen kettingen zijn zoo gelijkmatig

1) Unters. über die physiol. Wirkungen der comprimierten Luft. Pflügers Archiv, Bd. I.

mogelijk bewerkt en het gewicht zoo genomen, dat de klok steeds in evenwicht is. Staat de klok hoog, dan is slechts een klein gedeelte van de koperen ketting aan de zijde van de klok en strekt het overige, om het contrepoids te verzwaren; is de klok dieper in de vloeistof gedompeld, dan wordt het contrepoids ook lichter. De klok was op deze wijze in alle standen volmaakt geëquilibreerd en de bewegelijkheid liet niets te wenschen over. Een tweede vereischte is, dat de samenstelling van de opgevangen lucht zoo weinig mogelijk veranderd wordt, gedurende het verblijf in de klok. Daar de groote hoeveelheid vloeistof, die tot afsluiting vereischt wordt, het gebruik van kwik onmogelijk maakt, is men wel genoodzaakt een ander afsluitingsmiddel te gebruiken. Geconcentreerde keukensolutie absorbeert zeer weinig gassen, en de hoeveelheid vloeistof werd zoo gering mogelijk genomen.

Ten einde te voorkomen, dat daarvoor meer dan 120 liter zouden noodig zijn, werd een gesloten zinken trommel, iets kleiner dan de klok, op den bodem van den spirometer bevestigd. De klok bewoog zich dus in een sleuf, met zoutsolutie gevuld. De buizen, aan den spirometer aangebracht, zijn zeer wijd (2,5 ctm.), zoodat er ook van die zijde geen vrees behoeft te bestaan voor vermeerdering van den weerstand.

Ik besloot geen gebruik te maken van MÜLLER'sche of kwikventielen, maar van de door LOVÈN aangegevene met goudvlies.

De inrichting van deze ventielen is de volgende: in een rond stuk hout is een ruim gat geboord, zoo

echter, dat er nog een flinke rand over blijft. Over dezen houten ring wordt een vierkant stuk goudvlies, van gom ontdaan en gedurende eenige dagen met glycerine behandeld, zoodanig gelegd, dat het ronde gat geheel bedekt wordt. De vier hoeken worden zoo bevestigd, dat het vlies los over de opening blijft liggen. Blaast men nu aan de tegenovergestelde zijde, dan wordt het vlies opge-licht en het wordt gesloten bij zuigen. Twee dergelijke ventielen, die zich in tegengestelde richting openen, werden bevestigd aan een mondstuk, vervaardigd van caoutchouc, waarvan de vorm zoo gekozen is, dat het gemakkelijk in den mond kan genomen worden, terwijl de lippen daarop volkomen sluiten. Een paar kleinere ventielen werden aan een »Schnauzenkappe'' bevestigd. De uitademingszijde van het ventiel werd door een wijde caoutchoucbuis (1,75 ctm.) met den spirometer verbonden. Deze was nog voorzien van een T-vormige kraan, zoodat men de uitgeademde lucht naar willekeur kon opvangen of laten ontsnappen. Wanneer de spirometer gevuld was, verwijderde ik eerst een gedeelte door drukking op de klok bij geopende kraan, en na sluiting daarvan werd een gedeelte uitgezogen, waarna het koolzuur- en zuurstofgehalte volgens de methode van BUNSEN¹⁾ werden bepaald.

Voor dat ik echter de proeven begon, deed ik een aantal gas-analysen, ten einde de zekerheid te hebben,

1) R. Bunsen, Gasometrische Methoden.

dat ik de resultaten mijner analyses mocht vertrouwen. Ter contrôle deed ik steeds drie analyses van hetzelfde gasmengsel, en stelde mij eerst tevreden, toen ik bij de koolzuur-bepalingen slechts verschillen in de tweede decimaal van het procentgehalte vond, bij de zuurstofbepalingen, toen ik de getallen van BUNSEN voor de luchtanalyses kreeg. Een nauwkeurige zuurstofbepaling te doen leert men veel sneller dan een koolzuurbepaling, en al beweert BUNSEN, dat »sich eine solche Kugel (kalikogel) sechs bis achtmal ein und ausführen lässt, ohne dass an dem zu messenden Gasvolumen eine Veränderung bemerkbar wird," geloof ik, dat in die manipulatie een bron van onnauwkeurigheid moet gezocht worden. SCZELKOW ¹⁾ beweert, dat het niet mogelijk is, nauwkeuriger het koolzuurgehalte van uitgeademde lucht te bepalen, dan met een minimale fout van 0,1 %₀, doorgaans echter van 0,15 %₀—0,18 %₀; maar volgens mijne overtuiging is een grooter nauwkeurigheid wel te bereiken, doch moet dan aan elke analyse ook geruime tijd besteed worden. Doet men de noodige aflezingen voor de gasanalyses, terwijl de buizen in den kwiktrog geplaatst zijn, dan is men zeer afhankelijk van kleine temperatuurverschillen en is genoodzaakt herhaalde malen hetzelfde volumen te bepalen. Ik deed daarom de aflezingen in een waterbak, zooals die ook door LUDWIG wordt gebruikt, en waarin drie buizen tegelijkertijd geplaatst konden worden. Maar om zeker te zijn, dat de buizen en de daarin bevatte lucht

1) Sitz. Ber. d. Kaiserl. Akad. d. Wissensch. zu Wien, Bd. 55. pag. 908.

de temperatuur van het water hadden aangenomen, liet ik ze anderhalf uur in den bak, vóór ik de aflezing verrichtte. Voor iedere koolzuurbepaling zijn twee aflezingen en voor iedere zuurstofbepaling drie noodig, zoodat voor elke analyse veel tijd werd gevorderd.

Het koolzuur door titreeren te bepalen ware veel sneller gegaan, maar de zuurstofbepaling bleef dan toch de groote moeilijkheid.

Voor de eerste proeven, die ik deed, diende een hond. Tot voedsel ontving hij elken morgen 400 gram roggebrood. Geruimen tijd voor het begin der proeven werd hij nu en dan gewogen, en daarbij bleek het, dat zijn lichaamsgewicht met kleine veranderingen constant bleef. Het gewicht gedurende de maand, aan de proeven voorafgaande, laat ik hier volgen: 1 Juni 6,09 kilogr. 4 Juni 6,12, 8 Juni 6,07, 15 Juni 5,94, 18 Juni 5,98, 22 Juni 5,93. Ik had mij voorgesteld de proef één uur te doen duren. Als maximum toch ademde de hond in 40 min. 120 liter lucht uit. Door dus een derde gedeelte van de uitgeademde lucht te laten ontsnappen door de T-vormige kraan, en het overige op te vangen, kon ik voldoende kennis omtrent zijne gaswisseling gedurende die periode verkrijgen.

De onuitvoerbaarheid bleek mij echter weldra, want het was niet mogelijk den hond langer dan hoogstens 15 minuten tamelijk rustig te doen blijven. Hij begon steeds tijdens de proef al jankende pogingen in het werk te stellen, om zich van de hem hinderende »Schnauzenkappe» te ontdoen. Maar zelfs wanneer de hond ook de eerste minuten rus-

tig was, waren toch zijne adembewegingen sterker dan gewoonlijk.

Het was een zeer kalme, leerzame hond, zoodat ik niet kon hopen, dat het mij met een anderen beter zou gelukken.

Tweemaal heb ik van de uitgeademde lucht een koolzuurbepaling gedaan, en vond, toen hij gedurende 40 minuten 112 liter had uitgeademd, daarin 2.822% koolzuur, twee uren later in een volumen van 113.75 liter, gedurende 38 min. uitgeademd, 3.21% CO_2 .

Het kwam mij niet wenschelijk voor, op deze wijze de proeven voort te zetten, te meer daar er ook telkens twijfel ontstond, of de »Schnauzenkappe» wel goed gesloten had, en ik besloot de lucht te onderzoeken, die door mij zelven op verschillende gedeelten van den dag uitgeademd werd. Ik heb mij eerst trachten te oefenen, om zoo normaal mogelijk met het ventiel adem te halen. Dadelijk rijst echter een bezwaar op: gelukt het te ademen, zonder de aandacht er op te vestigen, dan zal men zeker niet alleen door den neus inademen, maar ook, omdat dit gemakkelijker is, door den neus expireeren. Om dit te voorkomen, moet de neus worden gesloten. Dit veroorzaakt echter in alle geval eene onaangename gewaarwording, waardoor de aandacht weder op de ademhaling gevestigd wordt. Zeer terecht zegt dan ook VALENTIN: »Bei allen solchen Apparaten athmet man unwillkürlich etwas stärker als im gewöhnlichen Zustande. Schon das Bewusstsein, dass man seinen Respirationsprocess controlire, erzeugt das Bemühen möglichst viel

zu liefern." Maar behalve dit, is de ademhaling door een ventiel onaangenaam en niet normaal. Het ventiel wordt al spoedig warm en vochtig, en een kleine schadelijke ruimte is onvermijdelijk. Nu is het voortdurend inademen van warme, vochtige lucht bepaald hinderlijk, en zonder benauwd te worden, heeft men toch een gewaarwording van oppressie en gevoelt men behoefte vrij adem te halen. Ik trachtte mij door schrijven of lezen bezig te houden en daardoor mijne aandacht zoo weinig mogelijk op de proef te vestigen, maar slaagde hierin slechts onvolkomen.

Ik begon te betwijfelen of het wel mogelijk zoude zijn, langs dezen weg ook bij den mensch normale resultaten te verkrijgen, en deed slechts een vijftal proeven.

Bij de eerste proef laat ik de geheele berekening volgen, terwijl ik van de andere alleen de gevonden resultaten zal mededeelen.

I. Van 11 u. 7 min. — 11 u. 21½ min. worden uitgeademd 115 liter, bij 12° C.

Het onderzoek van een klein gedeelte leert, dat deze lucht bevat 3.857 % koolzuur. De koolzuurvrije lucht bevat 16.876 % zuurstof.

Derhalve bestaan 100 dln koolzuurvrije lucht uit 16.876 dln O en 83.124 dln N.

Op elke 79.1 dln. N (de hoeveelheid, die op 100 dln. atmosferische lucht voorkomt,) vindt men dus in dit mengsel 16.059 dln O.

Door de analyse werd gevonden, dat de uitgeademde lucht bevat 3.857 procent koolzuur; van elke 100 dln uitgeademde lucht zijn dus 96.143 dln N en O.

Willen wij nu berekenen, hoeveel koolzuur voorkomt op 79.1 deelen stikstof, dan vinden wij dit door de volgende evenredigheid:

$$96.143 : 95.159 = 3.857 : x$$

$$\text{waarin } 95.159 = 79.1 + 16.059.$$

Voor de waarde van x vinden wij dan 3.818.

Vergelijken wij nu de samenstelling der in- en uitgeademde lucht:

	N	O	CO ₂
Ingeademde lucht	79.1	20.9	
Uitgeademde »	79.1	16.059	3.818,

dan zien wij dat daaruit verdwenen zijn 4.841 dln zuurstof, en daarvoor in de plaats zijn gekomen 3.818 dln koolzuur.

