

POPULAIRE NATUURKUNDIGE VOORDRACHTEN.

DOOR

Dr. J. ZAAIJER Az.

II

IJS EN KUNSTMATIGE VOORTBRENGING VAN IJS.

Het water vertoont in de verschijnselen, die bij afkoeling ontstaan, belangrijke afwijkingen van den regel, door de meeste andere vloeistoffen gevolgd. Beginnen wij, om dit aan te toonen, met een glazen buis met reservoir in den vorm van een gewonen thermometer te nemen, die niet met kwik, maar met water is gevuld. Het beeld van een deel der buis projecteeren wij met behulp van een sciopticon op een scherm; duidelijk zien wij daarbij het uiteinde der waterkolom. Koelt men nu het reservoir, door het in een afkoelend mengsel te plaatsen, af, dan zien wij in het omgekeerde beeld de waterkolom rijzen, waaruit volgt, dat zij in de buis daalt en dat het water dus bij afkoeling inkrimpt. Na eenige oogenbikken daalt echter het water in het beeld en rijst het dus in de buis; het water gaat dus weer uitzetten. Die uitzetting begint bij 4° C.; bij deze temperatuur heeft dus het water zijne grootste dichtheid. Bij verdere afkoeling blijft het nu uitzetten en bevriest bij 0° C.

Om hetgeen bij het bevrozen geschiedt te kunnen waarnemen, maken we van een ander toestel gebruik. Een thermometer, welks schaal op een doorzichtige glazen plaat is geëtst, is in een kleinen glazen kelk, met water gevuld, geplaatst, welke omgeven is door een cilindervormig glazen vat. Door dit laatste voert men van anderen

een stroom alcohol aan, die in een hooger gelegen trechter gegoten en, door een in een afkoelend mengsel geplaatste slangvormige buis stroomend, afgekoeld wordt. Deze koude alcohol koelt het water in den kelk af en loopt buiten langs het cilindervormig vat heen in een wijder vat, waaruit het weer in een bekeerglas kan worden opgevangen. Het toestel wordt zoo in het sciopicon geplaatst, dat op het scherm de kelk en het onderste deel der schaal van den thermometer zichtbaar zijn. Men ziet de kwikzuil in het beeld in den beginne snel rijzen, dus den thermometer zelf dalen, totdat de temperatuur van 0° C. is bereikt. Op dat oogenblik wordt het beeld van het water in den kelk troebel, hetgeen bewijst, dat het water bevroest. Nu blijft, niettegenstaande de steeds voortgaande afkoeling, de thermometer geruimen tijd op 0° C. staan. Dat bij deze aanhoudende onttrekking van warmte aan het water de temperatuur toch niet daalt, bewijst dat bij het bevroeren van het water warmte ontstaat, een verschijnsel dat zich steeds bij het stollen van vloeistoffen voordoet. Pas nadat al het water ijs geworden is, ziet men den thermometer weer dalen. Nadat de temperatuur eenige graden onder nul godaald is, neemt men de slangvormige buis uit het afkoelend mengsel en plaatst ze in water van de gewone kamer-temperatuur. Giet men nu weer vloeistof er door, dan wordt het ijs verwarmd, en de temperatuur stijgt weer tot 0° . Dan echter blijft ze, niettegenstaande de voortgaande verwarming, een poos constant. Dit bewijst dat bij het smelten van het ijs warmte verdwijnt, wat eveneens steeds bij het smelten van een vaste stof geschiedt. Zoodra het ijs gesmolten is, gaat het gevormde water weer in temperatuur stijgen.

Ten einde de volumeverandering na te gaan, die het water bij het bevroeren ondergaat, wordt een holle ijzeren bol met water gevuld en dichtgeschroefd. Plaatst men den bol daarna in een afkoelend mengsel, dan hoort men hem na verloop van eenigen tijd bersten; bij het bevroeren zet het water uit en ontwikkelt daarbij zulk een kracht, dat de samenhang van het ijzer wordt verbroken.

