

Tandheelkundige Materiaalkennis

door J. N. Tekenbroek.

(Vervolg)

HOOFDSTUK IX

DE STRUCTUUR VAN METAALLEGERINGEN

§ 1. *Metaallegeringen*

Onder de tandheelkundige materialen nemen de metalen en hun legeringen een voorname plaats in. Legeringen van zeer uiteenlopende aard b.v. roestvrije staalsoorten, edelmetallegeringen, amalgamen, aluminiumalliages, laagsmeltende legeringen enz. vinden in de tandheelkunde toepassing.

Een legering is te definiëren als een metaal, waarin meer dan een atoomsoort voorkomt. Het belangrijkste metaal van een legering, dat daarin dan meestal met het hoogste percentage voorkomt, noemt men het **basismetaleel**, terwijl de daaraan toegevoegde andere elementen de **legeringselementen** genoemd worden.

Gewoonlijk worden de legeringen gemaakt door het samensmelten van de betreffende metalen en daarop volgende afkoeling. Enkele **sinterlegeringen** maken hierop een uitzondering, omdat daarbij de elementen in poedervorm worden gemengd en door samenpersen onder verwarming tot een legering worden samengesinterd.

Evenals de zuivere metalen zijn legeringen microkristallijn van structuur, maar de kristallieten zijn meestal niet gelijksoortig; de microstructuur van een legering geeft als regel een mengsel van verschillende kristalsoorten te zien. Slechts in de gevallen waarbij de metalen onderling mengkristallen, vaste oplossingen en zogenaamde chemische verbindingen (superroosters) vormen, kan een legering evenals een zuiver metaal uit één soort kristallieten opgebouwd zijn.

Om de structuur en de eigenschappen van legeringen te kunnen bespreken, is enige kennis noodzakelijk van de begrippen, voorstellingswijzen en werkmethode der metallographie. De behandeling daarvan richt de aandacht in de eerste plaats naar een hoofdstuk uit de fysische chemie, dat tot onderwerp en titel heeft de **Phasenleer**.

§ 2. Phasenregel van Gibbs

Als in een bekeerglas twee vloeistoffen samengebracht worden, die met elkaar niet mengbaar zijn, b.v. water en oliezuur, dan zijn, als de inhoud tot rust gekomen is, in het bekeerglas twee vloeistofflagen te onderscheiden; onderin een waterphase met daarop drijvende een oliezuurlaag. In het water is wat oliezuur opgelost en omgekeerd in het oliezuur een weinig water. Wordt de temperatuur van dit zich in het bekeerglas bevindende stelsel van twee vloeistoffen verhoogd, dan zullen er meer oliezuurmoleculen in het water oplossen en omgekeerd zullen meer watermoleculen zich in de oliezuurphase begeven. De concentratie van beide vloeistoffen in elkaar heeft bij iedere temperatuur een bepaalde waarde. Deze evenwichtsconcentratie is **onafhankelijk van de absolute hoeveelheid** van de beide vloeistofflagen; of er zich veel of weinig oliezuur op het water bevindt, dan wel veel of weinig water onderin het bekeerglas aanwezig is, de concentratie, die immers in grammen of gram-moleculen per liter dan wel in procenten wordt uitgedrukt, blijft voor beide stoffen steeds hetzelfde.

Het evenwicht, dat tussen deze beide vloeistoffphases in het bekeerglas heerst, is van **dynamische aard**; er zullen zich per tijdseenheid evenveel watermoleculen vanuit het water naar het oliezuur begeven als omgekeerd en hetzelfde is het geval met de oliezuurmoleculen, die zich in en uit de oliezuurphase begeven. Het is een zelfde dynamisch evenwicht als er tussen een vloeistof en zijn damp heerst, waarbij zich per tijdseenheid evenveel moleculen uit de vloeistof naar de dampphase bewegen als omgekeerd.

Voegt men aan de inhoud van het beschouwde bekeerglas nog een andere stof toe, b.v. keukenzout, dan zullen de moleculen van die stof, i.c. de NaCl-moleculen, gedeeltelijk in het water en gedeeltelijk in het oliezuur oplossen. Wordt zoveel NaCl toegevoegd, dat beide vloeistoffen zich met NaCl verzadigen, dan zal er onopgelost keukenzout op de bodem van het bekeerglas als vaste phase komen te liggen. Afhankelijk van de temperatuur in het bekeerglas, zal in het water naast een bepaalde concentratie aan oliezuur ook een bepaalde hoeveelheid keukenzout zijn opgelost en in het oliezuur zal eveneens een door de heersende temperatuur bepaalde concentratie aan keukenzout en aan water aanwezig zijn.