II. 12 u. 30 min. — 12 u. 44 min. Uitgeademd 115.5 liter bij 12° C.

Analyse: 3.46 % CO₂, 17.2765 % O.

Op 79.1 dln N : 16.52 dln O en 3.427 CO₂.

Er zijn dus verbruikt 4.38 dln zuurstof.

III. 2 u. 21 min. — 2 u. 33 min. 113 liter bij 11.9° C.

Analyse: 4.035 % CO₂, 17.156 % O.

Op 79.1 dln N : 16.38 O en 4.014 CO₂.

Er zijn dus 4.52 dln O verbruikt.

IV. 4 u. 31 min. — 4 u. 41 min. 91 liter bij 11.9° C.

Analyse: 3.55 % CO₂, 17.285 % O.

Op 79.1 dln N : 16.53 dln O en 3.516 CO₂.

Er zijn dus 4.37 dln O verbruikt.

V. 6 u. 44 min. — 6 u. 54 min. 93 liter bij 12° C.

Analyse: 3.579 % CO₂, 16.909 % O.

Op 79.1 dln N : 16.097 O en 3.357 CO₂.

Er zijn dus 4.803 dln O verbruikt.

Ik laat hier een lijstje volgen, waarin de resultaten dezer vijf proeven zijn samengevat, en tevens de berekende verhouding tusschen het geproduceerde koolzuur en de verbruikte zuurstof is opgenomen.

	Verbr. O.	Geprod. CO ₂ .	CO ₂ : O.
I.	4.841	3.818	0.788
II.	4.38	3.427	0.782
III.	4.52	4.014	0.888
IV.	4.37	3.516	0.804
V.	4.803	3.357	0.699

Ik had uit de totale quantiteiten uitgeademde lucht de absolute hoeveelheden zuurstof en koolzuur kunnen berekenen, maar deed dit niet, daar op de juistheid dier cijfers toch niet zou te vertrouwen zijn, ten eerste, omdat het niet wel mogelijk is zulke groote hoeveelheden gas zonder fouten te meten, maar ten tweede omdat, door de stoornis, die de ademhaling ondergaat, ook waarschijnlijk een te groot cijfer voor beide gasen zal worden gevonden.

De relatieve verhouding der ademhalingsgassen is daarentegen vrij juist; want al mocht ook in de gaswisseling tusschen het bloed en de lucht der longen door de proef geringe wijziging zijn gebracht, toch zal daardoor de relatieve verhouding van opgenomen zuurstof en afgescheiden koolzuur zeker niet veel veranderd zijn. Desniettegenstaande heb ik deze proeven niet voortgezet, omdat de daaraan verbonden arbeid te groot was, om zich met niet volkomen afdoende resultaten tevreden te stellen. Het zou immers ook noodig geweest zijn, de uitgeademde lucht over dag

meer dan 5 malen en ook des nachts herhaaldelijk te onderzoeken, om nauwkeurig de schommelingen in de gaswisseling te leeren kennen. Gedurende den slaap de uitademingslucht op de beschreven wijs op te vangen gaat natuurlijk niet aan, en buitendien is het wel niet doenlijk zoo talrijke nauwkeurige lucht analyses te verrichten, daar voor elke analyse zooveel tijd gevorderd wordt, dat men al licht een paar weken zou noodig hebben voor de analyses van de verschillende luchtquanta van één dag.

Deze moeilijkheid was dan ook de oorzaak, dat ik eene methode, mij door Prof. DONDERS aan de hand gedaan, niet ten uitvoer bracht. Prof. DONDERS raadde namelijk aan, niets anders te verrichten, als eene nauwkeurige analyse der uitgeademde lucht. Daar de stikstofhoeveelheid niet verandert, kan men immers uit de analyse met juistheid de verhouding afleiden, waarin de verbruikte zuurstof en het geproduceerde koolzuur tot elkan- der staan. Om de ademhaling en daarmede de gaswis- seling niet te belemmeren, zou men slechts nu en dan de exspiratie-lucht moeten opvangen: of daarbij ook damp- kringslucht zich mengt, doet niets ter zake. Immers uit de overmaat aan stikstof, die bij vermenging met damp- kringslucht niet verandert, wordt de verdwenen zuurstof berekend. Wel kon eenige twijfel bestaan, of bij opper- vlakkige en diepe uitademing dezelfde verhouding tus- schen zuurstof-verbruik en koolzuur-productie zou wor- den gevonden, vooral met het oog op de langzame diffu- sie van koolzuur in vergelijking met die der andere gas-

sen, wat trouwens door een voorloopige proefneming licht zou uit te maken zijn. Met het oog echter op de groote bezwaren, die de uiterst talrijke analyses, met de vereischte nauwkeurigheid verricht, medebrengen, heb ik voorloopig van dit onderzoek afgezien, te meer daar deze methode noch bij den mensch, noch bij dieren gedurende den slaap scheen te kunnen worden toegepast. Ware men in staat, de samenstelling van een gasmengsel op eene minder omslachtige wijze dan de thans gebruikelijke nauwkeurig te bepalen, dan zou inderdaad de door Prof. DON-
DERS aangegeven wijze van onderzoek niets te wenschen overlaten. Wellicht zou het ook mogelijk zijn, bij den mensch althans, ook gedurende den slaap een gedeelte der uitademingslucht zonder stoornis op te vangen.

Ik werd nu van zelf gedrongen de andere methode van onderzoek te volgen, nam. de methode van ventilatie eener afgesloten ademhalingsruimte en het onderzoek der ventilatielucht. Waar het de absolute hoeveelheden geldt, is, zooals bij mijn onderzoek op nieuw bleek, geen andere methode bruikbaar. Zelfs bij het uitademen in een grooten, goed geëquilibreerden spirometer, met wijde toevoerbuizen en licht bewegelijke ventielen, wordt toch de ademhaling eenigermate belemmerd.

Het spreekt wel van zelf, dat de methode van ventilatie bij het gebruik maken van kleine dieren niet slechts het gemakkelijkst uit te voeren is, maar tevens groote nauwkeurigheid toelaat. Geringe quantiteiten waterdamp en koolzuur kunnen gemakkelijk worden opgevangen. Alle wegingen kunnen op de chemische balans verricht wor-

den, en men verkrijgt inderdaad een graad van nauwkeurigheid, die grenst aan die eener quantitatieve analyse. Muizen beantwoorden in dit opzicht volkomen aan het doel.

De wijze, waarop ik bij deze proeven te werk ging, was de volgende. De spirometer, die bij de vroegere proeven gediend had, werd nu als lucht-reservoir gebruikt, waaruit de lucht bij constante geringe drukking, om ze van koolzuur en waterdamp te bevrijden, gedreven werd door eenige U-vormige buizen gevuld met uitgegloeiden puimsteen, met geconcentreerd zwavelzuur gedrenkt, en door een paar buizen, met fijn gegranuleerde natronkalk gevuld. Daarachter was nog een buis geplaatst met puimsteen en zwavelzuur, en eindelijk een buis, waarin een weinig geconcentreerd zwavelzuur.

De muis bevond zich in een zeer licht glazen kolfje van ongeveer 200 CC. inhoud. In de kolf waren watten, zemelen en wittebrood gebracht, om het diertje voor afkoeling en honger te vrijwaren. In de kurk waren twee glazen buizen: een lange, tot op den bodem reikende, waardoor de luchttoevoer plaats had en een korte, waardoor de lucht het kolfje weder verliet. Aan de lange buis is buiten het kolfje een verwijding aangebracht, waarin zich een paar CC. water bevonden. De instroomende lucht strijkt daarover heen, zoodat de lucht niet absoluut droog wordt toegevoerd, iets wat bij den soms langen duur der proeven ongunstig op het dier zou kunnen werken. De lucht, die het kolfje verlaat, gaat nu door twee (wanneer de proef langeren tijd duurt

door drie) kleine U-vormige buisjes, gevuld met stukjes puimsteen, door geconcentreerd zwavelzuur bevochtigd. Daarop volgen 3—5 rechte buisjes, met natronkalk en aan het eene einde met een weinig chloorcalcium gevuld. Eindelijk weder twee buisjes, met puimsteen en zwavelzuur, zooals aan het begin, waarvan het eerste dient om het water op te vangen, dat uit de natronkalk-buizen afkomstig is. Bijna altijd wordt in deze buis wat water opgenomen. Bij de latere proeven, waarbij ik met grootere hoeveelheden te doen had, zal het kunnen blijken, welke groote fouten begaan zouden worden, wanneer dergelijke buizen niet aanwezig zijn. De lucht, die door zwavelzuur gedroogd is, neemt nog vocht uit het chloorcalcium op en deze waterdamp zou onbemerkt verloren gaan, zoo niet de aan het eind geplaatste zwavelzuurbuizen dit voorkwamen. Eindelijk diende het laatste buisje om de atmosferische lucht af te sluiten. Onnoodig te zeggen, dat de kurkjes op deze buizen allen met lak waren gesloten en dat ik mij voor het gebruik van de volkomen sluiting overtuigde.

Dat de toegevoerde lucht absoluut koolzuurvrij was, bleek, toen ik ongeveer 75 liter door de buizen voerde, terwijl de uitstroomende lucht door rosolzuur, verdund totdat een zeer gevoelige tint bereikt was, moest strijken. Rosolzuur is, zooals bekend is, een allergevoeligst reactief op zuren, en de zeer licht roode tint bleef bij deze proef behouden. Ook langs een anderen weg constateerde ik bij het begin en later gedurende de proeven, dat de lucht aan de vereischten voldeed. Ik liet name-

lijk de lucht strijken door natronkalk en zwavelzuurbuisjes, wier gewicht te voren nauwkeurig op de chemische balans was bepaald. Een paar cijfers wil ik hieromtrent mededeelen. Door twee achter elkander geplaatste U-vormige zwavelzuurbuisjes worden 50 liters lucht doorgevoerd. N^o. I weegt voor de proef 55.6606 grm., N^o. II 52.1218. Na de proef I 55.658, II 52.124. Het gewicht van N^o. I is dus met 0.0026 grm. verminderd, N^o. II met 0.0022 grm. vermeerderd. Er is dus een deficit van 0.0004 grm. Ik heb met opzet deze proef gekozen ter mededeeling, omdat hierin een kleine onregelmaticheid voorkomt. De eerste buis wordt iets lichter, de tweede buis iets zwaarder. De lucht was dus zoo droog, dat uit het zwavelzuur nog een spoor water werd medegevoerd, dat echter door het volgende buisje weder opgenomen werd; een aanwijzing dus, dat het zaak is te zorgen, dat het zwavelzuur in alle buisjes dezelfde concentratie heeft. Ik heb daarvoor gezorgd, door zeer dikwijls de buisjes te vernieuwen.