Bijzonder is ook de wijze, waarop het ijs zich gedraagt bij verhoogde drukking. Terwijl van de meeste andere stoffen het smeltpunt in zulk een geval stijgt, daalt dat van ijs onder 0° C. Daarop berust het verschijnsel van regelatie van het ijs. Men kan dit laten zien met een blok ijs van 0° C., waarom heen een metaaldraad is geslagen, aan welks beide einden, saamverbonden, een gewicht wordt gehangen. Na eenigen tijd is de draad door het gewicht geheel door het ijs heen

getrokken en toch zijn de twee deelen van het blok aaneengevoren. Door den druk, dien de draad op het ijs uitoefent, wordt het smeltpunt op de plaats, waar de draad drukte, verlaagd; het ijs smelt; maar het gevormde water komt daarna boven den draad en bevriest dan, van den druk ontheven, weder. Zoo gaat het ijs achtereenvolgens over de geheele dikte voort te smelten en weer te bevriezen, zoodat men ten slotte weer één ijsblok heeft.

Op dit verschijnsel der regelatie berust ook de proef, waarbij men ijsstukjes onder grooten druk in de inwendige holte van een vorm perst en bij het uit elkander nemen van den vorm waarneemt, dat er één stuk ijs ontstaan is, dat den vorm der holte vertoont. De ijsstukjes zijn onder den angewenden druk gedeeltelijk gesmolten en bij opheffing van den druk tot één ijslichaam saamgevoren.

Hebben wij in het voorgaande enkele bijzondere eigenschappen van het ijs leeren kennen; zeer beknopt willen wij nu bespreken, hoe het ijs wordt bewaard, ten einde het ook in tijden, dat het niet vriest, te kunnen gebruiken.

De bewaarplaatsen van het ijs liggen geheel of gedeeltelijk onder den grond of geheel er boven. Het ijs moet daarin door een dikke laag slechte warmtegeleiders omgeven zijn. Stroo, houtzaagsel, asch en dergelijke stoffen zijn daarvoor zeer geschikt. Ook dubbele wanden met een isoleerende luchtlaag er tusschen worden gebruikt.

Bouwt men ijshuisjes, die geheel of gedeeltelijk boven den grond staan, dan moeten nog andere voorzorgen genomen worden, om de warmte zooveel mogelijk af te weren. De ingang moet aan de noordzijde worden aangebracht en het huisje zooveel mogelijk in de schaduw geplaatst. Van buiten moet het wit geverfd worden, om de verwarming door de zonnestralen zoo gering mogelijk te maken.

Het ijs wordt op een lattenrooster geplaatst, om het smeltwater gelegenheid te geven weg te vloeien. Dit wordt afgevoerd door een afhellende buis, waarin zich een waterzak bevindt, om de warme buitenlucht te verhinderen het ijshuis binnen te dringen.

Hoe minder tusschenruimten tusschen de ijsblokken overblijven, zooveel minder smelten zij af; de voegen worden daarom met kleine stukjes ijs zorgvuldig aangevuld. Moet het ijs niet tot consumtie dienen, dan wordt bij elke laag ijsblokken vrij rijkelijk keukenzout tusschen de voegen en op de oppervlakte gestrooid en dan de volgende laag er opgestapeld, die dan aan de vorige vastvriest.

Toch, al wordt het ijs nog zoo goed bewaard, heeft er altijd smelting

plaats, die begint aan de oppervlakte van het ijs, waarop zich een dun laagje water vormt. Dit vloeit slechts voor een deel naar beneden en wordt daar afgevoerd; een zeer aanzienlijk deel gaat in waterdamp over en maakt de ruimte boven het ijs zeer vochtig. Deze damp slaat aan de zoldering en de wanden neer, druppelt op het ijs af, sijpelt er door heen en doet zoo het ijs smelten. BRAINARD heeft eene inrichting uitgedacht, waardoor het ijs beter bewaard blijft. Boven in de ruimte van het ijshuisje wordt een zoldering van blik aangebracht, waaraan een geribde vorm is gegeven. Aan de scherpe kanten zijn gootjes aangebracht. De waterdamp slaat als water tegen het blik aan en vloeit in de gootjes af. Dezen voeren het in een grootere dwarsgoot, waaruit het verder naar beneden wordt afgevoerd.

Gaan wij thans over tot bespreking van de wijze, waarop kunstmatig ijs wordt gemaakt. Drie stelsels zullen wij daarbij hebben te behandelen: 1^o. het gebruik van *afkoelende mengsels*; 2^o. dat van *verdampingsmachines*; 3^o. dat van *luchtexpansiemachines*.

