

# O OORSPRONKELIJKE BUDRAGEN

## BIJDRAGE TOT DE KENNIS VAN IN DE TANDHEEL- KUNDE GEBRUIKTE AMALGAMEN

DOOR

Dr. J. DE LIVER.

### HOOFDSTUK I.

#### **Inleiding. Argumentatie van het onderzoek.**

Een zeer belangrijke plaats onder de in de tandheelkunde gebruikte materialen nemen zonder twijfel de z.g.n. amalgamen in. Het veelvuldig en algemeen gebruik, dat de conserveerende tandheelkunde van deze legeringen maakt voor vulmateriaal, rechtvaardigt op zich zelf reeds een eisch voor de nauwkeurige kennis van de eigenschappen dezer stoffen. In de tandheelkunde wordt steeds meer de noodzakelijkheid gevoeld de tot nu gevolgde empirische methode ter verkrijging van materiaal kennis te vervangen door een meer rationeele, op wetenschappelijk onderzoek berustende werkwijze (8). Waar onze kennis omtrent de amalgamen in de tandheelkunde gebruikt nog zeer fragmentarisch is, is het van uit materiaaltechnisch standpunt gezien noodzakelijk, deze legeringen aan nader onderzoek te onderwerpen.

De steeds meer dringende noodzakelijkheid tot een normalisatie van de vele uiteenlopende soorten legeringen, waaruit amalgaamvullingen bereid kunnen worden, te geraken (130), leidt eveneens tot de wenschelijkheid onze kennis omtrent de amalgamen uit te breiden.

Daarnaast zijn deze legeringen zoo interessant voor de

---

\*) De tusschen ( ) geplaatste cijfers verwijzen naar het literatuuroverzicht op pag.

De gebruikte symbolen voor eenheden zijn ontleend aan Normaalblad N 333.

Concentraties zijn steeds in gewichtsprocenten aangegeven.

physico-chemicus en metallograaf, dat het verwonderlijk te noemen is, dat tot voor eenige jaren, in de chemische literatuur bijna niets omtrent deze stoffen te vinden was. Toch vormen juist de zilver-tin-legeeringen om de typische veranderingen, die zij in gevijlde toestand na verloop van tijd vertoonen, een belangrijk studieobject. Wanneer wij er daarnaast nog op wijzen, hoe gebrekkig onze kennis van de constitutie der amalgamen, speciaal van die der metalen met hooge smeltpunten is, dan gelooven wij, dat nader onderzoek in deze richting zeker gewettigd is.

Wij zullen in de volgende hoofdstukken eerst de eigenschappen der amalgamen bespreken, van belang voor tandarts en chemicus, aan de hand van de over dit onderwerp gepubliceerde literatuur. Daarna geven wij een overzicht van onze pogingen, amalgamen van uiteenlopende samenstelling te bereiden en hun eigenschappen te leeren kennen. Wij zijn daarbij, speciaal bij de bestudeering der schijnbaar eenvoudige binaire amalgamen van zilver en tin gestuit op moeilijkheden, die een plausible verklaring niet toelieten, zoodat onze eindresultaten niet geheel bevredigend zijn.

Verder zullen wij mededeeling doen aangaande ons onderzoek van handelsoorten en omtrent de conclusies, die wij meenen te mogen trekken omtrent de toepassing van amalgamen in de tandheelkunde.

---



## HOOFDSTUK II.

### Het gebruik van amalgamen in de conserveerende tandheelkunde.

#### § 1. *Algemeen, historisch overzicht.*

Onder amalgamen verstaat men in de conserveerende tandheelkunde alliages van kwik met andere metalen, gebruikt als z.g.n. vulmateriaal. Wij gaan hier de koperamalgamen, nog wel gebruikt als vulmateriaal voor het melkgebit, geheel voorbij en beperken ons tot die amalgamen, verkregen door het samenwrijven van kwik met vijlsel van een legering, bestaande uit zilver en tin, waaraan al dan niet een of meer andere metalen in geringe hoeveelheid zijn toegevoegd. Over de ontwikkeling van het gebruik van deze „Edelamalgame” — zooals de Duitse term luidt — kunnen wij het volgende mededeelen<sup>1)</sup>:

Reeds vroeg heeft men behoefte gehad aan een materiaal, dat in min of meer plastische toestand in de caviteit gebracht zou kunnen worden, waardoor nauwkeurig aansluiten van het vulmateriaal tegen de wanden der caviteit verkregen kon worden en het verder doordringen van de caries vermeden werd. Daarnaast moest het vulmateriaal echter voldoende hardheid bezitten, om tegen de kauwdruk bestand te zijn. Zuiver goud voldoet tamelijk goed aan deze min of meer contrasteerende eischen, en reeds in de 15e eeuw werden vullingen vervaardigd van goud, zoowel in foliën-vorm als in stukken (137). FAUCHARD, een der grondleggers der nieuwere tandheelkunde, achtte goud vervangbaar door lood of tin, metalen, die door druk vervormbaar zijn, maar slechts een geringe hardheid bezitten. Legeringen met kwik schijnen het eerst in 1818 door REGNART als vulmateriaal gebruikt te zijn (48). Deze smolt één deel kwik samen met tien deelen z.g.n. metaal van d'Arcet<sup>2)</sup> en verkreeg een bij pl.m. 60° C. smeltend amalgaam, dat warm in de caviteit

<sup>1)</sup> Een opsomming van de oudere literatuur is te vinden bij Port (113).

<sup>2)</sup> Dit is een laag-smeltend alliage, bestaande uit 8 d. bismuth, 5 d. lood en 3 d. tin.

gebracht werd en daarin stelde tot een harde massa. Een jaar later geeft de chemicus CH. BELL de bereiding van een amalgaam aan voor tandheelkundige doeleinden: samenwrijven van zilverspanen met kwik. Dergelijke amalgamen worden — naar de beschrijvingen in de oudere tandheelkundige literatuur te oordeelen — slechts langzaam hard. Het feit, dat zoo'n vulling in sommige gevallen de voortschrijding van de caries weet te verhinderen, zal zeker wel de aandacht getrokken hebben en in het begin van de 19e eeuw werd dan ook van amalgamen, bereid uit gevijlde zilveren munten, een druk gebruik gemaakt. Door de ondoordachte en kritieklooze bereidingsmethode werd echter meestal meer schade aangericht dan voordeel verkregen werd. Het is daarom niet te verwonderen, dat er een felle strijd uitbrak over de vraag of het gebruik van alliages met kwik al dan niet toelaatbaar was. De strijd nam tenslotte zulke proporties aan, dat vele tandartsen gebruikers van amalgamen als kwakzalvers beschouwden en vele tandheelkundige genootschappen het gebruik van amalgamen aan hun leden beslist verboden (69).

Een bekende autoriteit als E. A. HARRIS noemde in 1840 „amalgam... the most pernicious material that has ever been used for filling teeth”<sup>2)</sup>. Een soortgelijke opvatting vinden wij o.a. bij PFEFFERMANN<sup>3)</sup>. In 1848 stelde EVANS voor, amalgamen van tin en cadmium te gebruiken. Deze amalgamen bleken even onbruikbaar als de zilveramalgamen, maar de aandacht was nu op tin als amalgameerbaar metaal gevallen. Het bleek, dat een mengsel van bladtin en zilvervijsel veel gemakkelijker kwik opnam dan zilver alleen. De verkregen amalgamen waren meer plastisch, lieten zich daardoor beter verwerken en werden vlugger hard. De fabrikanten begonnen nu gevijlde alliages van zilver en tin in de handel te brengen. De uit deze soorten vijsel door samenwrijven met kwik verkregen amalgamen voldeden inderdaad veel beter dan de binaire amalgamen. De eerste legering van zilver en tin, voor dit doel in de handel gebracht, was verkregen door 4 deelen zilver met 5 deelen tin

<sup>1)</sup> In de Fransche uitgave van zijn „Principles and practice of dentistry” („Traité théorique et pratique de l'art du dentiste”, Paris 1884) treffen we zelfs nog de uitspraak aan: „rien ne peut me persuader que les dentistes auraient perdu beaucoup à ne pas connaître les amalgames”. (p. 338).

<sup>2)</sup> „Das Amalgam, bekannter unter den Namen „Lithodeon”, mineralischer Kitt ist unstreitig die gefährlichste Substanz, die zum Ausfüllen der Zahnhöhlen jemals angewendet wurde” (112).



samen te smelten, het z.g.n. amalgaam van TOWNSEND (151).

Men begreep al spoedig, dat aan een behoorlijk vulmateriaal niet alleen eischen van gemakkelijke hanteerbaarheid bij het stoppen en behoorlijke sterkte te stellen zijn, maar dat bovendien het volume niet mag veranderen in de caviteit.

Krimpt de vulling dan zal gelegenheid tot het ontstaan van secundaire caries gegeven zijn. In het omgekeerde geval bestaat gevaar voor het springen van het element. In tegenstelling met de clinici, die amalgaam als vulmateriaal niet wenschten toe te laten en daarom naar goud teruggrepen, trachtten anderen langs empirische weg de bruikbaarheid der amalgaamvulling te verhoogen. BLACK geeft een overzicht van deze onderzoeken (10), waaruit blijkt, dat door JOHN en CHARLES TOMES, FLETCHER, WITZEL (161) e.a. belangrijk pionierswerk werd verricht. De meeningen omtrent de gunstigste verhouding tusschen zilver en tin in de legering liepen echter ten zeerste uiteen en bijna iedere gebruiker van amalgaam had een persoonlijke opvatting over het vraagstuk. Zoo kon men een tandarts zijn meening, dat veel kwik in het amalgaam verwerkt moet worden, en de zilver-tin-legering een hoog tingehalte moet bezitten, hooren argumenteeren met een verwijzing naar..... de spiegel-fabricatie (63). Ook bij de enkelen, die de noodzakelijkheid van fysisch-chemisch onderzoek van de amalgamen bepleiten, treft men nog vele onjuiste begrippen aan. Zoo beweert BURCHARD (22) dat, op grond van de eenwaardigheid van zilver en de tweewaardigheid van tin, in de zilver-tin-legeringen steeds de verbindingen van de formule  $Ag_2Sn$  en  $Ag_4Sn$  zullen voorkomen, in de amalgamen „verbindingen” als  $Ag_2SnHg$ ,  $Ag_2Hg$  en  $SnHg$ . Berekeningen op dergelijke veronderstellingen gebaseerd, missen natuurlijk elke grond. KIRK (80) betreft de „affiniteit van kwik tot de metalen, die de zilver-tin-legering opbouwen” in zijn beschouwingen en concludeert tot het gebruik van groote overmaat kwik bij de bereiding van het amalgaam. In 1895—1896 publiceert BLACK zijn onderzoeken (13) (14). Systematisch gaat hij de eigenschappen na van amalgamen, bereid uit legeringen van diverse samenstelling, onder varieerende omstandigheden. BLACK is de eerste tandarts, die uitsluitend langs inductieve weg tot een bruikbaar vulmateriaal wil komen. Dit is o.i. zijn groote verdienste, welke door latere onderzoekers wel eens niet naar waarde geschat is (42) (7). Voor zoover in deze § over zijn arbeid gesproken zal worden, dient allereerst te worden opgemerkt, dat BLACK het reeds lang aan de tandartsen bekende verschijnsel van het „veroude-

ren" van het vijlsel der zilver-tin-legeering nader bestudeerde. Roert men dergelijk vijlsel aan met overmaat kwik en perst men het overtollige kwik daarna uit, dan blijkt dat vijlsel dadelijk na het vijlen veel meer kwik kan opnemen dan vijlsel dat een tijd bij kamertemperatuur is bewaard of ongeveer tien minuten in kokend water gehouden is. BLACK (16) spreekt hier over „the ageing of the cut alloy”, het verwarmen van het vijlsel noemt hij „artificial ageing.” Niet alleen verandert door deze behandeling de hoeveelheid opgenomen kwik, maar amalgamen uit „versch” vijlsel worden veel eerder hard dan die uit „oud” vijlsel en vertoonen een sterke expansie, terwijl de laatsten in de eerste uren na de bereiding veelal contraheeren, om daarna soms weer te expandeeren (17). Uit de door hem meegedeelde cijfers blijkt, dat van de aan „ageing” onderworpen vijlselsoorten, die met 75% zilver en 25% tin het meest geschikt zijn voor amalgaambereiding. Door toevoeging van verschillende metalen aan het zilver en tin maakte hij legeringen, waaruit amalgamen met afwijkende eigenschappen waren te verkrijgen. Gunstige eigenschappen verkrijgt men volgens BLACK, wanneer de spanen met niet te weinig kwik worden aangemaakt en niet te veel kwik in het amalgaam gelaten wordt. Naast metingen over de volumeveranderingen van amalgamen verrichtte hij metingen over de drukvastheid, terwijl hij eveneens de „flow” aan onderzoek onderwierp. Onder dit laatste verstaat men de eigenschap van amalgamen een vormverandering te ondergaan, indien zij onderworpen worden aan een continue eenzijdige druk. Het ligt voor de hand, dat, indien deze vormveranderingen belangrijk zijn en reeds door geringe druk veroorzaakt worden, het amalgaam als vulmateriaal, waarbij het aan de kauwdruk onderworpen wordt, niet bruikbaar is.