In een andere proef waren de gewichten bij het begin 53.851 en 53.120 bij het einde 53.852 en 53.120. Een natronkalkbuisje woog bij het begin 37.2943, bij het einde 37.2833 grm. Hier zou dus een deficit zijn van 0.011 grm., ware het niet, dat een daarachter geplaatst zwavelzuurbuisje bij den aanvang 55.6580 bij het einde 55.6694 grm. woog en dus een plus opleverde van 0.0114. Er is dus in het geheel een vermeerdering van 0,4 milligr. Bij een andere proef verloor de natronkalkbuis 0.019 en won de zwavelzuurbuis 0.0204 grm., dus een verschil van

1.4 milligram. Neemt men nu in aanmerking, dat 2 milligram koolzuur ongeveer gelijk aan 1 CC. zijn en wij hier te doen hebben met een totale quantiteit van 50 liter lucht, dan wordt de fout twee honderdduizendste.

De gang van de proefneming was de volgende. De verschillende buisjes werden gewogen, dan door kleine caoutchouc-buisjes aan elkander bevestigd. Wanneer alles voor de proefneming gereed was, werd de muis gewogen; daar dit echter zijne bezwaren heeft, is dit niet bij alle proeven geschied. In het begin gelukte de weging in het geheel niet, omdat de dieren geen oogenblik stil zaten en bij den langen duur der weging telkens van gewicht veranderden. Later gelukte het mij door ze aan hun staart op te hangen, maar moest ik mij meestal te vreden stellen met eene weging nauwkeurig tot op centigrammen. De muis werd dan gebracht in het kolfje, dat te voren gereed gemaakt en nu met lak luchtdicht werd gesloten, terwijl gelijktijdig de tijd, waarop de sluiting plaats had, genoteerd werd. In de straks genoemde verwijding van de luchttoevoerbuis werd een weinig water gebracht en deze zoowel als de afvoerbuis door een paar kleine caoutchouc-buisjes met glazen stopjes gesloten. Die sluiting was noodzakelijk, omdat er anders steeds een luchtstroom in het kolfje ontstond, waardoor het gewicht voortdurend veranderde. Immers voor het begin der proef moest de kolf met de muis en den overigen inhoud worden gewogen, daarna werden de glazen stopjes van de buizen genomen, en het kolfje aan de gereedliggende zwavelzuur en natronkalkbuizen bevestigd. De temperatuur werd

genoteerd en de klem, die den luchttoevoer afsloot, geopend. Door het laatste buisje even te sluiten overtuigde ik mij dan, dat de geheele buizen-serie luchtdicht was. Dit bleek daaruit, dat de luchtstroom, die aan het begin van den toestel door het zwavelzuur borrelde, dadelijk ophield. Gedurende de proef werd van tijd tot tijd de temperatuur waargenomen en een nieuw stel buizen gewogen en gereed gelegd. Bij het einde werd de stand van den thermometer en de tijd genoteerd, het kolfje losgemaakt en de luchttoevoerbuis aan de buizen-serie bevestigd. De luchtstroom dreef zodoende de laatste sporen van het koolzuur uit de zwavelzuurbuisjes in de natronkalk. Zoo snel mogelijk geschiedde dan de weging, waarna weder de bevestiging aan het buizenstel plaats had, op dezelfde wijze als bij de vorige proef. De gebruikte buisjes werden gewogen, die veel water of koolzuur hadden opgenomen door nieuwe vervangen, en weder een nieuwe serie gereed gelegd.

De weging van de natronkalkbuisjes leerde de koolzuur-productie kennen, maar daar ook de daarvoor gelegen zwavelzuurbuisjes, en bij het begin en het einde van de proef het kolfje met de muis gewogen werd, kon uit de absolute vermeerdering van het totale gewicht (van kolf en 't geheele afvoerend apparaat, behalve de laatste zwavelzuur-buis) de opgenomen zuurstof direct worden gevonden. De kolf met de muis wordt gedurende de proef steeds lichter, daar het brood verbruikt en het watergehalte geringer wordt.

Meestal heb ik twee proeven gelijktijdig gedaan. De buis, waardoor de lucht werd aangevoerd, verdeelde zich

in tweeën. Aan beide takken der toevoerbuis waren echter afzonderlijke buizen, die de lucht droogden en van koolzuur ontdeden. Daardoor konden de overeenstemmende resultaten van gelijktijdig verrichte proeven niet aan een zelfde bron van dwaling worden toegeschreven.

Om mij nog nader van de bruikbaarheid der methode te overtuigen, deed ik, voordat alles voor een onderzoek van langeren duur was ingericht, eenige kortere proeven, die een zeer bevredigend resultaat gaven. Hoewel zij niet zoo lang werden voortgezet, heb ik de resultaten in onderstaande tabel opgenomen. Het zijn N^o. 1—7. De tabel zelve zal wel geen nadere toelichting behoeven. In de laatste kolom zien wij de verhouding tusschen het geleverde koolzuur en de verbruikte zuurstof. De gevonden gewichten van koolzuur en zuurstof heb ik tot CC. gereduceerd in de volgende verhouding: één liter zuurstof bij 0° C. en 760 m.m. kwikdrukking weegt 1.437 gram, één liter koolzuur onder dezelfde omstandigheden 1.966 gram.

De uren tusschen middernacht en middag zijn aangeduid door V, tusschen middag en middernacht door N. De proeven 2—4, 8—10, 11—15, 16—20, 21—29 en 29—38 zijn zoo genomen, dat elke proef de onmiddellijke voortzetting van de voorgaande is; de bij elkander behoorende proeven zijn met een letter te zamen bestempeld. De proeven 21—39 en 29—38 zijn gelijktijdig genomen met twee verschillende muizen.

Het blijkt uit de bijgevoegde wegingen van de muis, dat haar lichaamsgewicht 2 maal verminderde, maar ook

2 maal vermeerderde; de dieren toonden volstrekt geen bijzondere begeerte om te ontsnappen en gedroegen zich op dezelfde wijze als de overigen, die in een grooten goudvischkom woonden. Ook als zij 48 uren in het kolfje doorgebracht hadden, vertoonden zij niets abnormaals.

Men ziet uit het bij alle proeven berekende quotiënt $\text{CO}_2 : \text{O}$, dat in het algemeen de zuurstof- en koolzuurhoeveelheden bijna aan elkaar gelijk zijn. Waar koolhydraten het hoofdbestanddeel van het voedsel uitmaken, is dat steeds het geval. Over een langer tijdsverloop moet natuurlijk meer zuurstof worden opgenomen, dan er aan koolzuur wordt afgegeven, maar bij het geringe verschil zal tijdelijk zeer licht het omgekeerde kunnen plaats hebben. Meestal is het quotient een ware breuk, en waar de koolzuur-productie het zuurstof-verbruik overtreft, is dit zeker in de eerste plaats aan bewegingen van het dier te wijten.

De grootste koolzuur-productie en het meeste zuurstofverbruik heeft plaats gehad gedurende N^o. 1. 2. 3. 4. 5. 8; dan volgen N^o. 6 en 16 dan N^o. 12.

N^o. 1 is een alleenstaande proef en heeft slechts 2 uren geduurd. De CO_2 -productie is hoog. Het zal later blijken, dat dit in het begin der proef geen zeldzaamheid is, daar de muis dan nog niet tot rust gekomen is. Hetzelfde is op N^o. 2 toepasselijk, evenwel stijgt nu toch de productie (N^o. 3 en 4). Aan N^o. 5. 6 en 7, die weder elk op zich zelf staan, is niet veel beteekenis te hechten. De verdere proeven zijn echter doorlopend en verdienen nadere beschouwing.

I.

N ^o .	Datum.		Temp.	Tijd.	Verbruikte O		Geleverd CO ₂		O per	CO ₂ per	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$	
					gram.	kub. cent.	gram.	kub. cent.	uur, kub. cent.	uur, kub. cent.		
1	5	Mei	9 ^o C.	2.25 N.- 4.28 N.	0.2627	182.8	0.3891	197.9	89.16	96.54	1.08	
2	6	"	10.5 ^o "	12.20 N.- 4.13 N.	0.4867	329.3	0.6716	341.6	87.36	87.96	1.007	
3	6	"	10 ^o "	4.13 N.- 8.5 N.	0.4797	333.8	0.7115	361.9	86.4	93.6	1.083	
4	6	"	10 ^o "	8.5 N.-10.40 N.	0.3852	268	0.5255	267.3	103.8	103.5	0.997	
5	7	"	11 ^o "	4.47 N.- 7.35 N.	0.3093	215.2	0.4799	244.1	76.8	87	1.146	
6	7-8	"	10 ^o "	9.35 N.-11.30 V.	1.4856	1033.8	1.9022	967.4	74.28	69.48	0.935	
7	8	"	10 ^o "	12.10 N.- 7.40 N.	0.6919	481.5	0.9334	474.8	64.2	63.3	0.986	
a.												
8	26	"	15 ^o "	4.20 N.-11.10 N.	0.7740	538.6	1.0759	547.3	78.84	80.1	1.016	
9	26-27	"	14 ^o "	11.10 N.-11.17 V.	1.1575	805.5	1.5307	778.6	66.48	64.26	0.966	
10	27	"	18 ^o "	11.17 V.- 7.57 N.	0.7914	552.3	1.0355	525.7	63.72	60.66	0.952	
b.												
11	1	Juni	20 ^o "	1.40 N.- 8.45 N.	0.6360	442.6	0.8478	431.2	62.5	60.8	0.973	Gewicht v. d. muis 15.135.
12	1-2	"	22 ^o "	8.45 N.- 2.49 V.	0.5598	389.5	0.7949	404.3	64.2	66.6	1.037	
13	2	"	22 ^o "	2.49 V.- 9.50 V.	0.5318	370	0.6716	341.6	52.74	46.68	0.881	
14	2	"	23 ^o "	9.50 V.- 3.50 N.	0.4035	287.7	0.5390	274.2	47.95	45.70	0.953	
15	2	"	23 ^o "	3.50 N.- 8.49 N.	0.3722	259	0.5543	282	51.96	54.6	1.051	" " " 15.20.

c.

16	4-5 Juni	22.5° "	9.57 N.- 2.59 V.	0.4871	338.9	0.6581	334.7	67.32	66.48	0.988	"	"	"	15.58.
17	5 "	21° "	2.59 V.- 9.20 V.	0.5526	384.5	0.7677	390.5	60.6	61.5	1.015				
18	5 "	22° "	9.20 V.- 3.50 N.	0.4873	339.1	0.6327	321.8	52.2	49.5	0.948				
19	5 "	20.5° "	3.50 N.- 8.45 N.	0.4798	333.9	0.6471	329.2	67.92	66.96	0.986				
20	5 "	19.5° "	8.45 N.-12	0.4537	315.7	0.5964	303.4	97.2	93.36	0.96	"	"	"	15.47.

d.