Beginnen wij met de *afkoelende mengsels*. Dezen berusten op het verschijnsel, dat wij bij het smelten van ijs hebben waargenomen en dat zich bij het smelten van alle vaste stoffen voordoet, nl. dat daarbij warmte verdwijnt. Deze afkoelende mengsels nu zijn mengsels van twee of meer stoffen, waarvan ten minste een vast moet zijn, en die zoodanig gekozen worden, dat zij in elkaar oplossen. Water met zouten, sneeuw of ijs met zuren, sneeuw of ijs met zouten of zouten met zuren kunnen als afkoelende mengsels dienst doen. Bij de menging worden de vaste stoffen vloeibaar en onttrekken daarbij zooveel warmte aan het vat met water, dat in het mengsel is geplaatst, dat het water bevriest. De temperatuur daalt belangrijk, maar kan nooit lager worden dan die, waarbij de ontstane oplossing zelve vast wordt. Bekende voorbeelden van elk der vier genoemde soorten van mengsels zijn: ammoniumnitraat en water, sneeuw of ijs met zwavelzuur, sneeuw of ijs met keukenzout, natriumsulfaat met zoutzuur. Van de verhouding van de hoeveelheden der stoffen, die het mengsel vormen, hangt de sterkte der te verkrijgen afkoeling af. Zwavelzuur met sneeuw b. v. kan zelfs een verwarmend in plaats van een afkoelend mengsel worden, als men de hoeveelheid zwavelzuur te groot neemt. Er wordt dan meer warmte ontwikkeld door de verbinding van het zwavelzuur met het water, dan er door de smelting der sneeuw verdwijnt.

Op kleine schaal heeft men het gebruik van afkoelende mengsels toegepast tot vervaardiging van ijs voor huishoudelijk gebruik. Eenige

onderling verbonden conische vaten worden met water gevuld in een vat geplaatst, dat het afkoelend mengsel bevat; door de vaten om een verticale as rond te draaien, worden de stoffen van het mengsel goed gemengd en heeft de afkoeling sneller plaats. Na eenigen tijd vindt men het water in de vaten bevroren en kan het gevormde ijs er worden uitgenomen.

Op deze wijze worden echter slechts geringe hoeveelheden ijs verkregen. Wil men op groote schaal ijs maken, dan moeten andere stelsels worden toegepast. Tot dit doel kunnen de zoogenaamde *verdampingsmachines* worden aangewend. Daartoe behooren de *vacuummachines*, de *verdampingsmachines met absorptieapparaat* en de *verdampingsmachines met perspompen*.

In de *vacuumijsmachines* doet men het water door zijn eigen verdamping bevroren. Even als voor het smelten van een vast lichaam is voor het verdampen van een vloeistof warmte noodig, die bij de verdamping verdwijnt. Laat men het water snel verdampen, zonder dat men warmte aanvoert, dan wordt de warmte aan het achterblijvende water zelf onttrokken en dit kan daardoor bevroren. Ten einde de verdamping van het water snel te doen plaats grijpen, kan men de lucht in de besloten ruimte, waarin het water zich bevindt, verdunnen. In 1755 reeds bevond CULLEN, dat het mogelijk was het water op die wijze te doen bevroren. NAIRNE vond in 1787, dat de afkoeling versterkt wordt door in de besloten ruimte een vat met sterk zwavelzuur te plaatsen. Zwavelzuur neemt gretig waterdamp op, en de verdamping van het water heeft sneller plaats, naarmate er minder waterdamp in de ruimte aanwezig is. Bekend is de proef van LESLIE, die in 1810 water onder de klok eener luchtpomp liet bevroren door de gezamenlijke werking van de luchtverdunning en de absorptie van den waterdamp door zwavelzuur. Eigenlijk is de vacuumijsmachine van CARRÉ slechts de toepassing op grooter schaal van deze proef. Met een luchtpomp wordt de lucht boven het water sterk verdund, terwijl de gevormde waterdamp door het in een reservoir, waarover de vochtige lucht heenstrijkt, bevatte zwavelzuur wordt opgeslorpt. Met een roertoestel wordt het zwavelzuur in beweging gehouden, omdat anders de bovenste lagen van het zwavelzuur door het opnemen van het water te sterk zouden verdund worden en op den duur niet krachtig genoeg den damp zouden opslorpen. Men heeft machines, waarbij men het water in een straal bruisend in het afkoelingsvat laat stroomen; de in het water bevatte lucht wordt daarbij

