Iets over den invloed van de temperatuur op het magnetisme van ijzer en staal

E. H. GROENMAN

Iets over

DEN INVLOED VAN DE TEMPERATUR

op het

MAGNETISME VAN IJZER EN STAAL

E. H. GROENMAN.

IETS OVER

DEN INVLOED VAN DE TEMPERATUUR

OP HET

MAGNETISME VAN IJZER EN STAAL.

IETS OVER

DEN INVLOED VAN DE TEMPERATUUR

OP HET

MAGNETISME VAN IJZER EN STAAL.

Academisch Proefschrift

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD

VAN

DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE

AAN DE HOOGESCHOOL TE UTRECHT,

NA MACHTIGING VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

D^r. T^H. W. ENGELMANN,

Hoogleeraar in de Faculteit der Geneeskunde,

MET TOESTEMMING VAN DEN ACADEMISCHEN SENAAT EN VOLGENS BESLUIT DER WIS- EN NATUURKUNDIGE FACULTEIT,

TE VERDEDIGEN

op Dinsdag 15 Mei 1877, des namiddags ten 3 ure.

DOOR

EISO HENRICUS GROENMAN,

geboren te Niezijl (Groningen.)

HEERENVEEN.

N. A. HINGST,

1877.

AAN MIJNE OUDERS.

EEN WOORD VOORAF.

Als ik met een enkel woord mijnen dank ga toebrengen aan allen, die tot mijne opleiding hunne moeite en zorgen hebben gegeven, dan denk ik, naast mijne ouders, het eerst aan U, waarde Oom! bij wien ik een groot deel van mijn jongenstijd heb doorgebracht. Door uw voorbeeld wel het meest, is bij mij de lust tot studie opgewekt.

—

Herdenk ik de wis- en natuurkundige faculteit van deze Hoogeschool, zooals zij was in mijn academietijd, dan vervult mij een gevoel van weemoed, nu ik daarin vier zoo hoog gewaardeerde leermeesters mis.

De Hoogleeraren van Rees, Miquel en Hoek zijn niet meer, terwijl de Hoogleeraar G. J. Mulder om redenen van gezondheid zijn ambt moest nederleggen.

In 't bizonder gevoel ik mij gedrongen mijne dankbare hulde te brengen aan de nagedachtenis van den Hoogleer R. van Rees, voor het onderrricht en de belangstelling van dien uitstekenden man genoten.

Behalve voor uwe lessen, Hooggeleerde Harting, heb ik U nog dank te zeggen voor hetgeen Gij, met opoffering van Uwen kostbaren tijd, tot mijne ontwikkeling hebt bijgedragen.

U, Hooggeleerde E. Mulder heb ik mijne erkentelijk-

heid te betuigen, voor uw onderwijs in de theoretische scheikunde. Geheel belangeloos werd daaraan door U het vroege morgenuur gewijd.

U dank zeggende voor uw onderwijs betreur ik het nog, Hooggeleerde Grinwis, dat ik, door mijn vertrek van de academie, uwen cursus over Differentiaal- en Integraalrekening niet ten einde heb kunnen bijwonen.

—

Ten slotte een woord tot U, mijn hooggeachte promotor, Hooggeleerde Buys Ballot. Ontvang mijn hartelijken dank voor hetgeen ik van U heb geleerd, en voor de welwillendheid waarmede Gij, ook bij het samenstellen van dit proefschrift, mij steeds hulpvaardig hebt ter zijde gestaan. Steeds zal ik erkentelijk blijven voor hetgeen ik aan U verschuldigd ben.

—

Mijne vrienden uit den academietijd, die her- en derwaarts zijt gegaan, een groet aan U!

HOOFDSTUK I.

§ 1. Bij een onderzoek van de ouden behoorde steeds de vuurproef. Het spreekt, dat ook de magneet hieraan niet kon ontkomen.

»Fiat examen in ignibus etc," zegt Gilbert, [1]) een der eersten van wie onderzoekingen omtrent den invloed van de temperatuur op het magnetisme bekend zijn geworden.

Een ijzeren staafje, werd aan het eene uiteinde gestreken met de Z. P. van een magneetsteen. Dit uiteinde tot de roode gloeihitte gebracht, en op een kurk in water gelegd. scheen slechts weinig van de richtkracht verloren te hebben. Daarna geheel wit gloeiend gemaakt, was de polariteit verdwenen.

Gilbert merkte bovendien nog op, dat zoodra de magneet staaf, slechts even had opgehouden wit gloeiend te zijn, zij weer begon magnetisme te vertoonen.

Tot de zelfde resultaten kwamen ook Musschenbroek, [2]) Savery, [3]) Brugmans [4]) e. a.

Savery drukt zich aldus uit:

»That magnetisme not only in touched Iron and steel, but also in the Loadstone itself, is soon destroyed by fire."

Gedurende de afkoeling krijgen de magneten ook volgens Savery, meer of minder van hun magnetisme terug

1). Guilelmi Gilbert.; de magnete, magnetisque Corporibus phisiologia nova Londini 1600

2). Musschenbroek Exp. XXX.

3). Savery, Phil. trans. 1730 p, 314.

4). Brugmans, de materià magnetica etc. 1765.

althans als zij worden afgekoeld in een' loodrechten stand, of nog beter in de richting van de magnetische as.

Gehlers Wörterbuch der phijs, maakt ons opmerkzaam op eene verhandeling van een' zekeren J. C. [1]) in de Phil. trans. voor 1694. Dit is voor dien tijd een belangrijk stuk. J. C. maakt een zuivere onderscheiding tusschen het veranderlijke magnetisme van week ijzer, en het vaste (blijvende magnetisme) van staal. Voorts merkt hij reeds op, dat hameren, vijlen, boren etc. het ijzer magnetisch maakt. (Hetzelfde wat door Réaumur in 1723 in de Mem. de l' Acad als een nieuw ontdekt feit wordt opgegeven); dat gloeiend ijzer, afkoelende in den verticalen stand, sterker magnetisch werd, dan in den horizontalen. Alle ponzen en boren waren volgens J. C. aan het benedeneinde noordmagnetisch, daar dit gedeelte bij het gebruiken steeds naar beneden was gericht. Vuur vernietigde alle polen, doch het magnetisme van de aarde, werkte sterker op verhit ijzer dan op koud enz.

§ 2. Hoe onvolkomen zijne proefnemingen ook mogen geweest zijn, mocht men toch verwachten dat dit stuk van J. C. aanleiding zou hebben gegeven tot verder onderzoek. Doch zijne opmerkingen waren vergeten toen Scoresby, [2]) Barlow en Bonnycastle [3]) in het begin dezer eeuw op nieuw begonnen te onderzoeken.

De aanleiding tot het onderzoek van Scoresby was, eene afwijking van de compasnaald ten gevolge van ijzer in het schip. Scoresby ging nu de eigenschappen van

---

1). J. C. Phil, trans. 1694 p. 257—62.

2). Scoresby Edinb. trans. T IX 1821 p. 242.

3). Barlow en Bonnycastle. Phil: trans. 1822 p, 117—126.

het veranderlijk magnetisme na. Zijne resultaten waren deze: »IJzer verhit tot de roode gloeihitte, en in water gedompeld, in eene verticale richting, wordt magnetisch; het bovenste gedeelte verkrijgt Zuid- en het onderste Noord-polariteit."

IJzer verkrijgt warm meer magnetisme door invloed dan koud. Een ijzeren staaf in eene verticale richting, met het eene uiteinde tegenover de N. P. van de compasnaald gebracht, deed deze $27^1/_2$° afwijken.

Dezelfde staaf tot de roode gloeihitte gebracht, en in den zelfden stand als te voren, gaf een afwijking van 60°. Werd de zelfde proef nog eens herhaald, dan was de afwijking bij de gewone temperatuur 15° die bij de roode gloeihitte 77°. Scoresby merkt hier by op: »The Contrary of this has, I think, been generally assumed." Hij is dus blijkbaar niet op de hoogte geweest van hetgeen in 1694 reeds door J. C. was opgemerkt.

Zeer belangrijk is het onderzoek van Barlow (en Bonnycastle). Deze ging uit van het denkbeeld, dat de magnetiseerbaarheid, in nauw verband moest staan met den moleculairen toestand van het ijzer, en dat in gloeienden toestand alle ijzer, zich ten opzichte van het magnetisme, op de zelfde wijze, moest gedragen. Om dit te onderzoeken nam Barlow twee staven (elk 63.5 cM. lang en 3.175² in doorsnede); de eene van week ijzer, de andere van giet ijzer. Deze werden bij verschillende temperaturen in de richting van de inclinatie naald, tegenover eene compasnaald gesteld; de afwijkingen waren:

Gietijzer	koud	afwijking 21°
» »	witgloeiend	» » 0°
» »	roodgloeiend	afwijking 62°

Weekijzer	koud	» »	40°
» »	witgloeiend	» »	0°
» »	roodgloeiend	» »	55°

Bij een zelfde onderzoek met staven van weekijzer, zacht staal en hard staal waren de resultaten deze:

Weekijzer	koud	afwijking	15°
» »	witgloeiend	» »	0°
» »	roodgloeiend	» »	41°
Zacht staal	koud	» »	11°
» »	witgloeiend	» »	0°
» »	roodgloeiend	» »	48°
Hard staal	koud	» »	8°
» »	witgloeiend	» »	0°
» »	roodgloeiend	» »	47°30′

Bij de witte gloeihitte heeft dus geen der ijzersoorten nog magnetiseerbaarheid.

Bij verhooging van temperatuur, tot de roode gloeihitte neemt de magnetiseerbaarheid toe, voor alle ijzersoorten, maar voor hard ijzer veel sterker dan voor zacht.

Bij deze onderzoekingen werd door Barlow een merkwaardig verschijnsel ontdekt, in den magnetischen toestand van de staaf, tusschen de licht-roode en roode gloeihitte. Hij noemt dit verschijnsel »anomalous attraction." Het was een omkeering van de polen van de staaf. Was namelijk de staaf, na wit gloeiend geweest te zijn, tot de licht-roode gloeihitte afgekoeld, dan was bij het intreden van den magnetischen toestand de pool omgekeerd. Dit duurde eenigen tijd voort, met toenemende sterkte van het magnetisme, en juist als deze een maximum had bereikt, keerde de pool zich weder om, en kwam de staaf in

den normalen magnetischen toestand terug. Deze tweede omkee ing geschiedde bij de roode gloeihitte. Wij laten hier een uittreksel volgen, van het tabellarisch overzicht van 38 proeven, welke door Barlow zijn genomen, zoowel met een giet-ijzeren als met een week-ijzeren staaf.

Beteekenis der afkortingen: G. S. gietijzeren staaf. W. S. Weekijzeren staaf. De staven waren 61 c. M. lang en ruim 3 c. M². in doorsnede. Het negatieve teeken duidt de »anomalous attraction" aan.

STAAF.	Afwijking bij de gew. temp.	Afwijking bij de Lichtroode gloeihitte.	Afwijking bij de Donkerroode gloeihitte.	OPMERKINGEN.
W.S.	+ 29°,30′	—12°,0′	+ 44°,	
W.S.	+29°,30′	—12°,30′	+ 70°,	De staaf bleef in dezen stand drie dagen na de afkoeling, nog dezelfde afwijking geven.
W.S.	+ 28°,30′	— 1°,	+ 39°,30′	
W.S.	+ 25°,	— 3°,	+ 32°,	
G. S.	+ 0°,	—17°,	+ 0°,	
G. S.	+15°,45′	— 1°,30′	+ 45°,	
G. S.	+16°,	— 1°,30′	+ 49°,	
G. S.	+11°,30′	— 3°,30′	+ 36°,30′	
W.S.	+ 3°,30′	—50°,	+ 8°,	Beweging van de naald regelmatig maar schielijk.

Bij dit onderzoek worden achtereenvolgens verschillende gedeelten van de staaf tegenover de naald geplaatst, en nu bleek, dat als de »anomalous attraction" was ingetreden, en dan de staaf meer met het midden tegenover

de naald was geplaatst, de afwijking toenam, en juist bij het middenpunt van de staaf het sterkst was, terwijl bij de gewone temperatuur en bij de gewone aantrekking juist het omgekeerde plaats heeft. Als de staaf bijna met het midden tegenover de naald was geplaatst, en dan de afwijking een maximum was geworden, en nu nog even verder, dus door het midden heen, werd bewogen, dan keerde de afwijking der naald plotseling om.

