

**NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE Nr. 101**

---

**ILDFASTE OKSYDERS  
FYSIKALSKE KEMI**  
OVERSICHT OVER NYERE  
PRÆCISIONSUNDERSØKELSER

AV  
**OLAF ANDERSEN**

MED 2 PLANCHER, 4 TEKSTFIGURER  
OG ENGLISH SUMMARY

---

STATENS RAASTOFKOMITE  
PUBLIKATION Nr. 1

**KRISTIANIA 1922**  
I KOMMISSION HOS H. ASCHEHOUG & CO.

## Indholdsfortegnelse.

	Side
Indledning.....	5
Metoder.....	7
Ovner.....	7
Pyrometere.....	8
Termiske metoder.....	9
Mikroskopiske metoder.....	10
Resultater.....	11
De enkelte oksyder.....	11
Magnesia.....	11
Kalk.....	12
Lerjord.....	12
Kiselsyre.....	13
Hovedformer.....	13
Smeltepunkter.....	13
Biformer.....	14
Anvendelser.....	15
Jernoksyder.....	16
Ferrioksyd.....	16
Ferroferrioksyd.....	17
Ferrooksyd.....	18
Tokomponentsystemer.....	18
Systemet MgO—CaO.....	18
— Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> .....	19
— MgO—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	21
— MgO—SiO <sub>2</sub> .....	23
— CaO—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	25
— CaO—SiO <sub>2</sub> .....	26
— CaO—Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	28
Trekomponentsystemer.....	28
Likevegtsdiagrammer.....	28
Systemet CaO—MgO—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	31
— CaO—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> .....	33
— MgO—Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> —SiO <sub>2</sub> .....	36
— CaO—MgO—SiO <sub>2</sub> .....	37
Flerkomponentsystemer.....	38
Tabel I. Oksyder.....	41
— II. Forbindelser.....	42
— III. Invariante punkter.....	46
Litteraturfortegnelse.....	52
English Summary.....	53

## Indledning.

De omfattende præcisionsundersøkelser over tungtmeltelige metaloksyder og deres blandingssystemer, som er utført i de sidste aar, danner et av de mange eksempler paa hvorledes »rent videnskabelig« arbeide kan frembringe resultater av praktisk betydning. Disse undersøkelser har nemlig været utført væsentlig i den hensigt at skaffe den videnskabelige geologi (d. v. s. dens underavdeling petrografien) nøiagtige data angaaende mineralernes og bergarternes fysikalsk-kemiske likevektsforhold ved høie temperaturer. Ikkedestomindre har resultatene av dette forskningsarbeide faat stor betydning for forstaaelsen av visse industrielle problemer, først og fremst saadanne som knytter sig til ildfaste stoffers fremstilling og anvendelse ved høie temperaturer. Dette er jo ogsaa ganske naturligt naar man erindrer at den fysikalsk-kemiske petrografi og de ildfaste stoffers teknologi — foruten at de begge befatter sig med høie temperaturer — ogsaa behandler stoffer hvori de samme kemiske bestanddele, nemlig de almindeligste bergartskomponenter, indgaar.

De viktigste bergartskomponenter er opført i nedenstaaende tabel efter en beregnet gjennemsnittsanalyse av jordskorpen<sup>1</sup>. I antal utgjør disse hovedbestanddele bare ca. en tiendedel av alle de stoffer som kjendes, men det sees at de 9 opførte oksyder tilsammen dog utgjør 98 pct. i vekt av jordskorpens midtellsammensætning, og de 6 første i tabellen utgjør ca. 90 pct.

---

<sup>1</sup> H. S. Washington, The chemistry of the earth's crust, Journ. Franklin Inst. 190, 773, 1920.

**Jordskorpens vigtigste bestanddele i vegts pct.**

SiO <sub>2</sub>	59.09	}	89.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.35		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.08		
FeO	3.80		
MgO	3.49		
CaO	5.09		
Na <sub>2</sub> O	3.25		
K <sub>2</sub> O	2.98		
H <sub>2</sub> O	2.02		
Sum	98.00		

Det er altsaa disse bestanddele og de derav sammensatte mineraler og mineralsystemer, som har været gjenstand for de mest indgaaende teoretiske og eksperimentelle undersøkelser. Vi kjender allerede i grove træk en del av de love som behersker krystallisation, smeltning og omvandling i denne slags mineralkomplekser.

Netop de samme love gjælder imidlertid for de processer som foregaar naar ildfaste stoffer »bakes«, »brændes« og »sintres« under fremstillingen eller smeltes og omvandles under benyttelsen, og de samme oksyder som utgjør hovedmassen av de almindelige bergarter indgaar ogsaa — som nævnt — enkeltvis eller i blandinger i de vigtigste ildfaste stoffer. Av de i tabellen opførte bestanddele er det særlig kiselsyre, lerjord, kalk og magnesia som har hvad man kan kalde ildfaste egenskaper. Disse komponenter utgjør, sammen med smaa mængder av jernoksyder, de vigtigste bestanddele i ildfaste stoffer, men de to alkalioksyder og vand spiller ogsaa tildels en vigtig rolle. Vand indgaar vistnok ikke i nævneværdige mængder i de færdige produkter, men er i høi grad væsentlig under fabrikationen, idet de fleste ildfaste produkter fremstilles av plastiske materialer og formes i vaat tilstand. Alkalioksyder findes derimot i smaa mængder i mange av de færdige produkter, hvor de sammen med jernoksyderne synes at spille en rolle i de bindende bestanddele av produkterne. De 9 vigtigste bergartskomponenter



danner altsaa tydeligvis ogsaa hovedmassen av de stoffer man har at gjøre med under fabrikationen av ildfaste produkter.

Det er saaledes klart at den moderne eksperimentelle petrografi og de ildfaste stoffers teknologi har felles interesser i studiet av de omhandlede oksyders og deres blandingers fysiske kemi. Det eksakte eksperimentelle arbeide har forovrig ogsaa faat betydning for andre keramiske produkters<sup>1</sup> teknologi og har f. eks. gjort sig gjældende i cementindustrien, glasindustrien og flere av lerproduktindustriens brancher.

Det antydede forskningsarbeide som for en væsentlig del er utført ved Carnegie Institutets Geofysiske Laboratorium i Washington i løpet av de sidste 16 aar, er beskrevet i talrige videnskabelige avhandlinger. Da disse avhandlinger imidlertid er spredt i forskjellige tidsskrifter som tildels er ukjent av norske teknikere, fremkommer nærværende artikkel som et forsøk paa at meddele i oversigtlig form nogen av de viktigste videnskabelige resultater som dette forskningsarbeide har bragt for dagen. Ved at ha et utdrag av disse resultater samlet, tør det være lettere for dem som er interessert i resultaternes praktiske anvendelse at finde frem til de spesielle data som søkes.

## Metoder.

I det følgende gives nogen faa orienterende opplysninger om de almindelige metoder og eksperimentelle hjelpemidler som anvendes ved de her betragtede undersøkelser.

*Ovner.* Den bekvemmeste laboratorieovn for temperaturer op til 1600° er en elektrisk motstandsovn hvor heteelementet bestaar av platina i form av traad eller baand viklet utenpaa et rør av kunstig korund («alundum») eller et andet ildfast stof. Utenom platinamotstanden anbringes gjerne et større heteelement med motstand av kromnikkeltraad. Ved at opvarme dette med en passende strøm formindskes varmetapet fra platinaelementet,

<sup>1</sup> Keramiske produkter omfatter i ordets videste betydning alle produkter som fremstilles av ikke-metalliske mineralske raastoffer og bibringes sine værdifulde egenskaper ved at behandles ved høie temperaturer.

og den temperatur som platinaet maa ophetes til for at en viss temperatur i ovnsens indre skal naaes nedsættes betydelig.

For høiere temperaturer, op til  $2300^{\circ}$ , kan man anvende en ovn hvor ophetningselementet bestaar av et tykt rør av iridium, hvorigjennem sendes en lavspændt strøm av stor styrke. En saadan iridiumovn er meget bekvem, men falder kostbar i anskaffelse og bruk.

For endnu høiere temperaturer brukes gjerne en grafit- eller kulmotstand som heteelement. Ovnens bør da helst anordnes saa den kan indesluttet i neutral eller reducerende atmosfære eller i vakuum. Med en vakuumovn hvor ophetningen, besørget av en grafitspiral (Arsemovnen), har man uten vanskelighet opnaad temperaturer paa ca.  $3000^{\circ}$ .

Lysbueovner, som jo gir de høieste opnaaelige temperaturer, egner sig ikke for præcisionsforsøk, da det er vanskelig at regulere temperaturen i disse ovner med tilstrækkelig nøiagtighet. Naar det kun gjælder smeltning av høildfaste stoffer er lysbueovner naturligvis uundværlige.

Ved temperaturer under  $1100^{\circ}$  yder motstandsovner med kromnikkelvindinger fortræffelig tjeneste.

*Pyrometere.* Temperaturer op til  $1600^{\circ}$  maales nøiagtigst med platina-platinarhodium termoelement. Elementets termoelektriske kraft avlæses for mindre nøiagtige maalinge med millivoltmeter (avlæsningsnøiagtighet  $5^{\circ}$ — $10^{\circ}$ ) og for præcisionsmaalinge med potentiometer (avlæsningsnøiagtighet  $0.1^{\circ}$ ). Ved lavere temperaturer kan man bruke termoelementer med større følsomhet end platina-platinarhodiumelementet, saaledes for temperaturer op til  $350^{\circ}$  kobber-konstantanelementet og for temperaturer op til  $1100^{\circ}$ — $1200^{\circ}$  et eller andet av de mange  $\gamma$ -base metal-elementer.

Ved maaling av høiere temperaturer end  $1600^{\circ}$  er man henvist til at bruke et optisk pyrometer eller et straalningspyrometer.

Det mest praktiske optiske pyrometer er et instrument opfundet av amerikaneren Morse (forbedret av Holborn-Kurlbaum). Det bestaar av en kikkert, i hvis objektiv-brændplan er anbragt en elektrisk glødelampe som kan reguleres ved en reostat i serie med strømkilden og lampen. Man regulerer strømmen saa



lampens filament forsvinder mot billedet av den glødende gjenstand hvis temperatur skal maales. Strømstyrken i lampen gir da et maal for temperaturen, idet naturligvis forholdet mellem temperatur og strømstyrke maa findes ved kalibrering av hvert enkelt instrument.

En enkel type av straalningspyrometer (Thwings) bestaar av et konisk speil som samler en kegleformig bundt av mørke og lyse straalener fra det varme legeme i et punkt, hvor der er anbragt en termosøile. Dennes elektriske spænding gir da ved rigtig kalibrering uttryk for det straalende legemes temperatur.

Begge de antydende typer av instrumenter er lette at behandle, men de gir mindre nøiagtighet end termoelementer.

I den keramiske industri bruker man ved kontrol av brændinger i stor utstrækning saakaldte pyrometriske kegler (Segerkegler). Disse angir ikke egentlig temperatur, men snarere varmeevirkning, idet keglernes ombøining foruten av den maksimale temperatur ogsaa avhænger av ophetningens hastighet og varighet og delvis av den atmosfære (neutral, oksyderende eller reducerende) som omgir keglene. Som veiledere under brænding av keramiske produkter er saadanne kegler fortrinlige, men som temperaturmaalere kan de ikke erstatte selv de simpleste pyrometere.

*Termiske metoder.* Med de ovenfor antydende hjelpemidler utføres termiske undersøkelser av de forskjellige substanser. Herunder anvendes enten metoden med ophetningskurver eller »quenching« metoden.

Ophetningskurver konstrueres med tid som abscisse og temperatur som ordinat paa grundlag av temperaturavlesninger foretat med regelmæssige tidsintervaller (f. eks. 30 sekunder) eller de tegnes direkte av selvregistrerende instrumenter. Ethvert »knæk« i en saadan kurve angir at en fysisk eller kemisk omvandling, ledsaget av en varmereaktion, har fundet sted i den undersøkte substans ved den temperatur hvor knækket findes. Man bruker ved disse undersøkelser ophetningskurver — og ikke avkjølingskurver som i metallografien — fordi der i silikater og lignende oksydblandinger meget let optræder underkjøling naar den smeltede substans krystalliserer ved hurtig avkjøling. Smeltepunkter bestemt ved avkjølingskurver vilde derfor bli for

lave. Ved ophetning optræder der derimot praktisk talt aldrig nogen overheting, saa det smeltepunkt som angives av en ophetningskurve vil være rigtig.

Tydningen av ophetningskurvene (eller avkjølingskurvene) med sine forskjellige knæk byr imidlertid i mange tilfælde paa store vanskeligheter. Det er ofte umulig at avgjøre hvad slags omvandling et knæk i virkeligheten angir. Desuten foregaar flere omvandlinger saa langsomt eller med saa ubetydelig varmereaktion at der overhodet ikke blir noget »knæk» paa kurven. Disse vanskeligheter overvindes ved at anvende »quenching» metoden. Man holder den substans som undersøkes ved en bestemt temperatur saa længe at kemisk likevegt sikkert maa være indtraadt. Derpaa avkjøles substansen pludselig, hvorved den tilstand som den befandt sig i ved den høie temperatur, paa en maate fikseres saa den holder sig, og substansen kan undersøkes under mikroskopet ved almindelig temperatur. Den del av substansen som har været smeltet vil vise sig som glas, mens den usmelte del bestaar av en eller flere slags krystaller. Ved nu at foreta saadanne »quenching» eksperimenter med forskjellige blandinger og ved forskjellige temperaturer, kan man for en hvilkenksomhelst blandingsserie faa fastslaat forholdet mellem kemisk sammensætning og de temperaturer hvor omvandlinger og smeltninger finder sted. Dette gir de nødvendige data for konstruktion av vedkommende systems likevegtsdiagram.