losgelaten, waardoor men kristalhelder ijs verkrijgt; buitendien heeft de verdamping en dus ook de afkoeling daarbij sneller plaats. De kleine handmachines, o. a. die van DUVALLOON, leveren 2 tot 3 liter ijs in 2 tot 10 minuten. De »Internationale Vakuüm-Eismaschinen-Verein» te Berlijn levert machines, waarin blokken ijs van 250 tot 1000 kilogram worden gemaakt.

Om te berekenen hoeveel kilogram water men theoretisch zou kunnen doen bevriezen bij de verdamping van 1 kilogram water, moet men weten, dat bij het bevriezen van 1 kilogram water van 0° C. bijna 80 caloriën vrij worden. (1 calorie is de hoeveelheid warmte, die noodig is om 1 kilogram water 1° C. in temperatuur te doen stijgen). Bij de verdamping van 1 kilogram water verdwijnen daarentegen ongeveer 540 caloriën. Stel nu, dat het water oorspronkelijk een temperatuur van 10° C. heeft, dan zouden, om 1 kilogram water van 10° tot 0° af te koelen, 10 caloriën aan het water moeten worden onttrokken, en om dat kilogram water van 0° tot ijs van 0° te maken daarenboven 80 caloriën. In het geheel zou men dus 90 caloriën aan 1 kilogram water van 10° moeten ontnemen om er' 1 kilogram ijs van 0° van te maken. Daar nu bij de verdamping van 1 kilogram water 540 caloriën verdwijnen, zou men door de verdamping van 1 kilogram water 6 kilogram water kunnen doen bevriezen. De fabrikanten van vacuümsmachines geven aan, dat in werkelijkheid 5 kilogram ijs verkregen wordt door de verdamping van 1 kilogram water.

Gaan wij thans over tot de behandeling van de *verdampingsmachines met absorptieapparaat*. Wij laten enkele proeven voorafgaan. Eene goed gesloten flesch is met ammoniakgas gevuld; opent men haar en brengt men de opening onder water, dan dringt het water er snel in op en vult de flesch. Deze proef bewijst, dat ammoniakgas gretig door water wordt opgeslorpt. Water van gemiddelde temperatuur slorpt het 460voud van zijn volume, of ongeveer 30 percent van zijn gewicht, aan ammoniakgas op. Verwarmen wij een oplossing van ammoniakgas in water in een reageerbuisje, dan zien wij spoedig bellen opstijgen. Dat hierbij geen koking van het water plaats heeft blijkt duidelijk uit de lage temperatuur van het water; men kan het buisje met de hand aanvatten, wat men met een buisje met kokend water niet zou kunnen doen. De opstijgende bellen waren gevuld met ammoniakgas, dat bij de verwarming uit het water werd verdriven, omdat water bij hoogere temperatuur minder gas kan opgeslorpt houden dan bij lagere warmtegraad.

Eene derde proef moet dienen, om aan te toonen welk een sterke afkoeling vluchtige vloeistoffen bij snelle verdamping kunnen teweeg brengen. Hiervoor kunnen we geen ammoniak gebruiken, omdat dit bij de gewone luchtdrukking en temperatuur niet vloeibaar is; wij nemen daarom eene andere vluchtige vloeistof: aether. Brengt men een weinig aether in een bekersglasje, plaatst daarin een reageerbuisje met een weinig water en doet de aether snel verdampen door met een blaasbalg lucht er door en overheen te blazen, dan vindt men het water in het buisje spoedig bevroren tengevolge van de afkoeling, die het door de verdamping van de aether onderging. In een anderen vorm kan men deze proef nemen door een weinig aether in een horlogeglasje te gieten, en dit laatste op een met water bevochtigd plankje onder de klok eener luchtpomp te plaatsen. Na eenige pompslagen vindt men het horlogeglasje aan het plankje vastgevroren. Door de vermindering der drukking en de wegvoering van den gevormden aetherdamp door de luchtpomp had de verdamping van de aether snel genoeg plaats, om het water tot het vriespunt af te koelen.