Even boven en beneden het midden waren dus tegengestelde polen gelegen, welke plotseling verdwenen, als de lichtroode gloeihitte had opgehouden. Dan keerde het magnetisme weer tot den gewonen toestand terug. Barlow kon voor zich geen volkomen bevredigende verklaring van dit verschijnsel geven, hij eindigt met te zeggen:

»The only probably explanation, which I can offer by way of accounting for these anomalies, is, that the iron cooling faster towards its extremities, than towards its centre, a part of the bar, will become magnetic before the other part, and thereby cause a different species of attraction; but I must acknowledge, that this will not satisfactorily explain all the observed phenomena. The results however are stated precisely, as they were noted during the experiments, and others more competent than my self will problably be able to deduce the theory of them."

§ 3. Het vreemde van dit verschijnsel is geheel weggenomen, door een onderzoek van Seebeck. [1]) Seebeck vermoedde dat de plaatselijke afkoeling aan de uiteinden, de eenige oorzaak zou zijn.

[1]) Dr. F. J. Seebeck, Pogg. Ann. Bd. X. 1827, blz. 47.

Een staaf ijzer lang ongeveer 32 c. M. en ruim 2 c. M. in diameter, werd zoo veel mogelijk gelijkmatig verhit, tot ze geen magnetische werking meer vertoonde. Zij werd nu in het midden met eene koude ijzeren tang aangevat, en zoo tegenover een compasnaald geplaatst. Spoedig vertoonde zich nu onmiddelijk onder de tang een N. P. en boven een Z. P. Deze polen werden steeds sterker en bewogen zich naar de uiteinden, naar mate de afkoeling in die richting zich uitbreidde. Als de staaf, ook aan de uiteinden tot de roode gloeihitte was afgekoeld, was het geheele benedengedeelte N. Polair, het bovenste tegengesteld, en waren de polen dicht bij de uiteinden gelegen. Bij herhaling van de proef met deze en andere staven, vertoonden zich steeds dezelfde verschijnselen.

Werd het boveneinde in de tang gevat en de staaf tegenover de naald geplaatst, dan vertoonde zich dicht onder de tang een N. P. Deze N. polariteit breidt zich steeds uit, door het midden heen naar het benedeneinde der staaf. Als de staaf tot de roode gloeihitte was gekomen, was deze boven weer Z. Polair geworden.

Bij een volgende proef werd elk der uiteinden tusschen een tang gevat. Er ontstond spoedig onder de bovenste een N. P.; boven de onderste een Z. P.; in het midden is de staaf neutraal. De polen bewogen zich in de richtingen van de afkoeling tegen elkaar in naar het midden, waar zij verdwenen, en de staaf was nu als gewoon boven Z.- en beneden N.- polair geworden. De polen waren dan het sterkst als ze zich het dichtst bij het midden bevonden, zoodat ze zich in haar maximum schenen om te keeren. Dan was namelijk het magnetiseerbare gedeelte

het langst geworden. Om de mogelijkheid van een storenden invloed der ijzeren tangen, werden deze nog vervangen door koperen. De resultaten waren dezelfde.

Nu werd de proef herhaald met een magneet als induceerend middel. Deze magneet in de richting loodrecht op de Magn. Meridiaan, met de N. P. tegenover de N. P. van de naald geplaatst deed deze 17° oostelijk afwijken. Werd nu de te onderzoekene ijzeren staaf tusschen den magneet en de naald geplaatst dan werd bij de gewone temperatuur de afwijking 64°. Werd de staaf tot de witte gloeihitte gebracht zoo keerde de naald op 17° terug. Toen de staaf de roode gloeihitte begon aan te nemen, bewoog zich de naald langzaam naar het Oosten tot op 77°. Na afkoeling bleef ze op 75° staan. Door dit onderzoek werd dus de »anomalous attraction" van Barlow geheel terug gebracht tot het verschijnsel, dat ijzer tusschen de temperaturen van de licht- en donker-roode gloeihitte begint magnetiseerbaar te worden. Wordt dus eene wit gloeiende staaf plaatselijk afgekoeld, dan zal dat gedeelte onder invloed een magneet worden.

§ 4. Becquerel [1]) die een vergelijkend onderzoek heeft gedaan omtrent den invloed van de temperatuur op het magnetisme van ijzer, nikkel en kobalt, maakte gebruik van de methode der slingeringen. De te onderzoeken staafjes werden opgehangen aan een platina draad, en zoo verhit zijnde op de verlangde temperatuur in slingering gebracht onder den invloed van een magneet. Op welke wijze hij de staafjes den vereischten tijd op die temperatuur kon houden wordt niet opgegeven. Becquerel geeft de volgende resultaten van zijn onderzoek.

1) Becquerel. Compt, rend, T XX p. 1708 1845,

1e. Het temporair magnetisme van week ijzer verandert slechts weinig tusschen de gewone temperatuur en de donkerroode gloeihitte. De toename bedraagt 4 proc.

2e. Het temporair magnetisme van ruw ijzer en staal vermeerdert zoodanig, dat vóór het bij de kersroode gloeihitte verdwijnt, het gelijk wordt aan dat van weekijzer. Bij het begin der gloeihitte is het magnetisme van ruw ijzer het grootst.

3e. Het temporair magnetisme van den natuurlijken magneetsteen vermeerdert met de verhooging van temperatuur. Doch, verhit wordende even boven de grens waarbij het maximum is ingetreden, verdwijnt het geheel. De volgende tabel geeft een kort overzicht van de werking bij, weekijzer, gietijzer en staal.

MAGNETISCHE STERKTE.

	Weekijzer.	Gietijzer.	Staal.
Gewone temperatuur	100	80	veranderl.
Begin der roode gloeihitte (au rouge naissant)	104	109	» »
Donkerroode gloeihitte	104	104	104
Kersroode gloeihitte	0	0	0
Helderroode gloeihitte	0	0	0

§ 5. De onderzoekingen, die wij tot nu toe hebben vermeld, hebben geleerd, dat ijzer bij de witte gloeihitte niet meer in staat is magnetisme aan te nemen, en zich dan gedraagt als andere niet magnetische metalen. Matteucci [1])

(1), Matteucci, Compt, rend, XXXVI, p, 741, 1853,
Discorso sull' influenza del calore sul magn,

meent aangetoond te hebben, dat zelfs gesmolten ijzer hoewel zwak toch magnetisch kan zijn.

Hij nam zijne proeven, door eene naald van ongebluschte kalk, welke aan het eene uiteinde lepelvormig was uitgehold, aan een draad op te hangen, tusschen de polen van een electromagneet. Bracht hij nu een druppel ijzer, gesmolten door de hydro oxy-geen vlam, in het lepeltje, dan werd dit door de polen van den electromagneet aangetrokken. Volgens Matteucci zou het magnetisme dan $^1/_{15,000,000}$ van dat bij de gewone temperatuur bedragen.

§ 6. Meening en onderzoek van Faraday [1]). Daar het bestaan van het magnetisme voor ijzer, nikkel enz. afhankelijk is van de temperatuur kwam Faraday tot de meening, dat alle metalen even als het ijzer magnetische eigenschappen kunnen hebben, indien ze maar op de vereischte temperatuur konden worden gebracht. Een onderzoek met koper, lood, zilver, goud enz. welke tot de temperatuur van — 50° C werden gebracht, leidde tot negatieve resultaten. Faraday merkt op, dat door de betrekkelijk zeer geringe verlaging in temperatuur die wij kunnen voortbrengen, deze negatieve resultaten, van weinig gewicht zijn, om over zijne meening te beslissen.

Hij blijft die hoofdzakelijk gronden op de volgende feiten, welke ook hij proefondervindelijk had bevestigd.

1e Het ijzer verliest bij de lichtroode gloeihitte alle magnetiseerbaarheid, en gedraagt zich als zilver of koper tegenover den magneet.

2e Bij nikkel lag het punt waarbij het zijn magneti-

---

1) Faraday. Pogg. Ann, Bd. XXXVII; Phil. Magn. Ser. III vol. VIII.

seerbaarheid verloor, reeds op 330° C dus ver beneden dat van ijzer.

Bij eene andere proef vond Faraday, dat de vaste polen van een magneet, reeds bij de temperatuur van kokende amandelolie waren verdwenen, terwijl hij dezelfde staaf, tot tegen de witte gloeihitte kon verhitten, voor ze de eigenschap verloor, om onder invloed magnetisch te worden.

§ 7. Onderzoek van Mauritius [1]).

Het temporair magnetisme van smeedijzer, engelsch gietstaal en gietijzer, werd door Mauritius bij zeer hooge temperaturen onderzocht met behulp van een magnetometer.

De witgloeiende staven werden, omgeven door een net van messingdraad, geplaatst in een spiraal waardoor de stroom gaat die de staven moet induceren.

Voor de staven in de spiraal geplaatst worden, wordt de afwijking van de naald bepaald, onder invloed van den stroom alleen. Gedurende de afkoeling wordt telkens de tijd en de stand van de naald bepaald, dus de afwijking onder den gelijktijdigen invloed van den stroom en van het magnetisme van de staaf. De tijdsbepaling dient om ongeveer den temperatuurstoestand te kunnen beoordeelen.

Ook hier was het resultaat, dat geen der staven gedurende de witte gloeihitte magnetiseerbaar was. Ongeveer bij eene temperatuur welke door Mauritius 1000° C wordt geschat, verkrijgt de naald plotseling een sterken uitslag.

---

1) Dr. Mauritius Pogg Ann. Bd. CXX 1863.

Het smeedijzer verkrijgt bij het intreden van het magnetisme terstond een maximum waarde, welke bij het afkoelen langzamerhand afneemt.

Bij het gietijzer bleef het magnetisme van het intreden af steeds toenemende, om bij de geheele afkoeling een maximum te bereiken.

Opmerkelijk was het proces bij het gietstaal. Na het intreden bleef het magnetisme gedurende eenige minuten stationair, daarna begon het weer plotseling toe te nemen om dan in den toestand te komen, waarin het ook na de volkomen afkoeling bleef. Dat eene staaf bij de temperatuur welke ongeveer ligt bij de lichtroode gloeihitte, plotseling vatbaar wordt voor temporair magnetisme, moet volgens Mauritius worden verklaard, door dat de ijzermoleculen, bestaande uit een dubbel atoom (Fe + Fe) op die temperatuur hun dissociatiepunt hebben liggen. De magnetiseerbaarheid zou dus gebonden zijn aan het binaire ijzer molecuul. Het plotselinge toenemen van het magnetisme bij het gietstaal, nadat het reeds stationair is geweest, kan volgens Mauritius vermoedelijk samenhangen met de rol welke de koolstof speelt in het ijzer.

Hij zegt hierin nog geen helder inzicht te hebben doch vermoedt, dat de koolstof bij (*) die temperatuur een chemisch of kristallographisch proces begint.

(*) Die temp. wordt niet bij benadering opgegeven doch het verschijnsel had plaats, nadat de staaf ongeveer 17 minuten was afgekoeld, terwijl de tijd dien zij noodig heeft om tot den normalen toestand te komen 24 minuten bedraagt.

Mijn meening is dat Mauritius, als het gietstaal en gietijzer op eene zekere temperatuur zijn gedaald, niet alleen heeft te doen gehad met temporair magnetisme, maar ook met permanent. Bij eene zekere temperatuur toch worden deze ijzersoorten in staat, permanent magnetisme aan te nemen. Om die reden ook neemt het magnetisme toe, met de verlaging van de temperatuur, hetgeen juist in overeenstemming is met de eigenschap van permanent magnetisme. Er zullen hier dus bij de afkoeling twee werkingen hebben plaats gehad, n. l. het toenemen van het permanent en het afnemen van het temporair magnetisme. De invloed van het permanent is het sterkste geweest.

§ 8. De onderzoekingen, welke wij tot dusverre hebben nagegaan, handelen bijna uitsluitend over den invloed van de temperatuur op het temporair magnetisme.

In de nagelaten handschriften van Coulomb [1]), vond Biot een belangrijk onderzoek, omtrent dien invloed op het permanent magnetisme van stalen staven. Het doel van Coulomb was te weten, in welken toestand ijzer moet worden gebracht, om een maximum van permanent magnetisme te kunnen aannemen. De betrekkelijke magnetische sterkte werd door Coulomb bepaald, door den tijd na te gaan van 10 slingeringen der staaf, onder invloed van het aardmagnetisme. De temperaturen werden bij benadering geschat, door de hoeveelheid warmte te meten welke de verhitte staaf aan water van eene bepaalde temperatuur kon afstaan.

Bij zijn eerste onderzoek gebruikte Coulomb, een stalen staaf (d' acier aux sept etoiles; van 162 m. M. lengte;

1) Coulomb, Biot, traité de phijs. T 3 p. 106.