21	10 "	18.5° "	3.30 N.- 8.53 N.	0.7349	511.4	0.937	476	94.98	88.5	0.932	"	"	"	16.42.
22	10-11 "	18° "	8.53 N.- 2.16 V.	0.8355	581.4	1.1291	574.3	108	106.68	0.988				
23	11 "	16.5° "	2.16 V.- 9 V.	0.8062	561	1.0981	558.5	83.28	82.92	0.996				
24	11 "	18.5° "	9 V.- 2.58 N.	0.6632	461.5	0.8785	446.9	77.34	74.88	0.968				
25	11-12 "	19° "	2.58 N.- 9.10 N.	0.6715	467.3	0.9518	484.1	75.36	78.06	1.036				
26	12 "	18° "	9.10 N.- 2.18 V.	0.8348	580.9	1.1543	587.1	113.16	114.36	1.01				
27	12 "	18° "	2.18 V.- 9.50 V.	0.6761	470.5	1.0498	534	62.4	70.86	1.135				
28	12 "	17° "	9.50 V.- 3.10 N.	0.6017	418.7	0.7927	403.2	62.82	60.48	0.963				
29	12 "	16° "	3.10 N.- 9.15 N.	0.7524	523.6	1.0886	553.7	103.02	108.9	1.057	"	"	"	16.32.

e.

30	10 "	18.5° "	3.30 N.- 9.9 N.	0.4692	326.5	0.7596	386.4	57.78	68.94	1.193	"	"	"	15.94.
31	10-11 "	18° "	9.9 N.- 2.32 V.	0.6262	435.7	0.8104	412.2	80.94	76.56	0.946				
32	11 "	16.5° "	2.32 V.- 9 V.	0.7485	520.8	1.0295	523.6	80.52	81	1.006				
33	11 "	18.5° "	9 V.- 3.9 N.	0.6813	474.1	0.9045	460.1	77.1	74.82	0.97				
34	11 "	19° "	3.9 N.- 9.28 N.	0.6629	461.3	0.8911	453.3	73.02	71.76	0.983				
35	11-12 "	18° "	9.28 N.- 2.29 V.	0.6860	477.4	0.8983	457	95.76	91.68	0.957				
36	12 "	18° "	2.29 V.-10.5 V.											
37	12 "	17° "	10.5 V.- 3.20 N.	0.6322	439.9	0.8107	412.4	65.16	61.08	0.937	Een buisje is losgesprongen.			
38	12 "	16° "	3.20 N.- 8.40 N.	0.586	407.7	0.8815	448.4	76.32	84.06	1.101	Gewicht v. d. muis 15.98.			

Een blik op de tabel leert, dat in het algemeen met het uitgescheiden koolzuur ook de opgenomen zuurstof vermeerderd of vermindert. In serie a vinden wij het maximum in N°. 8 en zien dan de hoeveelheden dalen. In serie b zien wij, hoe tusschen 9 u. 's av. en 3 u. 's m. het maximum bereikt wordt, maar dat daarna een daling plaats heeft, dat voorts beide cijfers over dag laag blijven, terwijl er zich tegen den avond weder een neiging tot rijzen vertoont.

In serie c hebben wij aanvankelijk een vrij hoog cijfer, dat in de twee volgende proeven daalt, dan weder de oorspronkelijke hoogte bereikt, om gedurende de drie laatste uren aanmerkelijk te stijgen.

Een zekere regelmatigheid is in deze seriën wel te bespeuren, duidelijker echter in de beide volgenden, die ongeveer 54 uur achtereen duurden.

In N°. 22 (9 u. N. — 2 V.) wordt een hoog cijfer bereikt, dat in drie volgende proeven steeds daalt, tot dat in N°. 26 (9 u. N. — 2 u. V.) wederom het maximum bereikt wordt. Daarop volgt weder daling en eindelijk een stijging tot dicht bij het maximum, en wel nu gedurende de periode, die de beide vorige malen aan het maximum voorafging.

In serie e hebben wij ongeveer denzelfden gang; alle cijfers zijn echter wat lager. Het eerste maximum breidt zich over twee perioden uit, nam. over N°. 31 en 32. Na een daling zien wij in N°. 35 weder aanmerkelijke stijging. De cijfers van N°. 36 waren kennelijk te laag en zijn daarom weggelaten. Terwijl de inrichting niet gesurveilleerd werd,

was een der buisjes los gesprongen. N°. 37 is laag, terwijl in N°. 38 weder een stijging tot het maximum plaats heeft.

De verschillen in de verhouding van de verbruikte zuurstof en het geproduceerde koolzuur zijn slechts gering; eene regelmatigheid kan ik daarin niet opmerken. Het schijnt wel, dat de hoeveelheden opgenomen O en geleverd CO_2 , hoewel niet in bepaalde vaste verhouding tot elkander staande, toch een ongeveer gelijken gang houden.

Het valt niet te ontkennen, dat de maximale hoeveelheden zuurstof en koolzuur alle vallen op de proeven, die genomen zijn gedurende de avonduren en den nacht. Een aanmerkelijke stijging wordt waargenomen in de daaraan voorafgaande periode, daling echter steeds in de volgende en een doorgaand laag cijfer gedurende het overige gedeelte van den dag.

Wenschelijk kwam het mij nu voor, de perioden kleiner te nemen, ten einde een nog nauwkeuriger inzicht in den gang der gaswisseling te verkrijgen.

Ik besloot den duur van elke waarneming tot 1 uur te beperken. Bezwaarlijk scheen het mij toe dan ook de zuurstofhoeveelheid te bepalen, daar met de daarvoor noodige weging van het kolfje 4 à 5 minuten steeds verloren gingen en er dus gedurende $\frac{1}{12}$ gedeelte van de proef geen ventilatie zou plaats hebben.

Wanneer van de bepaling der zuurstof werd afgezien, kon elke waarneming zonder eenig oponthoud aan de volgende verbonden worden, door namelijk het afvoerbuisje aan een nieuw gereed liggend stel buizen te bevestigen.

De resultaten van deze proef, die ik ook weder gelijktijdig met 2 dieren deed, zijn in de volgende tabel vermeld.

II.

16 Juni. Nº.	Temp.	Tijd.	Muis A. CO ₂		Muis B. CO ₂	
			in grm.	in CC.	in grm.	in CC.
1	16.5° C.	8 V.- 9 V.	0.153	78.4	0.237	120.96
2	16.5 „	9 V.-10 V.	0.1923	97.8	0.2055	104.5
3	16.5 „	10 V.-11 V.	0.1378	70.1	0.1901	96.7
4	16.5 „	11 V.-12	0.1453	73.9	0.1803	91.7
5	16.5 „	12- 1 N.	0.1250	63.6	0.1256	63.9
6	16.5 „	1 N.- 2 N.	0.121	61.5	0.1585	80.6
7	17 „	2 N.- 3 N.	0.127	64.6	0.1595	81.1
8	17 „	3 N.- 4 N.	0.134	68.4	0.1394	70.9
9	17 „	4 N.- 5 N.	0.1245	63.4	0.1327	67.5
10	17 „	5 N.- 6 N.	0.1605	81.6	0.1697	86.3
11	17 „	6 N.- 7 N.	0.1502	76.4	0.1371	69.8
12	16.5 „	7 N.- 8 N.	0.1544	78.5	0.1644	83.6
13	17 „	8 N.- 9 N.	0.1743	88.7	0.2102	106.9
14	17 „	9 N.-10 N.	0.1868	95	0.1904	96.9
15	17.5 „	10 N.-11 N.	0.2033	103.4	0.1716	87.3
16	18 „	11 N.-12 N.	0.1993	101.4	0.1833	93.2
17	18 „	12- 1 V.	0.1724	87.7	0.1379	70.1
18	18 „	1 V.- 2 V.	0.1556	79.1	0.1746	88.8
19	18.5 „	2 V.- 3 V.	0.1539	78.3	0.1246	63.4
20	18 „	3 V.- 4 V.	0.1188	60.4	0.1320	67.1
21	18 „	4 V.- 5 V.	0.1723	87.6	0.1282	65.7
22	17.5 „	5 V.- 6 V.	0.1389	70.7	0.1158	58.9
23	17.5 „	6 V.- 7 V.	0.1458	74.2	0.1455	74
24	17.5 „	7 V.- 8 V.	0.1479	75.2	0.1509	76.75
25	18 „	8 V.- 9 V.	0.1574	80.1	0.126	64.1
26	18.5 „	9 V.-10 V.	0.1631	82.9	0.1335	67.9

A. In de beide eerste uren is vrij groote koolzuur-productie. Daarop daalt zij en blijft dan met kleine schommelingen constant tot 5 uur des namiddags: dan merken wij echter een stijging op, gevolgd door een geringe daling, waarop een steeds sneller wordende stijging volgt, tot dat te 11 uur N. het maximum bereikt wordt. Een uur lang blijft dit bestaan, waarna gedurende 2 uren sterke

daling volgt. Van 1 tot 3 uur V blijft het cijfer constant. Het minimum is bereikt te 4 uur V en, afgezien van het daarop volgende vrij hooge cijfer, merken wij een vrij belangrijke geleidelijke stijging tot het einde op.

De cijfers sluiten zich dan weder vrij wel aan die van het begin der proef aan.

B. De muis is in den aanvang zeer onrustig en bewegelijk geweest. Misschien is dit wel daaraan toe te schrijven, dat het de eerste maal was, dat zij voor een proef diende, terwijl de andere reeds aan het verblijf in het kolfje gewoon was. In het begin hebben wij dan ook zeer hooge cijfers, die echter dalen, en dat wel vrij plotseling in proef 5 ten 1 ure N. Daarop volgt een vrij sterke schommeling van uur tot uur, waarbij de cijfers tusschen 67 en 86 variëeren. Ten 7 uur N wordt echter eene stijging waargenomen en met eenige schommelingen blijft de koolzuur-productie tot middernacht hoog. In de volgende uren daalt de koolzuur-productie. Het maximum wordt bereikt ten 6 ure V. Allengs rijst zij weder, maar daalt in de laatste uren weder tot een geringer bedrag.

Uit deze beide proeven reeds een gevolgtrekking te maken, scheen mij voorbarig toe, en het kwam mij wenschelijk voor nog een paar dergelijke te verrichten. Daar het echter van belang was te weten of het zuurstof-verbruik werkelijk met de koolzuur-productie gelijken tred hield, besloot ik ook de daarvoor noodige wegingen te doen, maar liet daarom iedere proef 2 uur duren.

III.

Muis A.