Na deze proeven zijn wij voldoende voorbereid om de werking der verdampingsmachines met absorptieapparaat te begrijpen. In deze machines, van welke uitvinding de verdienste aan CARRÉ (1867) toekomt, wordt gebruik gemaakt van eene geconcentreerde oplossing van ammoniak in water. De kleine machines bestaan uit een ijzeren cilindervormig vat, dat door een buis in verbinding staat met een conisch vat. In den cilinder bevindt zich in den aanvang de ammoniakoplossing, terwijl het andere vat leeg is. Het cilindervormig vat wordt nu door een daar onder geplaatst vuur verwarmd, terwijl het leege vat door koud water wordt omgeven. Het ammoniakgas ontwikkelt zich door de verwarming uit het water in den cilinder en wordt door zijn eigen drukking en de afkoeling van het koude water tot vloeibare ammoniak in het conische vat verdicht. Daarna wordt het cilindervormig vat van het vuur genomen en door koud water omgeven, terwijl het conische vat uit het water wordt verwijderd. Door de afkoeling van den cilinder slurpt het daarin bevatte ammoniakvrije water weer het ammoniakgas op; de ammoniakvloeistof in het conische vat wordt ten gevolge daarvan tot snelle verdamping gebracht en absorbeert daarbij zooveel warmte, dat het water, dat men in eene conische holte van dit vat gebracht heeft, bevriest.

Bij de groote onafgebroken werkende toestellen van CARRÉ wordt een ketel, half met eene geconcentreerde ammoniakoplossing gevuld,

verwarmd; het daardoor ontwijkende ammoniakgas gaat naar een slangvormige, door koelwater omgeven buis, waar het afgekoeld en bij een drukking van 8 à 10 atmosferen vloeibaar gemaakt wordt. Van daar stroomt de vloeibare ammoniak naar het ijstoestel, waar zij verdampt en door de daarbij ontstane afkoeling het water doet bevriezen. De gasvormige ammoniak gaat naar een vat, waar zij samenkomt met het vooraf afgekoelde van ammoniak beroofde water en daardoor weer opgenomen wordt. Door een pomp wordt de aldus gevormde ammoniakoplossing weer naar den ketel gepompt, om op nieuw te worden verwarmd.

Een nadeel van deze machines is, dat men daarbij telkens eene groote hoeveelheid water te verwarmen en weer af te koelen heeft; wat vooral nadeelig is, omdat van alle stoffen (op waterstof na) water de grootste hoeveelheid warmte noodig heeft om bij een bepaald gewicht eene bepaalde temperatuursverhooging te ondergaan.

Dit nadeel bezitten de *verdampingsmachines met perspomp* niet. Bij dezen maakt men gebruik van een vloeistof met laag kookpunt. Uit het toestel, (den verdamper), waarin deze zich bevindt, wordt de damp er van door een pomp opgezogen en geperst naar een condensator, waarin hij door drukking en afkoeling weer vloeibaar wordt. Van hier wordt de vloeistof weer naar den verdamper gevoerd, waar zij weer gasvormig wordt, enz. Aan het omringende water wordt bij het verdampen de warmte onttrokken, zoodat dit befrist. Zoowel bij deze machines als bij die met absorptieapparaat, is het tot befrizing bestemde water niet onmiddellijk met de wanden van den verdamper in aanraking, omdat het alsdan daaraan zoude vastvriezen. Eene vloeistof met een lager vriespunt, zooals b. v. een oplossing van keukenzout, chloorcalcium of chloormagnesium in water, scheidt den verdamper van het af te koelen water. Deze oplossing wordt dus eerst afgekoeld, zonder te bevriezen, en koelt op hare beurt het water af, dat daardoor befrist.

Bij de eerste verdampingsmachines met perspomp werd van aethylaether gebruik gemaakt. Reeds in 1837 werd door PERKINS voor een ijsaethermachine in Engeland patent genomen. Later is deze ijsaethermachine veel verbeterd, zoodat zij practisch bruikbaar werd. In Engeland voornamelijk wordt zij nog al gebruikt, vooral de verbeterde machine van SIEBE-GORMAN.