Vele tandheekkundigen hadden de meening verkondigd, dat amalgamen neiging hadden een spherische vorm aan te nemen, waardoor de vulling van de wanden der caviteit terugtrok en zoo gelegenheid gaf tot het binnendringen der caries-verwekker. BLACK schreef het verschijnsel echter toe aan de optredende contractie, die in de verschillende lagen der vulling ongelijk zou zijn, door de verschillende drukken bij het stoppen van het amalgaam in de caviteit uitgeoefend. BLACK onderzocht ook de in zijn tijd vaak gevolgde methode het amalgaam met een vloeistof uit te wassen. Deze methode was in gebruik gekomen, omdat, wanneer na het aanroeren met kwik, het amalgaam tusschen de vingers werd uitgeperst, aan de hand een zwart stof werd afgegeven. Men meende, dat dit stof — de door kwik



niet aangetaste oxydehuidjes van de legeringsspanen — de oorzaak was van het zwart worden van amalgaamvullingen in de mond. Door uitwasschen verwijderde men deze zwarte verontreinigingen, maar BLACK toonde aan, dat het middel erger was dan de kwaal, daar de mechanische eigenschappen van het amalgaam ongunstig beïnvloed werden. Nu het uitwasschen bij het amalgameeren met mechanische schudapparaten opnieuw wordt gepropageerd, is zijn onderzoek weer van groot belang.

Het bleek BLACK, dat zilverrijke legeringen amalgameen gaven, die sterk expandeerden, tinrijke daarentegen amalgameen, die contraheerden. Hieruit concludeert BLACK — geheel ten onrechte — dat zilver bij het amalgameeren expandeert, tin contraheert. Hij trachtte nu een legering van een dusdanige samenstelling te maken, dat het daaruit te bereiden amalgaam geen volumeveranderingen zou vertoonen, omdat de expansie, veroorzaakt door het aanwezige zilver, juist gecompenseerd zou worden door de contractie, als gevolg van de verbinding van het tin met kwik. BLACK noemt dit de „balanced formula of the alloy”, en alhoewel de redeneering onjuist is (1), wordt nog dikwijls voor reclamedoeleinden een legering als „balanced alloy” in de handel gebracht. Ook de door BLACK ingevoerde begrippen „rapid setting” en „slow setting” worden door de fabrikanten dikwijls misbruikt, alhoewel BLACK met „slow setting” slechts tinrijke legeringen bedoelde aan te duiden, die minder vlug hard worden.

In Amerika en Engeland hebben de onderzoekingen van BLACK veel waardeering gevonden (97), in Duitschland daarentegen minder. Aldaar wees in 1900 reeds FRIEDEMANN (47) op de scherpe tegenstellingen in de heerschende meeningen omtrent de invloed van het gehalte der zilver-tin-legering, de hoeveelheid kwik, waarmee aangeroerd en de druk, waaronder gecondenseerd dient te worden. Hij trachtte door eigen onderzoek een antwoord op deze vragen te geven en komt tot de conclusie, dat krachtig condenseeren een harder en minder poreus amalgaam geeft. Minder krachtig uitpersen na het aanmaken, waardoor dus meer kwik in het amalgaam blijft, maak het amalgaam harder.

De eerste tandarts, die gebruik maakte van de phasentheorie bij zijn beschouwingen over het verloop van het amalgamatieproces was FENCHEL. Bij zijn eerste onderzoek (38) tracht hij door microfoto's iets te weten te komen omtrent de structuur der amalgameen, vóór hem reeds door CH. TOMES geprobeerd

(146) (147). FENCHEL trachtte klaarheid te brengen in het toestandsdiagram der zilver-tin-legeringen. Op grond van densiteitsbepalingen komt hij tot de aanname van de chemische verbindingen  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  en  $\text{AgSn}_3$  (39). Bekendheid met het werk van TAMMANN'S medewerker PETRENKO (111), die op grond van de thermische analyse van het stelsel zilver-tin aangetoond had, dat uitsluitend  $\text{Ag}_3\text{Sn}$  als verbinding in dit stelsel voorkomt, toont hij eerst in een volgende publicatie (41). FENCHEL concludeert uit zijn onderzoekingen, dat het gewenscht is het vijlsel van een legering, bestaande uit 48% zilver en 52% tin, eerst met weinig kwik te verhitten tot een homogene massa ontstaat en deze massa na afkoeling opnieuw fijn te maken. De op deze manier verkregen spanen worden nu, vóór het gebruik als vulmateriaal, in een warm mortier met de noodige hoeveelheid kwik aangeroerd en het amalgaam nog warm in de caviteit gepakt. Er zouden dan geen veranderingen in het amalgaam meer optreden, iets wat natuurlijk buitengewoon gunstig zou zijn voor de praktijk.

Een zeer belangrijke vooruitgang in onze kennis omtrent de ternaire amalgamen uit zilver, tin en kwik danken wij aan de onderzoekingen van KNIGHT, JOYNER en MC. BAIN, waarop wij hieronder uitvoerig zullen terugkomen. Hier moge volstaan worden met de mededeeling, dat zij aantoonde, dat 1o. te veel kwik in het amalgaam een funeste werking heeft; 2o. het vijlsel der zilver-tin-legering steeds door verwarmen „aged” moet worden, wil men uniforme resultaten verkrijgen en geen te veel aan kwik in het amalgaam gelaten worden, en 3o. het verwarmen van het amalgaam, zooals FENCHEL dat voorschreef, juist sterke volumeveranderingen in de amalgaamvullingen opwekt (77). Ook toonden zij aan (29), dat amalgamen uit zilver-tin-legeringen bereid contraheerden, speciaal wanneer niet lang genoeg aangemaakt en het vijlsel verhit was geworden. STERNER—RAINER (135) merkt terecht op, dat deze onderzoekingen niet veel resultaten hebben opgeleverd voor de praktijk, daar de fabrikanten rustig doorgingen praeparaten in de handel te brengen, waarvan de samenstelling en bereidingswijze aan de gebruiker geheel onbekend waren, terwijl in het gunstigste geval de hoeveelheid kwik, die met een bepaalde hoeveelheid van de gevijlde legering verwerkt moest worden, werd aangegeven. Men laat nu in Amerika de bestudeering van deze ingewikkelde materie aan de chemici en physici over, verbonden aan het National Bureau of Standards, in Engeland aan metallographen van de eerste rang zooals ROSENHAIN e.a. De resultaten



van hun werk worden dienstbaar gemaakt aan de praktijk (60). De onderzoeken van GRAY (52) (52a) wijzen er nog eens duidelijk op (103), dat krachtig condenseeren <sup>1)</sup> de mechanische eigenschappen van het amalgaam gunstig beïnvloedt en dat aanwrijven met niet te weinig kwik gedurende pl.m. 4 minuten is aan te bevelen. De volumeveranderingen in amalgamen optredend zijn zeer nauwkeurig nagegaan (56), waardoor het verloop van de optredende reacties duidelijker begint te worden. In Duitschland ondernamen TAMMAN en DAHL een belangrijke poging (140) legeringen van uiteenlopend gehalte aan zilver en tin in hun gedrag tegenover kwik te bestudeeren. De conclusies, waartoe zij komen, n.l. een legering met 50—60% zilver te vijlen en het vijlsel dadelijk met kwik aan te wrijven, zijn echter voor de tandheelkundige praktijk niet wel op te volgen. Terwijl dus de meeningen omtrent het geschiktste amalgaam voor de tandheelkunde nog zeer verdeeld waren, werden speciaal de Deutsche tandartsen opgeschrikt door de publicaties van STOCK (136), waarin bewezen werd, dat onder bepaalde omstandigheden amalgamen kwikdamp in de mond konden afgeven, waardoor dragers van dergelijke vullingen aan een voortdurende intoxicatie bloot staan. Onderzoek van de zijde der tandartsen toonde aan, dat inderdaad binaire koperamalgamen een dergelijk gevaar opleverden (79), terwijl de meeningen omtrent zilver-tin-amalgamen na eerst verdeeld te zijn geweest, op het oogenblik ten gunste van dergelijke amalgamen gestemd zijn (152) (154) (44) (46) (51). Wel wordt nu van Deutsche zijde geëischt (2) (128), dat men van elke soort legering aangeeft welke dosis kwik voor het aanmaken noodig en voldoende is, en daarnaast, dat de in de handel voorkomende amalgamen nauwkeurig moeten worden onderzocht, ook op hun mechanische eigenschappen (59). Het is immers buiten twijfel, dat een amalgaam, dat door de kauwbeweging gemakkelijk wordt afgeschaafd, een even groote bron voor de gevaarlijke kwikvergiftiging is als het amalgaam, dat kwik door verdamping afgeeft. Pogingen zijn ook aangewend, om het gevaar van het morsen van fijn verdeeld kwik in de werkkamer van de tandarts te ondervangen. De publicatie van STOCK heeft er zodoende ten zeerste toe bijgedragen de belangstelling voor de amalgamen levend te maken. Van Amerikaansche zijde trachtte men een normaalblad voor amalgamen te ontwerpen (143), waarbij o.a. bleek, dat de oude methode van het aan-

<sup>1)</sup> C. f. pag. 11.

wrijven der spanen met kwik in een mortier met de hand te verkiezen was boven het gebruik van in de laatste tijd toegepast mechanisch mengen (144). Van Duitsche zijde werd getracht methoden van materiaalonderzoek te vinden, die toepasselijk waren op het onderzoek van amalgamen (90) (91) (92), en trachtte men zoo de deugdelijkheid van in omloop zijnde amalgamsorten te toetsen (109) (127), zonder tot een definitieve oplossing van het vraagstuk te geraken. In de volgende §§ komen wij op deze onderzoekingen terug, evenals op de belangrijke bijdrage van STERNER—RAINER (135), die amalgamen onderzocht, bereid uit diverse soorten legering met wisselende hoeveelheden kwik. Hij komt dan tot de eindconclusie, dat het beslist noodzakelijk is, dat de fabrikanten op de verpakking de procentische samenstelling van hun legering aangeven; hieruit zou dan de hoeveelheid kwik berekend kunnen worden, die men in het amalgaam mag laten, en de eigenschappen van het amalgaam zouden vooruit te berekenen zijn. Minder dan 50% zilver mogen de legeringen z. i. in geen geval bevatten. Een der meest recente publicaties wil echter weer bewijzen, dat niet zoozeer het zilveragehalte de kwaliteit van het amalgaam bepaalt, maar eerder de bijzondere aard der manipulaties bij de bereiding dat doet (93).