N ^o .	Datum.	Temp.	Tijd.	Verbruikte O		Geleverd CO ₂		O	CO ₂	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}}$
				in grm.	in CC.	in grm.	in CC.	p. uur. in CC.	p. uur. in CC.	
1	25 Juni	19.5 ^o	12.20 N.- 2.20 N.	0.266	185.1	0.3382	172	92.5	86	0.930
2	"	19.5 ^o	2.20 N.- 4.20 N.	0.225	156.6	0.2744	139.6	78.3	69.8	0.892
3	"	19 ^o	4.20 N.- 6.20 N.	0.2165	150.6	0.2966	150.9	75.4	75.3	1.000
4	"	19 ^o	6.20 N.- 8.20 N.	0.2245	156.2	0.3141	159.8	78.6	79.9	1.023
5	"	18.5 ^o	8.20 N.-10.20 N.	0.3263	227.1	0.4442	226	113.5	113	0.995
6	"	18.5 ^o	10.20 N.-12.20 V.	0.3621	252.	0.4866	247.5	126	123.7	0.986
7	26 Juni	18.5 ^o	12.20 V.- 2.20 V.	0.199	138.4	0.308	156.6	69.2	78.3	1.132
8	"	18.5 ^o	2.20 V.- 4.20 V.	0.2143	149.1	0.3546	180.4	79.5	90.2	1.210
9	"	18.5 ^o	4.20 V.- 6.20 V.	0.2239	155.8	0.2934	149.2	77.9	74.6	0.900
10	"	18.5 ^o	6.20 V.- 8.20 V.	0.2090	145.4	0.2871	146	72.7	73	1.004
11	"	18.5 ^o	8.20 V.- 9.40 V.	0.1484	103.27	0.176	89.5	77.4	67.2	0.867

Muis B.

12	25 Juni	19.5 ^o	12.26 N.- 2.26 N.	0.3226	224.5	0.4035	205.2	112.25	102.6	0.914
13	"	19.5 ^o	2.26 N.- 4.26 N.	0.2288	159.2	0.2494	126.8	79.6	63.4	0.796
14	"	19 ^o	4.26 N.- 6.26 N.	0.2581	179.6	0.3699	188.2	89.8	94.1	1.048
15	"	19 ^o	6.26 N.- 8.26 N.	0.2073	144.2	0.267	135.8	72.1	67.9	0.942
16	"	18.5 ^o	8.26 N.-10.26 N.	0.3205	223	0.4321	219.8	111.5	109.9	0.985
17	"	18.5 ^o	10.26 N.-12.26 V.	0.3144	218.8	0.4108	208.9	109.4	104.5	0.955
18	26 Juni	18.5 ^o	12.26 V.- 2.26 V.	0.1848	128.6	0.2592	132	64.3	66	1.026
19	"	18.5 ^o	2.26 V.- 4.26 V.	0.1905	132.6	0.2145	109.1	66.3	54.5	0.823
20	"	18.5 ^o	4.26 V.- 6.26 V.	0.1805	125.6	0.2755	140.1	62.8	70	1.115
21	"	18.5 ^o	6.26 V.- 8.26 V.	0.1798	125.1	0.2576	131	62.6	65.5	1.047
22	"	18.5 ^o	8.26 V.- 9.45 V.	0.1194	83.09	0.1525	77.57	58.92	67.2	0.934

A. De proef begon te 12 u. 20 min. N. Het zuurstof-verbruik is gedurende de twee eerste uren aanmerkelijk, blijft daarna vrij constant en vertoont van 8 uur N tot middernacht een aanmerkelijke rijzing. Hierop volgt weder daling, en na een lichte rijzing blijft het verder vrij constant. Ook de koolzuur-productie is eerst vrij aanzienlijk, maar daalt daarop om tot 8 uur N geleidelijk te stijgen.

Dan komt echter een zeer sterk toenemen tot 12 u. 20, waarop, na te 4 uur V opnieuw eene rijzing vertoond te hebben, de productie geleidelijk daalt tot aan het eind der proef.

B. Het zuurstof-verbruik verhoudt zich hier bijna evenals in *A*; alleen zijn er wat sterker schommelingen in de vier eerste waarnemingen. De koolzuur-productie vertoont in het begin veel sterker schommelingen, maar bereikt ook weder van 8 N. tot middernacht een hoog cijfer. Daarna ook hier plotselinge daling met een voorbijgaande verheffing tusschen 4 en 6 uur V.

In geen van beide seriën kan men zeggen, dat de verhouding tusschen zuurstof-verbruik en koolzuur-productie een eenigzins geregelden gang vertoont. Verscheidene malen overtreft de koolzuur-productie het zuurstof-verbruik. In *A* is de gezamenlijke hoeveelheid koolzuur 1817.5 CC. tegen 1819.6 CC. zuurstof. In *B.* 1674.5 CC. koolzuur en 1746.3 CC. zuurstof.

Abstraheert men van de kleinere toevallige schommelingen, dan is het onmiskenbaar, dat in de laatste vier proeven een vrij groote regelmatigheid op te merken valt. Tegen het vallen van den avond, meest omstreeks 8 uur, heeft een plotselinge sterke stijging plaats, terwijl omstreeks 11 à 12 uur het maximum bereikt wordt. Dan dalen de hoeveelheden meestal even plotseling, als ze te voren zijn gerezen. Gaan wij nu ook de vroeger beschreven proeven na, die zich over een langer tijdsverloop uitstrekken, dan merken wij op, dat ook daar steeds het maximum valt op avond en nacht.

(Tab. I. N^o. 4, 8, 12, 16, 20, 22, 26, 29, 31 en 35).

Men mag dus beweren, dat er regelmatigheid in O-verbruik en CO_2 -afgifte is, een regelmatigheid, die zich licht uit de levenswijze der dieren verklaren laat. De sterkste gaswisseling heeft in den avond en het eerste gedeelte van den nacht plaats, en dit is dan ook de tijd, waarop de dieren het levendigst zijn.

Opmerkelijk is het, dat zuurstof-verbruik en koolzuur-productie beiden ongeveer dezelfde gang volgen.

Om den lezer een denkbeeld te geven van de nauwkeurigheid dezer proeven, wil ik van een enkele niet opzettelijk daartoe gekozen proef de resultaten der wegingen mededeelen.

N^o. 15. Muis met kolfje.

Begin van de proef 80.046 gram.

einde » » » 79.717

0.329 gram.

Natronkalkbuisjes voor de proef:

29.0240 — 28.9482 — 28.3722 — 25.8150 — 39.8520 gram.

Na afloop:

29.5671 — 28.9507 — 28.3722 — 25.8150 — 39.8536 gram.

De daarachter geplaatste zwavelzuurbuis weegt bij het begin: 53.0200 bij het einde 53.0721 gram.

De toename in gewicht is dus:

$0.5431 + 0.0025 + 0.0016 + 0.0071 = 0.5543$,

terwijl twee buisjes onveranderd zijn gebleven.

De zwavelzuurbuisjes wegen bij het begin:

49.2665 — 44.7141 — 49.7980

bij het einde:

49.4120 — 44.7145 — 49.7990.

Er is dus een vermeerdering van:

$$0.1455 + 0.0004 + 0.0010 = 0.1469.$$

Tellen wij bij deze laatste som de gewichtsvermeerdering der natronkalkbuizen, dan krijgen wij 0.7012 gram, en dit, verminderd met het gewichtsverlies van het kolfje, geeft 0.3722 gram opgenomen zuurstof.

Bij de proeven met den hond is de geheele inrichting in hoofdzaak dezelfde als bij de muizen, alleen op veel grooter schaal. Ik zal achtereenvolgend de verschillende deelen van den toestel beschrijven.

a. De luchttoevoer wordt verkregen door een tamelijk groote soufflerie, die met den voet in beweging wordt gebracht. De lucht ging van daar door een wijde caoutchouc-buis, achtereenvolgens door twee flesschen en een groote, metalen trommel, waarin puimsteen en natronloog. De flesschen hebben van onderen een tubulaat en worden met zooveel natronloog gevuld, dat het niveau tot even onder den hals staat, wanneer de flesschen op haar kant gelegd zijn. In dezen stand worden zij ook gebruikt, terwijl zij door caoutchouc-buizen onderling en aan de daarop volgende trommel bevestigd zijn. Men behoeft de flesschen slechts van tijd tot tijd even te rollen, ten einde den puimsteen goed bevochtigd te houden. De koperen trommel wordt voor hetzelfde doel van tijd tot tijd omgekeerd.

Om mij gedurende de geheele proefneming voortdurend te overtuigen, dat de toegevoerde lucht koolzuurvrij was, liet ik de lucht in een groote Woulfsche flesch over helder barytwater strijken. Het helder blijven van het

barytwater gedurende de proef bewijst, dat steeds al het koolzuur door de natronloog opgenomen is. Hierop volgt een groote, natte gasmeter en daarachter drie flesschen, evenals de boven beschrevene gevuld met puimsteen¹⁾ en geconcentreerd zwavelzuur. De lucht komt nu in

b. De ruimte, waarin het dier geplaatst wordt. Dit is een stevige, zinken bak, waarvan de inhoud 250 liter bedraagt. Boven in dezen bak is een vierhoekige opening, lang 58 ctm., breed 35 ctm., voorzien van een opstaanden dubbelen rand, ongeveer 2 ctm. hoog. Het deksel is een glazen plaat, bevestigd in een zinken raam, dat in de sleuf, door den dubbelen rand gevormd, past. Om den bak hermetisch te sluiten, wordt de sleuf volgegoten met een mengsel, bestaande uit kaarsvet, reuzel en was. Op het deksel wordt gedurende de proef een gewicht van ongeveer 20 kilogram geplaatst. Boven in den bak, naast het deksel, zijn vier wijde buizen gesoldeerd. Twee daarvan zijn aan tegen elkander overliggende plaatsen aangebracht. Een dezer buizen reikt tot dicht aan den bodem; de andere doorboort slechts even den bovenwand. Door de eerste buis stroomt de lucht in, door de andere uit. In de derde buis bevindt zich een caoutchouc-stop met twee gaten. Door het eene gat is een lange thermometer gebracht, welks bol tot op ongeveer een derde der hoogte van den bak reikt, door het andere een buis, die met een manometer in verbinding staat. In de vierde buis

1) De voor de proef gebruikte puimsteen werd natuurlijk met zwavelzuur gegloeid.

is eindelijk een caoutchouc-stop, waarin een glazen buisje, welks strekking later zal blijken. De trommel is geplaatst in een groote, houten kuip, waarin zij goed bevestigd wordt, om het drijven te voorkomen, wanneer de kuip met water wordt gevuld. Gedurende de proeven stond de trommel steeds geheel onder water, zoodat het bleek, dat de inrichting absoluut luchtdicht sloot.

Daarachter volgen:

c. De toestellen, bestemd om het geproduceerde koolzuur en het water op te vangen. Hiervoor is een dubbel stel voorhanden, ten einde zoo weinig mogelijk oponthoud tusschen de verschillende proeven te ondervinden. Voor de koolzuur-absorptie was de inrichting in beide stellen gelijk, voor de water-absorptie was ik genoodzaakt verschillende inrichtingen te gebruiken. In het eene stel werd de lucht gevoerd door zes glazen buizen, die ongeveer 70 ctm lang zijn en een diameter hebben van 3,5 ctm., gevuld met puimsteen en zwavelzuur. Door passende, koperen verbindingstukken en korte caoutchouc-buizen zijn deze drie aan drie achter elkaar verbonden, zoodat de luchtstroom in tweeën verdeeld, maar aan het eind weder vereenigd wordt, om dan over te gaan in het toestel voor koolzuur-absorptie.