Tot de aangewende vloeistoffen behooren ook ammoniak, methylaether, en zwaveligzuur. Welke van deze vloeistoffen verdient het meeste aanbeveling? Ammoniak wordt veel gebruikt, en geen wonder. Ver-

gelijke wij b. v. ammoniak en aetylaether, dan vinden wij dat 1 kilogram vloeibare ammoniak ongeveer 234 calorïen tot verdamping noodig heeft, terwijl 1 kilogram aether daartoe slechts 90 calorïen behoeft. LINDE geeft aan, dat om 1 centenaar ijs van $- 3^{\circ}$ C. uit water van $+ 10^{\circ}$ C. te maken van de verschillende vloeistoffen noodig zijn:

van ammoniak	5,6 M ³
» methylaether	10 »
» zwaveligzuur	15 »
» aethylaether	150 »

In dergelijke verhouding als deze getallen staan dan ook tot elkaar de grootte der pomp, die der machine in het algemeen, het verlies door wrijving, enz. bij het gebruik der verschillende vloeistoffen.

Bekend zijn de veel gebruikte ammoniakmachines van LINDE, die door de Gesellschaft für LINDE's Eismachines in Wiesbaden geleverd en in Duitschland door de Maschinenfabrik AUGSBURG te Augsburg gemaakt worden. Zulk eene machine wordt gebruikt door Dr. MOUTON te 's Hage in zijne kunstboterfabriek. TELLIER voerde machines met methylaether in; PICTET machines met zwaveligzuur, waarvan er een gebruikt wordt in de stearinekaarsenfabriek te Gouda tot afkoeling der lucht in de vetkamers. PICTET heeft het vloeibaar gemaakte zwaveligzuur o. a. ook gebruikt, om door de verdamping daarvan koolzuur vloeibaar te maken en door de verdamping van dit koolzuur weer samengeperst zuurstofgas zoo sterk af te koelen, dat het bij uitstrooming vloeibaar werd. Niet onaardig is deze wijze van vloeibaar maken van stoffen, die men vroeger alleen in den gasvormigen toestand kende, vergeleken met het vangen van wilde olifanten, waartoe men zich, gelijk bekend is, van tam gemaakte olifanten bedient.

Ook vloeibaar koolzuur heeft men aangewend om ijs te maken; maar daar koolzuur slechts door zeer sterken druk vloeibaar kan gemaakt worden, moeten de toestellen zeer sterk worden gemaakt en zijn zij door de groote spanning van het koolzuurgas moeielijk dicht te houden. Stelt men dat het koolzuur bij een temperatuur van $+ 10^{\circ}$ C. in den condensator verdicht wordt, dan is daartoe de drukking van 46 atmosferen noodig.

Bij al deze ijsmachines valt op te merken, dat het gevormde ijs, dat uit luchthoudend water ontstaat, ondoorschijnend is. Wil men kristalijns vervaardigen, dan moet men zich bedienen van door condensatie van stoom ontstaan luchtvrïj water of men moet het water in beweging houden om de lucht te doen ontwijken.

Wij hebben thans nog de *luchtexpansie-machines* te bespreken. Vooraf nemen wij weer enkele proeven. In een cilinder duwen wij snel een luchtdicht sluitenden zuiger, die hol is en een stukje zwam bevat. Bij het uithalen van den zuiger bemerken wij, dat het zwam vuur heeft gevat, hetgeen bewijst, dat bij het samenpersen der lucht warmte is ontstaan. In een metalen vat hebben wij lucht saamgeperst; daarna het zoolang laten staan, dat het de temperatuur der omringende lucht heeft aangenomen. Laat men nu de saamgeperste lucht uitstroomen tegen het oppervlak van een met een galvanometer verbonden thermo-electrische zuil, dan duidt de afwijking der naald afkoeling aan. Bij het uitzetten is de lucht dus afgekoeld. Deze afkoeling kan men ook laten zien, door de lucht weg te zuigen uit een inwendig bevochtigden glazen bol, waarachter men een lichtbron heeft geplaatst. Telkens als de lucht er in wordt verdund, ontstaat er een nevel, omdat de waterdamp, die in den bol is, bij de uitstrooming der lucht afgekoeld wordt.