## § 2. *Algemeene eigenschappen van amalgamen.*

ONDANKS de hierboven geschilderde tegenstrijdigheden, die in opvatting omtrent het doelmatig gebruik van amalgamen bestaan en in weerwil van alle bezwaren, behooren amalgamen tot de meest geschikte vulmaterialen. Vervanging is op het oogennblik, al is dat in de laatste tijd wel eens gepoogd (57), nog niet mogelijk.

Tot goed begrip van het volgende kan het dienstig zijn, hier even stil te staan bij de door de tandarts gevolgde methode ter verkrijging van een amalgaam. Het door hem van de fabrikant betrokken metaalvijsel, waarvan de samenstelling varieert, maar dat in ieder geval zilver en tin in overmaat bevat, wordt hetzij mechanisch in een speciaal apparaatje, hetzij in een mortier met de hand krachtig met kwik vermengd gedurende pl.m. 2 minuten in de verhouding vijsel : kwik, zooals die door de fabrikant meestal aangegeven wordt. De zoo verkregen breiachtige massa wordt met behulp van een speciale tang of door knijpen tusschen duim en wijsvinger van het uitpersbare kwik ontdaan en dan zoolang in de palm van de



hand met de duim gewreven, tot een krakend geluid hoorbaar wordt. Nu wordt het aldus verkregen amalgaam onder druk („condenseeren”) in de caviteit gestopt, waarbij het weer plastisch wordt en opnieuw kwik naar boven wordt geperst. De zoo ontstane bovenste weeke laag, die dus het rijkst aan kwik is, wordt verwijderd en het amalgaam wordt hard in de caviteit.

Aan een ideaal amalgaam zouden de volgende eischen gesteld kunnen worden (49) (62):

10. Het amalgaam moet zoo plastisch zijn bij het stoppen, dat het behoorlijk verwerkt kan worden.
20. Het moet in de caviteit spoedig zoo hard zijn, dat het zijn functie behoorlijk kan vervullen.
30. Het amalgaam mag niet de minste volumevermindering vertoonen in de caviteit, daar dan secundaire caries kan ontstaan. Zeer zwakke expansie, waardoor behoorlijk aansluiten aan de wanden der caviteit bevorderd wordt, wordt door sommigen geprefereerd boven constantheid van volume (18).
40. Het amalgaam mag onder de invloed van de kauwdruk niet van vorm veranderen, daar het anders zijn contouren verliest.
50. Het moet een hooge vastheid bezitten (zowel rand-, breuk- als trekvastheid).
60. Het mag niet aangetast worden door de mondvloeistof noch op eenige andere wijze schadelijke metalen afgeven of van kleur veranderen.

Aan deze eischen wordt door de amalgamen in de praktijk nooit geheel voldaan. Op te merken valt dat

ad 20 en 30. Zelfs de beste soorten amalgaam veranderen tijdens het hard worden van volume. Treedt een expansie alleen op wanneer het amalgaam nog eenigszins vervormbaar is, dan zal de vulling uit de caviteit gaan puilen, zonder echter een belangrijke druk op de wanden uit te oefenen. Expandeert het amalgaam nog wanneer de maximale hardheid reeds bereikt is, dan zullen de wanden een druk ondervinden, die zij misschien niet kunnen doorstaan. Daarom is in de praktijk een al te snel hard worden van het amalgaam weer minder gunstig.

ad 40. Alle amalgamen vertoonen min of meer het verschijnsel van de „flow”<sup>1)</sup> door ons verder als „plastische vervormbaarheid” omschreven.

<sup>1)</sup> C. f. pag. 6.

### § 3. Onderzoekingsmethoden voor amalgamen.

Uit § 1 is gebleken, dat omstreeks het midden der vorige eeuw reeds pogingen werden aangewend, de voor de tandheelkundige techniek belangrijke eigenschappen der amalgamen systematisch te onderzoeken.

Bij het onderzoek van amalgamen heeft men de omstandigheden van de proef in overeenstemming te brengen met de in de mond heerschende toestand. Als temperatuur neme men b.v. 35.75° C., volgens BACHELET de gemiddelde temperatuur der mondholte (104).

#### A. Vorm en grootte van het vijlsel.

Deze kunnen microscopisch gecontroleerd worden.

#### B. Amalgameerbaarheid.

Deze wordt bepaald door de legeering met de voorgeschreven hoeveelheid kwik in een mortier aan te wrijven en te constateeren, hoe lang het duurt, tot de partikels der legeering verdwenen zijn en het amalgaam een plastische consistentie heeft verkregen.

Tevens kan dan worden nagegaan, hoe lang men het amalgaam in deze toestand kan laten liggen, zonder dat het zijn gemakkelijke verwerkbaarheid verliest.

#### C. Chemische samenstelling.

De chemische samenstelling van de legeering kan met behulp van de gewone methoden der analytische chemie bepaald worden.

*Zilver* kan het eenvoudigst door titratie volgens VOLHARD bepaald worden met rhodaan ammoniumoplossing, waarvan de titer op zuiver zilver gesteld is (148).

*Tin* kan het eenvoudigst langs gravimetrische weg bepaald worden (68). Bij omsmelten met soda en zwavel van het gevormde tinoxide bleek ons, dat maximaal slechts 0.1% oxyde was ingesloten. Voor de voor ons noodige nauwkeurigheid was het omsmelten van het uitgegloeide tinoxide dan ook onnoodig.

|                           |             |         |                      |
|---------------------------|-------------|---------|----------------------|
| Legeering L <sup>1)</sup> | Gehalte Sn. | 25.70 % | (omgesmolten)        |
|                           |             | 25.71 % | } (niét omgesmolten) |
|                           |             | 25.84 % |                      |
| Legeering M               | id.         | 34.72 % | (omgesmolten)        |
|                           |             | 34.51 % | (niét omgesmolten)   |

<sup>1)</sup> C. f. pag. 110.



De titrimetrische tinbepalingen (126) bleken te onnauwkeurig en te omslachtig te zijn voor een behoorlijke methode ter analyseering van deze legeringen.

*Koper*, slechts in geringere hoeveelheden in de legeringen voorkomend, is het eenvoudigst te bepalen door titratie (149).

Eventueel nog aanwezig *zink* — hoogstens eenige procenten — levert ook geen bijzondere moeilijkheden op.

#### D. *Hardheid.*

Exacte hardheidsmetingen aan amalgamen dateeren eerst van later tijd.

Het is algemeen bekend, dat een theoretisch juiste definitie van het begrip „hardheid”, ondanks het grootte praktische belang, niet te geven is en de hardheid derhalve bezwaarlijk in een absolute maat is vast te leggen.

Voor technische doeleinden kan men de hardheid omschrijven als de eigenschap der stof zich te verzetten tegen het binnendringen van een vast lichaam (96). De empirische methoden, in gebruik voor het bepalen van de grootte der hardheid, laten zich verdeelen in (33):

10. de methoden, die de weerstand tegen krassen als maat voor de hardheid nemen;
20. die, welke de weerstand tegen indrukken als zoodanig gebruiken, waarbij de indrukkende kracht statisch of dynamisch kan uitgeoefend worden;
30. die methoden, welke verband leggen tusschen hardheid en elastische eigenschappen, onder invloed van een dynamisch werkende kracht.

De verschillende hardheidsbegrippen, die aan deze methoden ten grondslag liggen, loopen echter geenszins parallel. Voor elk speciaal geval kiest men die definitie, welke technisch de meeste realiteit bezit.

De onder 10 genoemde methoden worden vooral in de mineralogie gebruikt (71) (115). Voor metalen is de methode door MARTENS uitgewerkt (156) en schijnt dan bijzonder geschikt te zijn voor zeer harde legeringen.

Onder de in 20 genoemde methoden treedt de kogel-drukmethode volgens BRINELL (21) het meest op de voorgrond. Men persst bij deze werkwijze een geharde stalen kogel van bepaalde diameter onder een bekende druk gedurende zekere tijd in het te onderzoeken object. De mate van indringen van de

kogel vormt een aanwijzing voor de hardheid. Is  $P$  de druk, op de kogel uitgeoefend en  $F$  het oppervlak van het ontstane bolsegment, dan is het hardheidscijfer volgens BRINELL

$$H_B = \frac{P}{F}$$

Is nu  $D$  de diameter van de kogel,  $d$  de diameter van het grondvlak van de kogelindruk, dan is derhalve

$$H_B = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Volgens MEYER, RASCH en RETJÖ is het echter juister (129) het oppervlak van het grondvlak van de kogelindruk in de formule te gebruiken; derhalve

$$H_M = \frac{4P}{\pi d^2}$$

In de techniek voert men de metingen uit met behulp van een olie-perspomp, waarmee geleidelijk een bepaalde druk op de kogel wordt uitgeoefend (fig. 1). Met kogels van verschillende diameter verkrijgt men slechts den dezelfde waarden voor  $H_B$  of  $H_M$  bij een bepaald materiaal, indien de gebruikte belastingen evenredig zijn met de tweede macht van de kogeldiameter (159). In het algemeen zullen dus de uitkomsten van verschillende onderzoekers niet direct met elkaar te vergelijken zijn. De belasting kiese men zoodanig dat  $0.1 D < d < 0.5 D$ . Geheel onafhankelijk is  $H_M$  niet van  $P$ ., zooals onze eigen waarneming eveneens leerde.

Volledigheidshalve noemen wij hier nog de sclerograaf van VALLAROCHE, die in de laatste tijd gebruikt schijnt te zijn voor hardheidsmetingen aan amalgamen (19). De andere methoden zijn voor ons doel van geen belang.

LIGNITZ (89), een der eersten, die systematisch het hard worden der amalgamen onderzocht, gebruikte bij zijn onderzoek de methode van ROSIWAL. De aldus gemeten „afslijt-hardheid” speelt echter geen belangrijke rol bij het gedrag van de amalgamvullingen in de mond. Uit door ons genomen proeven bleek, dat evenmin de krasmethode volgens MARTENS tot behoorlijke resultaten leidde, daar de amalgamen dadelijk na hun bereiding veel te zacht waren, om bij krassen, zelfs onder de geringste belasting, een scherpe streep op te leveren.

Voor ons doel heeft men als hardheid op te vatten de weerstand tegen indrukken, daar de vulling de kauwdruk zonder vormverandering te ondergaan moet weerstaan. HAUCH (61)



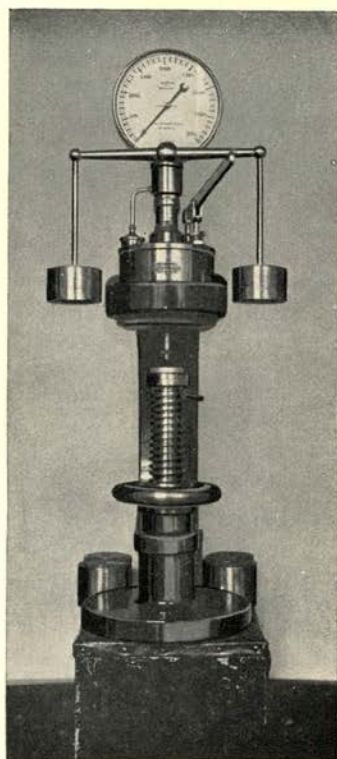


Fig. 1.





is een der eersten, die de indrukmethode toepast. TAMMANN en DAHL (140) volgen in principe eveneens deze werkwijze, om het geleidelijk hard worden van amalgamen bij 36° C. te meten. LOEBICH en NOWACK (91) voerden een volledig hardheidsonderzoek van amalgamen uit. In het eerste stadium na de bereiding meten zij de hardheid door een met een bepaald gewicht belaste naald in het amalgaam te doen indringen en de diepte van binnendringen op een schaal af te lezen. De gebruikte apparatuur herinnert sterk aan de naald van VICAT, gebruikt voor de bepaling van de hardwordingstijd van cementsoorten.