14 m. M. breedte, en 5 m. M. dikte, zwaar 82 gr. Deze verhit geworden zijnde tot de lichtkersroode gloeihitte, ongeveer 1100° C., en daarna langzaam afgekoeld aan de lucht, om harding te voorkomen, werd bij 15° C, tot verzadiging gemagnetiseerd. Nu werd de tijd van 10 schommelingen bepaald, en dit telkens herhaald, nadat de staaf, zonder op nieuw gemagnetiseerd te worden, op verschillende temperaturen was verwarmd.

Coulomb verkreeg de volgende uitkomsten.

Temp. in gr. C.	Tijd van 10 sch.	Betrekkelijke sterkte v/h mag.
15	93 sec.	1.0000
50	97.5	0.9098
100	104	0.7845
264	147	0.4002
425	215	0.1882
637	290	0.1028
850	zeer groot	

Coulomb overtuigde zich, dat er bij de plotselinge afkoeling van de staaf, als ze niet hooger dan op ongeveer 870° C. was verhit geweest, geen harding was ingetreden. Dit werd voldoende bevestigd, door dat de staaf op nieuw tot verzadiging gemagnetiseerd 93 seconden noodig had voor 10 schommelingen. Werd ze tot eene hoogere temperatuur verhit, en plotseling afgekoeld, dan was er harding ingetreden, en kon de staaf eene grootere magnetische sterkte aannemen, zooals blijkt uit de volgende cijfers:

Temperatuur waarop de staaf is gehard geworden.	Tijd van 10 sch.	Betrk. magn. sterkte.
ongeveer 975 C.	78 sec.	1.4216
» » 1075	64 »	2.1057
» » 1190	63 »	2.1791

Bij eene nog hoogere temperatuur nam het magnetisme niet meer toe.

Was de staaf op ongeveer 1190° C gehard geworden, en dan op verschillende temperaturen ontlaten, dan nam het magnetisme sterk af; dit blijkt uit deze tabel:

Temp. van ontlating.	Tijd van 10 sch.	Betr. magn. sterkte
15° C.	63 sec.	1.0000
100	66 »	0.9324
267.5	80 »	0.6202
ongeveer 512.	170 »	0.1373

Wij zien hieruit dat de afneming van het magnetisme van gehard staal, bij ontlating, veel sterker is, dan de toeneming van week staal bij harding. Behalve dit, is er nog meer verschil. In een toestand van ontlating, geeft indien de staaf niet is blootgesteld geweest aan een temperatuur hooger dan ongeveer 880° C, eene nieuwe magnetisering haar al het verlorene magnetisme terug. In den toestand van hardheid daarentegen, vermindert ieder verhooging van temperatuur, zeer gevoelig de magnetische sterkte, zonder dat de staaf dit door nieuwe magnetisering terug kan bekomen. Dit blijkt uit de volgende cijfers:

Temp. van ontlating.	Tijd van 10 sch.	Betr. magn. sterkte
15° C	63 sec.	1.0000
267.5	64.5 »	0.9540
ongeveer 512	70 »	0.8100
licht kersr. » 1125	93 »	0.4156.

Volgens de bepaling van Coulomb, kan dus een staaf het meeste magnetisme aannemen, als ze gehard is geworden op ongeveer 1125° C (lichtkersroode gloeihitte). Werd de staaf van de vorige proef op deze temperatuur gebracht en ontlaten, dan volbrengt zij weer 10 schommelingen in 93 sec. Een bewijs dat zij, voor het magnetisme in een zelfden toestand is terug gekeerd, als voor de harding.

Gelijksoortige uitkomsten werden verkregen met alle staven, waarvan de verhouding tusschen de lengte en dikte, 30 : 1 niet te boven gaat. Waren de staven in verhouding langer, dan ontstonden er bij de harding meer polen. Werden deze multipolaire staven weer ontlaten, dan keerden de binnenste polen zich bij eene hoogere temperatuur steeds meer naar het midden, om bij de ontlatingstemperatuur van de kersroode gloeihitte geheel te verdwijnen, zoodat de staven dan weer bipolair waren geworden.

§ 9. Wij hebben in dit hoofdstuk nog melding te maken van eene enkele onderzoeking van Plücker [1]).

Plücker bepaalde de magnetische krachten door middel van een balans. Een staafje ijzer werd tot op de gloeihitte verwarmd, en gedurende de afkoeling bepaald welke

1) Plücker. Pogg. Ann. Bd. LXXIV blz. 321 — 379, 1848.

gewichten, er noodig waren om het van den electromagneet af te trekken. De graad van afkoeling moet ten naaste bij uit den tijd worden opgemaakt.

	Tijd	Gew. noodig om het af te trkn.
(in gloeienden toestand)	9^h. 50′	153.70 grammen.
	» 52′ 30″	158.25 » »
	» 54′	159.80 » »
	» 56′	161.70 » »
	» 57′ 30″	162.40 » »
	» 59′ 15″	163.16 » »
(gewone temp.)	10^h 10′ 15″	166.75 » »

Het verschil bedraagt hier 8 proc.; doch wij hebben aan deze proeven zeer weinig, daar er door de sterke induceerende werking van den electromagneet, veel temporair magnetisme moet zijn opgewekt. Er moest bovendien nog opgegeven zijn, of er naast dit temporair, ook nog permanent magnetisme was opgewekt geworden en hoeveel dit bedraagt.

§ 10. Door Mauritius was gevonden, dat de magnetiseerbaarheid bij de roode gloeihitte beginnende, plotseling eene groote sterkte bereikt. Hij vermoedde reeds dat dit moest samenhangen met eigenaardige veranderingen in den moleculairen toestand van het ijzer bij die temperatuur.

Dit vermoeden wordt nader bevestigd door proeven van Gore [1]).

1 G. Gore. „On the molecular movements and magnetic changes in Iron etc. at different temperatures, Phil. Mag. Vol. XI, p. 170.

Een witgloeiende ijzerdraad afkoelende verminderde eerst gelijkmatig in lengte; bij de roode gloeihitte werd ze plotseling langer om dan verder gelijkmatig verminderende weer tot haar oorspronkelijke lengte terug te keeren. [1])

Uitgaande van het denkbeeld dat deze plotselinge moleculaire verandering zich ook moest openbaren in den magnetischen toestand van het ijzer, nam Gore een ijzeren staaf van ruim 81 cM. lengte. Elk uiteinde werd gebracht in een spiraal van koperdraad. De ééne spiraal werd verbonden met een galvanometer, de andere met eenige galvanische elementen. Werd nu het middengedeelte der staaf, door middel van Bunsensche branders, tot de gloeihitte gebracht, zoo ontstond er bij de roode gloeihitte eene plotselinge beweging van de naald, overeenkomende met eene vermindering in magnetisme; bij de afkoeling herhaalde zich dit verschijnsel ongeveer op dezelfde temperatuur, maar in tegengestelde richting. Bij eene stalen staaf werden twee dergelijke perioden opgemerkt; eene van geringe kracht even beneden de donkerroode gloeihitte, en eene tweede veel sterkere bij de roode gloeihitte.

Gore wijst er met nadruk op, dat deze verschijnselen plaats hebben, bij eene temperatuur, waarbij hij de plotselinge verlenging van eene afkoelende ijzerdraad had waargenomen.

---

[1]) Gore, Proceedings of the Royal, Soc. 1869. p. 260.

HOOFDSTUK II.

Invloed van lagere temperaturen.

§ 11. Onderzoek van Canton. [1])

Canton vermoedde, dat de dagelijksche veranderingen der declinatie, haar oorzaak hadden in de ongelijke verwarming van de aarde aan de O. en W zijde van de plaats der waarneming. Om door rechtstreeksche proeven, den invloed van temperatuursveranderingen op de magnetische sterkte te leeren kennen, plaatste hij tegenover een der polen van een compasnaald, een magneet, welke de naald 45° van haar oorspronkelijke richting deed afwijken.

Werd nu de magneet door warm water, tot eene hoogere temperatuur gebracht, dan verminderde de afwijking tot op 44° 15'. Was de magneet weer tot de vorige temperatuur afgekoeld, zoo keerde de naald weer op 45° terug. Daarna werd aan elke zijde van de naald een magneet geplaatst, zoodanig dat de magneetkrachten ten opzichte van de naald, met elkaar evenwicht maakten, en de naald op 0° bleef staan. Een der magneten werd nu verwarmd op 100° C. De naald week 2° 45' af, in de richting van den niet verwarmden magneet; deze ook op de temperatuur van den anderen gebracht zijnde, keerde de naald op 0° terug.

Dergelijke proeven werden in 1803 genomen door Hal-

[1]) Canton Phil, trans. 1759 blz. 398.

ström [1]) te Abö. De N. P. van een magneet, op een zekeren afstand tegenover de N. P. van een in een glazen hulsel bevatte magneetnaald gebracht, deed deze eene W. afwijking geven. Werd nu de staaf op 80° C verwarmd, dan verminderde de afwijking met 2.46'. Werd de staaf, door sneeuw tot 0° C afgekoeld, dan groeide de afwijking weer 3'.42' aan.

§ 12. Meer nauwkeurige onderzoekingen werden gedaan door Hansteen, [2]) den beroemden onderzoeker van het aardmagnetisme, in het N. van Europa, en omstreeks dien zelfden tijd door Christie in Engeland en Kupffer, hoogleeraar te Casan.

Deze onderzoekingen hadden bijna uitsluitend ten doel, om bij het bepalen van de magnetische intensiteit der aarde, de waarnemingen te kunnen corrigeren voor temperatuursveranderingen van de naald.

Hansteen bepaalde, door de methode der schommelingen den invloed, welke de harding op de sterkte en duurzaamheid van het magnetisme der naald uitoefende. Van twee cilindrische staafjes van Engelsch gietstaal (lang 97,2 m.M., doorsnede 2,5 m. M.) was de eene gehard, en de andere getemperd bij de stroogele kleur. [3]) Het magntisme van beiden bleek onstandvastig te zijn. De eerste maakte onder invloed van het aardmagnetisme, den 1ste Mei (1820), 100 schommelingen in 340',15, den 1ste Oct. in 345',36; de getemperde op de resp. data in 283',80 en 288',09. De verhouding tusschen de intensiteiten was als 1. : 1.438.

[1]) Halström Gilb. Ann. Bd. XIX, p. 290, 1805.

[2]) Hansteen, Pogg. Ann. III, 1825, p. 236.

[3]) Volgens Grothe, „Het ijzer enz." 221° C.

Om te beproeven of het mogelijk was staafjes van eene zelfde soort staal, van de zelfde afmetingen en bij gelijke behandeling, dezelfde intensiteit te geven, nam Hansteen 4 cilinders, (lang 79,9 m. M. doorsnede 2,5 m.M.) Deze werden gehard door ze uit gesmolten lood te brengen in water van 13° C. De tijd voor 100 schommelingen was als volgt:

	23 Oct.	30 Oct.
No. 1 in	372".43	396 .71
» 2 »	371".73	410 .79
» 3 »	376 .57	415 .26
» » »	384 .36	414 .74

Werden deze staafjes tot de witte gloeihitte gebracht en plotseling tot 9° C afgekoeld, dan op nieuw gemagnetiseerd door 40 dubbel streken, dan was het aantal seconden voor 100 schommelingen:

No. 1, 306".07
» 2, 300".67
» 3, 319".33
» 4, 308".33

Binnen vier dagen waren de sterkten reeds merkbaar afgenomen.

Door ze nu te koken in lijnolie, en dan op nieuw te magnetiseeren was de intensiteit van elk bijna 1.5 maal toegenomen, en het onderlinge verschil was minder dan vroeger; doch zij namen schielijk in sterkte af.

De gevolgtrekking van Hansteen was, dat om een cilinder zeer sterk en zoo standvastig mogelijk te magnetiseren, het staal zeer hard moet zijn. Het magneetstaafje

waarmede de meeste van de beroemde intensiteitsbepalingen zijn gedaan in het N. van Europa, was gehard, zooals Dollond, die het geleverd had er van verklaarde: »as fire and water can make it."

Hansteen vond den tijd voor 300 schommelingen van dit staafje in

Maart 1820 = 809' 24; 1821 = 809".29
April » = 810 29; » = 810 .33

Gedurende vijf jaren heeft dit staafje, de vele reizen mede gemaakt, zonder merkbare blijvende veranderingen te ondergaan.