Beide verschijnselen, zowel de verwarming bij de samenpersing, als de afkoeling bij verdunning der lucht, kunnen ook met een zelfde toestel worden aangetoond. Men maakt daartoe gebruik van een grooten glazen ballon, dien men in gemeenschap stelt met een met gekleurd water gevulden open manometer. De ballon kan ook door een buis met kraan met de buitenlucht in verbinding gesteld worden. Stel, dat deze kraan in den aanvang open is, zoodat de lucht in den ballon een drukking van 1 atmosfeer heeft en de vloeistof in de beide manometerarmen even hoog staat. Met een zuigpomp verwijderd men nu een gedeelte der lucht uit den ballon, sluit dan de kraan en wacht tot de vloeistof in de manometerarmen zich niet meer verplaatst, hetgeen het bewijs levert dat de temperatuur van de in den ballon aanwezige verdunde lucht dezelfde is als die der buitenlucht. Nu opent men snel de kraan; de buitenlucht dringt in den ballon binnen en zoodra de vloeistof in beide manometerarmen even hoog staat, sluit men de kraan. Onmiddellijk daarna ziet men de vloeistof in den met den ballon verbonden arm stijgen, in den anderen dalen. Daaruit volgt dat de spanning van de lucht in den ballon na het sluiten der kraan vermindert, waaruit op te maken valt, dat deze lucht afkoelt en dus oorspronkelijk warmer was dan de buitenlucht. Door het instroomen der buitenlucht in den ballon was dus de lucht verwarmd geworden.

Persen we daarentegen lucht in den ballon en wachten we weer, tot de manometer blijft staan, openen dan de kraan, laten lucht uit-

stroomen en sluiten ze weer, als de vloeistof in beide armen even hoog staat, dan neemt men daarna waar, dat de vloeistof in den met den ballon verbonden manometerarm daalt. Daaruit blijkt dat de spanning der lucht toeneemt, dat de lucht derhalve warmte van buiten opneemt en door het uitstroomen dus afgekoeld was.

Deze afkoeling neemt men ook waar bij heeten stoom, die uit een stoomketel stroomt. Onmiddellijk aan de uitstrooingsopening zou men de hand, die men in den stoom stak, branden; maar iets verder er af kan men ze ongestraft er in houden. Bij sterk saamgeperste lucht kan de afkoeling, door de uitstrooming veroorzaakt, zeer sterk zijn. Dit ondervinden b. v. de arbeiders in de toestellen, waarmede de pijlers van bruggen pneumatisch worden gefundeerd. Dezen arbeiden in lucht van enkele atmosferen drukking. Laten zij bij het overgaan in de buitenlucht de saamgeperste vochtige lucht uit de ruimte, waarin zij zich bevinden, wat snel ontsnappen, dan verkeerden zij als het ware in een ijskoude mist. Zoo kwam het ook voor tijdens het maken van den tunnel door den Mont-Cénis, waarbij men van sterk samengeperste lucht gebruik maakte om de boren in beweging te brengen, dat deze lucht bij uitstrooming een zoo sterke afkoeling onderging, dat de daarin aanwezige waterdamp niet alleen tot water maar tot ijs werd afgekoeld.

Bij al deze verschijnselen hebben wij te doen met de betrekking tusschen arbeid en warmte. Wordt lucht saamgeperst, dan heeft men, terwijl men den zuiger verplaatst, een zekere kracht uit te oefenen; die kracht verricht daarbij arbeid; wij leggen aan het samenpersen der lucht eene zekere hoeveelheid arbeidsvermogen ten koste en eene aequivalente hoeveelheid warmte komt daarvoor in de plaats. Hadden wij gemiddeld een kracht van 1 kilogram uitgeoefend en den zuiger 1 meter verplaatst, dan zouden wij een arbeid van 1 kilogrammeter hebben uitgeoefend. Hadden wij tot samenpersing der lucht 424 kilogrammeters arbeid verricht, dan zou er zooveel warmte ontstaan zijn, als noodig is om 1 kilogram water 1° C. in temperatuur te doen rijzen, dus 1 calorie. Omgekeerd verdwijnt warmte in aequivalente hoeveelheid als de saamgeperste zich uitzet.

Wij kunnen nu de werking der luchtexpansie-machines begrijpen. In beginsel komt deze hierop neer, dat de lucht door een pomp ingezogen en saamgeperst wordt; de daardoor ontstane warmte wordt door koelwater afgevoerd. Deze afgekoelde saamgeperste lucht laat men zich uitzetten en de daarbij ontstane afkoeling doet het omringende water bevriezen.