*Mikroskopiske metoder.* De produkter man faar ved de omhandlede »quenching»-forsøk er ofte saa finkornige at deres undersøkelse byr paa adskillige vanskeligheter. Man anvender en modifikation av det almindelige petrografiske mikroskop, beregnet paa undersøkelse av særlig smaa mineralkorn. Det fimpulveriserte produkt indleires mellem to glas i en draape av en væske hvis brytningsindeks kjendes. Det kan da avgjøres med stor skarphet hvilket av de to stoffer — væsken eller pulveret — har den høieste brytningsindeks, og ved at prøve forskjellige væsker kan man let finde en som har samme indeks som pulveret, eller som en av dets bestanddele hvis det er sammensat. Derved faar man bestemt brytningsindeks for vedkommende substans, og da denne konstant er av stor værdi i mineraldiagnosen, kan man ved dens hjælp i de fleste tilfælde



identificere substansen selv om den foreligger i saa smaa korn at en bestemmelse av de øvrige optiske konstanter er umulig. Hvis kornene er mindst  $\frac{1}{100}$  mm. i tværsnit, kan man foruten brytningsindeks som regel ogsaa bestemme konstanter som dobbeltbrytning, optisk karakter og aksevinkel.

## Resultater.

I tabellerne I, II og III er opført de vigtigste data for de fire ildfaste oksyder  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{SiO}_2$  og deres hittil undersøgte blandingssystemer samt nogen faa data for systemer hvori jernoksyderne forekommer.

De grafiske fremstillinger i fig. 2, 3 og 4 og pl. I og II,<sup>1</sup> gir ved hjælp av likevegtsdiagrammer en oversigt over det arbejde som hittil er utført med de fire ovennævnte oksyder og jernoksyderne samt de to- eller trekomponentsystemer hvori disse 6 oksyder indgaar. I diagrammerne er de kemiske sammensætninger gjengit i molekylarprocent og temperaturerne i  $\text{C}^\circ$ . I tabellerne og overalt ellers i denne artikel er sammensætninger gjengit i vektprocent. De følgende bemærkninger tjener til nærmere forklaring av disse diagrammer og tabeller.

### De enkelte oksyder.

De rene oksyders egenskaper er gjengit i tabel I og grafisk i pl. I.

#### Magnesia, $\text{MgO}$ .

Rent magnesiumoksyd, som er det mest ildfaste av alle de almindelige oksyder, kjendes kun i *en* krystallisert modifikation, identisk med mineralet periklas.

Fra magnesarike silikatsmelter krystalliserer det enten i oktaedere eller i runde korn. Kunstige smelter av ren magnesia kan krystallisere i meget grovkornige aggregater.

<sup>1</sup> Pl. I og II efter R. B. Sosman (J. Ind. & Eng. Chem. 8, 985, 1916) med tilføielse av endel nylig publicerte data.

Magnesia, som fremstilles ved kalcinering av karbonat, er et meget let, floket pulver, som først ved den elektriske ovns temperaturer sintrer sammen til tettere, helt eller delvis krystalliserte masser.

#### Kalk, CaO.

Det rene, krystalliserte kalciumoksyd har et — forøvrig litet undersøkt — omvandlingspunkt ved omkring  $420^{\circ}$ . Omvandlingen synes at være av omtrent samme natur som den velkjendte kvarts-inversion ved  $575^{\circ}$ , og begge de to krystalliserte kalkmodifikationer synes at være regulære og idetheletat at staa hinanden nær i fysiske egenskaper.

Ved dissociation av kalciumkarbonat ved rødglødhete faaes en porøs, rimeligvis amorf, modifikation av kalk som reagerer meget livligere med kulsyre og vand (altsaa er mindre holdbar i luften) end den krystalliserte modifikation. Ved sterk glødning gaar den amorfe modifikation over til den krystalliserte.

#### Lerjord, $Al_2O_3$ .

Aluminiumoksydet optræder i to krystalliserte modifikationer. Den som almindeligst dannes ved krystallisation av smelter er den saakaldte  $\alpha$ - $Al_2O_3$  som er identisk med mineralet korund. Den anden saakaldte  $\beta$ -form krystalliserer undertiden fra  $Al_2O_3$ -smelter eller fra lerjordrike silikatsmelter. Den er distinkt forskjellig fra  $\alpha$ -formen, men den nøiagtige fysikalsk-kemiske relation mellem de to former er endnu ikke fastslaat. Der er dog sandsynligvis ikke noget omvandlingspunkt mellem de to, og  $\beta$ -formen danner isaafald en monotrop<sup>1</sup> modifikation i forhold til  $\alpha$ -formen.

I kunstige slipematerialer av smeltet aluminiumoksyd er  $\alpha$ -formen (korund) den altoverveiende bestanddel, men  $\beta$ -formen har ogsaa leilighetsvis været observert i smaa mængder.

---

<sup>1</sup> *Monotrope* omvandlinger er saadanne hvor omvandlingen ikke foregaar ved bestemt temperatur og hvor kun den ene, ustabile, form kan omvandles til den anden, stabile, men ikke omvendt. Ved *enantiotrope* modifikationer foregaar omvandlingen reversibelt, omtrent like let i begge retninger, og ved en bestemt temperatur, *omvandlingspunktet*.

### Kiselsyre, $\text{SiO}_2$ .

Kiselsyren udmerker sig ved sine mange forskjellige modifikationer. Der er tre sikkert definerte hovedformer, nemlig kvarts, tridymit og kristobalit og desuten en fjerde form, kalcedon, hvis forhold til de øvrige ikke er helt opklaret. Av de tre hovedformer har kvarts og kristobalit hver to biformer, mens tridymit har tre. Der er saaledes syv krystalliserte former, hvis relationer er kjendt og desuten kalcedon som den ottende. Hertil kommer amorf kiselsyre som kjendes i to former, kiselsyre-glas («kvartsglas») og fældt kiselsyre. Den sidstnævnte er dog i vandfri tilstand identisk med glasset.

Pl. II indeholder en grafisk fremstilling av de forskjellige formers stabilitetsomraader og omvandlingstemperaturer. De samme data er ogsaa gjengit i tabel I, hvor desuten de optiske og andre fysiske egenskaper er opført. En skematisk oversigt over volumforandringene ved de forskjellige omvandlinger er gjengit i pl. II.

*Hovedformer.* De tre hovedformer kvarts, tridymit og kristobalit danner enantiotrope modifikationer av kiselsyren. Omvandlingene foregaar imidlertid meget trøgt, og de forskjellige former kan bestaa i lang tid utenfor sine stabilitetsomraader. Tridymit og kvarts kan omvandles til kristobalit ved simpel ophetning til temperaturer inden kristobalits stabilitetsomraade ( $1470^\circ$ — $1710^\circ$ ). Likeledes kan smeltet kiselsyre (kvartsglas) bringes til at krystallisere til kristobalit ved ophetning i samme temperaturinterval. Omvandlingen fra kvarts til tridymit har ogsaa en enkelt gang (Ferguson & Merwin) været frembragt paa samme maate, men som regel foregaar den ikke ved varmekvirkninger alene. Ved ophetning med flussmidler til temperaturer inden tridymits stabilitetsomraade ( $870^\circ$ — $1470^\circ$ ) kan dog omvandlingen iverksættes med lethed. Ingen form av kiselsyre har kunnet omvandles til kvarts uten hjelp av flussmidler. Det samme gjælder for omvandling fra de andre former til tridymit naar undtages den nævnte omvandling fra kvarts.

*Smeltepunkter.* Smeltningen av kristobalits høitemperaturform ved  $1710^\circ$  foregaar meget trøgt, og smelten er seigtflytende. Kvarts og tridymit kan paa grund av den langsomme omvandling ogsaa delvis smeltes uten først at omvandles til



kristobalit. Kvarts smelter da ved ca. 1470° eller litt lavere og tridymit ved ca. 1670°. De ustabile smelter vil dog snart krystallisere til kristobalit.

*Biformer.* Omvandlingerne mellem  $\alpha$ - og  $\beta$ -formerne av de tre hovedmodifikationer er enantiotrope. De foregaar momentant og ledsages av tydelige varmereaktioner, av volumforandringer og av smaa forandringer i krystallografiske og optiske egenskaper (tab. I og pl. I).

Kvartsens  $\alpha$ - $\beta$ -omvandling ved 575°, og idetheletat dens forhold ved temperaturforandringer er bemerkelsesværdig. Ved ophetning fra almindelig temperatur vil kvarts utvide sig, først langsomt og derpaa stadig hurtigere, indtil der ved omvandlingspunktet, 575°, er et pludselig sprang i volumforøkelsen. Efter at dette punkt er passert vil en fortsat ophetning av høitemperaturformen bevirke en svak formindskelse i volum. Følgende tal sammen med den grafiske fremstilling pl. II tjener til nærmere belysning av disse forhold:

Temperaturgrænser	Volumforøkelse i pct. av volumet ved 20°
20°—450°	+ 2,4
450°—575°	+ 2,8
575°—900°	÷ 0,5

For de øvrige av kvartsens fysikalske konstanter, f. eks. brytningsindices, faar man temperaturkurver som ligner kurven for de spec.volum og viser det samme sprang ved 575°.  $\alpha$ - $\beta$ -omvandlingen foregaar ogsaa skarpt ved avkjøling, men da ved en litt lavere temperatur (570°) end ved ophetning.

Tridymitens og kristobalittens  $\alpha$ - $\beta$ -omvandling foregaar med adskillig skarphet. Omvandlingspunktene ligger imidlertid i et temperaturomraade hvor ingen av de optrædende former er stabile, og det skyldes kun den overmaade træge omvandling til den stabile form (i dette tilfælde kvarts) at tridymit og kristobalit idetheletat kan bestaa ved disse temperaturer.

Tridymit har omvandlingspunkter ved henholdsvis 117° og 163° (pl. I, tab. I) som viser sig skarpt ved ophetning, men mindre skarpt ved avkjøling. Den form,  $\beta_1$ -formen, som er stabil mellem de to nævnte temperaturer, synes dog at være litet

forskjellig fra høitemperaturformen,  $\beta_2$ -formen. For praktiske øiemed er det derfor tilstrækkelig at tale om en lavtemperaturform,  $\alpha$ -formen, og en høitemperaturform,  $\beta$ -formen, og et  $\alpha$ - $\beta$ -omvandlingspunkt ved  $117^\circ$ . Volumforandringen ved denne omvandling er ubetydelig og ikke nøiagtig bestemt<sup>1</sup>.

Kristobalitenes  $\alpha$ - $\beta$ -omvandling er skarp, men omvandlings-temperaturen varierer inden temmelig vide grænser, og avhænger av den varmebehandling hvorved kristobaliten er fremstillet. Desuten ligger omvandlingspunktet adskillig høiere ved ophetning end ved avkjøling. Den høieste omvandlingstemperatur ved ophetning er ca.  $275^\circ$  og den laveste ved avkjøling ca.  $200^\circ$  (pl. I, tab. I). Ved overgangen fra lav- til høitemperaturform er der en forholdsvis betydelig volumforøkelse (2—5 pct.). Ved høitemperaturformens smeltning (ved  $1710^\circ$ ) er der derimot praktisk talt ingen volumforandring.

*Anvendelser.* De nævnte egenskaper hos de forskjellige kiselsyreformer spiller en vigtig rolle under fremstillingen og anvendelsen av de ildfaste materialer som bestaar hovedsagelig av kiselsyre.

Raastoffet for saadanne produkter er omtrent udelukkende kvarts i en eller anden form, gjerne kvartsit. Det færdige produkt, silikasten, anvendes imidlertid altid ved temperaturer hvor kvartsen ikke er stabil og hvor der følgelig maa foregaa en omvandling til en av de former som kan bestaa ved høie temperaturer. Silikasten, som har været brukt i længere tid i en glasmelteovn er f. eks. for en stor del omvandlet til tridymit. I ovner hvor temperaturen har været høiere kan man finde sten som indeholder en betydelig mængde kristobalit, og ved de høieste temperaturer kan det ogsaa hændre at en del av stenen er smeltet og har dannet glas. I alle tilfælde er resultatet et produkt som har et ganske betydelig større volum end det utgangsmateriale, kvarts, hvorav stenen er fremstillet. Saaledes er volumforøkelsen ved omvandling fra kvarts til tridymit ca. 15 pct., og ved om-

---

<sup>1</sup> Ifølge den grafiske fremstilling, pl. II, skulde der være en liten volumforøkelse, men i henhold til de specifikke vegter, opført i tabel I, en liten formindskelse ved overgangen fra lav- til høitemperaturform.

vandling fra kvarts til kristobalit (samt ved smeltning av kvarts) ca. 20 pct.

Ved fremstilling av silikasten maa man derfor sørge for at stenen erholder en saa stor del av sin permanente volumforøkelse som mulig under brændingen, saa at man undgaar nogen nævneværdig utvidelse under stenens anvendelse i ovnene. Desuten er det fordelagtig at den færdigbrændte sten bestaar hovedsagelig av den modifikation som har den mindste pludselige volumforandring ved  $\alpha$ - $\beta$ -punktet, nemlig tridymit. Ved saadanne volumforandringer opstaar der jo let spændinger som faar stenen til at sprække eller »skalle av«. De antydede slutninger, som er utledet av de videnskabelige resultater, bekræftes av den praktiske erfaring. Det viser sig f. eks. at den mest holdbare silikasten bestaar væsentlig av tridymit, og at en større mængde uomvandlet kvarts i stenen er skadelig.

#### Jernoksyder.

De problemer som knytter sig til studiet av jernoksyderne er forskjellige fra de som hittil er behandlet, da jernoksydernes egenskaper ved høie temperaturer avhænger av surstofftrykket i den atmosfære som omgir dem. Det nytter derfor ikke at undersøke disse oksyder ved almindelig ophetning i luft. Undersøkelserne maa foregaa i ovner hvor trykket kan reguleres og maales nøiagtig ved de høieste temperaturer, og det er først nylig at man har kunnet gjøre dette (Sosman og Hostetter, Geophysical Laboratory). De foreliggende resultater summeres i al korthet i det følgende.

*Ferrioksyd*,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Jernoksyd er — i den form som almindeligst fremstilles kunstig — identisk med mineralet hematit (jernglans).