Het evenwicht, dat tussen de verschillende fases in het bekeerglas heerst, is (er zij nogmaals op gewezen) zoals steeds bij evenwichten tussen verschillende fases, dynamisch van aard. Bovendien

is dit evenwicht tussen de aanwezige fasen, te weten de vaste fase op de bodem (het onopgeloste keukenzout), de beide vloeistofphasen (de water- en de oliezuurlaag) en, niet te vergeten, de dampfase boven de vloeistof, **alzijdig**. Het vaste keukenzout, dat niet in directe aanraking met het oliezuur is, geeft in de oliezuurphase dezelfde concentratie aan opgelost NaCl als in het geval dat er wel directe aanraking zou zijn tussen het vaste keukenzout en de oliezuurphase. Ook de waterdampspanning boven het bekerglas is, niettegenstaande het water niet in directe aanraking is met de dampfase (de oliezuurlaag sluit het water van boven af), dezelfde als bij een directe begrenzing tussen de water- en dampfase.

Men kan doorgaan met het toevoegen van stoffen aan de inhoud van het in het bovenstaande beschouwde bekerglas en b.v. andere zouten toevoegen. Ook deze zullen gedeeltelijk in de waterphase en gedeeltelijk in de oliezuurphase oplossen en indien zij in overmaat toegevoegd worden, zullen zij naast het keukenzout als nieuwe vaste fasen op de bodem van het bekerglas komen te liggen.

Verhoogt men de temperatuur van zo'n systeem van stoffen, dan zullen de concentraties van de verschillende stoffen en de waterdampspanning boven de vloeistof zich wijzigen. Verder kan daarbij een van de vaste fasen totaal verdwijnen, namelijk als het betreffende zout niet in voldoende overmaat op de bodem aanwezig was, zodat het totaal opgelost wordt bij de temperatuursverhoging. Men heeft bij zo'n stelsel van verschillende bij elkaar gebrachte stoffen de nodige mogelijkheden, vrijheden, om in de onderlinge concentraties der verschillende stoffen en in het aantal aanwezige fasen wijzigingen te brengen, waarbij zich dan een nieuwe evenwichtstoestand instelt.

Dit is echter niet altijd het geval, niet altijd beschikt men over een aantal **vrijheidsgraden** om naar willekeur wijzigingen in de concentraties, temperatuur en het aantal fasen, kortom in het evenwicht van een systeem te brengen. Soms ontbreekt de vrijheid daartoe geheel en al; een eenvoudig en algemeen bekend voorbeeld kan dit illustreren.

Aan een bekerglas, waarin zich ijs en water bevinden, kan men zoveel warmte toe- of afvoeren als men wil, het gelukt niet de temperatuur van 0° te doen afwijken, zolang in dit stelsel naast elkaar ijs, water en waterdamp voorkomen. Het evenwicht in dit stelsel is niet te veranderen; het bezit geen vrijheidsgraden. Wel zal door de warmtetoef- of afvoer een deel van het ijs smelten of wat water

bevriezen, doch dit verandert slechts de absolute hoeveelheid van de aanwezige fasen, maar zoals hierboven reeds is betoogd, hebben de absolute hoeveelheden van de fasen geen betekenis voor het heersende evenwicht. Het ijs blijft in evenwicht met het water en met de waterdampspanning daarboven en de temperatuur blijft 0° . Dit stelsel biedt geen enkele vrijheidsgraad om het evenwicht te veranderen. Ook toevoeging van hetzij ijs, hetzij water brengt daarin geen wijziging en bij een poging om door samenpersing de waterdampspanning boven het water te verhogen, zal blijken, dat dit niet mogelijk is; de damp zal condenseren en de spanning zal constant blijven.

Eerst wanneer één van de drie hier aanwezige fasen, hetzij de vaste fase (het ijs), hetzij de vloeistofphase, (het water), of de dampphase (de waterdamp), geheel verdwenen is, hetgeen hier door totale smelting, bevriezing of condensatie van een der fasen kan gebeuren, eerst dan zal de temperatuur zich kunnen wijzigen bij het toe- of afvoeren van warmte-energie en zal de heersende evenwichtstoestand zich kunnen wijzigen.