Reeds HERSCHEL ried aan door expansie koude voort te brengen. In 1850 opperde GARRIE in Florida het plan om lucht saam te persen, af te koelen, daarna te laten uitzetten en door de daarbij ontstaande afkoeling ijs te maken. De ingenieur WINDHAUSEN te Brunswick (1869) vooral heeft zich ten opzichte van de vervaardiging van luchtexpansie-machines verdienstelijk gemaakt. De gunstigste werking schijnt verkregen te worden met eene samenpersing der lucht tot $2\frac{1}{2}$ à $3\frac{1}{2}$ atmosferen. Eerst scheen het dat deze machines eene groote vlucht zouden nemen; die verwachting is echter niet verwezenlijkt. Een groot bezwaar was, dat bij de uitzetting der lucht, die zelve waterdamp bevat, deze in den vorm van sneeuw neersloeg, die zich tegen de kleppen en de cilinders vastzette en de machine deed vastvriezen. Dit gebrek heeft men later veel verminderd, door het water aan de lucht te onttrekken, voor zij zich uitzet. Een hoofdbezwaar echter, dat niet op te heffen valt, is hierin gelegen, dat de lucht slechts een geringe hoeveelheid warmte noodig heeft, om zich te verwarmen; 1 kilogram neemt slechts 0,2377 calorie op bij eene temperatuursverhoging van 1° C. Om dus eene voldoende afkoeling van het water te verkrijgen ten einde dit in voldoende hoeveelheid tot ijs te maken, heeft men groote hoeveelheden lucht en dus groote machines noodig. Tegen 5,6 M³. ammoniak zijn volgens LINDE 740 M³. lucht noodig. Dit heeft dan ook gemaakt, dat op plaatsen, waar men vroeger luchtexpansiemachines gebruikte, zooals in de stearine-kaarsenfabriek te Gouda, deze later door andere ijsmachines vervangen werden.

Wij hebben hiermede het beginsel der verschillende ijsmachines niteengezet en hebben thans nog kortelijk mede te deelen, tot welk doel zij worden gebruikt. In het voorgaande noemden wij voortdurend het maken van ijs als het doel dezer werktuigen. Werkelijk worden er groote hoeveelheden ijs mede voortgebracht, die o. a. dienen tot consumtie of tot vervoer van bij hogere temperatuur aan bederf onderhevige stoffen, zooals visch, vleesch enz. Maar vooral in verschillende industrieën wordt veel ijs gebruikt, met name in bierbrouwerijen tot afkoeling der bierwort, der gistingsskuijen, of tot bewaring van het bier. Millioenen kilo's ijs worden daartoe in groote bierbrouwerijen jaarlijks gebruikt.

In de tweede plaats laat men, in plaats van ijs te maken, water door den koeltoestel der ijsmachine stroomen en gebruikt dit koude water daarna b. v. tot afkoeling van de bierwort of van de gistingsskuijen. In plaats van het bier in de lagerkelders door ijs af te koelen

laat men daarin ook eene in den koeltoestel beneden 0° afgekoelde zoutoplossing door buizen circuleeren, waardoor de geheele kelder wordt afgekoeld.

Eindelijk dienen de machines ook tot afkoeling der lucht, die dan door ventilatoren in de af te koelen ruimten wordt geblazen. Op deze wijze worden o. a. de gistkelders in bierbrouwerijen afgekoeld; te Bremen wordt een abattoir op deze manier koel gehouden. Zoo wordt ook in de stearinekaarsenfabriek te Gouda koude lucht in de vetkamers gevoerd om het oleïnezuur van het stearinezuur te scheiden.

De productieprijsen van het door de machines voortgebrachte ijs hangen af van den omvang der productie; zij worden lager bij toename van het in zekeren tijd voortgebrachte aantal kilogrammen ijs; groote machines werken goedkooper dan kleine. Van eene machine van LINDE vind ik o. a. een berekening meegedeeld, waarvan de slotsom is, dat bij eene productie van 40.000 kilogram ijs per 24 uren, de productiekosten van 100 kilogram ijs slechts $21\frac{1}{2}$ cent bedragen.