Voor den coefficient, waarmede de tijdelijke veranderingen in de intensiteit van de naald, door den invloed van de temperatuur voortgebracht werden gecorrigeerd, vond Hansteen 0.000788.

Zoodat t en t' het aantal graden in °C zijnde, de intensiteiten I en I' in deze betrekking staan:

$$I, = I\,[1 - 0{,}000788\,(t' - t)].$$

§ 13. Onderzoek van Christie. [1])

Christie bepaalde den invloed van de temperatuur, op het magnetisme, door een magneetnaald te doen afwijken, door staven welke op verschillende temperaturen werden gebracht. Tegenover elk der polen van eene magneetnaald, werd eene gelijknamige pool van een magneetstaaf geplaatst. Deze staven waren zooveel mogelijk van gelijke intensiteit. De assen van deze staven waren gelegen in den magnetischen meridiaan, welke gaat door het middenpunt van de naald, en in hetzelfde horizontale vlak, waarin de naald zich kan bewegen. De afwijking welke nu de

1) Christie, Phil. trans. 1825,

naald verkrijgt, wordt bepaald door de aardmagneetkracht, en de krachten door elk der staven uitgeoefend. De afstand van de staven tot het middenpunt der naald bleef steeds dezelfde. Het aardmagnetisme wordt gedurende de proef als constant aangenomen. Zoo ook de temperatuur van de naald.

Eene verandering in de magneetkracht der staven, tengevolge van temperatuursverandering, werd nu gemeten door de verandering in de afwijking Q van de naald. De eindvergelijking welke Christie bij de door hem genomen afmetingen verkreeg was:

$$M - F\,(0{,}004690814 + 0{,}000329329 \cos. Q) = 0$$

waarin M de aardmagneetkracht, F de magneetkracht der staven en Q de hoek van afwijking der naald was.

De resultaten door Christie op deze wijze verkregen waren:

1e. Beginnende bij eene temperatuur van — 20 C° tot ongeveer 52 C , was het magnetisme steeds afnemende, met het toenemen van de temperatuur.

2e. De veranderingen in intensiteit zijn bij gelijke temperatuursverschillen niet standvastig maar nemen toe met de temperatuur.

3e. Bij eene temperatuur van ongeveer 26° C, begint het magnetisme snel af te nemen.

4e. Bij eene temperatuur boven 38 C° gaat een gedeelte van het magnetisme blijvend verloren.

5e. De verandering in intensiteit ontstaat onmiddelijk na den temperatuurs invloed, waaruit blijkt dat het magnetisme zeer dicht bij of aan de oppervlakte is gelegen.

6e. De invloed van temperatuursveranderingen op niet

gepolariseerd ijzer, is juist het tegengestelde van dien op gepolariseerd.

7e. Binnen zekere temperatuursgrenzen, kunnen de veranderingen in intensiteit gecorrigeerd worden door den coefficient 0,0010152; zoo dat

$I_1 = I\,[1 - 0{,}0010152\,(t_1 - t)]$ is; waarin

I en I_1 de intensiteiten zijn bij de temperaturen t en t_1.

Proeven door Christie en Faraday genomen leerden, dat zelfs tot zeer lage temperaturen onder 0° C, de magnetische sterkte steeds toenemende bleef [1]).

§ 14. Onderzoek van Kupffer. [2])

Kupffer bepaalde eerst het aantal schommelingen van eene naald onder invloed van het aardmagnetisme, bij verschillende temperaturen, die in het locaal van waarneming snel en met groote verschillen konden afgewisseld worden door de ramen te openen. De uiterste temperaturen waren — 2° C en 32 ,5 C. Dit gaf voor zijne naald en zijne plaats van waarneming (Casan), in het aantal seconden, noodig voor 300 schommelingen een verschil van 15.

Om nu de proeven met grootere temperatuursverschillen te doen, liet Kupffer eene naald schommelen, onder den gelijktijdigen invloed van het aardmagnetisme en van magneetstaven. Deze laatsten werden in een koperen vat, door water op verschillende temperaturen gebracht, en dan steeds het aantal seconden voor 300 schommelingen bepaald.

---

1) Dit schijnt in strijd met de resultaten van Dufour, welke wij later zullen behandelen.

2) Kupffer, Ann de chim et phijs, XXX en XXXVI.

Met eene staaf van 0,5 M. lengte gaf dit het volgende resultaat:

Temperatuur der staaf;	Duur van 300 schom.:
16° C	429″
100°	476″
(na afkoeling tot) 16°	463″

Van de vermindering in intensiteit keert dus na de bekoeling een gedeelte terug, een gedeelte is blijvend verloren. Deze twee werkingen, namelijk het tijdelijke en blijvende verlies, worden nu door Kupffer afzonderlijk bepaald. De waarden zijn hier aangegeven door q en p.

p is de magnetische intensiteit bij 16° C na verwarming tot 100° C, die van 16° C vóór de verwarming als eenheid genomen.

q is de magnetische intensiteit bij 100° C, die van 16° C na de verwarming als eenheid genomen.

De waarden voor p en q gevonden waren zeer verschillend; zij waren afhankelijk van den aard van de magneetstaaf, en van den toestand waarin de staaf verkeerde, òf ze reeds vooraf was verwarmd geweest òf niet.

Uit een paar voorbeelden moge dit blijken:

1e Een zeer sterk geharde staalstaaf (lang 0.17 M. breed 0.018 M.; dik 0.003 M.) gaf bij de eerste verwarming:

p. = 0,936733; q = 0,85472.

bij de tweede verwarming was:

p = 0,942387; q = 0,795125.

Bij eene week ijzeren staaf was bij de eerste verwarming;

$p = 1{,}12910$; $q = 1{,}019386$,

en bij eene tweede v rwarming:

$p = 1{,}019384$; $q = 1{,}037754$.

Bij gehard staal is dus afneming, zoowel blijvend als tijdelijk, bij week ijzer toeneming. Bij week ijzer is dus onder invloed van het aardmagnetisme, eene nieuwe hoeveelheid magnetisme ook blijvend opgewekt.

Kupffer schijnt nu van de onderstelling uit te gaan, dat er bij het dalen van de temperatuur geen blijvend verlies meer plaats heeft, en dat het toenemen van magnetische sterkte evenredig is aan de afneming van de temperatuur.

Zij dan A de intensiteit van het aardmagnetisme x het aantal seconden noodig om n schommelingen te maken bij t° C; F de magneetkracht van de staaf, bij t° C na op 100° C verwarmd te zijn geweest, dan hebben wij de betrekk ng:

$$F = \frac{n^2}{x^2} - A \text{ of } x = \frac{n}{\sqrt{(A+F)}};$$

is nu x', het aantal seconden om n schommelingen bij t° C, dan zal indien de ve onderstelling juist is:

$$x' = \frac{n}{\sqrt{\left(A + F - \frac{(1-q)\,F}{100-16}\,(t_{,} - t)\right)}} \text{ moeten zijn.}$$

Kupffer vond dit voor temperaturen tusschen 0° en 100° C bevestigd, hetgeen blijkt uit de volgende tabel:

Berekende waarde van x.	Waargenomen waarde van x.
596',96	597',0
597',64	597',5
459',97	460',0
241'',58	242'',0

Onderzoek van Riess en Moser. 1)

De verschillende waarden voor den coefficient q door Kupffer gevonden, was eene aanleiding voor bovengenoemde natuurkundigen, tot verder onderzoek. Daar zij gevonden hadden dat de schommelingen van eene naald, onder invloed van magneten niet isochroom zijn, lieten zij de naalden welke het aantal schommelingen aangaven rechtstreeks aan den temperatuursinvloed blootstellen.

Om het aantal factoren van invloed, zooveel mogelijk te beperken, werden steeds cilindrische naalden gebruikt, van week Engelsch gietstaal, van eene lengte van ruim 54 m. M.

De blijvende en de tijdelijke veranderingen werden door afzonderlijke proeven bepaald, en zoo ook de invloed van de doorsnede en de lengte.

Na eene naald van ruim I,5 m.M. doorsnede en van bovengenoemde lengte, zes malen achtereenvolgens in kokend water te hebben gedompeld en afgekoeld op de temperatuur van 20° C, was het magnetisme constant geworden.

Stelt nu I de oorspronkelijke intensiteit en I, die na de verwarming voor, en is a de coefficient van verlies voor een

1) Riess en Moser. Pogg Ann. Bd. XVII.

temperatuursinterval van 20° — 100° C, dan was in de uitdrukking:

$I_1 = I\,(1-a)$, $a = 0{,}130415$, of het verlies evenredig gesteld zijnde aan de temperatuur, is voor 1° C $a = 0{,}001632$.

Uit het onderzoek omtrent den invloed van de doorsnede en de lengte der naalden, bleek dat het verlies, rechtevenredig aan de doorsnede mag worden gesteld, terwijl bij eene grootere lengte a kleiner wordt. Voor eene naald van de dubbele lengte en dezelfde doorsnede als de zoo even opgegevene, was voor 1° C $a = 0{,}001035$. Het groote verschil in hunne cijfers met die van anderen moet volgens R. en M. hierin gezocht worden, dat anderen onderzochten met gepolijste naalden, die door de warmte en mechanische werkingen van het polijsten reeds veel van hunne sterkte hadden verloren.

Merkwaardig zijn de resultaten van het onderzoek omtrent het onderscheid tusschen week en hard staal. Terwijl wij bij een vorige proef hebben gezien, dat eene naald van week staal reeds, na zes malen verwarmd en afgekoeld te zijn, tot een constanten toestand was gekomen, moest dit bij eene naald van zeer hard staal vijftigmalen geschieden. Toen bleek dat voor 1° C de gemiddelde waarde van a 0,00644 bedroeg, d. i. bijna viermalen grooter dan die voor week staal. Behalve dit, is er nog een groot verschil. Week staal heeft bij hoogere temperaturen een geringere sterkte dan na de afkoeling; bij hard staal daarentegen neemt ook het verlies nog met de afkoeling toe. [1])

1) Dit schijnt in strijd met de proeven van Kupffer; wij zullen bij de behandeling van de proeven van Dufour zien, dat dit in nauw verband staat met de temp. waarop de staaf is gemagnetiseerd geworden.

Als week staal tot een' blijvenden toestand is gebracht en opnieuw wordt gemagnetiseerd, dan is de waarde van a dezelfde gebleven. Bij hard staal, wordt deze waarde steeds kleiner en eindelijk $= 0$.

Het voorgaande omtrent de proeven van R. en M. betreft alleen het blijvende verlies. Het tijdelijk verlies werd bepaald, door eene naald te laten schommelen in een glazen vat, en dit te plaatsen in een ander, hetgeen met water van verschillende temperaturen werd gevuld. Vóór het onderzoek moest de naald tot een constanten toestand worden gebracht. Even als het blijvende bleek ook het tijdelijke verlies evenredig aan de doorsnede te zijn. Zij vonden den gemiddelden coefficient van tijdelijk verlies $= 0{,}0003688$; zoodat

$I' = I\,[1 - 0.0003688\,(t' - t)\,d]$ moet worden gesteld; in welke uitdrukking d de doorsnede is, en t en t' in °C zijn uitgedrukt. De afmetingen van de naald van Hansteen in deze uitdrukking ingevoerd geeft:

$I = I\,[1 - 0{,}0002688\,(t' - t)]$, terwijl Hansteen 0,000788 had gevonden.

Christie geeft nog veel hooger cijfer aan, n.l. 0,0010152, en Sabine corrigeerde zijne naalden met een cijfer, 't geen 5 maal grooter was dan dat van R. en M.

Op deze groote verschillen, komen wij in het 3de hoofdstuk terug.

Zij moeten hoofdzakelijk worden toegeschreven aan den aard van het staal, aan het verschil in de grenzen van stabiliteit, aan de intervallen van de temperaturen, en aan den invloed van het permanent magnetisme op het temporair magnetisme in de naald zelve.

Erman, [1]) had in 1831 reeds opgemerkt, dat er een groot verschil bestond in de coëfficienten van blijvend verlies, bij den natuurlijken magneetsteen en bij staalmagneten. Eene naald van magneetijzersteen tot op de temperatuur van 245 verwarmd, had nog eene intensiteit van 0,852, terwijl eene staalmagneet door dezelfde temperatuursverhooging tot 0,18 van de oorspronkelijke kracht was terug gebracht.

§ 16. Onderzoek van Dufour. [2])

Een uitgebreid en uitstekend onderzoek van M. L. Dufour, Hoogleeraar te Lausanne, heeft belangrijke resultaten opgeleverd.