Er bestaat, thans in het algemeen gesproken, bij een **systeem** van een willekeurig aantal onafhankelijke stoffen (die men de **componenten** van het systeem noemt), als de evenwichtstoestand zich ingesteld heeft een bepaalde relatie tussen het aantal componenten van het systeem, het aantal fasen, dat aanwezig is en het aantal vrijheidsgraden. Deze eenvoudige relatie luidt, onder woorden gebracht, dat **het aantal vrijheidsgraden (F) bij een systeem, waarin evenwicht heerst, gelijk is aan het aantal componenten (C) van het systeem vermeerderd met twee en verminderd met het aantal aanwezige fasen (P)**. Of in een formule uitgedrukt:

$$F = C + 2 - P$$

Deze formule direct eens toepassend op het aangehaalde voorbeeld van het evenwicht tussen ijs, water en waterdamp, blijkt, dat bij dit systeem het aantal componenten één is (H_2O), het aantal fasen drie (één vaste fase, ijs; één vloeistofphase, water, en de gasphase, waterdamp) en dus is het aantal vrijheidsgraden $F = 1 + 2 - 3 = 0$. Bij dit evenwicht heeft men geen enkele vrijheidsgraad meer, alles ligt vast en zoals algemeen bekend, is de temperatuur van smeltend ijs steeds 0° en de spanning van de waterdamp daarbij gelijk aan de waterdampspanning bij 0° .

De hierboven gegeven vergelijking $F = C + 2 - P$, is de **Phasenregel** van **G i b b s**, waarvan een veelvuldig practisch gebruik zal moeten worden gemaakt voor het leren onderscheiden van de verschillende legeringstypen naast elkaar.

Volledigheidshalve zal hier een wat algemeen begrijpelijke afleiding van deze belangrijke regel uit de fysische chemie gegeven worden, waarbij echter om thermodynamische uitweidingen te ontgaan, een door de mechanische warmteleer (de thermodynamica) bewezen toestandsvergelijking onbewezen als postulaat moet worden overgenomen.

Beschouwt men een systeem met C componenten, en waarin P fasen aanwezig zijn, dan zijn daarbij de volgende van elkaar onafhankelijk veranderlijke grootheden aan te wijzen, die men dus naar willekeur onafhankelijk van elkaar zou kunnen wijzigen en dus even zo vele vrijheidsgraden betekenen. In de eerste plaats kan men de temperatuur en de druk van het systeem wijzigen en vervolgens heeft men in de concentraties van de C componenten in de P fasen van het systeem even zo vele veranderlijke grootheden.

Dit laatste is echter niet helemaal juist. Heeft men immers in een bepaalde phase naar willekeur het percentage van $(C-1)$ componenten, dus van alle componenten op één na, gekozen, dan is men niet meer vrij in het kiezen van de concentratie van deze laatste component, want alle percentages tezamen moeten gelijk zijn aan 100. Men heeft dus in iedere phase $(C-1)$ vrijheidsgraden voor het kiezen van de concentraties der componenten. Voor alle P fasen van het systeem tezamen dus $P \times (C-1)$ vrijheidsgraden in deze. Dit aantal vermeerderd met de twee vrijheidsgraden voor resp. de temperatuur en de druk geeft totaal $P \times (C-1) + 2$ vrijheidsgraden, d.w.z. van elkaar onafhankelijke grootheden, die men dus naar willekeur zou kunnen kiezen.

Maar heerst er evenwicht in het systeem, dan moet aan voorwaarden worden voldaan, die de thermodynamica weet aan te geven en waaruit een aantal betrekkingen voortvloeien. In de evenwichtstoestand namelijk moet, zo leert de thermodynamica, de „chemische potentiaal” van een component in alle fasen eenzelfde zijn. Voor deze grootheid bestaat een thermodynamisch afgeleide formule, waarop hier niet zal en ook niet behoeft te worden ingegaan. Van belang is echter, dat deze grootheid mede in verband staat met de concentratie, waarin de beschouwde component in een phase voorkomt. De consequentie hiervan is, dat er tussen de con-

centraties van een component in de verschillende fasen, als er evenwicht heerst, dus betrekkingen bestaan. Het aantal van deze betrekkingen is voor het gehele systeem aan te geven. Van het theoretisch meest uitgebreide geval uitgaande, door te veronderstellen dat alle componenten in alle fasen voorkomen, bestaan er voor iedere component $P-1$ betrekkingen tussen de concentraties van die component in de verschillende fasen. Immers de thermodynamische potentiaal van een component in phase I = die in phase II = die in phase III = die in phase IV, en dit tot aan phase P. Totaal geeft dit voor één component ($P-1$) onafhankelijke betrekkingen. Voor alle C componenten van het systeem tezamen dus $C \times (P-1)$ betrekkingen.