Ved ophetning under atmosfæretryk dissocierer det, idet surstof avspaltes og der danner sig en fast opløsning<sup>1</sup> som indeholder jern i ferroform. Det rene ferrioksyd har et meget høit dissociationstryk i forhold til de faste opløsninger som indeholder ferrooksyd (se pl. I). Den absolute størrelse av dis-

<sup>1</sup> Se anm. p. 21.



sociationstrykket avhænger av temperaturen. Ved en given temperatur synker det eftersom mængden av de ferroforbindelser som er dannet ved dissociationen tiltar i den faste opløsning. Gaar man ut fra rent  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  synker trykket hurtig med tiltagende  $\text{FeO}$ -mængde, senere langsomt indtil sammensætningen nærmer sig  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , da det igjen synker meget raskt. (Dissociationstrykket av  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  er ca. 0,005 mm. ved  $1100^\circ$  og ca. 0,04 mm. ved  $1200^\circ$ ).

Det fremgaar av de nævnte forhold at jernoksyd ikke kan smeltes uten under surstoffryk som er høit nok til at hindre dissociation. Dette smeltepunkts tryk og temperatur er endnu ikke bestemt.

Jernoksydet har et skarpt, reversibelt omvandlingspunkt ved  $678^\circ$ . Omvandlingen karakteriseres ved varmeabsorption og et pludselig fald i magnetisk susceptibilitet naar omvandlingspunktet passeres under temperaturstigning. Der er ogsaa observert et lignende omvandlingspunkt ved en meget lav temperatur,  $\div 40^\circ$ .

I ren tilstand er det almindelig forekommende jernoksyd (hematit) paramagnetisk, men naar det indeholder tilblandinger av  $\text{FeO}$ , eventuelt  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , i fast opløsning blir det mere eller mindre ferromagnetisk som magnetit.

Ved forsigtig oksydation av fældt magnetit har man dog ogsaa fremstillet kunstig en modifikation av rent  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  som er omtrent likesaa magnetisk som magnetit og har det samme omvandlingspunkt (ved ca.  $500^\circ$ ) som denne. Ved ophetning til  $750^\circ$  mister det pludselig sin magnetiske karakter og gaar over til almindelig jernoksyd.

*Ferroferrioksyd.*  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mineralet magnetit, smelter i luften skarpt og uten spaltning ved  $1580^\circ$ . Den tyndflytende smelte krystalliserer ved avkjøling til normal magnetit.

Ved lave surstofftryk og høie temperaturer spaltes magnetit, idet surstof avgives og der blir igjen en blanding av oksyder hvis sande natur endnu ikke er bestemt.

Magnetit har et skarpt, reversibelt omvandlingspunkt ved ca.  $530^\circ$ , hvor det ved ophetning gaar over fra en ferromagnetisk til en paramagnetisk tilstand.

Efter Sosman's opfatning er der en kontinuerlig række av faste opløsninger mellem rent  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  og  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Blandingsleddene er identificert kemisk, optisk og magnetisk saavel i kunstige præparater som i naturlige mineraler.

*Ferrioxsyd.*  $\text{FeO}$  (Jernoksydul) har endnu ingen kunnet fremstille i ren tilstand. Man har rigtignok faat frem stoffer hvis totale sammensætning er meget nær  $\text{FeO}$ , men de har vist sig at bestaa av blandinger hvori indgaar metallisk jern og et oksyd av sammensætning mellem  $\text{FeO}$  og  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

### Tokomponentsystemer.

De 6 oksyder som er behandlet i det foregaaende kan ialt danne 15 forskjellige tokomponentsystemer. Av disse er 6 nogenlunde fuldstændig og 2 delvis undersøkt, mens 7 er praktisk talt ubearbeidet.

De vigtigste data vedrørende de kjendte systemer er meddelt i tab. II og III og grafisk i pl. I og II.

#### Systemet $\text{MgO}-\text{CaO}$ .

Blandinger av magnesia og kalk repræsenterer den enkleste type av tokomponentsystemer som overhodet kan forekomme.

En hvilkenksomhelst saadan blanding vil ved ophetning begynde at smelte ved en temperatur av ca.  $2300^\circ$ . Smelten vil ha den konstante, *eutektiske* sammensætning ( $\text{CaO}$  67,  $\text{MgO}$  33, i vegts pct.) og temperatur indtil hele den saaledes sammensatte del av blandingen er smeltet og den usmeltede del altsaa bestaar av den komponent, som er i overskud over den eutektiske sammensætning. Ved fortsat varmetilførsel vil denne komponent smelte under temperaturstigning og gradvis forandring av smeltens sammensætning indtil smelten — i det øieblik den sidste rest av krystaller forsvinder — har den oprindelige blandings sammensætning. Den temperatur hvor denne sidste smelting av en komponent finder sted er for alle blandingers vedkommende lavere end den rene komponents smeltepunkt, og »smeltepunktnedsettelsen«, som naar sit maksimum ved den



eutektiske sammensætning, er større jo mere av den anden komponent der findes i blandingen<sup>1</sup>.

Ved avkjøling av en smelte vil nøiagtig det omvendte av hvad der foregaar ved ophetning finde sted, forutsat at avkjølingen foregaar tilstrækkelig langsomt til at kemisk likevegt kan oppnaas hvert øieblik. Den komponent som er i overskud over den eutektiske sammensætning vil begynde at krystallisere saasnart smeltekurvens temperatur for vedkommende blanding er naadd, og krystallisationen av denne komponent vil fortsætte under avkjøling indtil smelten har den eutektiske temperatur og sammensætning. Den videre krystallisation vil foregaa eutektisk ved konstant temperatur og sammensætning av smelten, idet de to komponenter krystalliserer samtidig i det eutektiske blandingsforhold.

Blandinger av kalk og magnesia opstaar naar de naturlig forekommende karbonatbergarter som indeholder disse komponenter »brændes«. Forutsat at brændingen foregaar ved tilstrækkelig høi temperatur og varer længe nok vil kulsyren drives helt ut av karbonaterne (»dødbrænding«), og der blir tilbake en blanding av oksyder. Saaledes blir dolomit, som er et homogent mineral ( $MgCa(CO_3)_2$ ), ved brænding spaltet i en heterogen blanding av kalk og magnesia av sammensætning (i vegts pct.) CaO 58,2, MgO 41,8. Denne blanding vil indeholde ca. 87 pct. CaO-MgO-eutektikum og ca. 13 pct. MgO i overskud over den eutektiske sammensætning. Ren, brændt dolomit har følgelig et ganske utpræget »smeltepunkt« ved den eutektiske temperatur, ca. 2300°.

#### Systemet $Al_2O_3-SiO_2$ .

I systemet lerjord—kiselsyre forekommer der en kemisk forbindelse mellem komponenterne, nemlig  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$  sillimanit. Dette er den eneste kunstig fremstillede form av lerjordsilikat, men i naturen kjendes to andre former, mineralerne cyanit og andalusit, som synes at være monotrope i forhold til sillimanit.

<sup>1</sup> De kurver, som i diagrammet forbinder det eutektiske punkt med de to komponenters smeltepunkter angir de øverste »smeltepunkter« for samtlige blandinger og benævnes derfor smeltekurver eller *liquiduskurver*.



Sillimanit smelter (ved  $1816^{\circ}$ ) *kongruent*, d. v. s. uten at spaltes, og smelten har altsaa samme sammensætning som den krystalliserte fase. Systemet  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$  kan derfor betragtes som sammensat av to enkle systemer,  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ , med hvert sit eutektikum, altsaa begge av samme type som systemet  $\text{CaO—MgO}$ .

Alle krystalliserte blandinger av  $\text{SiO}_2$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3$  som holder mellem 100 og 62,9 pct.  $\text{SiO}_2$  (0—37,1 pct.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) vil, naar likevegt er opnaadd, bestaa av sillimanit og kristobalit. Sammensætning og temperatur av det eutektiske punkt for disse blandinger fremgaar av tab. III og pl. II.

Blandinger som holder mellem 62,9 og 0 pct.  $\text{SiO}_2$  (37,1 og 100 pct.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) krystalliserer som sillimanit og korund. Eutektikum for disse blandinger ligger, som det sees, meget nær sillimanit baade i smeltetemperatur og sammensætning. Saa-danne blandinger smelter derfor praktisk talt paa den maate at al sillimanit smelter først — ved en konstant temperatur av ca.  $1810^{\circ}$  — og dernæst smelter korund under gradvis temperaturstigning indtil smeltens sammensætning falder sammen med den oprindelige blandings.

Systemet  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$  indbefatter brændt kaolin og blandinger av kaolin og  $\text{Al}_2\text{O}_3$  eller  $\text{SiO}_2$ . Ren kaolin, som har tilnærmelsesvis sammensætningen  $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ , gir jo ved brænding, saafremt likevegt opnaaes, en blanding av sillimanit og kristobalit omtrent svarende til  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ .

I en masse som bestaar av kaolin tilsat  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , saa den totale sammensætning blir omtrent  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ , vil der ved rigtig brænding krystallisere ut sillimanit i form av tæt sammenfiltrede naaler. Dette produkt har foruten en betydelig ildfasthet ogsaa adskillig mekanisk holdbarhet selv ved høie temperaturer. Det danner hovedbestanddelen i »ildfast porcelæn« (Marquard masse), som har en utstrakt anvendelse i den pyrometriske teknik.

Idetheletat kan man si at tilstedeværelsen av krystallisert sillimanit er et av de specielle kjendetegn paa et ildfast lerprodukt. Hvis sillimanit forekommer i større mængder vil jo dette altid være en garanti for at produktet har opnaadd en viss grad av kemisk likevegt og at det saaledes skulde være stabilt under videre ophetning og desuten ha en høi ildfasthet. Paa

den anden side vil tilstedeværelsen av større mængder frit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sammen med frit  $\text{SiO}_2$  tydelig vise at kemisk likevegt ikke kan være indtraadt, og man kan gaa ut fra at produktet vil være tilbøielig til at undergaa betydelige omvandlinger under en fortsat ophetning til høie temperaturer.

#### Systemet $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Systemet magnesia—lerjord ligner i mange henseender det foregaaende system. Komponenterne danner en kongruent smeltende kemisk forbindelse,  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , spinel, og systemet kan altsaa opfattes som sammensat av de to delsystemer  $\text{MgO}-\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Ved delsystemet  $\text{MgO}-\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , er der intet bemerkelsesværdig. Dets forhold fremgaaer med tilstrækkelig tydelighet av diagrammet pl. II og av tab. III.

I det andet delsystem, som omfatter blandinger av  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , er forholdene derimot ikke saa enkle, og de kan endnu ikke sies at være helt opklaret. Forviklingerne opstaaer fordi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , som tidligere omtalt, kan optræde i to krystalliserede former,  $\alpha-\text{Al}_2\text{O}_3$  (korund) og  $\beta-\text{Al}_2\text{O}_3$ . Den sidstnævnte synes at være monotrop i forhold til  $\alpha$ -formen, og de to formers blandings-systemer med  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  er noget forskjellige. Det er endnu ikke fastslaaet under hvilke betingelser det ene eller det andet av de to systemer opstaaer.

Det synes at fremgaa av de foreliggende data, at  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  danner en næsten fuldstændig række av faste opløsninger<sup>1</sup> med

<sup>1</sup> En fast opløsning er en homogen, krystalliseret blanding av to eller flere komponenter eller forbindelser. Betingelsen for at krystalliserede substanser skal kunne blande sig med hinanden i nogen større utstrækning er at de staaer hinanden nær krystallografisk og kemisk.

Som velkjendte eksempler paa substanser hvis krystaller blander sig i alle forhold — altsaa danner kontinuuerlige rækker av faste opløsninger — kan nævnes systemet  $\text{Pt}-\text{Au}$  fra metallografien og systemet  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (albit) —  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  (anortit) fra mineralogien. Begge disse systemer er av den nedenfor antydede type (fig. 1).

En fast opløsning x av de to rene komponenter A og B, hvis smeltepunkter er henholdsvis  $T_A$  og  $T_B$ , vil begynde at smelte ved temperaturen  $s_1$ , og den første uendelig lille mængde smelte som dannes, vil ha sammensætningen  $l_1$ . Ved fortsat ophetning vil smeltens sammensæt-



$\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , korund (i diagrammet fremstillet ved de optrukne kurver). Der er et brudd i rækken nær  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og et eutektikum hvor der ved ca.  $1925^\circ$  er likevegt mellem en smelte av sammensætning  $\text{Al}_2\text{O}_3$  98,  $\text{MgO}$  2 (vegts pct.) og to faste faser, nemlig  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  og en fast opløsning av  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Den anden form,  $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , optar en ubetydelig mængde  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  i fast opløsning, men forøvrig synes den ikke at indgaa i nogen række av faste opløsninger. Eutektikum  $\beta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$

ning forandres langs  $T_A$   $l_1$   $l_2$   $T_B$ , *liquiduskurven*, og krystallernes (den faste opløsning) langs  $T_A$   $s_1$   $s_2$   $T_B$ , *soliduskurven*. Naar smelten, ved punktet  $l_2$  har faat den oprindelige faste opløsningssammensætning er smeltningen avsluttet, og den sidste lille rest av krystaller som smelter har sammensætningen  $s_2$ .

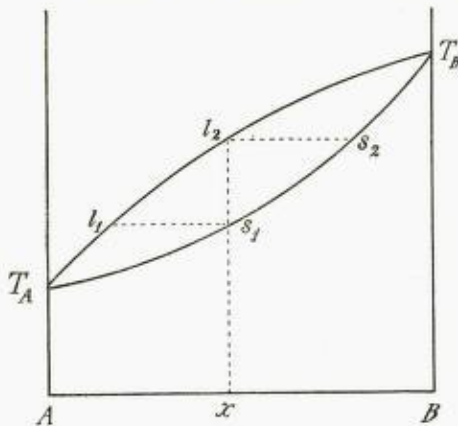


Fig. 1.

En fast opløsning i et system av den betragtede type vil altsaa aldrig ha noget smeltepunkt, men derimot et smelteinterval,  $s_1$   $l_2$ , som kan variere inden vide grænser og ofte strække sig over flere hundrede grader.