Bij het andere stel wordt de lucht gedroogd in twee achter elkander geplaatste cylinderglazen, die door kurken, met lak bedekt, volmaakt gesloten zijn. Door die kurken gaan twee buizen, een lange en een korte. De cylinderglazen zijn gevuld met groote stukken puimsteen en tot op een hoogte van 10 ctm. met zwavelzuur. Voor zij ge-

bruikt worden, wordt de puimsteen goed bevochtigd door het glas schuins te houden. De lange buis, die de lucht aanvoert, reikt juist tot aan het zwavelzuur-niveau.

Het koolzuur wordt opgevangen in twee koperen buizen, lang 1 meter, bij een diameter van 8 cm. De buizen zijn voor $\frac{3}{4}$ met grof gegranuleerde natronkalk en voor $\frac{1}{4}$ met grof gegranuleerd chloorcalcium gevuld, en wel zoodanig, dat na $\frac{3}{8}$ natronkalk telkens $\frac{1}{8}$ gedeelte met chloorcalcium gevuld is. Op gelijken afstand van elkander worden zeven diaphragmata aangebracht, bestaande uit een kurken ring, waarop grove tulle met lak is bevestigd. Deze diaphragmata zijn noodzakelijk, omdat de buizen bij het gebruik loodrecht geplaatst worden, ten einde de vorming van open ruimten, waardoor de lucht onveranderd zou kunnen passeeren, te verhinderen. Zonder deze diaphragmata zou de geheele inhoud een massa vormen en het fijnere zou al licht naar beneden zakken en een grooten weerstand opleveren. De luchtstroom moest achtereenvolgens beide buizen passeeren en werd eindelijk nog gevoerd door een cylinderglas, gevuld met puimsteen en zwavelzuur, evenals de reeds hierboven beschrevene.

De hoeveelheid koolzuur, in den zinken bak aanwezig, te bepalen, was bij het begin der proef wenschelijk, bij het einde noodzakelijk. Hiervoor werd lucht uit de trommel gezogen door het glazen buisje, dat bij de beschrijving van den bak reeds genoemd werd. Dat buisje werd verbonden aan een serie van U-vormige buisjes, waarvan twee met zwavelzuur en puimsteen, drie met natronkalk en eindelijk nog twee met zwavelzuur en puimsteen gevuld

waren. Daaraan was ten slotte een aspirator verbonden, waaruit bij het begin en het einde van de proef 5 liter water langzaam afgetapt werden, zoodat even zooveel lucht uit den zinken bak door het buizenstel moest toestroomen. De gewichtsvermeerdering der kleine buisjes, met 50 vermenigvuldigd, geeft aan, hoeveel koolzuur bij het begin en het einde van de proef in de luchtruimte aanwezig was. Bij de gedetailleerde vermelding der resultaten zal blijken, dat de aldus verkregen cijfers vrij nauwkeurig mogen genoemd worden.

Voordat de eigenlijke proeven met dit toestel verricht werden, overtuigde ik mij van zijne bruikbaarheid. Het kan niet verwonderen, dat de inrichting aanvankelijk nog niet volkomen aan de vereischten voldeed en dat verschillende wijzigingen noodig waren, eer de contrôle-proeven voldoende resultaten gaven. Ten slotte bleek de volkomen bruikbaarheid uit de volgende proef.

Van een oplossing van koolzure kali werd volgens de gebruikelijke wijze het koolzuurgehalte bepaald. Deze bewerking werd in allen deele zoo nauwkeurig mogelijk gedaan, en uit drie achtereenvolgende bepalingen bleek, dat de vloeistof bevatte 4.483— 4.314— 4.49 % CO_2 . De eerste en de laatste bepaling werden als het meest met elkander overeenkomende voor de juiste gehouden en het gemiddelde daarvan als het procent-gehalte aangenomen, dus 4.4865.

Een gewogen hoeveelheid dezer oplossing werd gebracht in een groote glazen kolf, gesloten door een caoutchouc

stop, voorzien van een lange trechterbuis, die bijna tot op den bodem reikte en aan het uiteinde omgebogen was, om geen gas te laten ontsnappen. Een rechthoekig gebogen, korte buis geleidde naar een ledige groote U-vormige buis, waarop twee dergelijke, gevuld met puimsteen en zwavelzuur, volgden. De laatste dezer was met een glazen buis verbonden, die in den zinken bak uitmondt. De gesloten bak was te voren met droge lucht zoo lang geventileerd, totdat er geen koolzuur meer in de uitstroomende lucht was aan te toonen. De geheele toestel was zoo geplaatst en ingericht als bij de latere proeven. Wanneer nu alle buizen bevestigd waren, begon de ventilatie en werd een weinig zwavelzuur door de trechterbuis in de kolf geschonken. Dit werd bij kleine hoeveelheden zoo dikwijls herhaald, tot er bij verwarming en schudden geen spoor van koolzuur-ontwikkeling meer was waar te nemen. De ventilatie werd nu afgebroken en de trechter afgesneden. De buis, die de koolzuurvrije lucht direct in den zinken bak had gevoerd, werd aan de afgesneden trechterbuis verbonden en nu ruim 30 liter lucht door de kolf en de U-vormige buizen gezogen; daarop werd de verbinding tusschen de kolf en den bak afgesloten en begon de gewone ventilatie weder.

In de kolf was gebracht 250 kub. cent. koolzure kaliooplossing wegende 290.735 gram. Deze bevat dus 12.959 gram koolzuur.

De koperen buizen wogen vóór de proef:
I 3500 en II 3620.1 gram.

Na de proef:

I 3506.9 en II 3620.8 gram.

Er is hier slechts eene vermeerdering van 7.6 gram; maar de achter de koperen buizen geplaatste zwavelzuur-toestellen zijn in gewicht 5.2 gram toegenomen. Dat deze vermeerdering in gewicht veroorzaakt wordt door waterdamp, afkomstig uit de natronkalk is zeker, want de ingeblazen lucht wordt vooraf gedroogd, het koolzuur uit de kolf ontwikkeld wordt eveneens gedroogd, en de zwavelzuurbuizen voor de groote koperen buizen met natronkalk zouden in ieder geval, wanneer de lucht nog vochtig geweest ware, wel de laatste sporen van waterdamp daaruit opgenomen hebben. Het bleek reeds vroeger, dat lucht, door zwavelzuur gedroogd, uit chloorcalcium steeds waterdamp opneemt; in het klein is dat nauwelijks merkbaar: bij groote lucht-quantiteiten kan dit tot groote dwalingen aanleiding geven.

Van het ontwikkelde koolzuur werd nu teruggevonden 12.8 gram en dus ontbreekt er nog 0.15 gram. Door nog eenigen tijd te ventileeren, had ik deze rest ook geheel of althans gedeeltelijk stellig kunnen terugvinden. De ontbrekende 0.15 gram zijn gelijk 75 CC., en daar de inhoud van den bak 250 liter bedraagt, is het gehalte van de lucht aan koolzuur 0.0003.

Een afzonderlijk proefje leerde, dat de lucht inderdaad nog sporen van koolzuur bevatte. Om die sporen echter te verwijderen zou een zeer lang voortgezette ventilatie noodig zijn geweest. Ik zag daarvan af, omdat ik de nauwkeurigheid der methode bewezen achtte, want in elk geval moet de fout minder dan 1⁰/₀ van het koolzuur hebben bedragen.

De wegingen voor deze proef moesten met een minder goede balans gedaan worden, terwijl ik later een veel betere kon gebruiken, die welwillend door de Directie der Nederlandsche Bank aan het laboratorium ten gebroeke was afgestaan.

Als tweede bewijs voor de nauwkeurigheid der methode, wil ik eenige cijfers, uit de proeven met den hond genomen, aanhalen.

In het algemeen zal bij voortgezette ventilatie het koolzuur-gehalte van de lucht in den bak aan dat der uitstroomende lucht gelijk moeten worden. Werd nu aan het einde der proef, met behulp van de bovengenoemde kleine buisjes en den aspirator, het koolzuur-gehalte der luchtruimte direct bepaald, dan moest daarbij hetzelfde cijfer worden gevonden, dat uit de totale quantiteit koolzuur en het volumen der ventilatie-lucht kon worden berekend.

In proef I vinden wij voor het berekende percent-gehalte 0.75, bij directe bepaling daarentegen 0.738, eene overeenstemming, die niets te wenschen overlaat. Bij een blik op de tabel, die later volgt, zal het blijken, dat in de meeste gevallen deze cijfers bevredigend mogen genoemd worden. Dat niet telkens volmaakte overeenstemming gevonden wordt, laat zich gereedelijk verklaren uit de omstandigheid, dat in den bak de lucht zich niet altijd volkomen mengt.

Ten einde zich een juist denkbeeld te kunnen vormen van de mate der ventilatie, noodig om in een zekeren tijd het koolzuurgehalte tot op een minimum te brengen,

wordt een berekening vereischt, waarvan ik de juiste mathematische uitdrukking aan Dr. H. C. DIBBITS te danken heb.

De inhoud van den bak zij $= a$ liter. De bak zij in den beginne gevuld met lucht, bevattende b % koolzuur.

In den bak worde geproduceerd c liter koolzuur in één seconde.

Tegelijkertijd worde er koolzuurvrije lucht ingeblazen en wel p liter in één seconde, terwijl evenveel lucht uit den bak weder ontwijkt. Hoe groot zal nu het koolzuurgehalte zijn na zekeren tijd t ?

Uitgaande van de onderstelling, dat de ingeblazen koolzuurvrije lucht en het ontwikkelde koolzuur zich oogenblikkelijk gelijkmatig vermengen, komt men tot de volgende berekening.

Na een zekeren tijd zij het koolzuurgehalte x %, in volumina.

In 1 seconde gaat er dan uit den bak:

$$\frac{px}{100} \text{ liter CO}_2,$$

dus in den oneindig kleinen tijd dt :

$$\frac{px}{100} dt \text{ liter CO}_2.$$

In denzelfden tijd wordt er ontwikkeld cdt liter CO₂.

De vermeerdering van het CO₂ in den bak bedraagt in denzelfden tijd dt , daar dan x vermeerdert met dx :

$$\frac{adx}{100} \text{ liter CO}_2.$$

Dus is

$$\frac{adx}{100} = cdt - \frac{px}{100} dt$$

dus $adx = (100 c - px) dt \dots (1)$

en $dt = \frac{adx}{100 c - px}$

waaruit door integratie volgt

$$t = -\frac{a}{p} \text{Nep. log. } (100 c - px) + \text{Const.}$$

Ter bepaling der constante nemen wij den aanvangs-toestand; dan is:

$$t = 0 \text{ en } x = b$$

waardoor wij verkrijgen:

$$0 = \frac{a}{p} \text{Nep. log. } (100 c - pb) + \text{Const.}$$

en door aftrekking volgt hieruit

$$t = \frac{a}{p} \text{Nep. log. } \frac{100 c - pb}{100 c - px} \dots (2)$$

Klaarblijkelijk kunnen wij ook schrijven:

$$t = \frac{a}{p} \text{Nep. log. } \frac{pb - 100 c}{px - 100 c},$$

waaruit volgt, in gewone logarithmen overgebracht:

$$\log. (px - 100 c) = \frac{2.3026 \times a \log. (pb - 100 c) - pt}{2.3026 a}.$$

Passen wij daarop nu de getallen toe, in de proeven verkregen, dan is $a = 250$ liter, de waarde van b als maximum 0.7% , als minimum 0.3% , c als minimum 0.0005 , als maximum 0.001 liter, p als minimum 0.2 , als maximum 0.3 liter.