Zoëven kon aangegeven worden, dat er $P(C-1) + 2$ onafhankelijk veranderlijken waren, die in de evenwichtstoestand echter door $C(P-1)$ onderlinge betrekkingen beperkt worden. De resterende hoeveelheid vrijheidsgraden F is dan gelijk aan:

$$F = P(C-1) + 2 - C(P-1) = C + 2 - P.$$

De algebra der H.B.S. immers leert, dat, als men twee onafhankelijke grootheden heeft, (x en y) en men kent twee betrekkingen (vergelijkingen) tussen deze beide, men de waarde van x en y kan uitrekenen. De beide grootheden liggen dan vast. Heeft men drie variabelen b.v. x, y en z dan heeft men drie vergelijkingen nodig om hun waarde te kunnen uitrekenen. Kent men bij drie onbekenden slechts twee vergelijkingen, dan heeft men de vrijheid om de waarde van één dezer grootheden naar willekeur aan te nemen en eerst dan liggen de waarden der beide andere grootheden vast. Heeft men, om een ander voorbeeld te noemen, vijf grootheden en slechts drie betrekkingen dan heeft men nog $5 - 3 = 2$ vrijheidsgraden. Men kan in zo'n geval twee der grootheden naar willekeur aannemen of wijzigen alvorens de waarden der andere grootheden vastliggen of zich moeten wijzigen.

Zou men in zo'n geval, waarin men dus beschikt over twee vrijheidsgraden, de waarde van slechts één der variabelen naar willekeur aannemen of wijzigen dan brengt dit niet met zich dat men daarmee de waarden der andere grootheden heeft vastgelegd of deze zich moeten wijzigen.

Bij het gebruiken van de fasenregel voor het beoordelen van de toestand in een legering, moet men er steeds aan denken, dat **deze regel slechts geldt, wanneer het evenwicht in een legering zich heeft ingesteld**. Wil men van een legering weten, en het is van

practisch belang om dit te weten, of men bij die legering b.v. de vrijheid heeft om de temperatuur te kunnen wijzigen zonder dat daardoor verder iets in de toestand van de legering verandert dan is het nodig, dat men een inzicht heeft in het aantal vrijheidsgraden, dat het evenwicht in de beschouwde legering biedt.

Biedt dit evenwicht b.v. geen enkele vrijheidsgraad zo betekent dit dat, als men bij zo'n legering de temperatuur zou trachten te wijzigen, dit onvermijdelijk tot gevolg moet hebben dat men de opbouw van de legering totaal zou wijzigen.

In hoeverre de hier besproken fasenregel van dienst is om een inzicht te geven in de toestand bij de verschillende legeringstypen zal in de volgende paragrafen behandeld worden.

§ 3. *Toestandsdiagrammen*

Moest voor de afleiding van de fasenregel in de vorige paragraaf uitgegaan worden van een systeem met een willekeurig groot aantal componenten, dit aantal is bij de systemen, die de legeringen betreffen, beperkt.

In een legering, die door twee metalen wordt gevormd, heeft het systeem of stelsel twee componenten; men noemt dit een **binaire legering**. Bij een **ternaire legering** zijn drie metalen samengesmolten en gelegeerd, het stelsel heeft dan drie componenten; een **quaternaire legering** heeft vier legeringscomponenten, enz.

Teneinde de toestanden te kunnen aangeven, waarin een legering zich kan bevinden bij verschillende temperaturen en verschillende gehalten van de legeringscomponenten, wordt in de metallographie een wijze van grafisch voorstellen gebruikt, welke aan de hand van de eenvoudigst denkbare binaire legering eerst besproken zal worden.

Bij binaire legeringen doen zich verschillende mogelijkheden voor, die door de aard der metalen bepaald worden; de beide metalen kunnen namelijk:

- 1°. **onderling geen mengkristallen vormen,**
- 2°. **in alle verhoudingen met elkaar mengkristallen vormen,**
- 3°. **slechts over een beperkt gebied mengkristallen vormen,**
- 4°. **bijzondere mengkristallen vormen, namelijk zogenaamde chemische verbindingen (superroosters).**

§ 4. *Binaire legeringen type I*

Deze vier mogelijkheden hebben tot gevolg, dat er bij de binaire legeringen **vier** verschillende legeringstypen optreden, van welke

het **type I**, waarbij de metalen onderling geen mengkristallen vormen, het eenvoudigst is.