For at smeltningen av en fast opløsning skal foregaa paa den antydede maate, maa der hvert oieblik herske likevegt mellem en homogen smelte paa den ene side og

homogent sammensatte krystaller (fast opløsning) paa den anden. Da saavel smelten som den faste opløsning forandrer sammensætning med temperaturen, maa der altsaa under smelteperioden foregaa en uophørlig diffusion som omfatter hele smelten og likeledes trænger ind til det inderste av krystallerne.

Det her avbildede diagram repræsenterer kun en av de mange typer av systemer med faste opløsninger som forekommer. I fig. 4 er f. eks. gjengit en type med et temperaturminimum hvor solidus- og liquiduskurverne falder sammen i et punkt. I andre typer kan de krystalliserede substanser kun blande sig inden visse grænser og der er saaledes ingen ubrutt række av faste opløsninger. Saadanne begrænsede faste opløsninger forekommer i flere av de her behandlede to- og trekomponent-systemer.



—  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ligger ved  $\text{Al}_2\text{O}_3$  92,  $\text{MgO}$  8 —  $1925^\circ$  (diagram mets prikkede kurver).

Et blik paa diagrammet viser at ingen ren blanding av  $\text{MgO}$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3$  smelter ved lavere temperatur end ca.  $1925^\circ$ . Alle saadanne blandinger vil altsaa være tilstrækkelig ildfaste for de fleste praktiske øiemed. Blandinger som bestaar hovedsagelig av  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , spinel, har været prøvet i praksis. De danner et neutralt ildfast produkt av betydelig kemisk og mekanisk stabilitet.

#### Systemet $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ .

Systemet magnesia—kiselsyre har to kemiske forbindelser, nemlig  $2 \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , forsterit og  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , klintoenstatit.

Forsterit, som er den eneste kjendte modifikation av  $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , smelter kongruent (ved  $1890^\circ$ ) og danner med  $\text{MgO}$  et eutektikum hvis relationer fremgaar av tab. III og pl. II.

$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  danner flere modifikationer, men kun den nævnte klintoenstatit er stabil, mens de øvrige er monotrope i forhold til denne.

Klintoenstatit har intet kongruent smeltepunkt, men spaltes ved ophetning til  $1557^\circ$  i krystaller av forsterit og en smelte av sammensætning  $\text{MgO}$  39,  $\text{SiO}_2$  61 (reaktionspunktet)<sup>1</sup>. Naar denne *inkongruente* smeltning er tilendebragt, vil den nydannede forsterit ved fortsat ophetning smelte gradvis under temperaturstigning og forandring av smeltens sammensætning. Ved  $1577^\circ$

---

<sup>1</sup> Reaktionspunkter (dissociationspunkter) og eutektika benævnes *invariant* punkter, fordi de repræsenterer en likevegtstilstand mellem forskjellige faser som kun kan bestaa under ganske bestemte betingelser. I de hit-til betragtede tilfælde er der to krystalliserte faser, en smelte og en dampfase som er i likevegt ved en bestemt temperatur, en bestemt sammensætning av smelten (koncentration) og et bestemt tryk. Siden der altsaa i tokomponentsystemer kan være 4 faser indbefattet i likevekten, benævnes saadanne punkter ogsaa *kvadrupelpunkter*. (De tilsvarende punkter i trekomponentsystemer benævnes *kvintupelpunkter*, fordi der ved disse kan bestaa 5 faser under ganske bestemte betingelser).

I de fleste av de her behandlede tilfælde spiller dampfasen og trykket underordnede roller (undtagen for jernoksyderne) og de er derfor stilltende sat ut av betragtning.

er al forsterit smeltet og i samme øieblik har smelten sammensætningen  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ . Ved avkjøling av en saadan smelte finder — under likevevtsbetingelser — det omvendte sted. En homogen smelte av sammensætningen  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  vil altsaa ved  $1557^\circ$  begynde at utskille krystaller av  $2 \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  (forsterit) og fortsætter dermed indtil smelten har faat det ovenfor nævnte reaktionspunkts sammensætning og temperatur ( $\text{MgO}$  39,  $\text{SiO}_2$  61,  $1557^\circ$ ). Den utskilte forsterit vil da, ved konstant temperatur og sammensætning av smelten, igjen oppløses, idet den kombinerer sig med en del av smelten og danner klinoenstatit, som samtidig krystalliserer ut. Denne reaktion foregaar indtil al forsterit og smelte samtidig er opbrukt og det hele har krystallisert til klinoenstatit.

I alle blandinger, hvis sammensætning ligger mellem forsteritens og reaktionspunktets (altsaa mellem  $\text{MgO}$  57,2,  $\text{SiO}_2$  42,8 og  $\text{MgO}$  39,  $\text{SiO}_2$  61), vil reaktionspunktet passeres saavel under ophetning som under avkjøling, og de samme reaktioner som er beskrevet for klinoenstatit vil finde sted. Naar disse blandinger ophetes vil de altsaa efter reaktionen ved  $1557^\circ$  bestaa av forsterit og smelte av reaktionspunktets sammensætning. Mængden av forsterit vil imidlertid variere fra 0 pct. for en blanding av reaktionspunktets sammensætning til 100 pct. for ren forsterit, og temperaturen for den sidste smeltning av forsterit vil variere overensstemmende med forsteritens smeltekurve fra  $1557^\circ$  til  $1890^\circ$ . Ved avkjøling av en saadan smelte vil den utkrystalliserte forsterit naar dissociationspunktet naaes kombinere sig med smelte under krystallisation av klinoenstatit. For blandinger av sammensætning mellem forsterit og klinoenstatit ( $\text{MgO}$  57,2— $\text{MgO}$  40,1) vil naar reaktionen er endt al smelte være opbrukt, mens der er forsterit tilovers og den krystalliserte blanding bestaar altsaa av forsterit og klinoenstatit. For den lille serie av blandinger som ligger mellem klinoenstatitens og dissociationspunktets sammensætning ( $\text{MgO}$  40,1— $\text{MgO}$  39) vil reaktionen forløpe saaledes at der er smelte tilovers naar al forsterit er opbrukt og den videre krystallisation av klinoenstatit vil foregaa under temperaturfald og forandring av smeltens sammensætning indtil eutektikum klinoenstatit-kristobalit naaes.



I blandinger som holder mindre end 39 pct. MgO vil klinkenstatit og kristobalit være de eneste optrædende krystalliserede faser som kan bestaa i likevægt med smelte. Disse blandingers forhold fremgaar av diagrammet pl. II og av tab. III.

Det sees at blandinger av MgO og SiO<sub>2</sub> som holder mere end 57 pct. MgO ikke vil begynde at smelte førend ved ca. 1850°, og saadanne blandinger er altsaa ildfaste nok for de fleste praktiske øiemed. Magnesitsten kan saaledes, hvis den ikke indeholder andre fremmede substanser, være ganske betragtelig forurenset med kiselsyre uten at dette behøver at ødelægge dens egenskaper som ildfast sten. Kiselsyren maa da naturligvis være bundet i forsterit og ikke være tilstede som frit SiO<sub>2</sub>.

Blandinger som holder mindre end 57 pct. MgO vil som det sees begynde at smelte allerede ved ca. 1550°, og for manges vedkommende vil smeltningen være helt avsluttet ved temperaturer som kun er litt høiere. Disse blandinger vil altsaa være uskikket for fremstilling av ildfaste materialer.

#### Systemet CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

I systemet kalk—lerjord er der fire kemiske forbindelser, hvorav tre har kongruente smeltepunkter og en et inkongruent smeltepunkt. Av de fem kvadrupelpunkter er fire eutektika og et dissociationspunkt.

Forbindelsernes og kvadrupelpunkternes egenskaper fremgaar av diagrammet pl. II og av tab. III.

Det sees at hver av de to forbindelser 5 CaO·3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> og 3 CaO·5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> optræder i en stabil og en ustabil (monotrop) modifikation. De nøiagtige betingelser for dannelsen av de ustabile former er ikke kjendt.

Det nævnte dissociationspunkt er av nøiagtig samme art, som det der er omtalt for systemet MgO—SiO<sub>2</sub>. Den dissocierende forbindelse er 3 CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, som ved ophetning til 1535° spaltes i CaO og en smelte av sammensætning CaO 59, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 41.

Den største del av blandingerne i dette system smelter ved for lave temperaturer til at de kan ha nogen anvendelse som



ildfaste stoffer. Kun blandinger som holder mellem 75,2 og 100 pct.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  begynder først at smelte ved  $1700^\circ$ , og disse blandinger kunde altsaa tænkes at ha en begrænset anvendelse.

#### Systemet $\text{CaO-SiO}_2$ .

Systemet kalk-kiselsyre har fire forbindelser, hvorav to smelter kongruent, en smelter inkongruent og den fjerde overhodet ikke smelter, men spaltes ved ophetning i to krystalliserede komponenter. Av de fire kvadrupelpunkter er tre eutektika og et reaktionspunkt.

Systemets almindelige relationer fremgaar av diagrammet pl. II og av tab. III.

Forbindelsen  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  optræder i to enantiotrope former,  $\beta\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , wollastonit og  $\alpha\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , pseudowollastonit. Det reversible omvandlingspunkt mellem disse ligger ved  $1200^\circ$  for den rene forbindelses vedkommende. Pseudowollastonit kan imidlertid opta indtil 2 pct.  $\text{SiO}_2$  og indtil 2 pct.  $\text{CaO}$  i fast opløsning, hvorved omvandlingspunktet forandres litt, idet  $\text{SiO}_2$  forhøier det til  $1210^\circ$  og  $\text{CaO}$  nedsætter det til  $1190^\circ$ . Omvandlingen mellem de to former karakteriseres væsentlig ved optiske og krystallografiske forandringer og ledsages ikke av nogen nævneværdig volumforandring. Det er karakteristisk at ogsaa smeltningen av  $\alpha\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (ved  $1540^\circ$ ) foregaar med en ubetydelig volumforøkelse.

Den inkongruent smeltende forbindelse  $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$  spaltes ved ophetning til  $1475^\circ$  i krystaller av  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  og smelte av sammensætning  $\text{CaO}$  55,2,  $\text{SiO}_2$  44,5 (reaktionspunktet).

Forbindelsen  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  optræder i tre enantiotrope modifikationer,  $\alpha$ -,  $\beta$ - og  $\gamma$ -formerne, hvis egenskaper og relationer fremgaar av tab. II og III. Omvandlingen mellem  $\alpha$ - og  $\beta$ -formerne foregaar skarpt ved  $1420^\circ$  og er væsentlig paavist termisk, idet de to former staar hinanden meget nær i optiske egenskaper og der kun er en ubetydelig volumforandring ved omvandlingen. Derimot ledsages den reversible omvandling mellem  $\beta$ - og  $\gamma$ -formerne ved  $675^\circ$  av betydelige forandringer i de optiske egenskaper og av en volumforøkelse (ved overgang til lavtemperatur,  $\gamma$ -formen) paa ca. 10 pct. Ved denne pludselige utvidelse smul-

drer krystallerne op til et fint pulver, og fænomenet, som ofte observeres under brænding av cement og andre substanser som holder  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  er kjendt under betegnelsen »støvning«.

De eneste blandinger i dette system som har høie smelte-temperaturer er de som holder mere CaO end forbindelsen  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , altsaa mere end 65 pct. CaO, hvor ingen smeltning foregaar ved lavere temperatur end  $2065^\circ$ . I alle disse blandinger optræder imidlertid mere eller mindre av krystallisert  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  som ledsages av den nævnte utvidelse og »støvning« naar omvandlingspunktet ved  $675^\circ$  passerer under avkjølingen. Det vilde derfor være umulig at forarbeide, holdbare, volumfaste gjenstande av saadanne blandinger. Desuten er ogsaa disse blandinger litet bestandige fordi de »læskes« under indflydelse av luftens fugtighet.

Blandinger av CaO og  $\text{SiO}_2$  egner sig altsaa idetheletat ikke til fremstilling av ildfaste materialer. En tilsyneladende undtagelse danner enkelte varieteter av silikasten som indeholder indtil 2 pct. CaO. Denne lille mængde CaO vil imidlertid ikke gjøre nogen skade hvis den er jevnt fordelt, idet den kun foraarsaker dannelsen av litt kalksilikat,  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . I kontakt med frit  $\text{SiO}_2$  smelter dette silikat rigtignok allerede ved  $1436^\circ$ , men denne eutektiske smelte er kiselsyrerik (63 pct  $\text{SiO}_2$ ) og mængden av  $\text{SiO}_2$  forøkes eftersom temperaturen stiger. Resultatet er altsaa at der ved brænding av en saadan kalkholdig silikasten ved tilstrækkelig høi temperatur vil dannes en liten mængde seig, kiselsyrerik smelte, som ikke ødelægger stenens sammenheng, men kun siger ind i porerne mellem  $\text{SiO}_2$  bestanddelene, hvor den efter avkjøling virker som bindemiddel og under brændingen desuten som et flussmiddel der paaskynder omvandlingen av kvarts til tridymit. Ved krystallisation av en saadan kiselsyrerik smelte vil der opstaa en blanding av overveiende tridymit (muligens ogsaa kristobalit) med en liten mængde  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Da dette silikat ikke undergaar nogen pludselige volumforandringer ved ophetning eller avkjøling, kan dets tilstedeværelse ikke være skadelig, og dets funktion som bindemiddel maa i ethvertfald antages at være nyttig.



### Systemet CaO—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Systemet kalk—jernoksyd er hittil kun foreløbig undersøkt (Sosman og Merwin). Dets vigtigste relationer er fremstillet i diagrammet pl. I.

Ingen av de optrædende forbindelser har, som det sees, noget kongruent smeltepunkt. De inkongruente smeltepunkter er 1436° for 2 CaO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> og 1216° for CaO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Eutektikum CaO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ligger ved 1203° og har antagelig en sammensætning i vegts pct. av omkring CaO 10, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 90.