Daar na eenige uren het amalgaam te hard is geworden voor nauwkeurige meting volgens deze methode, wordt na verloop van deze tijd de methode van BRINELL gebruikt. Naast de statische onderzoekingsmethoden voerden zij ook een dynamische in, door een kogel van bepaald gewicht van een zekere hoogte op het amalgaam te laten vallen. Men verkrijgt op deze manier een indruk van het gedrag der amalgamen tegenover plotselinge slag of stoot, door als „kogelslaghardheid” aan te geven het quotient van de arbeid door de vallende kogel verricht en het volume van de gevormde kogelindruk.

Bij de aanvang onzer onderzoekingen verscheen de publicatie van STERNER—RAINER (135), die de hardheid van amalgamen onderzoekt met behulp van de methode BRINELL—MEYER. Hij gebruikt een kogel met een diameter van 5 mm en een belasting van 125 kg bij een tijdsduur van 2 minuten.

TAYLOR (145) meet de BRINELL-hardheid met een kogel van 1.6 mm diameter en een druk van 12.8 kg.

De door ons uitgevoerde hardheidsbepalingen werden verricht met het toestel van fig. 2 <sup>1)</sup>. De schroef A<sub>1</sub>, die in het vastzittende deel B van het toestel loopt, wordt voorzichtig zoover naar beneden gedraaid tot de kogel juist het oppervlak van het blokje raakt. Laat men nu langzaam zand in het bakje C glijden — de tijd hiervoor noodig bedraagt ongeveer 5 sec — dan wordt de kogel met een kracht, die 50 maal het gewicht aan zand bedraagt, in het amalgaamblokje geperst. De diameter D van de kogel bedraagt 3 mm, terwijl men steeds nauwkeurig 2 minuten druk uitoefent. Men meet de diameter van de ontstane indruk met behulp van een mikroskoop met kruisdraadoculair, die in twee loodrecht op elkaar staande richtingen met behulp van een micrometerschroef bewogen kan wor-

<sup>1)</sup> Dit toestel oorspronkelijk aangegeven voor trekproeven (157) is op aanwijzing van Lector B. R. Bakker voor ons doel geconstrueerd.

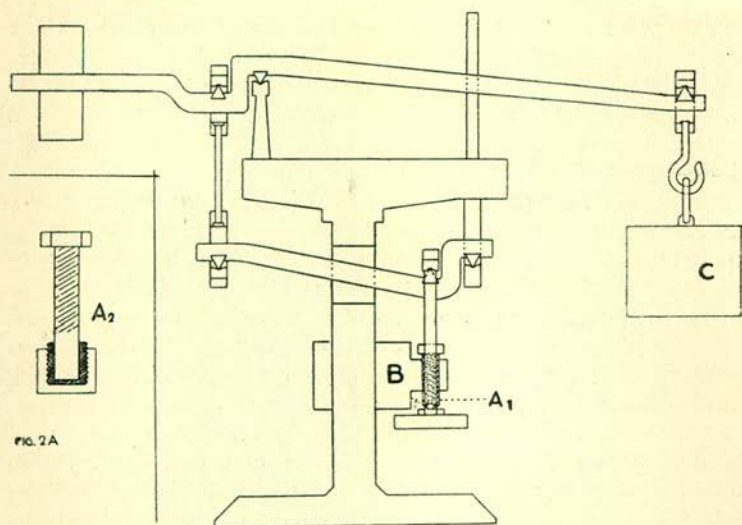


Fig. 2.

den, zoodat verplaatsingen van 0.01 mm duidelijk waarneembaar zijn. Bij een behoorlijk gevormde bolindruk is de afleesfout niet grooter dan 0.01 mm. Wij berekenen steeds het hardheidscijfer volgens MEYER:  $H_M$ .

Invloed van druk op  $H_M$  bij amalgamen, die hun maximale hardheid bereikt hebben:

$$\left. \begin{array}{l} P = 20 \text{ kg} \quad d_1 = 0.80 \quad d_2 = 0.80 \\ P = 20 \text{ kg} \quad d_1 = 0.76 \quad d_2 = 0.77 \end{array} \right\} \text{gemidd.d.} = 0.78.$$

$$H_M = \frac{20}{0.478} = \underline{\underline{42}}$$

$$P = 10 \text{ kg} \quad \text{Gemidd. d} = 0.54 \text{ mm} \quad H_M = \frac{10}{0.229} = \underline{\underline{44}}$$

$$P = 5 \text{ kg} \quad \text{,,} \quad d = 0.40 \text{ mm} \quad H_M = \frac{5}{0.126} = \underline{\underline{40}}$$

De grootte van de meetfout verhindert een zekere conclusie te trekken, omtrent de afhankelijkheid van het hardheidscijfer van de druk. Trouwens zeer goed reproduceerbare waarden kan men bij dergelijke hardheidsbepalingen niet verwachten (90).



Daar de meeste amalgamen in de eerste uren na de bereiding door hun geringe breukvastheid geen drukken grooter dan pl.m. 10 kg verdragen, werd bij alle bepalingen steeds een druk van 10 kg op de kogel uitgeoefend.

#### E. *Volumeverandering.*

Onderzoekingsmethoden voor de volumeveranderingen bij amalgamen zijn reeds lang in gebruik. Een der eersten, die in deze richting werkzaam is geweest, was JOHN TOMES. Hij praepareerde een caviteit in ivoor, legde hierin een amalgaamvulling en kon nu onder de microscoop constateeren of de vulling zich al dan niet van de wanden der caviteit terugtrok. FLETCHER stopte de plastische vulling in een glazen buis, en vulde de buis nadat het amalgaam hard geworden was, met een kleurstofoplossing. Contractie van het amalgaam demonstreerde zich dan in het doorloopen van de kleurstof langs de wand. Deze methode is later o.a. door FRIEDEMANN (47) uitgewerkt („Eosinprobe nach FRIEDEMANN”). Dat men er geen beteekenis als exacte, kwantitatief bruikbare methode aan geven kan, behoeft nauwelijks gezegd.

CH. TOMES was een der eersten, die de pyknometer gebruikt voor de bestudeering der volumeveranderingen van amalgamen. Het onderzoek van WESSLER (160) laat zien, dat hiermede de volumeverandering van een amalgaam duidelijk waarneembaar en kwantitatief uitdrukbaar wordt. Ook door DENTZ (30) is deze methode reeds gebruikt voor het vergelijken van de contractie van verschillende amalgamen.

BLACK gebruikte bij zijn onderzoekingen een door hem geconstrueerde micrometer (15). Dit meetinstrument werd lang voor een apparaat van hooge precisie gehouden, en zonder twijfel heeft het in de handen van de ontwerper nuttig werk geleverd. BLACK gebruikte als caviteit een z.g.n. „Wedelstaedt test tube”, een stalen blok, waarin een cilindrische uitboring gemaakt was. In deze uitholling werd het nog plastische amalgaam gestopt en het geheel zoodanig in de micrometer geplaatst, dat het centrum van de amalgaamvulling in contact was met een stalen punt, waardoor een plaatsverandering van dit centrum op een schaal kon worden afgelezen. BLACK geeft aan, dat hij met zijn instrument lengteveranderingen tot op 1/10.000 inch (pl.m.  $2.5 \mu$ ) kan meten. De groote fouten, die het gebruik van dit instrument aankleven, zijn besproken door GRAY (52a). Daar bovendien de thermische expansie van de meeste amalgamen ongeveer driemaal zoo groot is als die van staal (132), zal

geringe stijging van de temperatuur een druk van de amalgaamvulling op de wanden der stalen caviteit van de „Wederstaedt-tube” veroorzaken, die tot resultaat kan hebben een uitbuiging van het vrije oppervlak van de amalgaamvulling, waardoor een onjuiste aanwijzing van de micrometer ontstaat. Ook de expansie, veroorzaakt door de in het amalgaam optredende reacties, drukt het blokje tegen de wanden van de caviteit, zoodat de aanwijzingen van het instrument niet direct de expansie van het vrije amalgaamblokje weergeven. Contractie, waarbij het amalgaam geen druk van de wand ondervindt, zal dan ook op de schaal anders afgelezen worden dan een even groote expansie. Het gebruik van een micrometer en een kunstmatige caviteit moet derhalve onjuist genoemd worden, wanneer het er om te doen is verschillende soorten amalgaam onderling op hun volumebestendigheid te vergelijken.

FENCHEL (37) is de eerste, die van een vloeistof-dilatometer gebruik maakt, zonder echter een nauwkeurige beschrijving van zijn apparaat te geven. Zijn pogingen indirect de volume-veranderingen uit de variatie van het elektrische geleidingsvermogen te bepalen, zijn van geen praktisch belang (40).

Exacte metingen van de volumeveranderingen van amalgamen worden het eerst uitgevoerd door GRAY (52a). In een thermostaat waarin de temperatuur hoogstens  $0.01^{\circ}\text{C}$ . wisselt, is een dilatometer van bijzondere constructie opgesteld, waardoor het mogelijk is, lengteveranderingen te meten met een nauwkeurigheid van  $0.05\ \mu$ . In het midden van grond- en bovenzak der onderzochte amalgaamcilinders zijn fijne uitboringen gemaakt, om de contactpunten op te nemen, zoodat in radiale richting het amalgaam vrij kan inkrimpen of uitzetten. De lengteverandering wordt elke minuut graphisch geregistreerd, zoodat een curve verkregen wordt, die direct het verband van de lengteveranderingen met de tijd weergeeft. GRAY werkt met een apparaat van de hoogst mogelijke precisie. Een groot bezwaar is echter, dat hij slechts de lengteverandering in één richting meet. Uit het medegedeelde over tandheelkundige amalgamen zal het reeds duidelijk zijn, dat wij hier te doen hebben met materiaal met hoogst ingewikkelde eigenschappen. De fijne lengteveranderingen in een bepaalde richting geconstateerd geven niet altijd een beeld van de volumeveranderingen, die in het amalgaamblokje als zoodanig optreden. Speciaal zal dit het geval zijn in de eerste uren na het aanmaken van het amalgaam. Dan kan plaatselijk bij het contact, dat de lengteverandering moet overbrengen, een groei van kristaldendrieten zijn, op een andere plaats niet



geschiedend. Dit maakt de conclusies uit de aanwijzingen van een dergelijk apparaat getrokken minder betrouwbaar, al is de nauwkeurigheid van de meting ook zeer hoog.

Ook is deze meetmethodiek minder geschikt, wanneer men het gedrag van verschillende amalgamen gedurende lange tijd naast elkaar wil waarnemen, daar het gedrag van telkens slechts één amalgaamblokje kan bestudeerd worden. Hetzelfde geldt voor de eveneens zeer nauwkeurig werkende apparatuur, die door SOUTER en PETERS (132) is ontworpen voor het meten van lengteveranderingen van tandheelkundig materiaal. Zij maken gebruik van een door PRIEST (116) geconstrueerde optische interferometer, waarbij weer de verandering van lengte in een bepaalde richting wordt gemeten.

HAUCH (61) gebruikt bij zijn onderzoekingen een met toluol gevulde dilatometer. Daar wij, door de betrekkelijke kostbaarheid van het materiaal gedwongen waren met geringe hoeveelheden amalgaam te werken — in gunstige gevallen konden wij beschikken over pl.m.  $1 \text{ cm}^3$  materiaal — was een eerste vereischte bij gebruik van een dilatometer, dat het vat niet te groot werd genomen (hoogstens eenige  $\text{cm}^3$ ). Hierdoor was het niet goed mogelijk de glascapillair aan het vat, nadat het amalgaam er was ingebracht, aan te smelten, daar men dan het amalgaam aan een te sterke temperatuurstijging zou blootstellen, die van groote invloed kan zijn op de optredende volumeveranderingen.