Smelt men twee van dergelijke metalen samen en koelt men de gesmolten massa, welke feitelijk een oplossing van de beide metalen in elkaar is, af, dan zal eerst één van de metalen uitkristalliseren en bij een lagere temperatuur zal ook het tweede metaal zich uit de gesmolten massa afzetten, waarna de beide metalen verder gezamenlijk uitkristalliseren tot de gehele massa hard geworden is.

Een in de warmte verzadigde keukenzout-oplossing gedraagt zich op dezelfde wijze. Bij afkoeling wordt de oplossing oververzadigd, het zout kristalliseert dan uit, terwijl bij verdere afkoeling

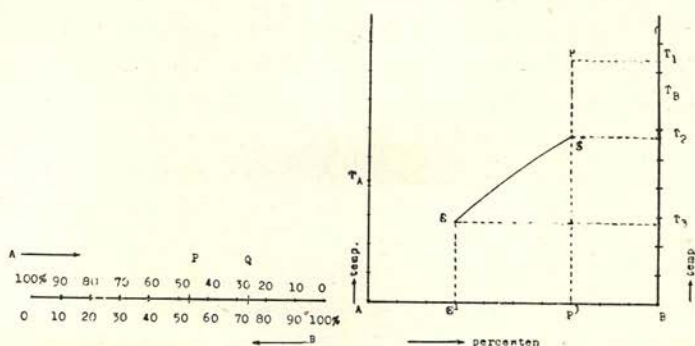


fig. 53

ook het water gaat kristalliseren, waarop dan de zout- en ijskristallen zich verder gelijktijdig afzetten tot de massa geheel gestold is. (Dat dit bij een temperatuur beneden 0° gebeurt, wordt veroorzaakt door de vriespuntsverlaging van het water door de aanwezigheid van het zout).

Om het verloop van de kristallisatie bij het stollen van een legering grafisch te kunnen aangeven, wordt op de horizontale as, voorzien van honderd deelstrepen, het percentage van de beide legeringscomponenten uitgezet op een wijze zoals aangegeven in fig. 53a.

Gaande van A naar B neemt het percentage aan metaal B toe en omgekeerd gaande van B naar A het percentage aan metaal A.

In een willekeurig punt P is het percentage aan metaal A gelijk aan de afstand PB; een legering, waarvan de samenstelling wordt aangegeven door het punt P heeft een gehalte aan het metaal A gelijk aan de afstand PB en aan metaal B gelijk aan de afstand PA.

Het punt Q b.v. geeft een samenstelling aan die rijker is aan metaal B, AQ % metaal B en BQ % metaal A. In het punt B zelf is het gehalte aan metaal B 100 %, terwijl aan de andere zijde het punt A een samenstelling gelijk aan zuiver metaal A (100 %) aangeeft.

Op twee verticale assen wordt de temperatuur afgezet. In fig. 53b is de temperatuur T_A , aangegeven op de temperatuuras, die in het punt A is opgericht, het smeltpunt van het zuivere metaal A en de temperatuur T_B , aangegeven op de temperatuuras vanuit het punt B, het smeltpunt van het metaal B.

Een punt P, gelegen boven in de grafische voorstelling, geeft een legering aan, waarvan de samenstelling BP' % A en AP' % B is en de temperatuur T_1 . Deze temperatuur is hoger dan de smeltpunten van beide legeringscomponenten, zodat in P de legering in een totaal gesmolten toestand zal verkeren. Wordt de gesmolten legering P afgekoeld, dan zal een reeks van toestanden doorlopen worden, die in het diagram weergegeven worden door de punten gelegen op de lijn PS, die vanuit P verticaal naar beneden loopt. Immers de samenstelling P' der legering verandert bij deze afkoeling niet, wel de temperatuur.

Bij een bepaalde temperatuur (T_2) zal de gesmolten massa beginnen te stollen, waarbij één van de legeringscomponenten gaat uitkristalliseren. In het gekozen voorbeeld zal metaal B, dat in het grootste percentage aanwezig is, zich het eerste afzetten. Door het uitkristalliseren van metaal B wordt het nog gesmolten deel der legering, de vloeistofphase, armer aan component B en verandert daardoor van samenstelling.

Bij verder afkoelen zal steeds meer B uit de oplossing verdwijnen, waardoor de samenstelling van de vloeistofphase zich voortdurend wijzigt; het verloop van deze wijziging met de temperatuur kan graphisch uitgezet worden, hetgeen in fig. 53b is gedaan. De betreffende lijn SE geeft voor iedere temperatuur de samenstelling aan van het nog gesmolten deel der legering, de vloeistofphase; in overeenstemming daarmee wordt deze lijn **de vloeistoflijn of liquidus** genoemd.