De verschillende uitwerkingen van de temperatuur op het magnetisme, worden bij dit onderzoek scherp onderscheiden, en steeds door afzonderlijke proefnemingen onderzocht.

De sterkte van de magneten werd bepaald door de schommelingen van eene naald, onder den gelijktijdigen invloed van het aardmagnetisme. De verwarming en afkoeling van de magneten geschiedde, door het invoeren van waterdamp of koud water in eene bak waarin de magneten geplaatst waren. De onderzochte staven waren cilinders van staal meestal van 20 c. M. lengte, wegende 212 grammen. Achtereenvolgens werden onderzocht.

1e. De invloed van eene eerste verwarming;

2e. De invloed van de afkoeling na de eerste verwarming.

---

[1]) Erman, Pogg. Ann. Bd. XXIII, 1831, blz. 493.

[2]) Dufour. Pogg. Ann. Bd. IC 1856, blz. 476.

Bulletin de la société vaudaise des scien. nat. 1858 n°. 42. Uittreksel in het Arch. de Genève XXXIII en XXXIV.

3e. De invloed van herhaalde verwarmingen.

4e. De invloed van den tijd van inwerking der temperatuur.

5e. De invloed van de afkoeling beneden de temperatuur van magnetisering.

6e. Het onderscheid tnsschen de werkingen voortgebracht door temperaturen beneden en boven het punt van magnetisering.

Deze werkingen geschiedden bij temperaturen tot 100 C, terwijl bovendien nog werden onderzocht de invloed van temperaturen boven de 100 C en beneden 260 , en de werking van zeer hooge temperaturen. Voor het eerste onderzoek dienden 4 staafjes, die liggende met haar uiteinden op de polen van een sterken electromagneet, door de gescheiden streek waren gemagnetiseerd geworden.

In de volgende tabel zijn van een dier staafjes de intensiteiten bij verschillende temperaturen aangegeven. Het aardmagnetisme is = 1 gesteld en wordt gedurende de proef als constant aangenomen.

Temp. in °C	Intensiteit
17°	8.94
30°	8.63
41°	8.19
51°	7.81
59°	7.63
70°	6.70
80,5°	6.84
89,5°	5.93
95°	5.73

Tot dergelijke uitkomsten leidden ook de proeven met de overige staven.

De gemiddelde coefficienten van verandering voor 1° C waren voor deze 4 staven respectievelijk

0.00461; 0.00494; 0.00436; 0.00492.

De coefficienten van verandering nemen in den regel toe met de verhooging van temperatuur, zooals blijkt uit de volgende tabel, waarin de gemiddelden bij temperatuursverschillen van 10° C zijn opgegeven:

Temperaturen in °C	Coëff. van verandering
20 — 30	0.0016
30 — 40	0.0040
40 — 50	0.0036
50 — 60	0.0045
60 — 70	0.0062
70 — 80	0.0059
80 — 90	0.0052
90 — 95	0.0086.

Na de verwarming keert bij afkoeling een gedeelte van het verloren magnetisme weer terug. In de volgende tabel zijn de intensiteiten opgegeven bij het afkoelen van de staaf, waaraan de cijfers der eerste tabel zijn ontleend geworden:

Temperatuur	Intensiteit
95° C	5.73
80	5.98
76	6.12
65	6.55
38	6.70
17	6.70.

Het verlies door de temperatuursverhooging van 17° C tot 95° C = 1 gesteld, is er gedurende de afkoeling 0.31 teruggekeerd.

Uit de volgende tabel blijkt, dat bij herhaalde verwarming, het verlies kleiner wordt.

1ste verwarming		2de		3de		4de		5de	
t °C	I	t °C	I	t °C	I	t °C	I	t °C	I
15	5,85	16	4,33	18	4,05	19	3,97	21	3,88
95	3,83	95	3,55	95	3,41	95	3,30	95	3,28

De coëfficiënten van verlies voor 1 °C zijn hier

0,0043 0,00160 0.00145 0,00146 0,00138

Dezelfde staaf gaf bij de 22ste, 23ste en 24ste verwarming respectievelijk de

Coëfficienten:

0,00134; 0,00137; 0,00144.

De vorige coëfficienten bevatten zoowel het blijvende als het tijdelijke verlies. Die welke alleen op het blijvende verlies betrekking hebben, en door Dufour met den naam van »Coëfficient de perte definitive" worden onderscheiden, verminderen zeer sterk bij de herhaalde verwarmingen. Voor de staaf, waaraan de voorgaande cijfers ontleend zijn, waren deze:

1ste verwarming,	2de	3de	4de
0,00331	0,000506	0,000162	0,000079

Dufour vond, in overeenstemming met Riess en Moser, Hansteen, Kupffer, dat de tijd gedurende welke de temperatuur inwerkt, van geen invloed is. [1])

Merkwaardig en ook voor den onderzoeker geheel on-

[1]) Dit is niet in overeenstemming met Holmgren en Lamont.

verwacht, waren de resultaten, omtrent den invloed van de afkoeling beneden de temperatuur waarop de staaf is gemagnetiseerd geworden. Nu werd de sterkte ook door afkoeling verminderd. Eene staaf bij 60 °C gemagnetiseerd, had bij afkoeling de volgende sterkten:

Temperatuur in °C.	Intensiteit.
60	1,72
42	1,63
23	1,53
3	1,37

Een andere gemagnetiseerd bij 6° a 8° C aldus:

Temperatuur in °C:	Intensiteit:
2	5,11
0,5	5,08
— 22	4,90

Met andere staven steeds dergelijke uitkomsten verkrijgende, besluit Dufour: »Een staaf bij een zekere temperatuur gemagnetiseerd zijnde, vermindert door elke temperatuurs-verandering in intensiteit.

De coefficient van verlies door verlaging is kleiner dan die door verhooging van temparatuur. Bij zes staven was bij verlaging de gemiddelde coefficient van verlies 0.00286, terwijl deze bij verhooging van temperatuur 0.00471 bedroeg.

Hoe moeten de staven zich gedragen, als zij nu worden verwarmd?

Het bleek dat zij ook door verwarming in sterkte verliezen, maar niet op dezelfde wijze, als staven die alleen

verwarmd worden boven de temperatuur, waarop zij gemagnetiseerd zijn.

De invloed van de verwarming moet nu in tweeën worden gescheiden.

1ste die van de temperatuurs-verhooging tot aan het punt van magnetisering;

2de die boven het punt van magnetisering.

Een gemiddelde coefficient voor eene staaf welke op eene temperatuur van 55° C. gemagnetiseerd was, bedroeg beneden de temperatuur van magnetisering 0.00019, daarboven 0.0032.

Bij herhaalde verwarming bleef steeds deze invloed bestaan. Zoo vond Wiedemann die deze proeven van Dufour herhaald heeft, voor eene staaf, welke bij 18° C gemagnetiseerd was geworden, als coefficient bij verhooging van temperatuur 0.0025, en bij eene andere staaf, die bij 100° C was gemagnetiseerd, en op de zelfde wijze behandeld 0.00048 als coefficient.

Dufour wijst daarbij terecht op het belang hiervan voor naalden welke moeten dienen om de intensiteit van het aardmagnetisme te bepalen. Deze moeten worden gemagnetiseerd op eene temperatuur welke hooger ligt dan die waaraan zij door de luchttemperaturen worden blootgesteld.

De onderzoekingen welke Dufour gedaan heeft voor temperaturen tusschen 100° C en 260° C leerden, dat bij temperaturen boven 100° C het magnetisme snel begint af te nemen, zoodat er bij 260° C nog slechts weinig was overgebleven, hetgeen blijkt uit de volgende tabel, waarin de uitwerking voor 4 staven wordt aangegeven.

Temperaturen. in °C.	Intensiteiten.			
10	5.86	7.06	4.85	6.45
95—100	4.90	5.35	3.79	4.66
130	3.04	——	——	——
170	1.95	2.34	1.17	2.02
190	0.61	1.28	——	——
230—235	0.44	0.82	0.12	0.23
240	——	0.79	——	——
250	0.34	——	0.10	0.22.

Het verlies was bij sterk geharde staven minder dan bij getemperde; daarentegen kwam van het verlorene bij geharde minder terug bij afkoeling. Bij herhaalde verwarmingen werd het verlies veel geringer, zoodat bij een der staven het verlies bij de 2de verwarming, reeds 16 maal minder bedroeg, dan bij de 1ste.

Nog heeft Dufour enkele proeven genomen over den invloed van temperaturen der roode gloeihitte. Vóór de verhitting en na de afkoeling werd de magnetische intensiteit bepaald.

Werden de staven afgekoeld in de richting van den magnetischen meridiaan, dan bleken bij sommige de polen omgekeerd te zijn geworden, onder den invloed van het aardmagnetisme. Andere hadden niettegenstaande de tegenwerking van het aardmagnetisme de polariteit behouden, doch slechts zeer zwak.

De sterkte van een der staven welke vóór de verhitting 6.18 was, werd tot 0.09 teruggebracht.

Waren de staven loodrecht op den magnetischen meridiaan geplaatst, dan waren de polen nog slechts even merkbaar; bij eene enkele was het magnetisme tot 0 gereduceerd.

§ 17. Ongeveer ter zelfder tijd als die van Dufour werden proefnemingen openbaar gemaakt van Holmgren [1]), waarvan de resultaten omtrent den invloed van den tijd gedurende welke de temperatuur inwerkt, met die van eerst genoemden, en ook van de meeste andere onderzoekers verschillen.

De magneetstaven waren 140 m.M. lang, 12,5 m.M. breed, en 4 m.M. dik. De verwarming geschiedde door middel van waterdamp. Door de methode der schommelingen werd de intensiteit bepaald, vóór de verwarming, en nadat de staaf weer tot de temperatuur der omgeving was afgekoeld. De proeven zijn op deze wijze genomen, dat een zelfde magneet bij eene reeks van verwarmingen, beurtelings langeren of korteren tijd op de temperatuur van 100°C wordt gehouden, en beurtelings langzamer en sneller wordt afgekoeld, en telkens het procentsgewijze verlies bepaald.

Het resultaat was, dat het verlies steeds grooter was, bij eene langere inwerking van de temperatuur.

Nog heeft Holmgren, eene magneet 213 malen afwisselend aan de temperaturen van 100° en 0° blootgesteld, om te zien of hij ten slotte in een toestand zou komen, waarbij volgende temperatuursveranderingen geen blijvend verlies meer veroorzaken.

---

[1]) K. A. Holmgren, Acta soc. scient. Ups (3) I p. 309—328 Upsala 1856. Overgenomen uit „Fortschr. der Physik 1856 p. 536.

Tot de 11de verwarming nam de intensiteit zeer snel af, dan werd de afname veel minder, en van de 188ste tot de 213de verwarming, was er geen permanent verlies meer.

§ 18. Onderzoekingen van Wiedemann. [1])

Wiedemann, aan wien wij op het gebied van het magnetisme vele schoone onderzoekingen te danken hebben, heeft eenige proeven van Dufour herhaald en gewijzigd. De staven werden gemagnetiseerd, door een' galvanischen stroom, en de intensiteit bepaald door middel van een magnetometer.

Wiedemann geeft als resultaat van deze eerste onderzoekingen, dat tusschen 0° en 100 °C, het blijvende verlies tennaastebij, evenredig mag worden gesteld, aan de oorspronkelijke sterkte van de staaf. Is nu de magnetische intensiteit bij 16 °C vóór de verwarming m, die bij de zelfde temperatuur nadat de staaf op 100 °C is verwarmd geweest m,, dan waren bij verschillende staven, de waarden van

$$\frac{m - m_{,}}{m} =$$

= 0.241; 0.233; 0.218; 0.221; 0.247; 0246; 0.223; 0.225.

Het verschil in deze quotiënten wil Wiedemann toegeschreven hebben, aan eene verandering in de hardheid.

Reeds bij de 2de verwarming werd de grootte van het verlies tot op 1/8 gereduceerd, en nadat een der staven 20 malen, op de temperatuur van 100 °C verwarmd en tot 0° was afgekoeld, ondervond ze geen blijvend verlies meer.

[1]) G. Wiedemann. Pogg, Ann. Bd. C; CIII; CXXII; Lehrbuch des Galvanismus etc. Bd. II.

De waarde van het tijdelijk verlies

$$\frac{m_0 - m_{100}}{m_0}$$ was dan = 0.00595 geworden.

Voor staven welke bij 100 °C waren gemagnetiseerd geworden, en daarna herhaaldelijk tusschen 0° en 100° afgekoeld en verwarmd, werden de volgende sterkten gevonden:

m^{100};	m^{0};	m^{100};	m^{0};	m^{100};	m^{0};
88.6	84.6	67.8	81,3	65.3	79.6.