Een groot voordeel van deze dilatometrische methode van onderzoek is, dat het amalgaam naar alle richtingen vrij kan expandeeren of contraheeren, en aan geen enkele speciale richting bij de meting boven een andere de voorkeur wordt gegeven. Een bezwaar is, dat men een geschikte vloeistof moet kiezen, die het amalgaam behoorlijk bevochtigt en geen invloed uitoefent op het verloop van de reacties, die zich in het amalgaam voltrekken. Er is geen in aanmerking komende vloeistof te vinden, die niet het binnentreden van kwik in het vijsel beïnvloedt. Toch is dit bezwaar o.i. niet zeer belangrijk. Wanneer het amalgaam zonder dilatometer-vloeistof wordt aangemaakt, en men het daarna in de dilatometer met de in aanmerking komende vloeistof door evacuatie tracht te impregneeren, zal het nooit gelukken *alle* lucht uit het amalgaamblokje te verwijderen. Wij vonden dan ook bij onze proeven, dat het specifiek volume van een amalgaam, als blokje bepaald, steeds iets grooter is dan wanneer het in gepoederde toestand wordt bepaald. De hoeveelheid ingesloten lucht is te gering, om eenige invloed op de uitkomsten met de dilatometer verkregen, te kunnen uitoefenen. (vgl.

pag. — 59). Doordat de dilatometervloeistof echter niet tot in de fijnste poriën dringt, worden de reacties, die zich in het amalgaam voltrekken, niet gehinderd, zoodat inderdaad het eindvolume van een amalgaam, dat in de dilatometer met vloeistof behandeld is, precies gelijk is aan dat van hetzelfde amalgaam, dat men vrij in de lucht heeft bewaard.

Zoo vonden wij voor het specifiek volume — verder af te korten met S.V. — van een tinamalgaam na 42 dagen:

- a) in dilatometer geïmpregneerd met paraffineolie  
geweest te zijn: 0.1273
- b) in lucht bewaard te zijn geweest: 0.1272

Een ander bezwaar aan het gebruik van een dilatometer met vloeistof verbonden is, dat de manipulaties, vereischt alvorens met de meting kan worden begonnen, ongeveer een uur vorderen en de volumeveranderingen, gedurende deze tijd optredend, aan de waarneming ontsnappen (vgl. pag. 59.)

Dilatometers zijn verder gebruikt door TAMMANN en DAHL (140), LOEBICH (91), die de verdamping van het door hen gebruikte toluol verhinderden door de capillair van boven dicht te smelten. De langs deze weg gevonden resultaten werden geverifieerd door directe meting van de lengteverandering van een amalgaamstaafje.

STERNER—RAINER (135) bepaalt de volumeverandering van zijn amalgaamblokjes door directe meting met een meetmicroscop. Hij geeft geen nadere beschrijving van zijn methode, maar voor zoover wij getracht hebben, deze na te werken, meenen wij te mogen concluderen, dat de nauwkeurigheid niet groot is.

De door WANNENMACHER (155) beschreven apparatuur levert misschien nieuwe mogelijkheden op. Wij gelooven, dat onderzoek naar het volume-effect van amalgamen het eenvoudigst kan geschieden met behulp van een vloeistof-dilatometer. In hoofdstuk IV zullen wij op onze methode van werken nader ingaan.

#### F. *Breukvastheid.*

Hieronder verstaat men de kracht in  $\text{kg/cm}^2$ , die, onder bepaalde omstandigheden juist in staat is, een breuk van het amalgaamblokje te doen ontstaan.

BLACK (12) onderzocht cubi uit amalgaam met ribben van pl.m. 2 mm. lengte in een veerdynamometer. Daar de kleine afmetingen van een dergelijke cubus tot onjuiste resultaten aanleiding geven, evenals het gebruik van een meetinstrument met



een veer, voerde GRAY (52) een moderne standaardmethode van onderzoek in, met amalgaamcilinders van behoorlijke afmetingen.

FRIEDEMANN (47) trachtte de breukvastheid te meten onder gebruikmaking van een dynamisch werkende kracht in een door hem geconstrueerd valapparaat, waardoor hij meende de bij het kauwen heerschende toestand te benaderen.

FENCHEL (43) construeerde een apparaat, waarin de breukvastheid bij continu werkende kracht kan worden bepaald.

STERNER—RAINER gebruikt bij zijn onderzoek de methode van LUDWIK (96), waarbij een stalen kegel in het centrum van het bovenzvlak van een cilindervormig amalgaamblokje wordt geperst, terwijl het oppervlak van dat bovenzvlak  $1\text{cm}^2$  bedraagt. De kracht in kg, die in staat is onder deze omstandigheden het amalgaamblokje in twee helften te splijten, noemt STERNER—RAINER de splijtvastheid van het amalgaam.

WANNENMACHER (153) en SCHMID (127) onderzochten amalgamen op drukvastheid met een apparatuur, die geen nieuwe gezichtspunten opent. Hetzelfde geldt van het werk van NIJFFENEGGER (109).

TAYLOR (145) meet naast de breukvastheid nog de trekvastheid van een amalgaam-proefstaaf van bepaalde vorm.

#### G. *Plastische vervormbaarheid.*

BLACK was de eerste, die systematisch deze eigenschap van amalgamen onderzocht. Met behulp van zijn veer-dynamometer onderwierp hij amalgaamblokjes aan constante druk en mat van tijd tot tijd met behulp van een micrometer de optredende lengteverandering van het onderzochte blokje. Deze lengteverandering, uitgedrukt in procenten van de oorspronkelijke lengte, was voor hem een maat voor de „flow” (13). In deze meetmethode is in principe geen verandering gekomen.

SOUDER en PETERS (132) belasten het amalgaam met een zwaar gewicht en meten de compressie. TAYLOR (145) geeft als standaardvoorschrift aan amalgaamcilinders (4 mm diameter, 8 mm lengte) 3 uur na de bereiding te onderwerpen aan een druk van  $250\text{ kg per cm}^2$  gedurende 24 uur. De lengteverandering, in deze 24 uur ontstaan, uitgedrukt in procenten van de oorspronkelijke lengte, wordt als „flow” gedefinieerd.

#### H. *Corrosie.*

Op de methoden van onderzoek naar de corrosie van amalgamen door de mondvloeistof zal hier niet verder worden ingegaan.

§ 4. *Invloed van diverse factoren op de eigenschappen van een amalgaam.*

Na de methodiek behandeld te hebben, willen wij thans de resultaten van het onderzoek nagaan.

A. *Invloed van de korrelgrootte van het vijlsel.*

Vorm en grootte van het vijlsel varieert met het fabrikaat. Nu eens wordt de foliën-vorm („shavings”), dan weer de naaldjes-vorm door de fabrikanten aangeprezen als het meest geschikt voor amalgamatie. Dat de grootte van de korrels van invloed is op de verschillende eigenschappen, werd door GRAY duidelijk bewezen (52):

Een amalgaam werd bereid, terwijl alleen de grootte der korrels van het vijlsel varieerde. Uit fig. 3 blijkt het groote verschil, dat GRAY vindt in de volume-verandering van een amalgaam uit een grove korrel (R 58 : sterke expansie), uit een fijnere korrel (R 59 : zwakke expansie, gevolgd door een contractie) en uit een buitengewoon fijn verdeeld materiaal (R 66 : contractie) vervaardigd. Wij komen hieronder op deze kwestie terug.

B. *Invloed van de wijze van aanmaken.*

De verschillende variabele factoren bij het aanmaken van het amalgaam zijn van groote invloed op de kwaliteit. GRAY (52) vindt dat breukvastheid en kwikgehalte afhangen van de druk, waaronder het overtollige kwik verwijderd is. Dat men echter op grond van de meegedeelde cijfers tot een logaritmisch verband mag besluiten, lijkt ons wel wat voorbarig. Eerder zou er uit te concluderen zijn, dat het kwikgehalte in het amalgaam bij hogere drukken onafhankelijk van de druk wordt. Wel is het zeker te noemen, dat de breukvastheid stijgt met de druk bij het uitpersen uitgeoefend.

Vermeerdert men de hoeveelheid kwik, die men met de legering samenwrijft, terwijl men overigens alle andere factoren constant houdt, dan stijgen breukvastheid en kwikgehalte van het amalgaam sterk, totdat een maximum waarde wordt bereikt. Verhoogt men echter de druk, waaronder het kwik wordt uitgeperst, dan wordt de invloed van de grootere hoeveelheden kwik, waarmede men aanwrijft, steeds geringer, en wel zoodanig, dat de breukvastheid nog beïnvloed wordt, wanneer het kwikgehalte reeds onafhankelijk geworden is van de gebruikte hoeveelheid kwik.

Oefent men dus niet al te groote drukkingen uit bij het uit-



persen van het overtollige kwik, dan is het zaak, voor het verkrijgen van een hoge breukvastheid, met niet te geringe overmaat kwik aan te roeren.

Het kwikgehalte en de breukvastheid worden ook sterk be-

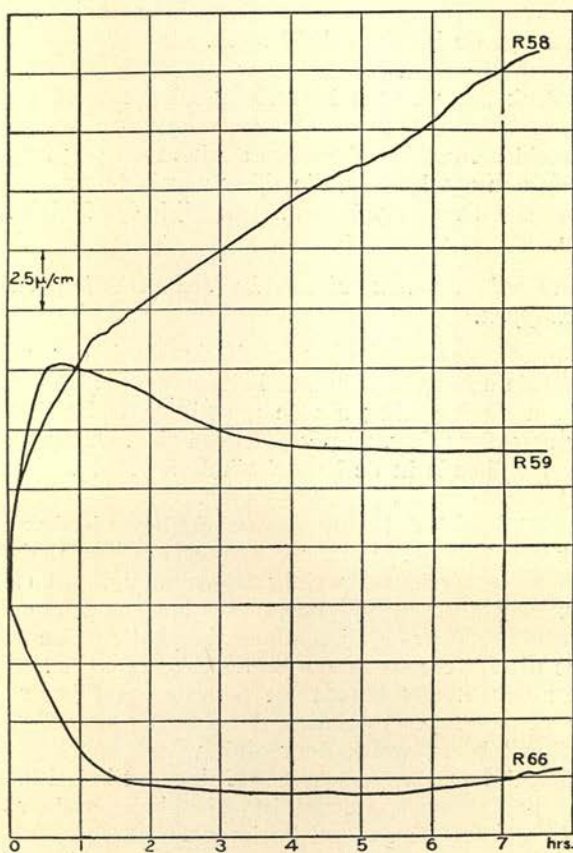


Fig. 3.

invloed door de tijd van aanroeren. Men moet niet langer dan 6 min aanmaken, wil men een maximale breukvastheid verkrijgen.

De breukvastheid daalt snel met de temp., om bij ongeveer 73° C. een plotselinge verandering te vertoonen.

De breukvastheid heeft spoedig na het aanmaken de maximale waarde bereikt.

TAMMANN en DAHL (140) constateerden, dat aanwrijven met overmaat kwik en uitpersen van het overtollige kwik, amalgamen deden ontstaan, die harder waren dan amalgamen, bereid zonder overmaat kwik. Te weinig kwik in het amalgaam verlaagt de breukvastheid sterk.

STERNER—RAINER (135) toonde aan, dat, naarmate door hogere druk meer van het overtollige kwik werd uitgeperst, amalgamen verkregen werden, die een geringere hardheid en splijtvastheid vertoonden, doch een sterkere neiging tot contractie bezaten dan amalgamen, die rijker aan kwik waren.

Op onze eigen waarnemingen hopen wij in hoofdstuk IV terug te komen.

### C. *Verband tusschen chemische samenstelling en eigenschappen.*

De chemische samenstelling is uit de aard der zaak van invloed op de eigenschappen van het amalgaam. Welke samenstelling van de legering als de gunstigste te beschouwen is, is echter nog niet zeker, zooals § 1 deed zien. De samenstelling van de verschillende in de handel zijnde soorten varieert sterk, zooals de analyses van pag. 110 leeren.