Verder afgekoeld zal de nog gedeeltelijk gesmolten legering de temperatuur bereiken, waarop ook het tweede metaal gaat uitkristalliseren. Bij deze temperatuur, in de figuur aangegeven als T_E , heeft het gesmolten deel der legering de samenstelling E, zoals aangegeven wordt door het op de vloeistoflijn (liquidus) gelegen punt E, dat bij de temperatuur T_E behoort.

Afgekoeld tot op de temperatuur T_E zal de legering bestaan uit een nog gesmolten gedeelte, waarin zich kristallen van beide metalen hebben afgezet. Voor de beoordeling van het evenwicht en de vaststelling van het aantal vrijheidsgraden in die toestand is het aantal aanwezige fasen vast te stellen op één vloeistofphase (het nog gesmolten deel der legering), twee vaste fasen (de kristallen van beide legeringscomponenten) en daarboven, niet te vergeten, de dampphase; in totaal 4 fasen. Het aantal componenten bij de beschouwde binaire legering is natuurlijk twee, zodat de toepassing van de fasenregel, $F = C + 2 - P$, leert dat bij die temperatuur T_E het aantal vrijheidsgraden van het evenwicht in de legering $F = 2 + 2 - 4 = 0$ is.

Dat betekent, dat, afgekoeld tot de temperatuur, waarop ook het tweede metaal zich gaat afscheiden, de temperatuur van de nog gedeeltelijk gesmolten legering zich niet kan wijzigen; bij verdere afkoeling van de legering kan de temperatuur niet meer dalen. Dit zal eerst weer mogelijk zijn als één der fasen totaal verdwenen is, waardoor er weer een vrijheidsgraad beschikbaar komt. Dit totaal verdwijnen van een der fasen kan bij afkoeling alleen de vloeistofphase zijn, zodat bij de constant blijvende temperatuur T_E , die de **eutectische temperatuur** genoemd wordt, bij verdere afkoeling de beide metalen zich gelijktijdig afzetten en eerst als de gehele massa gestold is, zal de temperatuur weer dalen.

Een andere consequentie van het ontbreken van een vrijheidsgraad bij de temperatuur T_E , de eutectische temperatuur, is, dat ook de samenstelling van de vloeistofphase gedurende het verder vast worden der legering zich niet kan wijzigen. Het gesmolten deel der legering moet tot op het laatst toe dezelfde samenstelling E, **de eutectische samenstelling**, houden. Dit is alleen mogelijk wanneer beide metalen in deze eutectische verhouding uit de vloeistofphase verdwijnen; zij kunnen dus slechts in de eutectische verhouding gelijktijdig uitkristalliseren.

Dat in het punt S bij de temperatuur T_2 , waarbij de gesmolten legering begon te stollen met het afscheiden van slechts één der metalen als vaste phase, het evenwicht in de legering zodanig was dat bij het verder stollen de temperatuur wel kon dalen, wordt eveneens door de toepassing van de fasenregel duidelijk. In het punt S immers bestaan in de legering naast elkaar drie fasen, te weten, een vloeistofphase, een vaste phase en de dampphase; het aantal componenten is 2, zodat de fasenregel toepassende het

aantal vrijheidsgraden $F = 2 + 2 - 3 = 1$ wordt gevonden. Deze ene vrijheidsgraad biedt de temperatuur van het stelsel de mogelijkheid om te dalen gedurende de periode van het stollen, waarin zich maar één der metalen als vaste phase afzet.

In fig. 54a wordt het volledige **toestandsdiagram** van het hier beschouwde **binaire legeringstype I** gegeven.

Vanuit de smeltpunten T_A en T_B der beide legeringscomponenten op de temperatuurassen lopen twee vloeistoffijnen in benedenwaartse richting (dit naar beneden lopen staat in verband met de wederzijds veroorzaakte smeltpuntsverlaging) en deze beide vloeistoffijnen treffen elkaar in E, het eutectische punt.