Andere staven gaven gelijksoortige uitkomsten, zoodat ook uit deze proeven blijkt, dat eene staaf bij eene zekere temperatuur gemagnetiseerd, alleen bij de eerste afkoeling in sterkte verliest, doch dat herhaalde afkoelingen uitwerkingen hebben, in denzelfden zin, als bij staven, welke het eerst boven de temperatuur van magnetisering zijn verwarmd geworden.

Nadat door Mauritius, [1]) wiens proeven wij later zullen behandelen, was aangetoond geworden, dat voor de eerste temperatuurs veranderingen, het verlies, niet evenredig mag worden gesteld, aan de oorspronkelijke magnetische sterkte, zooals door Wiedemann was aangegeven, heeft laatstgenoemde zijne proeven voortgezet.

Uit dit onderzoek is gebleken, dat het door Mauritius aangetoonde verschil, grootendeels afhankelijk is, van de verandering in de hardheid der staalstaven.

De nu gebruikte staven waren 220 m.M. lang, en 13.5 m.M. dik, en worden vóór het magnetiseeren 15 à 16 malen, afwisselend in kokend water, en in smeltend ijs gelegd.

---

[1]) Mauritius, Pogg. Ann. Bd. CXX blz. 385.

In de volgende tabellen zijn de resultaten in hoofdzaak wêergegeven; m_0 en m_{100} zijn de magnetische sterkten bij 0 en 100°, bij de eerste verwarming; n_0 en n_{100}, die nadat de staven door herhaalde verwarmingen en afkoelingen tot een constanten toestand waren gebracht.

I. Harde staalstaaf.

m_0	$\frac{m_0 - m_{100}}{m_0}$	n_0	$\frac{n_0 - n_{100}}{n_0}$
71.5	0.420	37	0.103
134.5	0.321	85.5	0.090
195.0	0.311	133.3	0.100

II. Weeke staalstaaf.

m_0	$\frac{m_0 - m_{100}}{m_0}$	n_0	$\frac{n_0 - n_{100}}{n_0}$
85	0.471	38.0	0.126
141	0.479	68.5	0.168
193	0.487	101.0	0.223
209.5	0.477	115.0	0.233

III. Zeer weeke, herhaaldelijk gegloeide en langzaam afgekoelde staalstaaf.

m_0	$\frac{m_0 - m_{100}}{m_0}$
51.5	0.330
80.5	0.323
113.0	0.328
159.5	0.353
181.0	0.373

Hieruit blijkt, dat het tijdelijk verlies bij harde staalstaven, die tot een constanten toestand zijn gebracht, evenredig mag worden gesteld aan de oorsponkelijke sterkte gelijk reeds door Mauritius was aangetoond; bij weeke staven is het verlies toenemende met de sterkte. Daarentegen is bij weeke staalstaven het verlies bij de eerste verwarming, tennaastebij evenredig aan de oorspronkelijke sterkte bij 0 °C. Nog heeft Wiedemann eenige proeven genomen omtrent de verandering van het magnetisme in staven, welke gedurende de temperatuursverandering aan den invloed van den magnetiserenden stroom bleven blootgesteld.

Het op deze wijze opgewekte magnetisme, wordt door Wiedemann temporair [1]) genoemd. De uitkomsten waren, dat zoowel harde, als weeke staalstaven, gemagnetiseerd onder blijvenden invloed van den stroom, steeds door eene eerste verandering in temperataur hetzij verhooging of verlaging in magnetische sterkte winnen. De verhouding tusschen de intensiteiten bij 100° en 0 °C zijn voor een paar staven, in de volgende tabel aangegeven; m_0, m_{100} en m'_0 zijn de intensiteiten respectievelijk bij 0° en 100°, en na wederafkoeling op 0°; i is de sterkte van den stroom.

Harde staaf bij 0 °C gemagnetiseerd.

i	m_0	m_{100}	m'_0	$\frac{m_{100}}{m_0}$
61.2	98.4	117.4	112.6	1.20
88.4	133.8	165.4	158.4	1.24
129.0	198.0	244.0	235.2	1.23
163.7	263.8	317.0	303.0	1.20

[1]) Voor eene scherpere onderscheiding, is het beter onder temporair, alleen dat magnetisme te verstaan, hetwelk onder invloed opgewekt zijnde, weer verdwijnt, zoodra de inducerende werking heeft opgehouden.

Weeke staalstaaf bij 0° C gemagnetiseerd.

i	m_0	m_{00}	m'_0	$\frac{m_{100}}{m_0}$
67.0	127.5	151.0	148	1.184
85.1	173.4	198.4	194.8	1.144
111.3	238.7	271.7	267.2	1.140
138.5	312.5	351.7	349.7	1.125

Ook hier geldt de opmerking, welke wij op blz. 13 ten opzichte van de proeven van Mauritius hebben gemaakt. De werking is hier samengesteld, daar vooral bij staal, onder invloed, zoowel het permanent als het temporair magnetisch moment, door de temperatuur zijn veranderd, en deze werkingen zijn in tegengestelden zin.

§ 19. Volgens dezelfde methode, als Wiedemann heeft Mauritius [1]), de betrekking tusschen de intensiteiten van magneetstaven bij verschillende temperaturen bepaald. De staven werden door strijken gemagnetiseerd, en door herhaalde verwarming en afkoeling tot een constanten toestand gebracht. Voor staven, welke achtereenvolgens ongelijk sterk gemagnetiseerd waren, werden waarden voor $\frac{m_0 - m_{100}}{m_0}$ gevonden welke onderling zooveel overeenkomst hadden, dat zij volgens Mauritius recht geven tot de volgende stelling:

»Der Verlust, welchen ein constant gewordener Stab, beim Erhitzen von 0° auf 100° erleidet, ist seinem Magnetismus bei 0°, gleichviel wie stark derselbe sey, proportional."

§ 20. Eigen onderzoek.

Om den invloed van temperatuursverhooging op het

[1]) Mauritius. Pogg. Ann. Bd. CXX. l. c.

magnetisme gedurende de inducerende werking te onderzoeken werden cilindrische staven van Engelsch gietstaal gebruikt. Voor het onderzoek werd eene dergelijke staaf in het vlak van den magnetischen meridiaan of in de richting van de inclinatienaald in een oliebad geplaatst. Naast het te onderzoekene uiteinde van de staaf werd in den magnetischen meridiaan 2 d.M. van dien der staaf gelegen eene compasnaald van 1 d. M. lengte geplaatst, zóódanig dat de lijn gaande middendoor dat uiteinde der staaf en door het daarmede ongelijknamig polaire uiteinde van de naald, zoolang deze in den magnetischen meridiaan staat, loodrecht is gericht op het magnetische meridiaanvlak.

De verwarming geschiedde door Bunsensche branders, die om de gelijkmatigheid der temperatuur te bevorderen en vooral om schokkingen van de olie in het bad te voorkomen voortdurend heen en wêer werden bewogen. Bij een horizontalen stand der staaf was deze geplaatst in een van boven open koperen vat zonder met de wanden in aanraking te komen. Begon de temperatuur die door twee thermometers werd aangegeven ongelijkmatig te worden dan werd de olie zeer voorzichtig met een penneveer geroerd, waardoor bovendien het schokken van de olie bij de verwarming werd tegengegaan. Deze voorzorgen waren volstrekt noodig, daar het bleek dat geringe schokkingen veranderingen in het magnetisme teweegbrachten die verkeerdelijk aan temperatuursinvloed zouden worden toegeschreven. Waren de staven in de richting van de inclinatie-naald in een koperen buis geplaatst, dan viel het bij hoogere temperaturen vooral, wanneer er zich eene sterkere gasontwikkeling in de olie begon te vertoonen, moeielijker aan die vereischte voorzorgen te

voldoen; niettegenstaande in dezen stand de inductie het sterkst is, heb ik om genoemde reden meestal de voorkeur gegeven aan eene verwarming in de horizontale richting. In de volgende tabellen zijn de resultaten van enkele proeven opgegeven.

I. Staaf van Engelsch gietstaal lang 80 c. M. en 3 c. M. in diameter, in de richting der inclinatienaald geplaatst. De staaf was voor de proef zonder vaste polariteit.

Temp. in °C	Afwijking der naald.
11	10°
35	12°
50	12°,30′
58	13°
66	14°
71	15°
81	15°,30′
83	16°
89	17°
93	18°,30′
103	19°,30′
109	20°,20′
116	22°
122	23°
126	25°,30′
Na afkoeling tot	
42	27°,30′
30	27°,30′
22	28°
Na 24 uren	
9	30°,30′

OPMERKINGEN.

Bij deze proef is er niet de minste schokking waargenomen.

Na 24 uren veranderde het magnetisme niet meer. Het bleek dat de staaf nu vaste polen had verkregen, die nadat zij eenige uren loodrecht op den magnetischen meridiaan was geplaatst, zwakker waren geworden; doch nog niet geheel verdwenen, toen de staaf in dezen stand op 100° C was verwarmd geworden.

Andere proeven, gaven steeds dergelijke resultaten. Altijd was er gedurende en nog na de afkoeling eene vermeerdering van het magnetisme waar te nemen.

II. Staaf van Engelsch gietstaal (lang 69,8 c. M. en 2 c. M. in diameter) horizontaal in het vlak van den magnetischen meridiaan geplaatst. De staaf was voor de proef zonder vaste polariteit.

Temp. in °C	Afwijking der naald.
8	9°,15′
18	9°,30′
42	9°,45′
64	10°,0′
84	10°,30′
95	11°,
106	11°,30′
108	12°,30′
115	13°,
120	13°,30′
125	14°,
Na afkoeling tot	
50	15
32	15°,30′
Na 24 uren.	
10	16°,30′

OPMERKINGEN.

De nu ontstane vaste polen, waren reeds sterk verminderd, toen de staaf één uur lood recht op de richting van den magnetischen meridiaan was geplaatst geweest.

Zij verdwenen bijna geheel toen in dezen stand de staaf tot 100° C werd verwarmd, en waren bij eene verwarming tot 132° C geheel verdwenen. Misschien mag dit laatste niet geheel aan temperatuurs invloed worden toegeschreven, daar bij de temperatuur van 130° C, er zich eene sterkere gasontwikkeling, in het oliebad begon te vertoonen.

Werd de staaf na op genoemde wijze vaste polen te hebben verkregen, in eene tegengestelde richting in den magnetischen meridiaan gesteld, en dan verwarmd, dan verminderde de polariteit zeer snel. In de volgende tabellen is deze werking aangegeven. In de 1ste tabel is de ge-

wone werking, in de 2de die na de omkeering van de staaf, uitgedrnkt.

In deze laatste beduiden, de negatieve teekens afstooting, de positieve aantrekking.

III. Staaf van Engelsch gietstaal (lang 80 c.M. en 3 c.M. in diameter) horizontaal, in het vlak van den magnetischen meridiaan geplaatst.

Zonder vaste polariteit.

Temp. in °C.	Afw. der naald.
10	9° 0'
25	9°30'
38	10° 0'
60	10°30'
78	11° 0'
95	11°30'
104	12° 0'
110	12°30'
116	13° 0'
120	13°30'
126	14° 0'
130	14°30'
Na afkoeling tot	
12	16°

Nadat de staaf 180° was omgedraaid, oefende het andere uiteinde eene afstootende werking van 11° 30' uit op de naald.

Na omkeering van de staaf.

Temp. in °C.	Afw. der naald.
9	— 11°30'
41	— 11° 0'
46	— 10° 0'
53	— 9°30'
61	— 8°30'
68	— 7°30'
72	— 6°30'
79	— 5°30'
86	— 4°30'
91	— 3°30'
95	— 1°30'
100	— 0°30'
103	0°
107	+ 1° 0'
112	+ 2° 0'
117	+ 3° 0'
120	+ 4° 0'
127	+ 5°30'
134	+ 7°30'
Na afkoeling tot	
12	+ 7°

Dat de eene vaste pool, eene afstootende werking van slechts 11°30', terwijl de andere, eene aantrekkende uitoefent van 16°, wordt verklaard, 1ste door het verlies gedurende en na de omkeering, 2de door dat bij aantrekking de pool van de naald, dichter bij de staaf wordt geplaatst. De inductie van de naald, mag in vergelijking tot die van de aarde buiten rekening worden gelaten.

Dit bleek mij uit afzonderlijk daarvoor genomen proeven. Hierbij werd o.a. eene staaf in eene richting, loodrecht op den magnetischen meridiaan tot 122° C verwarmd, terwijl de naald op een zelfden afstand was geplaatst als bij de vorige proefneming. Na de afkoeling waren er geen vaste polen ontstaan.