I smelter som er rike paa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (smelter mellem 0 og ca. 30 vegts pct. CaO) er der ved høie temperaturer en betragtelig dissociation av Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> under dannelse av ferroforbindelser. Den rigtige bestemmelse av saadanne smelters relationer kan derfor først foregaa under et surstoffryk som er høit nok til at hindre dissociation. Saadanne undersøkelser har endnu ikke været foretat.

### Trekomponentsystemer.

#### Likevegtsdiagrammer.

Faserelationerne i trekomponentsystemer anskueliggjøres ved hjælp av rumdiagrammer hvor sammensætningerne angives av punkter indenfor et likesidet triangel og temperaturerne av perpendikulærer paa triangelflaten. Et saadant diagram danner altsaa et prisme, hvis grundflate er sammensætningstriangelet med de tre komponenter som hjørner og hvis sideflater er tre tokomponentdiagrammer. Opad begrænses prismet av en række krumme flater eller *felter* som støter sammen i rumkurver, *grænsekurver*. Tilsammen danner disse felter vedkommende systems *liquidusflate*. Hvert enkelt felt angir sammensætningerne av alle de smelter hvorfra en bestemt fase vil begynde at krystallisere ved avkjøling til liquidusflatens temperaturer for de respektive sammensætninger eller hvor den sidste rest som smelter ved ophetning vil bestaa av vedkommende fase.

En model av et trekomponentdiagram (for systemet CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>) er avbildet i fig. 2. Det samme diagram er ogsaa gjengit i fig. 3<sup>1</sup>, som er et topografisk kart av rumdiagrammet

<sup>1</sup> Begge fig. efter Rankin & Wright, Amer. Journ. Science (4), 39, 1, (1915).



projecert paa sammensætningstriangelets flate. I projektionen er liquidusflatens temperaturer fremstillet ved isotermske kurver.

De punkter hvori tre grænsekurver møtes er *kvintupel-punkter*. Ved den temperatur som et saadant punkt bestemmer kan altsaa samtidig tre krystalliserede faser i et hvilket som helst

mængdeforhold bestaa i likevegt med en smelte av den sammensætning som ogsaa repræsenteres av punktet. Der er tre typer av kvintupel-punkter karakterisert ved den maate, hvorpaa de tre grænsekurver møtes og det skema for faseomsætningen ved varmetilførsel som avhænger derav. Ved den første type, det *ternære eutektikum*, falder alle grænsekurver mot punktet og faseomsætningen foregaar paa samme maate

som ved de tidligere omtalte binære eutektika med den forskjél som betinges av at tre istedenfor to krystalliserede faser deltar i omsætningerne. Ved den anden type danner grænsekurverne en saakaldt opadvendt gaffelgreining med to kurver som helder mot og en som helder fra punktet. Den tredie type har en nedadvendt gaffelgreining med en kurve heldende mot og to fra punktet. Ved begge disse typer foregaar faseomsætningen saaledes at en krystalliseret fase helt eller delvis fortæres, mens de to andre krystalliserer eller omvendt. Disse to typer kan derfor passende betegnes som *ternære reaktionspunkter*.

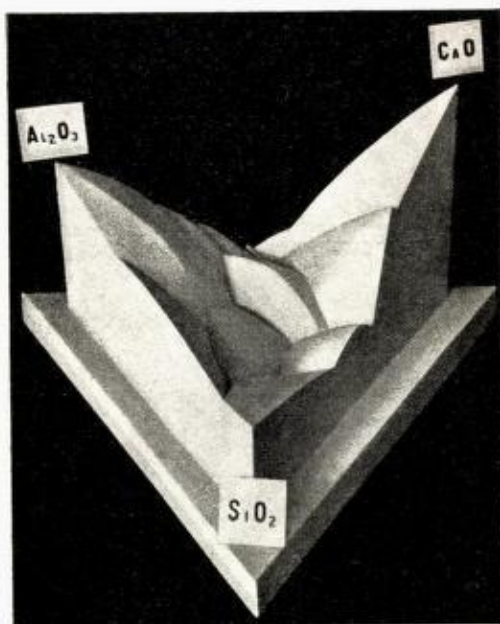


Fig. 2.

Faseomsætningen langs grænsekurverne kan foregaa paa forskellige maater. Langs de kurver som svarer til binære eutektika og ofte utgaar fra disse, foregaa der en samtidig smeltning av begge krystalliserede faser ved ophetning. Saadanne kurver benævnes derfor *smelte- eller krystallisationskurver*. Langs

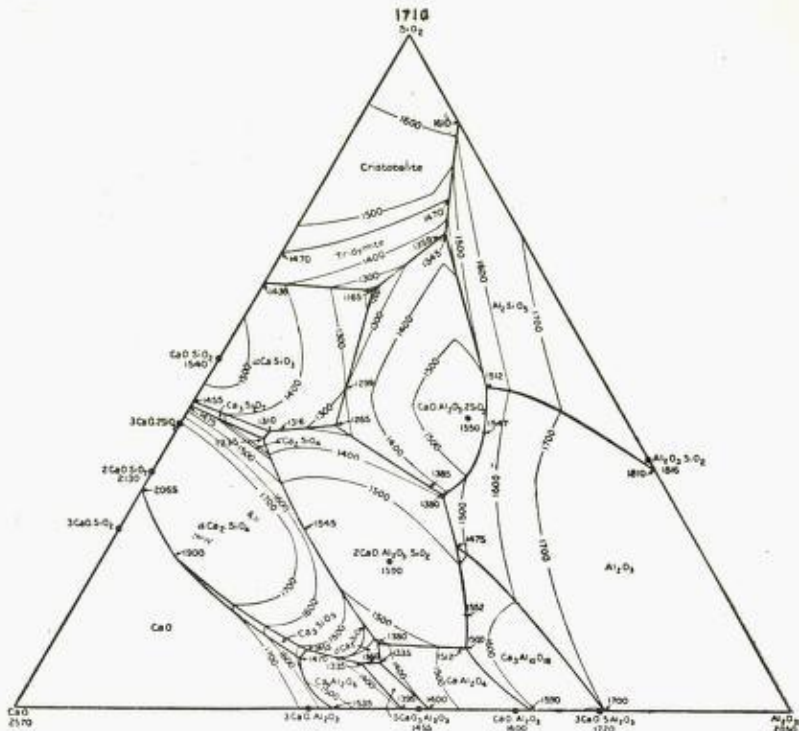


Fig. 3.

kurver av den anden type vil ved ophetning den ene fase smelte og den anden krystallisere. Disse kurver svarer altsaa til binære reaktionspunkter og kan benævnes *reaktionskurver*. Den førstnævnte type er almindeligst i de her behandlede systemer. Reaktionskurver forekommer dog ogsaa ofte.

En ternær forbindelse, hvis sammensætningspunkt ligger indenfor det felt som repræsenterer forbindelsen, har et kongruent smeltepunkt. Ligger punktet derimot utenfor feltet, smelter forbindelsen inkongruent og enhver blanding hvori den forekommer

vil ved ophetning passere det reaktionspunkt som representerer denne smeltning.

I pl. I og II er de ternære diagrammer reproducert i en noget forenklet form med uteladelse av de isotermske kurver. De paaførte temperaturer for kvintupelpunkterne gir dog sammen med grænsekurverne et begrep om liquidusflatens form, og diagrammerne skulde være tilstrækkelige for en orientering over de viktigste faserelationer.

#### Systemet $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Komponenterne  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3$  danner ingen ternære forbindelser. Der optræder altsaa kun de samme krystalliserte faser som i de tre tokomponentsystemer hvorav trekomponent-systemet omslutes.

Av de seks forekommende kvintupelpunkter er to ternære eutektika og fire ternære reaktionspunkter.

I det følgende gives et par eksempler paa disse ternære blandingers forhold under ophetning.

Blandinger som ligger indenfor det tænkte triangel  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  vil — naar de har krystallisert under likevegt — bestaa av de tre nævnte forbindelser. Den første del av smeltningen foregaar ved en konstant temperatur av  $1450^\circ$ , idet der dannes en smelte av reaktionspunktets sammensætning,  $\text{CaO}$  51,5,  $\text{MgO}$  6,2,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  43,3. Herunder vil  $\text{MgO}$  og  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  smelte og  $\text{CaO}$  krystallisere indtil en av de to førstnævnte er helt fortæret.

Har blandingen et overskud av  $\text{MgO}$  i forhold til reaktionspunktets sammensætning, saa vil altsaa al  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  være helt opbrukt naar reaktionen er endt. Ved videre ophetning vil da  $\text{CaO}$  og  $\text{MgO}$  smelte samtidig, idet smeltens temperatur og sammensætning forandres gradvis langs grænsekurven for de to faser — i dette tilfælde en smeltekurve. Naar saa den ene av disse faser ogsaa er helt forsvundet vil smeltens temperatur og sammensætning forandres langs en plan kurve (en ret linje i projeksjonen) som gaar gjennem den gjenværende krystalliserte faser og den oprindelige blandings sammensætningspunkter indtil det sidstnævnte punkt naaes og alt er smeltet.



Hvis reaktionspunktet er passert (under ophetning) med et overskud av  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , og altsaa al  $\text{MgO}$  er helt smeltet, vil en fortsat ophetning bevirke at  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  fremdeles smelter og  $\text{CaO}$  krystalliserer, idet temperatur og sammensætning av smelten forandres langs grænsekurven for de to faser — i dette tilfælde en reaktionskurve — indtil al  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  har smeltet og  $\text{CaO}$  i samme øieblik ogsaa begynder at smelte. Temperatur og sammensætning av smelten forandres da langs en kurve (ret linje) som gaar gjennom  $\text{CaO}$ -punktet og den oprindelige blandings sammensætningspunkt indtil al  $\text{CaO}$  har smeltet.

Det fremgaar av diagrammet, at de fleste av de blandinger som ligger indenfor det betragtede triangel vil følge det førstnævnte skema med samtidig smeltning av  $\text{CaO}$  og  $\text{MgO}$  efter at reaktionspunktet er passert.

Ved brænding av dolomit som holder nogen faa pct.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , men forøvrig er ren, vil der saaledes ved  $1450^\circ$  dannes en liten mengde smelte av det nævnte reaktionspunkts sammensætning. Resten bestaar da av en krystallisert blanding av  $\text{CaO}$  og  $\text{MgO}$  (noget rikere paa  $\text{MgO}$  end den oprindelige blanding). Den lille mengde smelte virker som binde- og flussmiddel og vil foraarsage at  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -holdig dolomit kan »sintres« ved  $1450^\circ$  uten at ildfastheten — som avhænger av smelteintervallet for  $\text{CaO}$ — $\text{MgO}$ -blandingen — nedsættes under den ønskelige høide. Forbindelsen  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  — som krystalliserer i smaa mængder ved avkjølingen — har intet omvandlingspunkt med pludselig volumforandring. Denne forbindelses tilstedeværelse i brændt dolomit er saaledes ikke skadelig. En liten mengde  $\text{Al}_2\text{O}_3$  vil altsaa ikke ødelægge dolomiten som ildfast materiale, men tvertimot være gavnlig. Absolut ren dolomit kan ikke sintres uten muligens ved meget høie temperaturer hvorved brændingen vilde bli uøkonomisk.

Blandinger av  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  og  $\text{Al}_2\text{O}_3$  som ligger indenfor triangelet  $\text{MgO}$ ,  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $5 \text{CaO} \cdot 3 \text{Al}_2\text{O}_3$  har de nævnte forbindelser som krystallisererte faser og vil begynde at smelte ved det ternære eutektikum hvor disse faser er i likevegt med en smelte av sammensætning  $\text{CaO}$  46,  $\text{MgO}$  6,3,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  47,7 ved  $1345^\circ$ . Smeltningens videre forløp efter at eutektikum er passert avhænger naturligvis av den oprindelige blandings sammensætning,

d. v. s. av hvilke bestanddele er i overvegt over den eutektiske sammensætning. For endel blandingers vedkommende vil det ovenfor beskrevne reaktionspunkt ved  $1450^{\circ}$  gjennemløpes under smelteperioden, og der vil herunder utkrystallisere CaO, som senere atter smelter. Andre blandinger vil smelte uten at reaktionspunktet passerer, og alt vil idetheletat forløpe som om der forelaa et trekomponentsystem av aller simpleste type, hvor de tre nævnte forbindelser er baade komponenter og eneste optrædende krystalliserte faser.

#### Systemet $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .

Komponenterne CaO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{SiO}_2$  danner to kongruent smeltende, ternære forbindelser nemlig  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , anortit og  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , gehlenit.

I dette system forekommer alle de forskjellige typer av grænsekurver og kvintupelpunkter som er antydnet i det foregaaende. Av de 20 kvintupelpunkter er 8 ternære eutektika og 7 reaktionspunkter, hvorav et med nedadvendt og seks med opadvendt gaffelgrening, og 5 omvandlingspunkter, hvor 2 av de 3 optrædende krystalliserte faser er enantiotrope modifikationer av samme forbindelse.

Det sees av diagrammet at triangelet CaO,  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ligger helt indenfor stabilitetsfeltet for CaO. I blandinger av de tre nævnte forbindelser vil altsaa CaO altid være den sidste fase som smelter helt ved ophetning og den første som krystalliserer ved avkjøling. Dette forhold henger sammen med at ingen av de to andre forbindelser har noget kongruent smeltepunkt.  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  spaltes saaledes ved  $1535^{\circ}$  i CaO og smelte av sammensætning CaO 59,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  41 (binært reaktionspunkt) og  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  spaltes ved  $1900^{\circ}$  uten smelting i en blanding av CaO og  $\alpha-2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Spaltningen av  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ved  $1900^{\circ}$  bevirker at denne forbindelse, som tidligere omtalt, ikke kan bestaa i likevegt med smelte i systemet  $\text{CaO}-\text{SiO}_2$ , da liquiduskurvens laveste punkt i dette omraade av systemet er ved  $2065^{\circ}$  (eutektikum  $\text{CaO}-2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ). I ternære blandinger, hvis liquiduspunkter ligger under  $1900^{\circ}$ , vil derimot forbindelsen kunne være i likevegt med smelter. Det sees da ogsaa at der er et smalt triangel-



formet stabilitetsfelt for  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  som strækker sig fra  $1900^\circ$ , hvor der er et reaktionspunkt med nedadvendt gaffelgrening, til  $1470^\circ$  og  $1455^\circ$ , hvor der er to reaktionspunkter med opadvendt gaffelgrening.