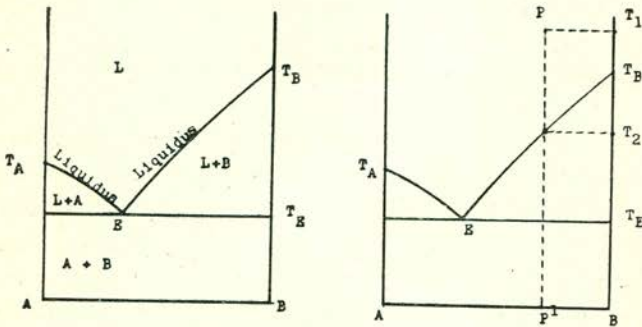


fig. 54

Aan de hand van dit toestandsdiagram zullen nogmaals, maar uitvoeriger dan zoëven, de evenwichtstoestanden en daarmee het gedrag van de binaire legeringen van het type I bij wisselende samenstelling van de legering en verschillende temperaturen worden toegelicht. Voor het goede begrip namelijk van alle soorten van legeringen is het nodig dat men zich wat vertrouwd maakt met de juiste betekenis en met het „lezen” van **toestandsdiagrammen** in het algemeen. Men zal zich wat moeite moeten getroosten om zich daarin door herlezing en nauwkeurige bestudering van het hier behandelde te bekwamen.

Een legering, die in het toestandsdiagram (zie fig. 54b) aangegeven wordt door het punt P, heeft de samenstelling $AP' \% B$ en $BP' \% A$, een temperatuur van T_1 en is, omdat het punt P gelegen is in het gebied boven de vloeistoffijnen, in totaal gesmolten toestand. Van alle legeringen, wier toestand in het diagram weergegeven wordt door een punt, dat gelegen is in het gebied boven de vloeistoffijnen, kan opgemerkt worden, dat zij in volledig gesmol-

ten toestand verkeren. Een dergelijk gebied wordt in het diagram door de letter L aangegeven (afkomstig van Liquidus).

Het aantal aanwezige fasen bij een legering in totaal gesmolten toestand is volgens de tot nu toe gevolgde redenering twee, namelijk een vloeistofphase (de gesmolten legering) en de dampphase daarboven.

Over de damp- of gasphase bij de metaalevenwichten kan echter het volgende worden opgemerkt.

Legeringen worden steeds onder atmosferische druk beschouwd, waardoor de druk bij alle beschouwde gevallen gelijk is en vastgelegd (1 atmosteer); hiermede is dus één vrijheidsgraad steeds vastgelegd. Het ligt voor de hand om bij het toepassen van de fasenregel op de evenwichten in legeringen daarmede rekening te houden en eenvoudigheidshalve deze regel niet in zijn oorspronkelijke vorm $F = C + 2 - P$ toe te passen, maar in de gewijzigde vorm $F = C + 1 - P$, waarbij de druk als vrijheidsgraad dan geheel buiten beschouwing gelaten kan worden.

Bovendien heeft de damp- of gasphase op de evenwichten tussen de metalen, zoals die bij legeringen worden beschouwd, praktisch geen invloed. Met de gasphase behoeft men daarom feitelijk geen rekening te houden bij de evenwichtsbeschouwingen en het toepassen van de fasenregel als het de metaalsystemen in legeringen betreft. Inderdaad doet men dit in de metallografie dan ook niet; men laat de gasphase geheel buiten beschouwing.

De beide aangegeven vereenvoudigingen zullen ook hier bij het verdere betoog toegepast worden en dienovereenkomstig kan het aantal fasen van een legering in de totaal gesmolten toestand op één gesteld worden. *).

Uit de toepassing van de fasenregel in zijn aan de legeringen aangepaste vorm $F = C + 1 - P$ volgt dat er bij een binaire legering (aantal componenten = 2) in de totaal gesmolten toestand (aantal fasen = 1) $F = 2 + 1 - 1 = 2$ vrijheidsgraden zijn.

De punten van het vloeistofgebied L geven alle legeringen van A en B aan in totaal gesmolten toestand. Het stelsel heeft dan slechts één phase en men noemt een dergelijk gebied een éénphase-gebied. Bij binaire legeringen is het aantal vrijheidsgraden in een éénphase-gebied gelijk aan twee. Een evenwichtstoestand

*) Hierbij wordt aangenomen dat de metalen in gesmolten toestand steeds volledig mengbaar zijn, hetgeen bij de in de tandheelkunde gebruikte legeringen inderdaad het geval is.

met twee vrijheidsgraden (variabelen) noemt men bivariant.

In een dergelijk gebied kan men zowel de temperatuur als de samenstelling der legering onafhankelijk van elkaar naar willekeur wijzigen; er bestaat geen enkel verband tussen deze beide grootheden. Bij een bepaalde temperatuur kan de gesmolten legering iedere willekeurige samenstelling hebben.