Daar ik bij deze proefnemingen geen geschikten magnetometer ter mijner beschikking had, heb ik de betrekkelijke sterkte van het magnetisme, niet in cijfers kunnen aangeven. Met behulp van zulk een instrument, hoop ik later deze voorloopige proeven, te herhalen, en uit te breiden.

Toch mag uit deze proeven reeds worden besloten:

1sten. Dat het door inductie opgewekte magnetisme van gietstaal, bij verwarming van 10° tot 130° toenemende blijft, maar niet gelijkmatig, en in den regel bij hoogere temperaturen sterker, dan bij lagere.

2den. Dat er in gietstaal, bij verwarming onder invloed van het aardmagnetisme een magnetisme wordt opgewekt, hetwelk van het temporaire en van het permanente, graduëel in vastheid verschilt. (subpermanent?) Het is meer vast dan het temporaire, dat met het ophouden van de inducerende werking onmiddelijk verdwijnt. Het is minder vast dan het permanente magnetisme, daar geringe mechanische inwer-

kingen, of verwarming, of eene zwakke demagnetiserende werking het gemakkelijk doen verdwijnen.

3den. Dat dit bij temperatuurs verhooging ontstane magnetisme nog in sterkte toeneemt, als de temperatuur afneemt, zelfs nog, nadat de staaf, weer op de gewone temperatuur is terug gekeerd. [1])

4den. Het op deze wijze ontstane magnetisme, neemt bij eene demagnetiserende werking, (omkeering van de staaf in den magnetischen meridiaan), bij verwarming veel sterker af, dan het is ontstaan.

Door de afneming van de oorspronkelijke en de toeneming van eene tegengestelde pool, schijnt het magnetisme van de staaf bij eene zekere temperatuur geheel verdwenen te zijn, zoodat deze naar buiten geen werking meer uitoefent. Bij nog verdere verhooging van de temperatuur ontstaat er eene tegengestelde pool.

Deze neemt met de temperatuur in sterkte toe, doch niet meer bij de afkoeling, zelfs neemt dan de sterkte een weinig af.

Er bleef mij nu nog te onderzoeken, of dit zwak permanente magnetisme ontstaat gedurende de verwarming, of bij de afkoeling na de verwarming, en bij welke temperaturen het sterkste.

Of er nadat de staaf bij temperatuursverhooging onder demagnetiserenden invloed, tot een toestand gekomen is, waarbij het magnetisme = 0 schijnt te zijn, weer polen ontstaan, en in welken zin de polariteit is, namelijk over-

[1]) Indien ten minste mag worden aangenomen, dat de toeneming na de afkoeling niet aan mechanischen invloed is toe te schrijven. Wij komen hierop in het 3de hoofdstuk terug.

eenkomende met de verdwijnende pool, of met de bij temperatuursverhooging door inductie opgewekte.

De resultaten van dit onderzoek zijn door te geringe gevoeligheid van het instrument te onzeker om ze nu reeds in hun geheel mede te deelen.

Altijd was er indien het magnetisme van de staaf tot 0 scheen gereduceerd weer polariteit, indien ze loodrecht op den magnetischen meridiaan werd afgekoeld.

Bijna zonder uitzondering was deze polariteit, in den zin van de verdwenen pool.

Altijd des te zwakker naarmate de toestand 0 bij eene hoogere temperatuur was ingetreden; bij één geval toen dit pas bij 112° C plaats had, was na afkoeling de polariteit omgekeerd, dus in den zin van de laatst opgewekte pool.

HOOFDSTUK III.

Resultaten en beschouwingen.

§ 21. De onderzoekingen, welke wij in het voorgaande behandeld hebben, vormen geen aaneengesloten geheel. Zij hebben, zooals Riess en Moser het uitdrukken, geheel het karakter van monographiën.

Vergelijken wij de resultaten onderling, dan kan daaruit met voldoenden graad van zekerheid, het volgende worden vastgesteld:

A. *Omtrent het magnetisme onder invloed.*

1°. Bij verhooging van de temperatuur tot een zekere grens, neemt het magnetisme onder invloed toe, voor ijzer en staal. De toeneming is des te grooter, naarmate de ijzersoort bij de gewone temperatuur harder is.

2°. Bij de temperatuur der roode gloeihitte (ongeveer 900°), gedragen alle ijzersoorten zich, ten opzichte van magnetische inductie, als week ijzer. Zij kunnen bij die temperatuur, alleen temporair magnetisch worden.

3°. Bij de temperatuur der lichtroode gloeihitte (1000 C — 1100 C) is geen der ijzersoorten meer in staat magnetisme aan te nemen. Het verloren gaan van de magnetiseerbaarheid geschiedt plotseling.

4°. IJzer en staal verhit geweest zijnde boven de temperatuur van magnetiseerbaarheid, verkrijgen bij afkoeling

op dezelfde temperatuur de magnetiseerbaarheid terug, waarop deze bij verhitting is verdwenen. Ook dit terugkeeren geschiedt plotseling, evenals het verdwijnen.

5o. Bij het terugkeeren van de magnetiseerbaarheid, verkrijgt weekijzer, onder invloed, terstond een maximum van sterkte. Bij het gietijzer neemt het magnetisme gedurende de afkoeling steeds in sterkte toe. Bij het staal zijn gedurende de afkoeling twee perioden te onderscheiden, die ieder met eene plotselinge toename beginnen.

B. *Omtrent het permanente magnetisme.*

1o. Eene gemagnetiseerde staaf ondergaat bij de 1ste temperatuursverandering, hetzij verhooging of verlaging, altijd eene vermindering in sterkte.

2o. Nadat het magnetisme van eene staaf door de 1ste temperatuursverandering in sterkte is verminderd, kan alleen temperatuursverhooging, een verder verlies veroorzaken.

3o. Van het door de temperatuursverhooging verlorene magnetisme, keert bij afkoeling een gedeelte terug; het andere gedeelte is blijvend verloren.

4o. Het blijvende verlies is bij de eerste temperatuursverhooging veel grooter dan bij de volgende, en wordt zoo steeds kleiner, om eindelijk = 0 te worden.

5o. Dan kunnen volgende temperatuurswisselingen binnen de grenzen, waartusschen het blijvend verlies heeft plaats gehad, nog een tijdelijk verandering in sterkte teweegbrengen.

6o. Dit tijdelijk verlies mag, indien de temperatuurs-

grenzen 0° en 100° zijn, ten naastebij evenredig gesteld worden, aan de magnetische sterkte bij 0°, en aan de doorsnede der staaf.

7°. De coëfficient van verlies $\frac{(m_0 - m_{100})}{m_0}$ zoowel van het blijvende, als van het tijdelijke, neemt met de temperatuursverhooging toe.

8°. Het permanente magnetisme, neemt bij hoogere temperaturen, zóó snel af, dat er bij 260° C nog slechts weinig is overgebleven, en het bij de licht roode gloeihitte geheel is verloren gegaan.

§ 23. De coëfficienten van tijdelijk verlies verschillen onderling zooveel, dat deze voor elke naald afzonderlijk moeten worden bepaald. Lamont geeft op dat de waarden van de coëfficienten van verschillende naalden zich bewegen tusschen 0,0008 en 0,00008 voor 1° C. Deze waarden zijn afhankelijk van de doorsnede en van de lengte (Riess en Moser), zoodat er alleen eene vergelijking mogelijk is tusschen naalden, die van dezelfde afmetingen zijn. Het verlies neemt af bij naalden van een grootere lengte, doch de betrekking tusschen den coëfficient van verlies en de lengte kan nog niet worden vastgesteld.

De coëfficient van tijdelijk verlies neemt toe met de temperatuur. De vorm van de correctie-formule wordt dan

$I_t = I_0 [1 - (\alpha t + \beta t^2)]$, waarin β slechts eene kleine waarde heeft.

Hoe harder het staal is, des te kleiner is de coëfficient van tijdelijk verlies. De waarde hiervan is bovendien af-

hankelijk van de hoeveelheid koolstof en andere stoffen, welke in het staal voorkomen. [1])

Het verschil in bovengenoemde factoren van invloed, bij de naalden, waarvan de coëfficienten zijn bepaald geworden, verklaart het groote onderscheid in de uitkomsten.

Aan het observatorium te Kew, zijn van eene menigte magneten de coëfficienten bepaald geworden. Op mijn verzoek van de resultaten iets te mogen vernemen, ontving ik van den Heer Whipple observator aldaar, een zeer welwillend antwoord, waarvoor ik ZEd. ook hier mijnen dank betuig. Van 109 aldaar onderzochte magneten, werden voor α en β, in bovenstaande formule de volgende gemiddelde waarden gevonden; voor 1° C α = 0,0002898 en β = 0,00000048. De waarnemingen hadden plaats tusschen de temperaturen — 18° en 29° C. Wij hebben hieromtrent eerlang uitvoerige mededeelingen te verwachten in »the Proceedings of the Royal Society of London."

§ 24. Invloed van den tijd.

Hieromtrent staan de waarnemingen van Holmgren, tegenover die van de meeste onderzoekers. Terwijl Christie, Riess en Moser en Dufour hebben gevonden, dat de tijd van inwerking der temperatuur geen invloed heeft op het verlies in magnetische sterkte, heeft Holmgren waargenomen, dat dit verlies toeneemt met den duur van inwerking der temperatuur.

Daar bij eene onmiddelijke uitwerking van den tem-

---

[1]) Zie Phil. Mag 1871 p. 335.

Newall and Gordon. On the effects of small variations of temperature on steel magnets.

peratuursinvloed, dit eene aanwijzing zou zijn, dat het magnetisme, alleen aan of zeer dicht bij de oppervlakte is gelegen, zooals ook door Christie wordt aangegeven, is het van te meer belang dat deze kwestie door nadere proefneming worde uitgemaakt. Om alle mogelijkheid van mechanischen invloed buiten te sluiten, zouden deze proeven, met de uiterste voorzorgen moeten worden genomen.

Het bleek mij, bij mijne proefnemingen, dat vooral bij hoogere temperaturen. eene staaf uiterst gevoelig wordt voor mechanische invloeden. De vier bepalingen welke ik in het voorgaande hoofdstuk heb opgegeven, zijn genomen uit 78 dergelijke reeksen, waarvan alleen om den storenden invloed van mechanische werkingen, meer dan de helft moest worden verworpen. Was de staaf op eene temperatuur van 100° C gekomen, of daaromtrent, dan was de schudding, veroorzaakt door het heftig dichtslaan van eene deur in het locaal van waarneming voldoende, om eene plotselinge afwijking van 4° á 5° van de naald te doen ontstaan. Dit maakt ook, dat de toeneming in sterkte, welke steeds werd waargenomen, nadat de staaf reeds tot de gewone temperatuur was teruggekeerd, niet zonder acht te geven op de bijgevoegde bedenking [1]) mag worden aangenomen.

Lamont zegt dat er nawerking plaats heeft, zoodat eene staaf, die op eene zekere temperatuur is verwarmd geweest nog in sterkte verliest, nadat zij reeds weer tot de gewone temperatuur is teruggekeerd. Nog zou volgens Lamont eene staaf, die door herhaalde verwarming en afkoeling tot een constanten toestand is gekomen,

[1]) Noot pag. 48.

nadat zij een tijdlang in rust is gelaten, door nieuwe verwarming op nieuw aan sterkte verliezen.

§ 25. Verklaring van de waargenomene verschijnselen.

Dat er een innig verband moet bestaan tusschen het magnetisme en den moleculairen toestand, blijkt uit alle hieromtrent waargenomene verschijnselen.

Van den moleculairen toestand zijn direct afhankelijk:

1o de sterkte van het magnetisme onder invloed.

2o de graad van vastheid van het blijvende magnetisme.

Volgens Wiedemann kunnen wij ons op de volgende wijze, van dit verband eene voorstelling maken.

A. Omtrent het magnetisme onder invloed.

Wordt ijzer of staal aan eene magnetiserende kracht blootgesteld, dan is de stand welke door de moleculen wordt aangenomen, resulterende van de magnetische richtkracht en der moleculaire krachten.

Wordt nu de temperatuur verhoogd, dan zal dit in de eerste plaats ten gevolge moeten hebben, dat door de meerdere bewegelijkheid der moleculen, deze meer de richtende krachten van het magnetisme zullen volgen.

Hierdoor neemt het magnetisch moment, onder invloed, toe. De verandering in de bewegelijkheid der moleculen is grooter bij hard-staal dan bij week, en bij dit laatste weer grooter dan bij week ijzer.