GRAY (52) meent, dat de breukvastheid bevordert wordt door een hoog zilveragehalte. Verder constateert hij (55), dat in het algemeen legeringen met weinig zilver amalgamen opleveren, die sterk contraheeren; hij bespreekt daarentegen ook weer eenige gevallen, waar — bij een laag tingehalte — de contractie na eenige uren overgaat in een zeer sterke expansie.

SOUDER en PETERS komen tot ongeveer gelijke resultaten (132). Deze onderzoekers vinden, dat tin een ongunstige invloed op de „flow” heeft, welke door zink wordt opgeheven. GRAY (53) meent, dat er een typisch verschil bestaat in het thermische gedrag van amalgamen, die zink bevatten, hetgeen door SOUDER en PETERS (131a) weer wordt bestreden.

TAMMANN en DAHL (140) meenden, dat een legering met 73 % zilver en 27 % tin, met overmaat kwik aangewreven, het hardste amalgaam oplevert. De maximale breukvastheid ligt volgens hen bij een legering, die pl.m. 50 % zilver bevat. Vijfsl, dat 1 uur bij 100° C. verwarmd is, vertoont steeds een contractie, die minimaal is, indien het vijfsl 25 % of 67 % zilver bevat; maximaal bij een gehalte van 50 %.

TAMMANN en MANSURI (141) vonden, dat bij een bepaalde



kwikconcentratie het amalgaam een maximale hardheid vertoonde. Daar zij hun amalgamen echter bereidden door smelten van de componenten, zijn hun uitkomsten niet wel met die van de andere onderzoekers te vergelijken. STERNER—RAINER (135) vindt eveneens, dat de hardheid van amalgamen, bereid uit legeringen met 73 % zilver, een maximale waarde heeft. De splijtvastheid is het grootst bij een zilveragehalte van 65—70 %.

Is het zilveragehalte grooter dan 70 %, dan vertoonen de uit dergelijk materiaal vervaardigde amalgamen een vrij sterke expansie. Beneden 70 % zilver treedt vooral bij gering kwikgehalte een contractie op, die echter na eenige tijd weer kan overgaan in een expansie.

Toevoeging van zink aan de legering werkt gunstig op de volumeveranderingen, die daardoor zeer gering worden, maar bevordert de aantastbaarheid door de mondvloeistof.

WANNENMACHER (155) komt tot ongeveer dezelfde conclusies als STERNER—RAINER. Legeringen, bestaande uit 60 % Ag en 40 % Sn zouden het gunstigst zijn voor de bereiding van amalgamen.

Op de resultaten van ons onderzoek hopen we terug te komen.

#### D. *Hard worden van het amalgaam.*

De hardheid stijgt in het algemeen na het aanmaken van het amalgaam vrij snel. Dat de snelheid van hard worden een logaritmische functie van de tijd zou zijn, zooals HAUCH (61) beweert, is door hem geenszins bewezen.

#### E. *Beïnvloeding van de volumeveranderingen.*

In aansluiting op de klassieke onderzoekingen van BLACK <sup>1)</sup> vinden GRAY (56) en SOUDER en PETERS (132), dat in het algemeen amalgamen eerst een snel verlopende contractie vertoonen, die spoedig overgaat in een langzame expansie. Door verandering in de tijd van aanwrijven te brengen is het echter zelfs mogelijk de begincontractie in een expansie te doen overgaan (52a). De condensatiedruk heeft eveneens een groote invloed evenals de gebruikte verhouding kwik : legering. Wanneer men het vijlsel in fijn verdeelde toestand met groote overmaat kwik vrij lang en krachtig samenwrijft, zal de reactie tusschen de legering en het kwik zich snel voltrekken en, na uitpersen van het te veel aan kwik, de reactie reeds bijna beëin-

<sup>1)</sup> C. f. pag. 6.

digd zijn. In dat geval zal de volumeverandering, in de vulling optredend, gering zijn volgens GRAY.

TAMMANN en DAHL (140) vinden, dat pas bereid vijlsel met kwik aangerood expandeert, oud vijlsel daarentegen contraheert.

STERNER—RAINER (135) vindt, dat amalgamen, die na hun bereiding contraheeren, ten slotte — soms eerst na 1 tot 2 dagen — weer gaan uitzetten.

---



# LITERATUUROVERZICHT \*)

## GEBRUIKTE LITERATUURAFKORTINGEN.

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Chem. Zentr.            | Chemisches Zentralblatt.   |
| D. C.                   | Dental Cosmos.   |
| D. Z. W.                | Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift.                              |
| J. Chem. Soc.           | Journal of the Chemical Society of London.                         |
| J. Inst. Metals         | Journal of the Institute of Metals.                                |
| J. N. D. A.             | Journal of the National Dental Association.                        |
| O. V. Z.                | Oesterreichische-ungarische Vierteljahrsschrift für Zahnheilkunde. |
| Z. anorg. allgem. Chem. | Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie.                |

ADAMS: Zie: JOHNSTON en ADAMS.

1. ATKINSON: D. C. 61 — 735 (1919).
  2. BADE: D. Z. W. 32 — 389 (1929).
  3. BAKER: Annual Reports 8 — 36 (1911).
  4. BAKHUIS—ROOZEBOOM: „Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre" I — 213.
  5. id. id. III, 1 — pag. 8.
  6. BAKKER: Tijdschrift v. Tandheelkunde 23 — 451 (1916).
  7. id. id. 27 — 551 (1920).
  8. id. id. 38 — 192 (1931).
  9. BELAIEW: J. Inst. Metals 35 — 125 (1926).
- BENNEJEANT: Zie: BOLL en BENNEJEANT.
10. BLACK: „Operative Dentistry" (Chicago 1908), Vol. II, pag. 301.
  11. id. id. pag. 307.
  12. id. D. C. 37 — 408 (1895).
  13. id. id. 37 — 553 (1895).
  14. id. id. 37 — 637 (1895).
  15. id. id. 37 — 645 (1895).
  16. id. id. 38 — 43 (1896).
  17. id. id. 38 — 982 (1896).
  18. BOLL en BENNEJEANT: „Chimie des métaux et métallurgie dentaires" (Paris 1931), pag. 141.
  19. id. id. pag. 143.
  20. BREDÉE: Dissertatie Utrecht (1928).
  21. BRINELL: „Rapp. Congr. intern. Méthodes d'Essai (Paris 1900). Geciteerd naar 34.
  22. BURCHARD: D. C. 37 — 989 (1895).

\*) Nu reeds geplaatst om het raadplegen der tusschen haakjes geplaatste cijfers mogelijk te maken. (R e d.)

23. CALVERT en JOHNSON: Geciteerd naar 18.
24. CAVALIER: „Leçons sur les alliages métalliques” (Paris 1909), pag. 53.
25. CHEVENARD: „Analyse dilatométrique des matériaux (Paris 1927), pag. 14.
26. COHEN: Z. phys. Chem. **48** — 243 (1904).
27. id. id. **63** — 633 (1908).
28. id. „Physikalisch-chemische Metamorphose” (Leipzig 1927).
29. COHEN en INOUE: Z. physik. Chem. **71** — 625 (1910).
30. CZOCHRALSKI: „Moderne Metallkunde” (Berlin 1924), pag. 166.
31. DEGENS: Dissertatie Delft (1908).
32. DENTZ: Handel. Nederl. Tandheelk. Genootsch., 1e serie, pag. 56.
33. DESCH: „Metallography” (London (1922), pag. 245.
34. id. id. pag. 357.
35. v. DOBBENBURG: Dissertatie Utrecht (1928).
36. ESSIG en KOENIG: „Dental Metallurgy” (London 1909) pag. 184.
37. FENCHEL: Correspondenz-Blatt f. Zahnärzte **30** — 291 (1901).
38. id. D.C. **50** — 553 (1908) en O.V.Z. **24** — 239 (1908).
39. id. id. **51** — 1 (1909) „ id. **24** — 659 (1908).
40. id. id. **51** — 523 (1909) „ id. **25** — 356 (1909).
41. id. id. **52** — 20 (1910) „ id. **26** — 394 (1910).
42. id. id. **52** — 196 (1910)
43. id. „Amalgame” (Berlin 1920) pag. 23.
44. id. D. Z. W. **31** — 754 (1928).
45. id. Zahnärztliche Rundschau **40** — 110 (1931).
46. FLEISCHMANN: D. Z. W. **31** — 141 (1928).
47. FRIEDEMANN: Deutsche Monatschr. f. Zahnheilk. (1900), pag. 7 en 66.
48. GEIST—JACOBI: „Geschichte der Zahnheilkunde” (Tubingen 1896) pag. 189 en 229.
49. GIBSON: „Chemistry of dental materials” (Philadelphia 1923), pag. 95.
50. GOERENS: „Einführung in die Metallographie” (Halle 1926), pag. 226.
51. GORDONOFF, SCHÜTZ en NICOLET: Schweiz. Monatschr. f. Zahnheilk. **41** — 248 (1931).
- 51a. GOSSNER: K. Krist. **44** — 417 (1908).
52. GRAY: J. N. D. A. **6** — 513 (1919).
53. id. id. **6** — 909 (1919).
- 53a. id. id. **8** — 196 (1921).
54. id. id. **9** — 324 (1922).
55. id. id. **6** — 922 tot 925 (1919).
56. id. J. Inst. Metals **29** — 139 (1923).
57. GRETH: Zeitschr. f. Stomatologie **38** — 586 (1930).
58. GUERTLER: „Metallographie” (Berlin 1912) I pag. 518.
59. HABER: D.Z.W. **31** — 399 (1928).
60. HARPER: Journ. of Dental Research **1** — 446 (1919).



61. HAUCH: Deutsche Monatschr. f. Zahnheilk. **43** — 413 (1925).
62. HEPBURN: „Dental metallurgy” (London 1922), pag. 191.
63. HERBST: Deutsche Monatschr. f. Zahnheilk. **6** — 72 en 285 (1888).
64. HESS en SUNIER: Journ. Am. Chem. Soc. **50** — 663 (1928).
65. VAN HETEREN: Dissertatie Amsterdam (1902).
66. id. Z.anorg. allem. Chem. **42** — 129 (1904).
67. HEYCOCK en NEVILLE: Philosophical Transactions **202** (A) — 1 (1903).
68. HINRICHSEN: „Das Materialprüfungswesen” (Stuttgart 1912) pag. 132.
69. HODGEN: „Practical Dental Metallurgy” (London 1912), pag. 296.
70. HOLZMANN: Geciteerd naar 18.
71. JAEGER: „Inleiding tot de studie der Kristalkunde” (Groningen 1924), pag. 212.
72. JOHNSTON: Z. anorg. allem. Ch. **76** — 351 (1912).
73. id. id. **76** — 337 (1912).
74. JOHNSTON en ADAMS: Z. anorg. allem. Ch. **80** — 281 (1913).
75. id. id. **76** — 274 (1912).
76. JOYNER: J. Chem. Soc. **99** — 195 (1911).
77. JOYNER en MC. BAIN: D.C. **54** — 641 (1912).
78. KAHLBAUM en STURM: Z.anorg. allem. Ch. **46** — 127 (1905).
79. KANTOROWICZ: „Handwörterbuch der gesamten Zahnheilkunde” (Berlin 1929) I pag. 77.
80. KIRK: Brit. Journ. of Dental Science (1895), pag. 557.
81. KNIGHT: J. Chem. Soc. **105** — 639 (1914).
82. KNIGHT en JOYNER: id. **103** — 2247 (1913).
83. KNIGHT en MC BAIN: D.C. **57** — 630 (1915).
84. KÖLLER: Zeitschr. f. Metallkunde **13** — 1 (1921).
85. KUPFFER: Ann. Chim. Phys. (2) **40** — 293 (1829).
86. KURNAKOW en ZEMCZUZYNY: Z.anorg. allem. Ch. **64** — 174 (1909).
87. KURNAKOW en WRZESNEWSKI: Z.anorg. allem. Ch. **74** — 89 (1912).
- 87a. KURNAKOW en ZEMCZUZYNY: Journ. Russ. Phys. Chem. Ges **45** — 1004 (1912) en Chem. Zentr. **84** (II) — 1725 (1913).
88. LANDOLT-BÖRNSTEIN: „Physikalisch-Chemische Tabellen” (Berlin 1923).
89. LIGNITZ: Deutsche Monatschrift f. Zahnheilk. **40** — 1 (1922).
90. LOEBICH: D.Z.W. **33** — 444 (1930).
91. LOEBICH en NOWACK: D.Z.W.: **31** — 843 (1928).
92. id. id. **32** — 450 (1929).
93. id. id. **34** — 139 (1931).
94. LOWRY en PARKER: Trans. Faraday Soc. **10** — 271 (1914).
95. id. J. Chem. Soc. **107** — 1162 (1915).