Stellen wij nu de ongunstigste voorwaarden, dat name-lijk de CO_2 -ophooping en productie het maximum bereiken, de ventilatie het minimum bedraagt, dan wordt in de formule na 4 uur:

$$\log. (px - 100 c) = -6.40104 = 0.59896 - 7,$$

$$\text{dus } px - 100 c = 0.000000389.$$

Wij mogen dus $px - 100 c$ wel $= 0$ stellen, wanneer de ventilatie 4 uur geduurd heeft, en komen dus tot de eenvoudige uitdrukking

$$x = \frac{100 c}{p},$$

of

$$c : p = x : 100,$$

hetzelfde wat wij hierboven reeds aannamen, dat namelijk, zoodra het koolzuurgehalte in den bak constant is geworden, dit gelijk moet zijn aan het CO_2 -gehalte der uitstroomende lucht ¹⁾.

Dat ook al het geproduceerde water in de zwavelzuur-

1) Dat dit theoretisch niet volkomen waar is, volgt reeds daaruit, dat ik $px - 100 c = 0$ stelde. Uit de formule laat zich dit nog nader afleiden.

Indien wij berekenen, wanneer de evenwichtstoestand zal bereikt worden, d. i. wanneer er evenveel CO_2 den bak zal verlaten als er in denzelfden tijd geproduceerd wordt, dan moet x constant worden, dus $dx = 0$.

Derhalve wordt in formule (1) het tweede lid der vergelijking $= 0$ en daar dt niet 0 kan zijn, moet $100 c - px = 0$

$$\text{of } x = \frac{100 c}{p}$$

worden. Deze waarde in (2) substitueerende, vindt men, daar $\log. \infty = \infty$,

$$t = \infty.$$

De evenwichtstoestand wordt dus *nooit* bereikt, maar nadert steeds tot de limietwaarde $x = \frac{100 c}{p}$, waaruit dan ook direct volgt, dat p (de grootte van den ventilatiestroom) $= \frac{100 c}{x}$ moet zijn, om het koolzuurgehalte stationair te doen blijven.

toestellen terug gevonden wordt, blijkt uit de vergelijking der cijfers, verkregen door de weging van de groote en de kleine buizen. Proef I gaf 19.1 gram water bij 3 kub. meter ventilatie, dat is dus 0.63 gram per 100 liter. In de kleine buisjes is bij het einde van de proef opgenomen 0.0308 gram water, dus is in den bak 1.51 gram, of per 100 liter 0.61 gram water.

Zoo groot als bij het koolzuur is de overeenstemming niet, maar meest is het direct bepaalde water-gehalte der lucht in den bak aan het einde van de proef lager dan het procent-cijfer, berekend uit de totale hoeveelheid, waardoor het zoo goed als bewezen is, dat al het water door het zwavelzuur is geabsorbeerd. Voorts bedroeg in alle proeven het maximum der gewichtsvermeerdering van het tweede cylinderglas slechts 1.5 gram; een bewijs, dat nagenoeg al het water in het eerste glas opgenomen werd.

Men ziet, dat ik bij deze proeven de methode van PETTENKOFER en VOIT tot op zekere hoogte heb gevolgd. Zij zogen de lucht uit de ventilatie-ruimte, die daarom ook niet hermetisch gesloten behoefde te zijn. Ik blies de lucht door den toestel, maar overtuigde mij ook, dat de sluiting niets te wenschen overliet. PETTENKOFER en VOIT onderzochten, zoowel van de toestroomende als van de afgevoerde lucht, kleine, gemeten quantiteiten zeer nauwkeurig, en moesten voor de berekening ook de totale hoeveelheid nauwkeurig meten. In mijn proeven daarentegen werd al het koolzuur en al het water gewogen, en kon ik van de bezwaarlijke meting van groote lucht-

volumina afzien. De opgenomen hoeveelheid zuurstof bepaalde ik, even als PETTENKOFER en VOIT, uit de gewichten van het geproduceerde koolzuur en water, en het gewicht van den hond, die vóór de proef en aan het einde van de proef, met de in dien tijd ontlaste urine en faeces, gewogen werd. Om van deze uitscheidingen niets te verliezen, werd de hond geplaatst in een zinken open bak, waarin hij zich gemakkelijk kon bewegen, maar waarvan de randen zoo hoog waren, dat hij er niet uit springen kon. Zoodra de hond met dit bakje nauwkeurig gewogen is, wordt hij in den grooten zinken bak gezet, het deksel er op geplaatst, de tijd genoteerd en nu het gesmolten vet in den rand geschonken. Nadat de gewichten op het deksel geplaatst zijn en het vet vast geworden is, wordt de kuip zoover gevuld, dat de zinken bak met het deksel onder water staat. 20 à 25 min. nadat de hond in den bak is gebracht, kan de ventilatie beginnen. De tijd hiervan wordt genoteerd, evenals de stand van den gasmeter, terwijl gelijktijdig door den aspirator 5 liter lucht uit den bak gezogen wordt door de vooraf gewogen kleine buisjes. Hetzelfde geschiedt tegen het einde van de proef, waarop een gedeelte van het water wordt afgetapt, zoodat het deksel afgenomen kan worden. De hond met zijn bakje wordt nu snel op de weegschaal gebracht. Gedurende den tijd, dat alles voor de hervatting der proef wordt gereed gemaakt, loopt de hond buiten vrij rond. De pauze tusschen twee proeven duurde onder gunstige omstandigheden 25 à 30 minuten.

De temperatuur, in de volgende tabel medegedeeld, is die van het inwendige van den bak, en wel de gemiddelde van verscheidene observaties. Ik heb den stand van den manometer niet uitvoerig aangegeven, omdat deze steeds variëerde tusschen 7 à 9 mm. Hg. De hoeveelheden zuurstof en koolzuur zijn het resultaat der wegingen van de groote toestellen, waarbij echter nog geteld is de hoeveelheid koolzuur en water, die in den bak achtergebleven is en die uit de weging der kleine buisjes berekend worden kon.

De reductie van grammen in CC. heeft volgens de reeds vroeger genoemde verhouding plaats gehad.

De laatste kolom bevat het koolzuurgehalte der lucht in den bak in percenten, zooals dat direct bepaald werd door de kleine buisjes.

IV.

N ^o .	Datum.	Temp.	Tijd.	Verbruikte O.		Geleverd CO ₂		O CC	CO ₂ CC	CO ₂ O	% CO ₂ in den bek.	
				gram.	kub.cent.	gram.	kub.cent.	p. uur.	p. uur.			
I.	29 Juni.	18.75° C.	10.10 V.- 2.10 N.			24.39	12406		3101.5		0.375	De hond slaapt.
II.	" "	19 "	3.10 N.- 7.10 N.	12.8	8907.4	22.1	11241	2227	2810	1.26	0.3132	
III.	" "	19 "	8 N.-12	20.5	14266	27.1	13784	3567	3446	0.966	0.4608	
IV.	30 "	19 "	1.37 V.- 5.37 V.	23.3	16214	18.1	9206.5	4054	2302.6	0.568	0.1628	
V.	3 Juli.	24 "	9 V.- 1 N.	23	16006	30.7	15615	4001.5	3906	0.973	0.341	
VI.	" "	24 "	2.27 N.- 6.33 N.	27.9	19415	31.1	15820	4735	3843	0.812	0.369	
VII.	" "	23 "	9.20 N.- 1.20 V.	23.67	16471	25.45	12945	4118	3236	0.786	0.254	
VIII.	14 Juli.	24 "	11.15 V.- 4 N.	31.97	22251	35.6	18108	4686	3810	0.817	0.384	
IX.	" "	24.5 "	4.25 N.-10.25 N.	25.98	18076	33.24	16905	3013	2817.5	0.935	0.658	De hond slaapt.
X.	" "	23.5 "	11.13 N.- 5.13 V.			33.45	17014		2836		0.193	
XI.	15 "	23.5 "	6.25 V.-12.25 N.	13.8	9603	12.7	6470	1014	1078		0.528	
XII.	" "	24.5 "	1 N.- 7 N.	38.7	26792	32.8	16684	4465	2781	0.623	0.264	
XIII.	" "	23.5 "	7.22 N.-11 N.	15.7	10926	17.6	8952	3000	2464	0.821		
XIV.	16 Juli.	22.5 "	4.25 N.-10.25 N.	37.9	26374	38.1	19379	4396	3230	0.735	0.285	? De hond slaapt. 6.40 brood gegeven.
XV.	" "	19.5 "	11.55 N.- 5.55 V.	22.82	15880	33.07	16821	2647	2803.5	1.06	0.584	
XVI.	17 "	19.5 "	6.40 V.-12.40 N.	35.8	24913	34.5	17548	4152	2925	0.704	0.236	
XVII.	" "	19 "	1.15 N.- 7.15 N.	37	25748	40.1	20397	4291	3399.5	0.792	0.635	
XVIII.	" "	19 "	7.50 N.- 1.50 V.	43.2	30062	22.5	11444	5010	1907	0.380	0.261	De hond slaapt.
XIX.	18 "	19.5 "	2.25 V.- 8.25 V.	34.9	24286	24.6	12513	4048	2085	0.515	0.480	

Ik laat nog een tabel volgen, waarvan de cijfers kunnen dienen ter contrôle der voorgaande. De tweede kolom geeft de lucht in kub. meters aan, die door den toestel stroomde. In de 3^{de} en 4^{de} vindt men de absolute hoeveelheden koolzuur en water, die in de groote toestellen, in de 7^{de} en 8^{ste} kolom de absolute hoeveelheden, die in de kleine buisjes werden opgevangen. In de 5^{de} en 6^{de} en in de 9^{de} en 10^{de} kolom zijn de hoeveelheden koolzuur en water op 100 liter berekend.

V.