Naarmate de hardheid grooter is, is er ook eene sterkere vermeerdering van het magnetisme onder invloed, door verhooging van temperatuur. In de tweede plaats zegt Wiedemann heeft de temperatuursverhooging ten gevolge dat door de vermeerdering in afstand van de moleculen, zij onderling minder sterk in de magnetische

richting (?) zijn gelegen. Hierdoor zou het magnetisch moment van elk molecuul afzonderlijk verminderen in sterkte, zoodat dan ook bij zeer hooge temperaturen, staal en ijzer niet meer in staat zijn magnetisme aan te nemen. De invloed van de temperatuur zal dus afhankelijk moeten zijn, van de resultaten dezer twee werkingen:

1° het gericht worden van meer moleculen in een zelfde richting (versterking).

2° het afnemen van het magnetisch moment van elk molecuul afzonderlijk (verzwakking).

B. Omtrent het vaste magnetisme.

De invloed van de temperatuur op het vaste magnetisme is van tweeërlei aard. In de eerste plaats veroorzaakt zij een blijvend,- en ten tweeden een tijdelijk- verlies in sterkte.

Ten opzichte van het eerste wordt temperatuursinwerking, door Wiedemann, geheel gelijk gesteld met mechanische schuddingen. Daardoor zou ook elke eerste temperatuursverandering na de magnetisering, altijd verlies tengevolge moeten hebben. Heeft nu door herhaalde verwarming deze werking van de temperatuur opgehouden, dan kan zij alleen nog eene voorbijgaande verandering te weeg brengen. Omtrent dit tijdelijk verlies, zijn de woorden van Wiedemann deze [1]):

»Jede Erwärmung lockert vorübergehend die Theile der Körper, und vermindert die Spannung, inwelche dieselben, durch die Wirkung der äusseren Kräfte versetzt worden sind. Deshalb kehren Sie hierbei, ein wenig in ihre erste Gleichgewichtslage zurück, in der Sie vor jener

[1]) Wiedeman, die Lehre vom Galvanismus, 2de Bd. p. 490, 1863.

Einwirkung durch die zwischen ihnen wirksamen Kräfte erhalten wurden. Die Erwärmung vermindert daher vorübergehend den Magnetismus. Bij der Erkältung kehren die Molecüle in ihre frühere Stellung zurück; der Verlust an Magnetismus erzetzt sich wieder".

§ 26. De verklaring, zooals die door Wiedemann wordt gegeven, is weinig gepresiceerd. Zij is dit uit den aard der zaak, daar zij eene betrekking wil aantoonen tusschen de werkingen van twee krachten, die in haar wezen nog zoo weinig bekend zijn. Eene hoofdbedenking tegen de verklaring van Wiedemann is deze: Nemen wij aan, zooals Wiedemann veronderstelt, dat er tusschen alle moleculen van eene stalen staaf, gelijke krachten aanwezig zijn, d. w. z dat staal eene moleculair-homogene massa is, zoodat er één functie voor de verandering van de moleculaire krachten door de temperatuursverandering zou zijn in te voeren, dan zou daaruit voortvloeien, dat eene gelijkmatige werking, als temperatuursverhooging tot 100° C bij een vast lichaam met een zóó hoog smeltpunt, ook eene meer gelijkmatige verandering in sterkte moest teweegbrengen. Dan zou er tusschen de verandering in sterkte (ook bij de eerste verwarmingen) en de temperatuursverandering, wel een bepaald verband kunnen worden gevonden. Oorspronkelijk is Wiedemann [1]) ook van dit gevoelen geweest. Het verlies in magnetische sterkte, ook bij de eerste verwarmingen van 0° tot 100°C. werd toen door hem, ten naastebij, rechtstreeks evenredig gesteld aan de oorspronkelijke sterkte bij 0° C.

---

[1]) Wiedemann, Pogg. Ann. Bd. C; CIII.

Door Mauritius [1]) werd aangetoond, dat dit niet het geval was, en ook uit de proeven van Dufour blijkt dit ten duidelijkste.

Wat, tot nu toe, als zeker kan worden vastgesteld is slechts van zeer algemeenen aard.

1° Het magnetisme in ijzer en staal, is eene functie van de moleculaire krachten; $m = f(\mu)$.

2° De moleculaire krachten zijn afhankelijk van de temperatuur; $\mu = \varphi(t)$, dus $m = f(\varphi t)$.

Omtrent den aard dezer functies is weinig bekend; zelfs zou het magnetisme nog onmiddelijk van de temperatuur afhankelijk kunnen zijn; $m = \psi(t)$.

Zonder er den naam van verklaring aan te willen geven, meen ik toch dat wij bij de volgende voorstelling kunnen winnen.

Het plotselinge verdwijnen van het magnetisme bij eene zekere temperatuur, het ongelijkmatig afnemen van de sterkte bij de eerste temperatuursverhoogingen, zijn aanwijzingen, dat het vaste magnetisme gebonden is aan bepaalde molecuulgroeperingen, bij welker gedeeltelijke of geheele ontbinding, door temperatuursverhooging, het magnetisme, gedeeltelijk of geheel verloren gaat. In deze meening worden wij versterkt, door dat er tusschen het tijdelijke en het blijvende magnetisme, toestanden van vastheid liggen, welke van het eene tot het andere eene graduële overgang vormen. Dit blijkt uit de door mij genomen proeven, waarbij alleen de zwak induçerende kracht der aarde werkte. Het magnetisme gaat des te

---

[1]) Mauritius, Pogg. Bd. CXX.

gemakkelijker verloren, naarmate het gemakkelijker is opgewekt geworden.

Wordt nu eene stalen staaf, door eene sterke kracht gemagnetiseerd, dan kan het opgewekte magnetisme, aldus worden onderscheiden.

Een gedeelte verdwijnt onmiddellijk nadat de induçerende werking heeft opgehouden, dat is dus temporair in den strikten zin van het woord. Het andere, n.l. het blijvende gedeelte, bestaat uit magnetisme van velerlei graden van vastheid. De graad van vastheid zou kunnen worden aangegeven door de temperatuur, waarop die gedeelten bij eene eerste, tweede, enz. verwarming verdwijnen. Nemen wij een voorbeeld uit de op blz. 31 opgegeven proeven van Dufour.

Eene bij 17° C. gemagnetiseerde staaf, had eene sterkte van 8.94; tot 30° verwarmd zijnde, was de sterkte 8.63 geworden, enz. tot zij bij 95° C. nog eene sterkte van 5.73 had. Nu keert, bij afkoeling, van het verlorene telkens een gedeelte terug. Werd nu bepaald, hoeveel er bij elke temperatuur blijvend verloren gaat, dan zou de graad van vastheid, door de temperatuur zijn aangewezen. Dit voortgezet zijnde tot die temperatuur, waarbij al het permanent magnetisme van de staaf is verdwenen, zou de totale hoeveelheid magnetisme M, bij de temperatuur waarop de staaf is gemagnetiseerd geworden, kunnen worden uitgedrukt door:

$M = mt + mt_1 + mt_2 +$ enz.:

waarbij mt, mt_1 etc. respectievelijk de hoeveelheden magnetisme aanduiden, die eene t, t_1 enz. gradige vastheid hebben.

Dit leidt ons van zelve tot de voorstelling, dat het waarschijnlijk verschillende groepen van moleculen zijn, die zich aldus verschillend tegenover het magnetisme verhouden.

Staal, zou dan geen moleculair-homogeen lichaam zijn. Een gedeelte van de moleculen, gedragen zich als die van week ijzer. Zij zijn slechts in staat, temporair magnetisch te worden. Het betrekkelijk aantal van deze, is grooter in week- dan in hard-staal.

Door temperatuursverhooging worden molecuul-groeperingen ontbonden, en naderen zij meer tot die van week ijzer, tot zij bij de roode gloeihitte daaraan geheel gelijk zijn geworden.

Zijn er nu molecuulgroepen in het staal aanwezig, welke alleen in staat zijn temporair magnetisch te worden, dan leidt ons dit van zelf tot de voorstelling, dat er in eene permanent gemagnetiseerde staaf, ook inwendige inductie aanwezig moet zijn. Nu is hieruit eene zeer eenvoudige verklaring af te leiden, waarom er bij eene nog niet constante magneet, gedurende de afkoeling altijd een gedeelte van het door verwarming verlorene magnetisme terugkeert; en ook waarom er bij eene z. g. constante magneet, door temperatuursverhooging nog een tijdelijk verlies moet plaats hebben. De vaste polariteit zal in de staaf zelve, eene tegengestelde temporaire polariteit opwekken. De werking naar buiten, is dus gelijk aan eene resulterende van die twee. Nu is het temporair magnetisme toenemende met de temperatuur, en wordt bij afkoeling weer zwakker. Het afnemen van de vaste polariteit is dus slechts schijnbaar.

STELLINGEN.

1.

Er bestaat meer grond, om aan te nemen dat het magnetisch gepolariseerd zijn bestaat in eene beweging (wentelende?) van de moleculen, dan in stroomen gaande om de moleculen.

2.

Mauritius meent ten onrechte, dat het plotseling verdwijnen van de magnetiseerbaarheid van ijzer en staal bij de lichtroode gloeihitte, zou kunnen worden toegeschreven aan de dissociatie van twee-atomige ijzermoleculen. (Pogg. Ann. Bd. CXX.)

3.

In leerboeken voor natuurkunde, wordt meestal zonder voldoende nauwkeurigheid vastgesteld, wat onder »éénheid van temperatuur" moet worden verstaan.

4.

Ten onrechte stelt prof. Koppe (Pogg, Ann. Bd. CLI st. 4), dat de uitdrukking $v^t = v^o (1 + at)$, voor het volumen van een gas bij t °C, als eene benadering kan worden beschouwd van de uitdrukking $v_t = v_o (1 + a)^t$.

5.

Het is niet juist — 273° C., absoluut nulpunt van temperatuur te noemen.

6.

Eboniet is eene betere stof voor de schijven van de Holtz'sche electriseermachine dan glas.

7.

De theorie der dubbele inductie van Riess verklaart alle verschijnselen, welke zich bij de Holtz'sche electriseermachine voordoen, niet voldoende.

8

De onderlinge werking van heterogene moleculen (z. g. contactwerking), is de oorzaak van dien vorm van arbeidsvermogen, welken wij Galvanischen stroom noemen.

9.

Voor het S. G. van gassen, moest algemeen hydrogenium als éénheid worden aangenomen.

10.

De wijze om een Torricelli'sch luchtledig te maken, zoo als die door Bohn (Pogg. Ann. 1877) wordt aangewezen, verdient aanbeveling.

11.

De beste methode om dampdichtheid te bepalen is die van Hofmann.

12.

Tegen toepassing van het beginsel van Avogradro op dampen zijn gegronde bedenkingen aan te voeren.

13.

Het vast worden van de stof moet hoogstwaarschijnlijk worden toegeschreven aan de vorming van afzonderlijke molecuulgroepen.

14.

De uitdrukking atoom moest niet niet meer worden gebruikt, in den zin van absoluut ondeelbaar deeltje.

15.

Terecht zegt du Bois Reymond (Ueber die Grenzen des Naturerkennens). »Durch die leeren Raum in die Ferne wirkende Kräfte, sind an sich unbegreiflich."

16.

De nauwkeurigste calorimeter is die van Bunsen.

17.

Wij moeten instemmen met Bessel, als hij zegt: »Ich glaube, dass das Ausströmen des Schweifes des Cometen ein rein Electrisch Phänomen ist."

18.

In de Wiskunde moet aan elke essentiëele bepaling, zoo mogelijk eene genetische voorafgaan.

19.

De Arthrozoën behooren als eene hoogere diergroep te worden beschouwd dan de Mollusken.

20.

De planten met éénslachtige bloemen moeten als de hoogst georganiseerde worden beschouwd.

21.

Het is niet goed het onderwijs in de natuurlijke historie aan de hoogere burgerscholen te willen beperken tot de laagste klassen.

22.

Het is zeer wenschelijk, dat aan alle hoogere burgerscholen met 5 j, c. voor meisjes, in de hoogste klasse gezondheidsleer worde onderwezen door een medicus.

23.

Ook voor onzen tijd geldt het antwoord van Kant, »Wenn denn nun gefragt wird: Leben wir jetzt, in einem aufgeklärten Zeitalter? So ist die Antwort: Nein, aber wohl in einem Zeitalter der Aufklärung."

(Kleine Schriften von Immanuel Kant.)