96. LUDWIK: Zeitschr. f. Metallkunde **14** — 101 (1922).
97. Mc. CAULEY: D.C. **54** — 174 (1912).
98. MACY: Geciteerd naar 18.
99. MAEY: Zeitschr. physik. Ch. **50** — 209 (1905).
- 99a. id. id. **38** — 289 (1901).
100. MARTENS-HEYN: „Handbuch der Materialenkunde für den Maschinenbau“ (Berlin 1912) II-A, pag. 258.
101. MASING: Z. anorg. allgem. Ch. **62** — 265 (1909).
102. MATTHIESSEN: Poggend. Annalen **110** — 21 en 190 (1860).
103. MILLBERRY: J. N. D. A. **7** — 194 (1920).
104. MISCH: „Lehrbuch der Grenzgebiete der Medizin und Zahnheilkunde“ (Leipzig 1922), pag. 193.
105. MOSER: „Die Reindarstellung der Gasen“ (Stuttgart 1920), pag. 78.
106. MÜGGE: Centralbl. Min. 1917, pag. 233.
107. MUIR: Philosophic. Transactions **193** (A), 1 (1899).
- ” **198** (A), 1 (1902).
108. MURPHY: J. Inst. Metals **35** — 117 (1926).
109. NIJFFENEGGER: Schweiz. Monatschr. f. Zahnheilk. **39** — 275 (1929).
110. OGG: Zeitschr. phys. Chem. **27** — 285 (1898).
111. PETRENKO: Z. anorg. allgem. Chem. **53** — 200 (1907).
112. PFEFFERMANN: „Fassliche Darstellung der gesammten Zahnheilkunde“ (Erlangen 1862), pag. 85.
113. PORT: „Index der deutschen Zahnärztlichen Bibliographie“ (Berlin 1922).
114. PORTEVIN: J. Inst. Metals **35** — 363 (1926).
115. PÖSCHL: „Die Härte der festen Körper“ (Dresden 1909).
116. PRIEST: „Scientific Paper of the Bureau of Standards“ No. 365 (1920).
117. PUSCHIN: Z. anorg. allgem. Chem. **36** — 201 (1903).
118. REINDERS: Zeitschr. physik. Chem. **54** — 609 (1906).
119. RETGERS id. **3** — 497 (1889).
120. ROSENHAIN en MURPHY: Proceed. Roy. Soc. **113** (A) — 1 (1926).
121. ROSENHAIN: British Dental Journal **48** — 673 (1927) en Oral Topics **6** — 1131 (1927).
122. ROSENHAIN: British Dental Journal **48** — 801 (1927) en Oral Topics **6** — 1243 (1927).
123. id. Br. Dent. Journ. **48** — 803 (1927).
124. id. id. **48** — 819 (1927).
125. ROSENHAIN en TUCKER: Philosoph. Transactions 209 (A) — 120 (1909).
126. SAMTER: „Analytische Schnellmethoden“ (Halle 1923), pag. 186.
127. SCHMID: D.Z.W. **33** — 642 (1930).
128. SCHOENBECK: D.Z.W. **31** — 151 (1928).
129. V. SCHWARZ: „Metall- und Legierungskunde“ (Stuttgart 1929), pag. 46.



130. v. SCHWARZ: Metall- und Legierungskunde" (Stuttgart 1929),  
pag. 232 en 259.
131. v. SCHWARZ: Metallphysik (Leipzig 1925), pag. 28.
132. SOUDER en PETERS: D.C. **62** — 305 (1920).
- 132a. id. J.N.D.A. **8** — 491 (1921).
133. SPENCER: Mineralogical Magazine **19** — 113 (1921).
134. SPRING: „Oeuvres complètes (Bruxelles 1914) I pag. 41 en Bull.  
Acad. roy. Belg. (2) **45** — 746 (1878).  
Oeuvres Compl. I pag. 48 en Bull. Acad. roy. Belg. (2)  
**49** — 323 (1880).  
id. I pag. 91 en Berichte **15** — 595 (1882).
135. STERNER—RAINER: „Edelmetalllegierungen und Amalgame in  
der Zahnheilkunde" (Berlin 1930).
136. STOCK: Zeitschr. angew. Chem. **39** — 461 (1926).  
id id. **41** — 663 (1928).
137. SUDHOFF: „Geschichte der Zahnheilkunde" (Leipzig 1926),  
pag. 142 en 178.
138. TAMMANN: „Lehrbuch der Metallographie" (Leipzig 1923),  
pag. 221.
139. id. Z.anorg. allgem. Chem. **90** — 297 (1914).
140. TAMMANN en DAHL: id. **144** — 17 (1925).
141. TAMMANN en MANSURI: id. **132** — 73 (1924).
142. TAMMANN en STRASSFURTH: id. **143** — 357 (1925).
143. TAYLOR: J.N.D.A. **16** — 590 (1929).
144. id. id. **16** — 583 (1929).
145. id. id. **17** — 112 (1929).
146. TOMES, CHARLES: Tijdschr. v. Tandheelk. (1896), pag. 204.
147. CH. TOMES en JOHN TOMES: „A system of dental surgery"  
(London 1897), pag. 183.
148. TRAEDWELL: „Kurzes Lehrbuch der anal. Chemie (Leipzig  
1922) II, pag. 612.
149. id. II pag. 581.
150. TRECHMANN: Journal Mineral. Soc. **3** — 186 (1880).
151. TRUEMANN: Zahnärztliches Wochenblatt **8** — 226 (1895).
152. WANNENMACHER: D. Z. W. **31** — 152 (1928).
153. id. id. **32** — 361 (1929).
154. id. id. **32** — 397 (1929).
155. id. id. **33** — 671 (1930).
156. WAWRZINICK: „Handbuch des Materialprüfungswesen" (Berlin  
1908), pag. 149.
157. id. id. pag. 375.
158. WERNER: Z. anorg. allgem. Chem. **83** — 292 (1913).
159. WERKSTOFFHANDBUCH Nichteisenmetalle (Berlin 1927) B 8.
160. WESSLER: Deutsche Monatsschr. f. Zahnheilk. (1887), pag. 41.
161. WITZEL: „Das Füllen der Zähne mit Amalgam" (Berlin 1899).

## METINGEN VAN TEMPERATUREN DIE OPTREDEN BIJ CHIRURGISCHE DIATHERMIE

DOOR

J. H. R. SCHLIJECHER te Baarn.

---

Het doel bij deze metingen was een indruk te verkrijgen van de temperaturen, die bij het gebruik van chirurgische diathermie in het wortelkanaal of de onmiddellijke omgeving van den tandwortel, worden bereikt.

Geenszins werd beoogd deze temperaturen met groote nauwkeurigheid vast te stellen, daartoe was het aantal metingen te klein en het instrumentarium ontoereikend.

De aanleiding tot deze metingen was de klinische indruk van wijlen *Dr. H. de Groot, J. J. Folkerts* en mij zelf, dat de temperaturen niet zéér hoog zouden zijn. Later gewerd mij ongevaagd dezelfde meening van *Dr. F. H. Smith*. Het was *Dr. de Groot, Folkerts, Smith* en mij opgevallen, dat de kanalen na bewerking met chirurgische diathermie niet waren uitgedroogd, noch werd door ons eenige dampvorming opgemerkt terwijl voorts van spanningen en granulomen nooit iets noemenswaardigs bleek.

De metingen werden verricht op vleesch met behulp van de volgende instrumenten:

1. een diathermie-apparaat, waarin de hoogfrequente wisselstroomen werden verwekt door een zendlamp en de in het wortelkanaal gebruikelijke stroomsterkten werden



geregeld door eenen aparten, van het hoofdtoestel gese-  
pareerden weerstand.

2. Een millernaald als actieve pool.

3. Een thermoelement als volgt geconstrueerd:

Door het lumen van een 11 m.m. stalen injectienaald was eene dunne draad constantaan geleid, welke door een uiterst dun glazen buisje geïsoleerd was van de stalen wanden van de naald en aan het scherpe uiteinde was gesoldeerd aan de naaldpunt. Aan het andere uiteinde van de constantaandraad hetzelfde.

4. Eene gevoelige microvoltmeter voor dit doel welwiliend afgestaan door lector Bakker.

Inleidende proeven werden in samenwerking met *Folkerts* en *Bruins* verricht; hierbij werd vastgesteld dat de microvoltmeter 33 eenheden uitsloeg indien één injectienaald werd gehouden in den stoom van kokend water, de andere op kamertemperatuur bleef ( $17\frac{1}{2}^{\circ}$  C.). Waaruit volgt: eene uitslag van 33 eenheden van de microvoltmeter correspondeert met  $82\frac{1}{2}^{\circ}$  C., verhooging van temperatuur en dus ook 1 uitslag-eenheid =  $2\frac{1}{2}^{\circ}$  C.

Bij deze inleidende proeven werd de diathermische naald oppervlakkig in biefstuk gestoken en de naaldpunt van het thermoelement zoo nauwkeurig mogelijk aan de diathermische naaldpunt gehouden. Al spoedig bleek, dat hogere stroomsterkten vrij regelmatig hogere temperaturen verwekten; dat op uiterst geringen afstand van de diathermische naaldpunt (1 mm b.v.!) zéér en zéér veel minder warmte te meten was; dat het meten op deze wijze (naaldpunten vlak bij elkaar) technisch zeer bezwaarlijk is.

De twee laatste verschijnselen waren dan ook aanleiding om het thermoelement zelf als diathermische naald aan te sluiten, zoodat groote schommelingen in de metingen vermeden werden en het meten zelf technisch veel eenvoudiger werd.

Later heb ik alleen voor alle standen van het door mij ge-

bruikte diathermie-aparaat 3 metingen verricht, het gemiddelde berekend en de corresponderende verhooging van temperatuur in twee decimalen vermeld.

In onderstaande tabel zijn de resultaten ondergebracht.

De eerste rij van boven naar beneden, bevat het aantal seconden dat de stroom werd doorgelaten; de tweede, derde en vierde rij de verschillende uitslagen van de microvoltmeter, de vijfde rij de gemiddelden hiervan en de zesde rij de overeenkomstige verhoogingen der temperatuur.