Alle blandinger av  $\text{CaO}$ ,  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  og  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  som har krystalliseret under likevegt vil ved ophetning begynde at smelte ved  $1470^\circ$ , idet der foregaar en reaktion som bestaar i krystallisation av  $\text{CaO}$  paa bekostning av de to andre forbindelser som samtidig fortæres helt eller delvis under dannelse av en smelte av sammensætning  $\text{CaO}$  59,7,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  32,8,  $\text{SiO}_2$  7,5. Faseomsætningen ved fortsat varmetilførsel kan naturligvis foregaa efter forskjellige skemaer alt efter blandingens totalsammensætning. I en del  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -fattige blandinger gjenngaar f. eks.  $\text{CaO}$  flere perioder av krystallisation og smeltning under blandingernes »smelteperioder», uten at den dog nogengang forsvinder helt førend liquiduspunktet for vedkommende blanding er naadd. Efterat en saadan blanding har passert det ternære reaktionspunkt ( $1470^\circ$ ) og  $\text{CaO}$  har krystalliseret, vil saaledes fortsat varmetilførsel bringe den til at smelte sammen med  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  under temperaturstigning indtil smeltens temperatur og sammensætning er uttrykt ved berøringspunktet for den tangent til grænsekurven som gaar gjennem sammensætningspunktet for  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Derefter vil videre ophetning bevirke at  $\text{CaO}$  igjen krystalliserer, mens  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  fortsætter at smelte indtil reaktionspunktet ved  $1900^\circ$  er naadd. Reaktionen ved dette punkt bestaar i fortsat krystallisation av  $\text{CaO}$  og fuldstændig smeltning av  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  med samtidig utkrystallisation av  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Ved fortsat ophetning vil dernæst  $\text{CaO}$  og  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  smelte samtidig til al  $\alpha\text{-}2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  er fortæret, hvorefter  $\text{CaO}$  smelter som den sidste rest, og smelten endelig faar blandingens totalsammensætning.

Disse forhold utledes uten vanskelighet av det fuldstændige diagram, hvorav det ogsaa er mulig at beregne mængden av de enkelte faser for hvert trin av smelteintervallet.

Blandinger inden triangelet  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  vil begynde at smelte ved  $1450^\circ$ , idet der dannes en smelte av det tilsvarende kvintupelpunkts sammensætning. I smelteintervallet for saadanne blandinger kan der ogsaa fore-



komme avvekslende krystallisations- og smelteperioder for de enkelte faser. Som diagrammet viser omfatter det betragtede triangel endel av stabilitetsfeltet for CaO. Da denne fase ikke findes i det helt krystalliserede produkt, dannes den altsaa under smelteperioden paa bekostning av de andre faser.

De tre nævnte forbindelser,  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  og  $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  utgjør hovedbestanddelene i portland cement. I cementen forekommer desuten ofte mindre mængder CaO og  $5 \text{CaO} \cdot 3 \text{Al}_2\text{O}_3$  samt visse andre bestanddele, hvorav  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO og alkalier er de viktigste.

Forbindelser av CaO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{SiO}_2$  utgjør i almindelighet ca. 90 pct. av cementklinkeren, og det er godtgjort at en substans med alle cementens værdifulde egenskaper kan fremstilles av rene blandinger av de tre oksyder. En saadan blanding er f. eks. CaO 68.4,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  8,  $\text{SiO}_2$  23.6 som har meget nær samme sammensætning som det omhandlede ternære reaktionspunkt ved  $1900^\circ$ . Den avgjort viktigste bestanddel er trikalciumpulver,  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , hvorav god cement som regel indeholder 30—35 pct. Fabrikationen av portland cement bør altsaa foregaa saaledes at mest mulig av dette silikat faar anledning til at krystallisere. Trikalciumpulver dannes paa den maate at først  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  krystalliserer ved kombination av komponenterne, hvorefter dette silikat etterhvert — og lettest ved høie temperaturer — optar CaO og danner  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . En omhyggelig finmaling og blanding av bestanddelene og brænding ved høiest mulige temperaturer vil altsaa paaskynde de reaktioner, hvorved dette værdifulde silikat dannes. Disse operationer frembyr ingen større tekniske vanskeligheter, men de er kostbare og det er naturligvis ønskelig at f. eks. brændingen kan reduceres mest mulig, baade med hensyn til temperatur og varighet. Det synes at være de tilstedeværende »flussmidlers« funktion at muliggjøre en simplere brænding av cementen. Det sees av det foregaaende at allerede de rene blandinger av CaO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{SiO}_2$  har et »flusspunkt« ved  $1455^\circ$ , hvis tilstedeværelse skyldes den lille mængde  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , som er blandet til de CaO— $\text{SiO}_2$ -holdige bestanddele. Ved tilsætning av andre bestanddele, vil flusspunktet nedsættes, men den nøiagtige indflydelse av de forskjellige substanser er endnu ikke bestemt. Av de foreliggende data kan

det dog f. eks. forutsiges, at en delvis erstatning av  $\text{Al}_2\text{O}_3$  med  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  som flussmiddel ganske sikkert vil nedsætte flusspunktet betragtelig — rimeligvis flere hundrede grader. Under virkningen av flussen, altsaa den del av cementblandingen som smelter under brændingen, vil dannelsen av den ønskelige mængde  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  kunne foregaa selv ved forholdsvis lave temperaturer og ved en kortvarig brænding.

#### Systemet $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .

Komponenterne  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  og  $\text{SiO}_2$  danner en inkongruent smeltende forbindelse, hvis sammensætning varierer med sammensætningen av den blanding, hvorfra den er krystalliseret. Den indgaar i en serie av faste opløsninger (hvori  $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$  er hovedbestanddelen) og staar mineralet kordierit meget nær i krystallografiske og optiske egenskaper.

Denne ternære forbindelse optræder i to former, en stabil  $\alpha$ -form og en ustabil  $\mu$ -form. Den ustabile form krystalliserer fra underkjølede smelter (glas) ved temperaturer under  $900^\circ$ , men omvandles ved høiere temperaturer raskt til  $\alpha$ -formen. Den kan ikke dannes ved omvandling av  $\alpha$ -formen og er altsaa monotrop i forhold til denne.

Av systemets 7 kvintupelpunkter er 3 ternære eutektika og 4 reaktionspunkter, hvorav 1 med nedadvendt og 3 med opadvendt gaffelgrening.

De faseomsætninger, hvori den ternære forbindelse (kordierit) deltar, vil arte sig noget forskjellig fra de som hittil er beskrevet paa grund av denne forbindelses evne til at danne faste opløsninger med andre forbindelser. En nærmere redegjørelse for disse forhold kan dog ikke medtages her<sup>1</sup>.

Forøvrig byr ikke systemets faserelationer paa noget som ikke fremgaar med tilstrækkelig tydelighet av diagrammet og tabellerne.

Det sees at blandinger inden triangelet  $\text{MgO}$ ,  $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , altsaa magnesia »forurenset« med kiselsyre og lersjord (eller f. eks. med en ren, jern-, kalk- og alkalifri lersubstans), ikke begynder at smelte førend ved ca.  $1700^\circ$ . Man kan

<sup>1</sup> Se de originalavhandlingar hvortil henvisning er git i slutten av artikelen.



altsaa gaa ut fra at magnesia som kun indeholder litt tilblanding av denne art vil være tilstrækkelig ildfast for de fleste øiemed, da en »smeltning« av produktet i praktisk forstand først vil finde sted ved en betydelig høiere temperatur end  $1700^{\circ}$ . Naar disse blandinger er brændt paa en saadan maate at likevegt er opnaadd, bestaar de av forsterit, spinel og periklas. Da ingen av disse bestanddele har nogen ufordelagtige egenskaper, skulde altsaa »magnesit« kunne være betydelig forurenset med kiselsyre og lerjord uten at den blir ubrukelig som ildfast materiale.

#### Systemet $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ .

I blandinger av  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  og  $\text{SiO}_2$ , kan der dannes 4 ternære forbindelser, nemlig  $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2 \text{SiO}_2$  (diopsid),  $2 \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2 \text{SiO}_2$  (åkermanit),  $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  (monticellit) og  $5 \text{CaO} \cdot 2 \text{MgO} \cdot 6 \text{SiO}_2$ . De to førstnævnte har kongruente og de to sidstnævnte inkongruente smeltepunkter.

Systemet har 14 kvintupelpunkter av hvilke 6 er ternære eutektika, 7 reaktionspunkter og et omvandlingspunkt.

Karakteristisk for dette system er den store utstrækning, hvori de forskjellige forbindelser danner faste opløsninger.

Diopsid,  $\text{MgO} \cdot \text{CaO} \cdot 2 \text{SiO}_2$ , danner en ubrutt række av faste opløsninger med  $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , klinienstatit. Denne blandingsserie forekommer som naturlige mineraler, pyroxener, som dog som oftest er jernholdige. Montecellit,  $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ , optar endel forsterit,  $2 \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$  i fast opløsning og danner krystaller som har meget tilfælles med forsterit. Åkermanit,  $2 \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2 \text{SiO}_2$ , og forbindelsen  $5 \text{CaO} \cdot 2 \text{MgO} \cdot 6 \text{SiO}_2$ , danner hver for sig forskjellige serier av faste opløsninger med de andre forbindelser. Wollastonit og pseudowollastonit danner ogsaa rækker av faste opløsninger med de øvrige forbindelser.

Blandinger inden triangelet  $\text{CaO}$ ,  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  vil under likevegtsbetingelser først begynde at smelte ved en temperatur som ligger over  $1900^{\circ}$ . (Det ternære eutektikum for disse forbindelser er ikke nøiagtig bestemt.) Ved temperaturer under  $1900^{\circ}$ , altsaa i en tilstand, hvor der kun findes krystalliserte faser, vil der kunne optræde  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Denne forbindelse dannes, som tidligere nævnt, ved kombination av  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  og  $\text{CaO}$  og der kræves høie temperaturer og en intim blanding



av bestanddelene for at denne kombination skal kunne foregaa i nogen større utstrækning.

Paa grundlag av disse forhold kan man gjøre interessante betragninger over kvartsholdig dolomit og let finde forklaringen paa flere av de eiendommeligheter som saadan dolomit viser. Det er en vel kjendt erfaring, at kiselsyreholdig dolomit efter brændingen viser det før omtalte fænomen »støvning« som skyldes volumforøkelsen av  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ved overgang fra høi- til lavtemperatur form ( $\beta$ - til  $\gamma$ -form). Under brændingen dannes der

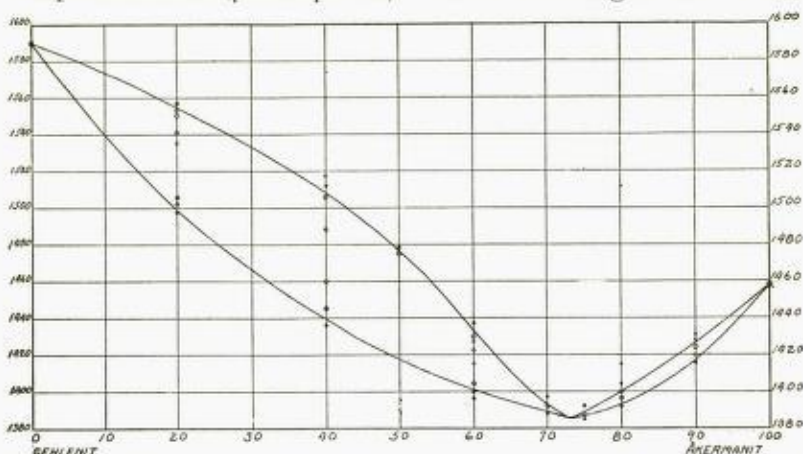


Fig. 4.

altsaa  $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  tiltrods for at der ifølge sammensætningen, hvis bestanddelene var i likevegt, skulde dannes  $3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Den reaktion ( $2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CaO} = 3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) hvorved dette silikat dannes, har altsaa ikke hat tid til at fuldendes.

### Flerkomponentsystemer.

Av systemer med flere end tre komponenter er firekomponentsystemet  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  underkastet endel foreløbige undersøkelser, mens de øvrige systemer ligger helt ubearbeidet.

Der er bestemt tre invariante punkter i dette system, nemlig det ternære eutektikum anortit — klinoenstatit — kristobalit ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 - \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 - \text{SiO}_2$ ), det ternære reaktionspunkt anortit — klinoenstatit — forsterit ( $2 \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ) og et punkt i

det binære delsystem åkermanit — gehlenit ( $2 \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2 \text{SiO}_2 - 2 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ).

I det sidstnævnte system er der en kontinuerlig række av faste opløsninger mellem de to forbindelser med et minimum ved sammensætningen 26 pct. gehlenit, 74 pct. åkermanit og temperaturen  $1388^\circ$ .

De nævnte invariante punkters forhold fremgaar forøvrig av tab. III. Likevegtsdiagrammet for systemet åkermanit — gehlenit er gjengit i fig. 4 efter Ferguson & Buddington (se p. 52).

Foruten hvad der er omtalt i det foregaaende, foreligger der ogsaa spredte undersøkelser over andre — mere sjeldne — ildfaste oksyder, men de fleste av de utførte bestemmelser av smeltepunkter m. v. kan ikke gjøre krav paa nogen høi grad av nøiagtighet. Der kjendes ingen præcisionsundersøkelser over to- og trekomponentsystemer av disse oksyder eller deres blandinger med de almindelige oksyder. Disse undersøkelser vil derfor ikke omtales her.

Av den foregaaende fremstilling vil det tydelig sees, at der allerede er utført et ganske omfattende forskningsarbeide paa det her behandlede omraade, men det vil ogsaa være klart, at der endnu maa arbeides meget førend videnskapen kan sies at beherske alle problemer vedrørende de ildfaste oksyders fysi-kalske kemi.