Anders wordt het als het punt, dat in het diagram de toestand van de legering aangeeft, gelegen is in een **tweefasen-gebied**, zoals b.v. het geval is bij legering P van fig. 55 bij de temperatuur

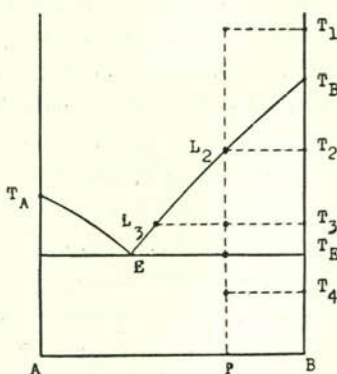


fig. 55

T_3° . Bij afkoeling van legering P is bij de temperatuur T_2 de **liquidus** gepasseerd en daarmee het gebied $T_B E T_E$ betreden. De legering bestaat dan uit kristallen van metaal B als vaste fase en het nog gesmolten deel der legering als vloeistofphase. Het aantal vrijheidsgraden is volgens de phasenregel $F = 2 + 1 - 2 = 1$ geworden. Dit betekent dat als in een tweefasengebied bij een binaire legering van deze ene vrijheidsgraad gebruik gemaakt wordt om de temperatuur te kiezen, daarmee het evenwicht vastligt. Bij een bepaalde temperatuur heeft het gesmolten deel van de legering niet meer een willekeurige samenstelling, maar deze ligt vast en wordt in het toestandsdiagram aangegeven door het bij de gekozen temperatuur behorende punt van de liquidus. Bij het aangehaalde voorbeeld, de legering P bij de temperatuur T_3° , geeft het punt L_3 op de liquidus de samenstelling van het nog gesmolten deel der legering aan.

Wordt bij verdere afkoeling de temperatuur T_E , de eutectische temperatuur, bereikt, dan is men in dit toestandsdiagram op de lijn ET_E gekomen. De tweede legeringscomponent begint bij die

temperatuur eveneens uit te kristalliseren, zodat het aantal fasen in de legering thans 3 geworden is. De lijn ET_E heet in overeenstemming daarmee een **driephasen-lijn**. Op een driephasen-lijn, waar dus drie fasen naast elkaar bestaan en in evenwicht zijn, **coëxisteren** zoals men dit noemt, is het aantal vrijheidsgraden nul geworden ($F = 2 + 1 - 3 = 0$). Hier is zelfs geen vrijheidsgraad aanwezig om de temperatuur naar willekeur te kiezen; ook de temperatuur T_E ligt vast. Bij alle legeringen tussen de metalen A en B vindt men één en dezelfde temperatuur, de eutectische temperatuur, waarbij de drie fasen slechts naast elkaar kunnen bestaan en waarbij dan de legeringen bij constant blijvende temperatuur verder vast worden onder gelijktijdige uitkristallisatie van beide metalen. Zoals bij een zuiver metaal de temperatuur van het smeltpunt een door de natuur vastgelegd gegeven is, zo is bij een legering het eutecticum door de natuur der beide samengelegeerde metalen vastgelegd.

Daalt de temperatuur beneden T_E° , hetgeen slechts mogelijk is als de vloeistofphase geheel verdwenen is en de legering totaal vast geworden is, dan betreedt men wederom een tweefasengebied $A + B$, waar naast elkaar bestaan (coëxisteren) de twee vaste fasen, de kristallen A en B. Het stelsel heeft dan weer één vrijheidsgraad en dit houdt in dat men weer vrij is de temperatuur te kiezen, maar dat betekent ook, dat bij iedere temperatuur de samenstelling van de vaste fasen vastligt. Aangezien echter krachtens de aard van het hier beschouwde binaire legeringstype I, de beide metalen A en B geen mengkristallen vormen, kunnen de concentraties van de beide vaste fasen zich hier niet wijzigen en blijven altijd 100 % A en 100 % B. Bij de straks ter sprake komende legeringstypen, waar wel mengkristallen aanwezig zijn, kunnen zich de samenstellingen van de mengkristallen wel wijzigen, als de legering in volkomen vaste toestand verder wordt afgekoeld, hetgeen ter plaatse nader besproken zal worden.

Bij het binaire legeringstype I zullen in de eenmaal vast geworden legering het aantal en de samenstelling van de fasen geen wijzigingen ondergaan als de legering verder tot kamertemperatuur wordt afgekoeld.

(Wordt vervolgd)