N ^o .	Kub. meter Ventilatie.	Groote buizen.				Kleine buizen.				
		CO ₂ gram.	H ₂ O gram.	Op 100 liter CO ₂ gram.	H ₂ O gram.	CO ₂ gram.	H ₂ O gram.	Op 100 liter CO ₂ gram.	H ₂ O gram.	
I.	3	22.55	19.1	0.750	0.63	0.0369	0.0308	0.73	0.61	
II.	4	20.6	25.7	0.515	0.64	0.0308	0.0302	0.61	0.60	
III.	2.9	24.8	22.3	0.855	0.77	0.0453	0.0525	0.90	1.05	
IV.	4.3	17.3	30.5	0.400	0.71	0.0160	0.0215	0.32	0.43	
V.	3.6	29	38.2	0.806	1.06	0.0345	0.0345	0.69	0.69	
VI.	4.6	29.3	38.9	0.630	0.84	0.0363	0.0365	0.72	0.73	
VII.	3	24.2	36.1	0.806	1.20	0.0250	0.0524	0.50	1.05	
VIII.	5.8	33.7	50.9	0.580	0.88	0.0377	0.0435	0.75	0.87	} In deze beide proeven is iets meer dan 5 liter afgetapt.
IX.	2.8	30	46.1	1.070	1.64	0.0647	0.0628	1.29	1.25	
X.	6.7	32.5	60.2	0.485	0.90	0.0190	0.0442	0.38	0.88	
XI.	2.5	12.7	32.4	0.500	1.30	0.0518	0.0600	1.03	1.20	
XII.	6.4	31.5	49.6	0.500	0.77	0.0260	0.0485	0.52	0.97	
XIII.	3.3	17.6	34.9							Het aftappen is verzuimd.
XIV.	7.8	36.7	58.5	0.470	0.75	0.0280	0.0390	0.56	0.78	
XV.	3.7	30.2	66.7	0.820	1.80	0.0574	0.0471	1.04	0.94	
XVI.	6.9	33.3	55.9	0.483	0.81	0.0232	0.0309	0.46	0.61	
XVII.	4	37	40.4	0.925	1.01	0.0629	0.0628	1.25	1.24	} Iets meer dan 5 liter afgetapt.
XVIII.	7.1	22.5	58	0.320	0.81	0.0257	0.0444	0.51	0.88	
XIX.	3.7	22.2	42.2	0.600	1.14	0.0473	0.0534	0.92	1.07	

In N^o. VIII, IX en XVII is door een vergissing te veel water afgetapt, waardoor de direct bepaalde procent-gehalten te groot uitgevallen zijn.

In proef I en X is door een foutieve weging van den hond de zuurstof-bepaling verloren gegaan.

De proeven I, II, III en IV zijn na elkander genomen en vormen eene serie, evenzoo N^o. V, VI en VII, terwijl wij in N^o. VIII—XIII en XIV—XIX twee langere seriën hebben, waarvan de eerste van 's morgens 11 u. 15 min. tot den daaropvolgenden dag 's avonds 11 uur liep, terwijl de andere des avonds te 4 u. 45 min. begonnen, twee dagen later te 8 u. 25 min. des morgens eindigde, en dus 40 uren duurde.

Slechts twee der proeven nam. N^o. XI en XV komen mij zeer verdacht voor, evenwel wil ik de gevonden cijfers niet verzwijgen.

In N^o. XI vinden wij namelijk voor de in één uur opgenomen O en het uitgescheiden CO₂ zeer lage cijfers. Voor de berekening der zuurstof werd van het gewicht van het CO₂ gebruik gemaakt, en worden beiden zeer laag gevonden, dan ligt het vermoeden voor de hand, dat niet al het koolzuur opgevangen is. Anders is het met N^o. XVIII en XIX, waar naast een geringe koolzuur-productie eene groote hoeveelheid zuurstof opgenomen is.

Buitendien is er in N^o. XI tusschen de gevondene en de berekende percent-gehalten aan CO₂ zooals uit Tabel V blijkt, een groot verschil.

Voor N^o. XV geldt nagenoeg hetzelfde, hoewel niet in dezelfde mate. De overige proeven zijn m. i. bevredigend.

In het algemeen zien wij in de getallen van koolzuur-productie en zuurstof-verbruik vrij groote schommelingen, die weinig regelmatigheid vertoonen. Met uitzondering van twee proeven zien wij, dat het volumen der zuurstof dat van het koolzuur overtreft. Meestal is het verschil niet bijzonder groot, hetgeen aan de voeding met brood moet worden toegeschreven. Dat een enkele maal de CO_2 -productie ruimer worden kan dan het zuurstof-verbruik, behoeft geen betoog.

Opmerkelijk zijn vooral N^o. IV, XVIII en XIX, waarbij het O-verbruik de CO_2 -afgifte verre overtreft, terwijl de hond gedurende deze proeven geslapen heeft.

Het aantal mijner proefnemingen is nog te klein, om met veiligheid daaruit gevolgtrekkingen te maken. Althans zou ik het niet wagen op grond der drie genoemde waarnemingen te besluiten, dat werkelijk met den slaap het O-verbruik rijst en de CO_2 -afscheiding daalt. In N^o. XVIII en XIX vinden wij buitendien, dat het direkt bepaalde percent-gehalte aan CO_2 in den bak het uit de totale hoeveelheid berekende overtreft, en de mogelijkheid bestaat dus inderdaad, dat in de groote buizen wellicht niet al het koolzuur door de natronkalk werd opgenomen. Daartegen pleit echter de groote quantiteit zuurstof, terwijl het verschil in de percent-gehalten zich zeer wel op andere wijze verklaren laat. De lucht in den bak is niet altijd gelijkmatig gemengd, te minder, wanneer een dier zich daarin vrij beweegt en zijn ademhalingslucht naar verschillende richtingen uitblaast. De 5 liter lucht, die door den aspirator werden opgezogen, kunnen dus zeer wel

meer koolzuur bevatten, dan met het gemiddelde percent-gehalte overeenstemt. Ik heb daarom niet geaarzeld die proeven als juist te beschouwen.

Ik betreur het, dat ik voorloopig geen verdere resultaten mede te deelen heb, maar het is mijn voornemen het onderzoek voort te zetten.

De methode zal echter, wat enkele bijzonderheden aangaat, moeten worden gewijzigd. Dat men bij het sluiten van den bak telkens wachten moet met ventileeren, tot het vet genoegzaam is bekoeld, heeft enig bezwaar, hoewel ik mij overtuigde, dat in dien tijd geen belangrijke koolzuur-ophooping plaats vindt, wat trouwens eene eenvoudige berekening onmiddellijk leert. Het sluiten en het openen van den toestel kost echter te veel tijd (25 à 30 min.), om de proefnemingen korter dan 4 uren te laten duren. Eindelijk vereischen de apparaten voor water- en koolzuur-absorptie nog eenige verandering, om eene nauwkeuriger weging toe te laten. Die mate van nauwkeurigheid, welke in de proeven met muizen verricht bereikt werd, en die inderdaad even groot is als die eener chemische analyse, zal zich bij het gebruik maken van grootere dieren, zooals honden, wel niet laten verkrijgen.

Ik geloof echter, dat uit de proeven zelve, en met name uit de medegedeelde contrôle-proef, genoegzaam gebleken is, dat de methode volkomen bruikbaar geacht worden mag.

Uit de herhaling dezer proeven, waarbij de noodige verbeteringen zijn aangebracht, zal blijken, of er ook bij den hond eenigszins regelmatige schommelingen in het O-

verbruik en de CO_2 -produktie bestaan, zooals die door mij voor de muis werden aangetoond.

Met het oog op de door mij verkregen resultaten meen ik het bijna te moeten betwijfelen.

Zeker is het, dat bij den hond het opnemen van voedsel en de daarop volgende digestie, die eenige uren aanhoudt, stellig reeds een zoodanige wijziging in de hoeveelheid der ademhalings-gassen te weeg brengt, dat daardoor kleine periodieke schommelingen moeten worden uitgewischt. Wellicht kan er in den 'toestand van honger daarvan iets blijken, en het zou van belang zijn die schommelingen met de afwisseling in temperatuur en pols-frequentie te vergelijken. Afgezien daarvan echter, verdienen de uit mijne proeven geblekene veranderingen, die in zuurstofverbruik en koolzuur-produktie bestaan, nader te worden onderzocht, om zoo mogelijk den grond daarvan op te sporen, en om na te gaan of werkelijk het slapen van het dier een zoo ingrijpende wijziging in de gaswisseling tot stand brengt.

STELLINGEN.

I.

De adaequate prikkel der reukzenuwen is geen chemische.

II.

Prikkelingstoestand en „negative Schwankung” mogen niet geïdentificeerd worden.

III.

De eerste hartstoon is niet uitsluitend spiertoon.

IV.

„Ausser dem völlig dumpfen und leeren Percussions-schalle, der die complete Luftleere des unterliegenden Theiles anzeigt, gibt es kaum irgend ein physikalisches Zeichen, das ohne Ausnahme nur durch einen einzigen physikalischen Zustand bedingt werden kann.” (GERHARDT)

V.

Het is zeer waarschijnlijk, dat de contagia der infectieziekten levende organismen zijn.

VI.

WALDENBURG's theorie omtrent de werking van gecompri-meerde en verdunde lucht bij ziekten der borstorganen (Berl. Klin. Wochenschr. N^o. 46 en 47) is onjuist.

VII

„Die Behauptung, das Erkältungen und andere Schädlichkeiten keinen Einfluss auf die Entstehung der Lungenschwind-sucht hätten, hat auf die Prophylaxis und auf die Therapie den schädlichsten Einfluss.” (NIEMEIJER)

VIII.

Voortdurende oefening der ademhalingsspieren en zorg voor het inademen van zuivere lucht nemen een eerste plaats in onder de prophylactica tegen phthisis.

IX.

De voorstanders der operatieve behandeling der pleuritis ex-sudativa overdrijven het nut dezer wijze van behandelen.

X.

„Die Krebszellen bez. die Krebsstränge gehen stets von den praeëxistirenden ächten Epithelien des Organismus aus, während das Stroma auf die bindegewebigen Bestandtheile zurück zu führen ist.” (WALDEIJER)

XI.

Voor het tot stand komen van het exsudaat bij croupouse pneumonie behoeft aan het epithelium der long geen actieve rol toegekend te worden.

XII.

Bij resolutie der croupouse pneumonie „wird der ganze hepatisirte Lungentheil fast einzig und allein rückgängig durch Resorption der erweichten Alveolarpröpfe.“ (BUHL)

XIII.

Ten onrechte zegt MAX SCHEDE, (VOLKMANN's Samml. Klin. Votr. N^o. 72—73) dat de beste wijze van uitvoering der PIROGOFF'sche operatie die is, waarbij men (de richting der zaagvlakte uitgezonderd) PIROGOFF's voorschriften volgt.

XIV.

Een gunstige werking der distractie-methode kan bij coxitis niet worden toegeschreven aan vermindering der intraarticulaire drukking.

XV.

De antagonistische theorie omtrent het tot stand komen der paralytische contracturen is onjuist.

XVI.

De mogelijkheid, dat syphilis bij de vaccinatie kan worden overgebracht, is geen bezwaar tegen de invoering van verplichte vaccinatie.

XVII.

Het wegnemen van het ei bij abortus is gevaarlijk en meestal onnoodig.

XVIII.

Keering op één voet verdient de voorkeur boven die op beide voeten.

XIX.

Het Liernur-systeem beantwoordt aan alle eischen, die men aan een rioolsysteem kan stellen.