Nedenstaaende tabel gir en oversigt over forholdet mellem de kjendte og de ukjendte omraader av dette forskningsfelt.

Antal komponenter i systemet	Antal systemer av komponenterne $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{MgO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}$			
	Mulige systemer	Systemer som er nogenlunde fuldstændig bearbejdet	Systemer som kun er delvis bearbejdet	Systemer som ikke er bearbejdet
1	6	4	2	0
2	15	6	2	7
3	20	4	0	16
4	15	0	1	14
5	6	0	0	6
6	1	0	0	1
	63	14	5	44

Det sees at man har rukket at gjøre nogenlunde fuldstændige eksperimentelle undersøkelser over ialt 14 av de 63 systemer, som kan dannes av de seks oksyder, mens fem systemer kun er foreløbig undersøkt og 44 praktisk talt ukjent.

De resultater som er naadd er frugten av et møisommelig arbeide, utført av mange forskere, som har hat de bedst mulige hjelpemidler til sin raadighet<sup>1</sup>. Naar man vet at disse undersøkelser — som kun omfatter de enkleste systemer — har tat en lang aarrække, vil det forstaaes, at der gjenstaar forskningsarbeide kanskje for flere generationer bare vedrørende de seks almindeligste ildfaste oksydens likevegtsforhold ved høie temperaturer.

Desuten maa det naturligvis erindres, at ikke ethvert problem er løst, om man kjender likevegtsbetingelserne fuldstendig for alle systemer. I de ildfaste stoffer som forekommer i praksis er der — likesom i de keramiske produkter idetheletat — som regel ikke likevegt mellem bestanddelene. Under fremstillingen av ildfaste produkter gjælder det imidlertid at stræbe efter at komme likevegtstilstanden saa nær som mulig, da produkterne ellers under indvirkning av de høie temperaturer, som de er bestemt til at brukes ved, vil undergaa skadelige omvandlinger. Et nøie kjendskap til likevegtsforholdene i samtlige systemer, maa derfor betragtes som et grundlag for en dypere forstaaelse av de ildfaste stoffers teknologi.

Der er ogsaa andre viktige sider av denne teknologi, som det ofte kan være nødvendig at gjøre til gjenstand for systematisk forskning — f. eks. raamaterialernes behandling og produkternes formning — men de fleste av de problemer som kommer i betragtning paa disse omraader er mere av ingeniørmæssig end videnskabelig natur. De vil nærmest danne specialproblemer for hver enkelt bedrift og kan vanskelig gjøres til gjenstand for den samme generelle behandling som de her betragtede fysikalsk-kemiske problemer.

---

<sup>1</sup> Hvilken arbeidsmengde der ligger bak de forholdsvis enkle data, som danner resultatene, vil man forstaa naar det meddeles, at f. eks. utarbeidelsen av det ene trekomponentsystem  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  krævet det meste av to forskeres tid i flere aar og nødvendiggjorde tilberedelsen av ca. 1000 forskjellige blandinger, hvormed der blev utført over 7000 eksperimenter med tilhørende mikroskopiske undersøkelser. I dette arbeide er ikke medregnet undersøkelsen av komponenten  $\text{SiO}_2$  som krævet et langvarig og indgaaende specialstudium.



Tabel I. Oksyder.

Formel	Mineralnavn Fysikalisk-kemisk betegnelse	Specifik vegt	Krystalsystem	Brytningsindices Na—lys	Stabilitets- omraade C°	Smelte- punkt C°
CaO	$\alpha$ -CaO	3.40	regulær	n = 1.832	ca. 420 <sup>1)</sup> — 2570	2570
MgO	Periklas	3.65	regulær	n = 1.734	< 2800	2800
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Korund	3.95	trigonal	$\omega = 1.768$ ; $\epsilon = 1.760$	< 2050	2050
	$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> $\beta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.30	hexagonal?	$\omega = 1.677$ ; $\epsilon = 1.635-1.650$ <sup>2)</sup>		
SiO <sub>2</sub>	$\alpha$ -Kvarts	(20°) 2.65 (561°) 2.55	trigonal	$\omega$ { (20°) = 1.544; $\epsilon$ (20°) = 1.553 (570°) = 1.535; $\epsilon$ (570°) = 1.543	< 575	< 1470 <sup>3)</sup>
	$\beta$ -Kvarts	(585°) 2.52 (900°) 2.53	hexagonal	$\omega$ (580°) = 1.533; $\epsilon$ (580°) = 1.540	575—870	
	$\alpha$ -Tridymit	2.27	pseudohexagonal (rombisk?)	n = 1.475	(< 200—275) <sup>4)</sup>	
	$\beta$ -Tridymit	ca. 2.30	hexagonal		870—1470	(1670) <sup>3)</sup>
	$\alpha$ -Kristoballit	2.33	pseudoregulær	n = 1.485	(< 117) <sup>5)</sup>	1710
	$\beta$ -Kristoballit	2.21	regulær	n = 1.459	1470—1710	
	Glas (-kvartsglas <sup>6)</sup> )	2.21				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematit	5.2	trigonal	$\omega = 3.22$ ; $\epsilon = 2.94$	6)	7)

1) Omvandlingen ved 420° til en lav temperaturform er lidt kjendt.

2)  $\beta$ -formen monotrop i forhold til  $\alpha$ -formen.

3) Ustabil smeltepunkt.

4) Ustabil omvandlingspunkt mellem  $\alpha$ - og  $\beta$ -tridymit.

5) Ustabil omvandlingspunkt mellem  $\alpha$ - og  $\beta$ -kristoballit.

6) Magnetiske omvandlinger ved + 40° og 678°.

7) Ved ophetning til høiere temperaturer avgr hematit surstof og gaar gradvis over til magnetit.

Tabel II.

Formel	Sammensætning vegts pct.				Mineralnavn Fysikalsk-kemisk betegnelse	Specifik vegt
	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub>			62.9	37.1	Sillimanit Glas	3.24
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		28.4	71.6		Spinel	3.5
2 MgO · SiO <sub>2</sub>		57.2		42.8	Forsterit	3.216
MgO · SiO <sub>2</sub>		40.1		59.9	Klinoenstatit β-MgO · SiO <sub>2</sub>	3.192
					Enstatit α'-MgO · SiO <sub>2</sub>	3.175
					β'-MgO · SiO <sub>2</sub>	
					Kupferit γ'-MgO · SiO <sub>2</sub>	2.857
					Glas	2.758
3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62.2		37.8			3.038
5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47.8		52.2		α-5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.828
					α'-5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Glas	
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.4		64.6			2.981
3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.8		75.2		α-3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.05
					α'-3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
3 CaO · SiO <sub>2</sub>	73.6			26.4		
2 CaO · SiO <sub>2</sub>	65.0			35.0	α-2 CaO · SiO <sub>2</sub>	3.27
					β-2 CaO · SiO <sub>2</sub>	3.28
					γ-2 CaO · SiO <sub>2</sub>	2.97
3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub>	58.2			41.8		
CaO · SiO <sub>2</sub>	48.2			51.8	Pseudowollastonit α-CaO · SiO <sub>2</sub>	2.912
					Wollastonit	2.915
					β-CaO · SiO <sub>2</sub>	2.904
					Glas	
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub>	20.1		36.6	43.3	Anortit Glas	2.765 2.700
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub>	40.8		37.2	22.0	Gehlenit Glas	3.038 2.884

1) Inkongruent smeltning.

2) Monotrop i forhold til β-MgO · SiO<sub>2</sub>.3) Monotrop i forhold til α-5 CaO · 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### Forbindelser.

Krystalsystem	Brytningsindices Na-lys	Stabilitets- omraade C°	Smeltepunkt C°
rombisk	$\alpha = 1.638, \beta = 1.624, \gamma = 1.653$ $n = 1.530$	< 1816	1816
regulær	$n = 1.723$	< 2135	2135
rombisk	$\alpha = 1.635, \beta = 1.651, \gamma = 1.670$	< 1890	1890
monoklin	$\alpha = 1.645, \beta = 1.647, \gamma = 1.655$	< 1557	(1557) <sup>1)</sup>
rombisk	$\alpha = 1.640, \beta = 1.646, \gamma = 1.652$	2)	
monoklin	$\beta = 1.585$	2)	
rombisk	$\alpha = 1.578, \beta = 1.585, \gamma = 1.591$ $n = 1.580$	2)	
regulær	$n = 1.710$	< 1535	(1535) <sup>1)</sup>
regulær rombisk?	$n = 1.608$ $\alpha = 1.687 \quad \gamma = 1.692$ $n = 1.662$	< 1455 3)	1455
monoklin?	$\alpha = 1.643, \beta = 1.655, \gamma = 1.663$	< 1600	1600
tetragonal? rombisk?	$\omega = 1.617, \varepsilon = 1.652$ $\alpha = 1.662, \beta = 1.671, \gamma = 1.674$	< 1720 4)	1720
monoklin?	$\beta = 1.715$	5) < 1900	
monoklin rombisk monoklin	$\alpha = 1.715, \beta = 1.720, \gamma = 1.737$ $\alpha = 1.717 \quad \gamma = 1.735$ $\alpha = 1.640, \beta = 1.645, \gamma = 1.654$	1420—2130 675—1420 < 675	2130
rombisk?	$\alpha = 1.641 \quad \gamma = 1.650$	< 1475	(1475) <sup>1)</sup>
pseudohexagonal (monoklin?)	$\alpha = 1.610 \quad \gamma = 1.654$	1200—1540	1540
monoklin	$\alpha = 1.616, \beta = 1.629, \gamma = 1.631$ $n = 1.628$	< 1200	
triklin	$\alpha = 1.576, \beta = 1.585, \gamma = 1.589$ $n = 1.575$	< 1550	1550
tetragonal	$\omega = 1.669, \varepsilon = 1.658$ $n = 1.638$	< 1590	1590

4) Monotrop i forhold til  $\alpha\text{-}3\text{CaO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$ .

5) Spaltes ved ophetning til 1900° uten smeltning i  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  og  $\text{CaO}$ .



Tabel II

Formel	Sammensætning vegts pct.				Mineralnavn Fysisk-kemisk betegnelse	Specifik vegt
	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>		
3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub>	50.9		30.9	18.2		
2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub>	41.2	14.7		44.1	Åkermanit Glas	2.944 2.955
CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub>	25.8	18.6		53.6	Diopsid Glas	3.275 2.854
CaO · MgO · SiO <sub>2</sub>	35.9	25.6		38.5	Monticellit <sup>3)</sup>	3.1
5 CaO · 2 MgO · 6 SiO <sub>2</sub>	38.9	11.1		50.0		
2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub>		13.7	34.6	51.7	Kordierit <sup>3)</sup> x-2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> μ-2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub>	2.6
	CaO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
FeO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		31.0	69.0		Magnetit	5.2
2 CaO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.2		58.8			
CaO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.9		74.1			

1) Inkongruent smeltning.

2) Spaltes ved ophetning til 1335° uten smeltning i 2 CaO · SiO<sub>2</sub> og CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

3) Danner faste oppløsninger med varierende sammensætninger, stabilitetsomraader og fysikalske egenskaper.

(fortsat)

Krystalsystem	Brytningsindices Na-lys	Stabilitets- omraade C°	Smeltepunkt C°
rombisk ?	$\alpha = 1.675$ $\gamma = 1.685$	2) < 1335	
tetragonal	$\omega = 1.631$ $\epsilon = 1.638$ $n = 1.641$	< 1458	1458
monoklin	$\alpha = 1.664$ , $\beta = 1.671$ , $\gamma = 1.694$ $n = 1.607$	< 1391	1391
rombisk	$\alpha = 1.639$ , $\beta = 1.646$ , $\gamma = 1.653$		(1436-1507) 1)
rombisk ?	$\alpha = 1.621$ , $\beta = 1.627$ , $\gamma = 1.635$		(1365) 1)
rombisk (hexagonal) hexagonal ?	$\alpha = 1.519-1.524$ , $\beta$ og $\gamma = 1.522-1.528$ $n = 1.535-1.560$	4)	(1345-1460) 1)
regulær	$n = 2.42$ 5)	6) < 1580	1580
(toaksig)	$\alpha = 2.25$	< 1436	(1436) 1)
(enaksig)	$\omega = 2.58$ , $\epsilon = 2.43$	< 1216	(1216) 1)

4) Monotrop i forhold til  $\alpha\text{-}2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ .

5) For bølgelængden  $\lambda = 700 \mu\mu$ .

6) Et reversibelt, magnetisk omvandlingspunkt ved  $530^\circ$ .

T a b e l I I I. Invariante punkter

(med uteladelse av de kongruent smeltende oksyders og forbindelsers smeltepunkter, som er gjengitt i tab. I og II).