Met stand I, II enz. t/m XVII is bedoeld de stand van den regelknop van den weerstand, waarbij stand I de meeste, stand XVII de minste weerstand beduiden (laagste tot hoogste stroomsterkten dus).

|          | seconden | 1e meting | 2e meting | 3e meting | gemiddelde | overeenkomstige temp. verh. in ° |           | seconden | 1e meting | 2e meting | 3e meting | gemiddelde | overeenkomstige temp. verh. in ° |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------------------------------|
| Stand I  | 1        | —         | 0,5       | —         | 0,15       | 0,375                            | Stand III | 1        | 2         | 2         | 2         | 2          | 5                                |
|          | 2        | 1         | 1         | 1         | 1          | 2,5                              |           | 2        | 3         | 3         | 3         | 3          | 7,5                              |
|          | 3        | 1         | 1         | 1         | 1          | 2,5                              |           | 3        | 4         | 3         | 4         | 9          | 10                               |
|          | 5        | 1,5       | 1,5       | 1         | 3,65       | 9,125                            |           | 5        | 5         | 5         | 6         | 6          | 15                               |
|          | 10       | 2         | 2         | 2         | 2          | 5                                |           | 10       | 5         | 10        | 10        | 10         | 25                               |
|          | 60       | 2         | 3         | 3         | 2,66       | 6,65                             |           | 60       | 13        | 23        | 22        | 19,3       | 48,25                            |
| Stand II | 1        | 2         | 2         | 2         | 2          | 5                                | Stand IV  | 1        | 3         | 3         | 4         | 3,3        | 8,25                             |
|          | 2        | 3         | 3         | 3         | 3          | 7,5                              |           | 2        | 4         | 6         | 6         | 5,3        | 12,25                            |
|          | 3        | 4         | 4         | 4         | 4          | 10                               |           | 3        | 6         | 7         | 7         | 6,6        | 16,5                             |
|          | 5        | 5         | 5         | 5         | 5          | 12,5                             |           | 5        | 10        | 9         | 8         | 9          | 24,5                             |
|          | 10       | 7         | 7         | 7         | 7          | 17,5                             |           | 10       | 10        | 9         | 11        | 10         | 25                               |
|          | 60       | 70        | 11        | 9         | 10         | 25                               |           | 60       | 15        | 22        | 18        | 18,3       | 45,75                            |



|               | seconden | 1e meting | 2e meting | 3e meting | gemiddelde | overeenkom-<br>stige temp.<br>verh. in ° |              | seconden | 1e meting | 2e meting | 3e meting | gemiddelde | overeenkom-<br>stige temp.<br>verh. in ° |
|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|--|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|--|
| Stand<br>V    | 1        | 2         | 3         | 2         | 2,3        | 5,75                                     | Stand<br>IX  | 1        | 8         | 7         | 8         | 7,6        | 19,00                                    |
|               | 2        | 4         | 4         | 4         | 4          | 10                                       |              | 2        | 12        | 12        | 12        | 12         | 30                                       |
|               | 3        | 4         | 5         | 4         | 4,3        | 10,75                                    |              | 3        | 15        | 15        | 15        | 15         | 37,5                                     |
|               | 5        | 4         | 5         | 6         | 5          | 12,50                                    |              | 5        | 25        | 24        | 22        | 23,6       | 59                                       |
|               | 10       | 6         | 6         | 6         | 6          | 15                                       |              | 10       | 30        | 26        | 22        | 26         | 65                                       |
|               | 60       | 9         | 9         | 9         | 9          | 22,50                                    |              | 60       | 33        | 33        | 33        | 33         | 82,5                                     |
| Stand<br>VI   | 1        | 5         | 3         | 5         | 4,3        | 10,75                                    | Stand<br>X   | 1        | 9         | 10        | 9         | 9,6        | 24                                       |
|               | 2        | 5         | 7         | 5         | 5,6        | 14,00                                    |              | 2        | 10        | 11        | 12        | 11         | 27,5                                     |
|               | 3        | 10        | 12        | 10        | 10,6       | 26,50                                    |              | 3        | 13        | 15        | 17        | 15         | 37,5                                     |
|               | 5        | 15        | 15        | 12        | 14         | 35                                       |              | 5        | 25        | 22        | 24        | 23,6       | 59                                       |
|               | 10       | c23       | 22        | 22        | 22,3       | 55,75                                    |              | 10       | 25        | 28        | 28        | 27         | 67,5                                     |
|               | 60       | c23       | c32       | 26        | 27         | 67,50                                    |              | 60       | 36        | 30        | 32        | 32,6       | 83,5                                     |
| Stand<br>VII  | 1        | 5         | 5         | 7         | 5,6        | 14,00                                    | Stand<br>XI  | 1        | 6         | 6         | 6         | 6          | 15                                       |
|               | 2        | 5         | 7         | 8         | 6,6        | 16,50                                    |              | 2        | 9         | 6         | 9         | 8          | 20                                       |
|               | 3        | 15        | 14        | c15       | 14,3       | 35,75                                    |              | 3        | 11        | 9         | 11        | 10,3       | 25,75                                    |
|               | 5        | 15        | 15        | 17        | 15,6       | 39                                       |              | 5        | 18        | 20        | 20        | 19,3       | 48,25                                    |
|               | 10       | 18        | 15        | 18        | 17         | 42,50                                    |              | 10       | 20        | 21        | 21        | 20,6       | 51,50                                    |
|               | 60       | c28       | c27       | 30        | 28,3       | 70,75                                    |              | 60       | 40        | 42        | 36        | 38         | 95                                       |
| Stand<br>VIII | 1        | 6         | 7         | 6         | 6,3        | 15,75                                    | Stand<br>XII | 1        | 7         | 7         | 7         | 7          | 17,5                                     |
|               | 2        | 7         | 8         | 10        | 8,3        | 20,75                                    |              | 2        | 8         | 9         | 9         | 8,6        | 21,50                                    |
|               | 3        | 15        | 13        | 13        | 13,6       | 34,—                                     |              | 3        | 12        | 8         | 14        | 11,3       | 28,25                                    |
|               | 5        | c25       | c23       | c24       | 24         | 60                                       |              | 5        | 13        | 20        | 18        | 17         | 42,50                                    |
|               | 10       | c25       | c25       | c28       | 26         | 65                                       |              | 10       | 28        | 33        | 34        | 31,6       | 79                                       |
|               | 60       | c35       | c35       | c25       | 31,3       | 78,25                                    |              | 60       | 43        | 40        | 40        | 41         | 102,50                                   |

|            | seconden | 1e meting | 2e meting | 3e meting | gemiddelde | overeenkom-<br>stige temp.<br>verh. in ° |                       | seconden | 1e meting | 2e meting | 3e meting | gemiddelde | overeenkom-<br>stige temp.<br>verh. in ° |
|------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|--|-----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|--|
| Stand XIII | 1        | 7         | 7         | 9         | 7,6        | 19                                       | Stand XVI             | 1        | 20        | 15        | 10        | 15         | 37,50                                    |
|            | 2        | 15        | 15        | 10        | 13,3       | 33,25                                    |                       | 2        | 22        | 24        | 24        | 22,6       | 56,50                                    |
|            | 3        | 15        | 12        | 18        | 15         | 32,50                                    |                       | 3        | 40        | 36        | 34        | 36,6       | 91,50                                    |
|            | 5        | 25        | 25        | 27        | 25,6       | 64                                       |                       | 5        | 65        | 70        | 65        | 66,6       | 166,50                                   |
|            | 10       | 30        | 30        | 30        | 30         | 75                                       |                       | 10       | 90        | 100       | 90        | 93,3       | 233,25                                   |
|            | 60       | 45        | 45        | 45        | 45         | 112,50                                   |                       | 60       | —         | —         | —         | —          | —  |
| Stand XIV  | 1        | 10        | 10        | 11        | 10,3       | 25,75                                    | Stand XVII<br>hoogste | 1        | 25        | 25        | 25        | 25         | 67,5                                     |
|            | 2        | 17        | 18        | 20        | 18,3       | 45,75                                    |                       | 2        | 35        | 30        | 30        | 31,6       | 79                                       |
|            | 3        | 22        | 22        | 24        | 22,6       | 56,50                                    |                       | 3        | 60        | 50        | 50        | 54,3       | 133,25                                   |
|            | 5        | 30        | 44        | 42        | 38,6       | 96,50                                    |                       | 5        | 60        | 70        | 60        | 73,3       | 183,25                                   |
|            | 10       | 41        | 45        | 46        | 44         | 110                                      |                       | 10       | 90        | 100       | 90        | 93,3       | 233,25                                   |
|            | 60       | 52        | 53        | 52        | 52,3       | 129,75                                   |                       | 60       | —         | —         | —         | —          | —  |
| Stand XV   | 1        | 14        | 13        | 13        | 13,3       | 33,25                                    |                       |          |           |           |           |            |  |
|            | 2        | 21        | 26        | 22        | 23         | 57,50                                    |                       |          |           |           |           |            |  |
|            | 3        | 29        | 33        | 33        | 31,6       | 79                                       |                       |          |           |           |           |            |  |
|            | 5        | 44        | 41        | 42        | 42,3       | 105,75                                   |                       |          |           |           |           |            |  |
|            | 10       | 48        | 42        | 49        | 46,3       | 115,75                                   |                       |          |           |           |           |            |  |
|            | 60       | 68        | 63        | 65        | 65,3       | 163,25                                   |                       |          |           |           |           |            |  |

Conclusies die te trekken zijn uit deze eenvoudige proeven:

- I. Temperaturen precies aan de punt van de diathermische naald op vleesch zijn inderdaad niet zeer hoog (voor de



- gebruikelijke tijden [3 sec.] en de bij de patiënt gebruikelijke standen van den weerstand [ $\pm$  X—XV].)
- II. Temperaturen in het wortelkanaal zelf zullen bij gebruik van chirurgische diathermie in het wortelkanaal niet hoog zijn.
  - III. De klinische indrukken van *dr. de Groot, Folkerts, dr. Smith* en mijzelf zijn hiermee in overeenstemming.
  - IV. De opvatting van *Bernard* (Parijs) dat de sterilisatie van het wortelkanaal niet alleen door hitte bereikt wordt, maar dat eene soort „electrocutie” van bacteriën tevens plaats vindt, is met deze metingen in overeenstemming.
  - V. De heele ontwikkeling is van uiterst plaatselijken aard (bleek uit de inleidende proeven).
  - VI. Uit V volgt: vlak *buiten* het kanaal, vlak naast de apices dus, is van warmteontwikkeling althans niet veel meer te bespeuren.
  - VII. Verbrandingen zijn dus (V en VI) slechts te vreezen bij veel te hooge doseering.
  - VIII. Verhoudingen in het wortelkanaal zijn anders dan op vleesch; kennende de afmetingen van de millernaaldpunt en kennende de afmetingen van dwarsdoorsneden der lumina van kanalen aan hunne apices, kan ieder voor zich bepalen in hoeverre de temperaturen uit de tabel vermenigvuldigd of gedeeld moeten worden (volgens *Joerle*) voor het element dat hij zich voorstelt.

Ook *Flohr* en *Flohr* hebben metingen verricht die wezen op vermoedelijk niet zeer hooge temperaturen in het wortelkanaal, zonder dat zij evenwel op de consequentie wijzen, dat sterilisatie in de kanalen *anders* dan door warmte bereikt zou kunnen worden. Twijfelachtig is dus de juistheid van het oordeel van *Münzsheimer* over deze metingen van *Flohr* en *Flohr*, waar M. deze metingen als stellig foutief verwerpt, omdat *Flohr* en

*Flohr* betrekkelijk lage temperaturen vonden, temperaturen die althans voor den korten inwerkingstijd ter sterilisatie veel te laag waren en sterilisaties bij dezelfde stroomsterkten toch haalbaar bewezen werden.

Wellicht is de redeneering van *M.*, hoewel op zichzelf onjuist, verklaarbaar. Oorspronkelijk toch werd diathermie gebruikt als *middel* om tot het *doel*: warmte te geraken. Dit geldt zoowel voor doorwarming als voor coaguleeren en snijden. Toen chirurgische diathermie gebruikt werd om te trachten geïnfecteerde kanalen te steriliseeren is warmteontwikkeling stellig het doel geweest. Nu er evenwel vele aanwijzingen zijn dat de hitteontwikkeling in den gebruikelijken korten aanwendingstijd voor sterilisatie veel te gering is, behoeven niet noodwendig de metingen die in deze richting wijzen onjuist te zijn. Vergeten mag niet worden dat de *mogelijkheid* bestaat, dat de bacteriën *anders* dan door hitte gedood worden, zooals trouwens *Bernard* aanneemt als zeker en als reeds bewezen.

---