Krystalliserte faser i likevekt med smelte	Likevegrtens art e = eutektikum r = reaktionspunkt	Smeltens sammensætning vegts pct.				Temperatur C°
		CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
$\alpha$ -CaO — MgO kalciumoksyd — periklas	e	67	33			2300
$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> korund — sillimanit	e			64	36	1810
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> sillimanit — kristoballit	e			13	87	1610
MgO — MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> periklas — spinel	e		45	55		2030
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> spinel — korund	e		2	98		1925
MgO — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> periklas — forsterit	e		65		35	1850
2 MgO · SiO <sub>2</sub> — $\beta$ -MgO · SiO <sub>2</sub> forsterit — kilnoenstatit	r		39		61	1557
$\beta$ -MgO · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> kilnoenstatit — kristoballit	e		35		65	1543
$\alpha$ -CaO — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumoksyd	r	62.2		37.8		1585
3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	e	50		50		1395
$\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	e	47		53		1400



$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ — $\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	e	33.5	66.5	1590
$\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> korund	e	24	76	1700
$\alpha$ -CaO — $\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> kalciumoksyd — kalciumorthosilikat	e	67.5	32.5	2065
$\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub>	r	55.5	44.5	1475
3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> pseudowollastonit	e	54.5	45.5	1455
$\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> pseudowollastonit — tridymit	e	37	63	1436
$\alpha$ -CaO — MgO — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumoxyd — periklas	r	51.5	6.2	43.3
MgO — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> periklas	e	46	6.3	47.7
MgO — $\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> periklas	e	41.5	6.7	51.8
MgO — MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> periklas — spinel	r	40.7	6.9	52.4
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> spinel	r	33.3	3.5	63.2
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> korund	r	21	5	74
$\beta$ -MgO · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> kloroenstatit — tridymit — cordierit (fast oplösn.)	e	20.3	18.3	61.4
SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> tridymit — kordierit (fast opl.) — sillimanit	r	10	23.5	66.5

Tabel III (fortsat)

Krystalliserede faser i likevegt med smelte	Likevægts art e = eutektikum r = reaktionspunkt	Smeltens sammensætning vegt pct.				Temperatur C°
		CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
<p><math>\alpha</math>-2 MgO · 2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5 SiO<sub>2</sub> — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> — MgO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kordierit (fast opløsn.) — sillimanit — spinel</p> <p>MgO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — <math>\alpha</math>-MgO · 2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5 SiO<sub>2</sub> — 2 MgO · SiO<sub>2</sub> spinel — kordierit (fast opløsn.) — forsterit</p> <p>2 MgO · SiO<sub>2</sub> — <math>\beta</math>-MgO · SiO<sub>2</sub> — <math>\alpha</math>-2 MgO · 2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5 SiO<sub>2</sub> forsterit — klinkenstatit — kordierit (fast opløsn.)</p> <p>2 MgO · SiO<sub>2</sub> — MgO — MgO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> forsterit — periklas — spinel</p> <p><math>\alpha</math>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — MgO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub> korund — spinel — sillimanit</p> <p>SiO<sub>2</sub> — CaO · MgO · 2 SiO<sub>2</sub> — 5 CaO · 2 MgO · 6 SiO<sub>2</sub> tridymit — diopsid — (fast opløsn.)</p> <p>SiO<sub>2</sub> — <math>\beta</math>-CaO · SiO<sub>2</sub> — 5 CaO · 2 MgO · 6 SiO<sub>2</sub> tridymit — wollastonit (fast opløsn.) — (fast opløsn.)</p> <p>SiO<sub>2</sub> — <math>\alpha</math>-CaO · SiO<sub>2</sub> — <math>\beta</math>-CaO · SiO<sub>2</sub> tridymit — pseudowollastonit — wollastonit (fast opløsn.)</p> <p><math>\alpha</math>-CaO · SiO<sub>2</sub> — <math>\beta</math>-CaO · SiO<sub>2</sub> — 5 CaO · 2 MgO · 6 SiO<sub>2</sub> pseudowollastonit — wollastonit (fast opløsn.) — (fast opløsn.)</p> <p><math>\alpha</math>-CaO · SiO<sub>2</sub> — 5 CaO · 2 MgO · 6 SiO<sub>2</sub> — 2 CaO · MgO · 2 SiO<sub>2</sub> pseudowollastonit — åkermanit</p> <p>5 CaO · 2 MgO · 6 SiO<sub>2</sub> — CaO · MgO · 2 SiO<sub>2</sub> — 2 CaO · MgO · 2 SiO<sub>2</sub> fast opløsn. — diopsid — åkermanit</p>	<p>r</p> <p>r</p> <p>e?</p> <p>e</p> <p>r</p> <p>e</p> <p>r</p> <p>r</p> <p>r</p> <p>r</p> <p>r</p> <p>e</p>	<p>16.1</p> <p>25.7</p> <p>25</p> <p>56</p> <p>15.2</p> <p>8</p> <p>ca. 31</p> <p>31.3</p> <p>31.4</p> <p>36.7</p> <p>36</p>	<p>34.8</p> <p>22.8</p> <p>21</p> <p>16</p> <p>42</p> <p></p> <p>ca. 8</p> <p>7.2</p> <p>7.6</p> <p>12.3</p> <p>12.6</p>	<p>49.1</p> <p>51.5</p> <p>54</p> <p>28</p> <p>42.8</p> <p>61.4</p> <p>ca. 61</p> <p>61.5</p> <p>61</p> <p>51</p> <p>51.4</p>	<p>1460</p> <p>1370</p> <p>1360</p> <p>1700</p> <p>1575</p> <p>1320</p> <p>1330</p> <p>1335</p> <p>1340</p> <p>1365</p> <p>1350</p>	

2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> — MgO · CaO · 2 SiO <sub>2</sub> åkermanit — forsterit — diopsid	e	29.8	20.2	50	1357
2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> pseudowollastonit åkermanit	e	49.2	6.3	44.5	1377
β-2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> kalciumorthosilikat åkermanit	r	49.5	6.2	44.3	1387
2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · SiO <sub>2</sub> — CaO · MgO · SiO <sub>2</sub> åkermanit — kalciumorthosilikat — monticellit (fast opløsn.)	e	39	18.3	42.7	1436
2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> — CaO · MgO · SiO <sub>2</sub> åkermanit — forsterit — monticellit (fast opløsn.)	r	33.3	22.3	44.4	1436
MgO — CaO · MgO · SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · SiO <sub>2</sub> periklas — monticellit (fast opløsn.) — kalciumorthosilikat	r	37.3	22.3	40.3	1498
MgO — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> — CaO · MgO · SiO <sub>2</sub> periklas — forsterit — monticellit (fast opløsn.)	r	32.1	26.4	41.5	1502
MgO — α-CaO — α-2 CaO · SiO <sub>2</sub> periklas — kalciumoksyd — kalciumorthosilikat	e	?	?	?	> 1900
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> — α-CaO · SiO <sub>2</sub> anortit — tridymit — pseudowollastonit	e	23.2	14.8	62.0	1170
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> anortit — sillimanit — tridymit	e	9.8	19.8	70.4	1345
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — α-CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit pseudowollastonit	e	47.2	11.8	41.0	1310
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — α-3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit	e	37.5	53.3	9.2	1505
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — α-CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit — anortit — pseudowollastonit	e	38	20	42	1265
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit — anortit — korund	e	29.2	39	31.8	1880



Table III (fortsat)

Krystalliserede faser i likevegt med smelte	Likevegtens art e = eutektikum r = reaktionspunkt	Smeltens sammensætning vegts pct.			Temperatur C°
		CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub>	
$\beta$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumorthosilikat	e	49.5		43.7 6.8	1335
$\beta$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumorthosilikat	e	52		41.2 6.8	1335
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> anortit — korund — sillimanit	r	15.6		36.5 47.9	1512
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — $\beta$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit — kalciumorthosilikat	r	48.3		42.0 9.7	1380
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — $\beta$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit — kalciumorthosilikat	r	48.2		11.9 39.9	1385
$\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit — korund	r	31.2		44.5 24.3	1475
3 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> kalciumorthosilikat	r	58.3		33.0 8.7	1455
$\alpha$ -CaO — 3 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumoksyd — trikalciumsilikat	r	59.7		32.8 7.5	1470
$\alpha$ -CaO — $\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · SiO <sub>2</sub> kalciumoksyd — kalciumorthosilikat — trikalciumsilikat	r	68.4		9.2 22.4	1900
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> anortit — pseudowollastonit	e	34.1		18.6 47.3	1299
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> anortit — tridymit	e	10.5		19.5 70.0	1350

2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit — kalciumorthosilikat	e	49.6	23.7	26.7	1545
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> anortit — korund	e	19.3	39.3	41.4	1547
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit	e	37.8	52.9	9.3	1512
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — 2 · 3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit	e	35	50.8	14.2	1552
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> anortit — gehlenit	e	30.2	36.8	33.0	1385
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit — pseudowollastonit	e	45.7	13.2	41.1	1316
5 · 2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 2 · 5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumorthosilikat	e	51.3	41.8	6.9	1350
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — 5 MgO · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> anortit — klinkenstätt — tridymit	e	10.2	9.4	18.5	1222
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — 5 MgO · SiO <sub>2</sub> — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> anortit — klinkenstätt — forsterit	r	11.0	14.6	54.2	1260
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> (26 pct.) + 2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> (74 pct.) fast opløsning gehlenit — akermanit	1)	41.1	10.9	38.3	1388

1) Likevekten består mellem en fast opløsning af den givne sammensætning og en smelte af samme sammensætning ved en minimumstemperatur (1388°), hvor likevegtsdiagrammets solidus- og liquiduskurver berører hinanden (se fig. 4).

### Litteraturfortegnelse.

Nedenfor henvises til de vigtigste av de publikationer fra Det geofysiske laboratorium, som omhandler ildfaste oksyder.

C. N. Fenner, Die Stabilitätsbeziehungen der Kieselsäureminerale. Zeitschr. anorg. Chem. 85, 133 (1914).

Samme avhandling ogsaa trykt i Amer. Journ. Science (4), 36, 338 (1913).

R. B. Sosman, The Physical Chemistry of Seger Cones. Transactions Amer. Ceramic Soc. 15, 482 (1913).

Olaf Andersen & N. L. Bowen, Das binäre System Magnesiumoxyd-Silicium-2-oxyd. Zeitschr. anorg. Chem. 87, 283 (1914).

Samme avhandling ogsaa trykt i Amer. Journ. Science (4) 37, 487 (1914).

N. L. Bowen, The Ternary System: Diopside-Forsterite-Silicia. Amer. Journ. Science, (4), 38, 207 (1914).

G. A. Rankin & F. E. Wright, Das ternäre System: Calciumoxyd—Aluminiumoxyd-Silicium-2-oxyd. Zeitschr. anorg. Chem. 92, 213, (1915).

Samme avhandling ogsaa trykt i Amer. Journ. Science (4), 39, 1, (1915).

Olaf Andersen, Das System: Anortit-Forsterit-Kieselsäure. Neues Jahrbuch Min. Geol. Beil. B. XL, 701 (1916).

Samme avhandling ogsaa trykt i Amer. Journ. Science (4), 39, 407 (1915).

G. A. Rankin & H. E. Merwin, The Ternary System:  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MgO}$ , Journ. Amer. Chem. Soc. 38, 568 (1916).

R. B. Sosman & J. C. Hostetter, The oxides of iron, I. Solid solution in the system  $\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Journ. Amer. Chem. Soc. 38, 807 (1916).

J. C. Hostetter & R. B. Sosman, The dissociation of ferric oxide in air. Journ. Amer. Chem. Soc. 38, 1188 (1916).

J. B. Ferguson & H. E. Merwin, The ternary System:  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ . Amer. Journ. Science, (4), 48, 81 (1919).

R. B. Sosman, The common refractory oxides. Journ. Ind. Engin. Chem. 8, 985 (1916).

Samme avhandling ogsaa trykt i Trans. Faraday Soc. Vol XII (1917).

R. B. Sosman & H. E. Merwin, Preliminary report on the system Lime-Ferric Oxide. Journ. Washington Acad. Science, 6, 532 (1916).

R. B. Sosman, Some problems of the oxides of iron. Journ. Washington Acad. Science, 7, 55 (1917).

G. A. Rankin & H. E. Merwin, The ternary system  $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Amer. Journ. Science, (4), 45, 301 (1918).

J. B. Ferguson & H. E. Merwin, The melting points of Cristobalite and tridymite. Amer. Journ. Science, (4), 46, 417, (1918).

J. B. Ferguson & A. F. Buddington, The binary system Åkermanite-Gehlenite. Amer. Journ. Science, (4), 50, 131 (1920).



## Summary.

In the present paper an attempt is made to summarize briefly the most reliable results of recent high temperature investigations of refractory oxides. As practically all the exact work in this field is done at the Geophysical Laboratory of the Carnegie Institution the paper is in substance a brief review of those of the publications from the Geophysical Laboratory that deal particularly with refractory oxides and with systems having two, three, and partly four of these oxides as components.

Tables I (p. 41) and II (pp. 42—45) contain the properties of the pure oxides (I) and their compounds (II). The main columns of these tables are headed: Formula; Composition, weight percent (in table II only); Mineral name, physico-chemical denotation; Specific gravity; Crystal system; Refractive indices; Region of stability, C°; Melting point, C°.

Table III (pp. 46—51) contains the data fixing the invariant points of those of the composite systems which have been worked out in detail (excluding the melting points of the pure oxides and their stable compounds which are given in tables I and II). The four main columns of the table are headed: Crystallized phases in equilibrium with melt; Type of equilibrium, e = eutectic point, r = reaction point; The composition of the melt, weight per cent; Temperature, C°.

The plates I and II are reproduced after R. B. Sosman's paper on the common refractory oxides (see references p. 52) with some minor changes and additions made necessary by data published after the appearance of Sosman's paper.

The text of the paper explains the numerical data of the tables and the diagrams of the plates. In the introduction (*»Indledning«* pp. 5—7) it is pointed out how the technology of ceramics and especially refractories may benefit from the exact experimental work on the problems of physico-chemical petrology.

The section headed »Metoder« (pp. 7—11) gives a very brief outline of the methods employed in the study of high temperature equilibria. Under the main heading »Resultater« (pp. 11—39) all the examined systems of the 6 oxides  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{FeO}$  are described, brief remarks on the application of the scientific data to practical problems being included. The systems are described in the order of increasing complexity, and a few notes explaining the general phase rule principles of the diagrams are inserted. In the concluding paragraphs (pp. 39—40) the limitations of our present knowledge of high temperature equilibria is emphasized. It appears from the table p. 39 that of the 63 possible systems containing one or more of the 6 components listed, only 14 are fairly completely worked out, while 5 are partly studied and 44 practically unknown.

The list of references p. 52 contains a selection of the papers from the Geophysical Laboratory that may be consulted by those who want more detailed information than the present synopsis can give.



# ALMINDELIGE ILDFASTE OKSYDER.

Oversigt over de mest karakteristiske konstanter for oksyderne og deres kemiske forbindelser.

(Efter Olat Andersen, Ildfaste oksyders fysikalske kemi, N. G. U. Nr. 101).

Tabel I. Oksyder.

Formel	Mineralnavn Fysikalsk-kemisk betegnelse	Specifik vægt	Krystalssystem	Bryningsindices Na-lys	Stabilitets- område C°	Smelte- punkt C°
CaO	$\alpha$ -CaO	3.40	regulær	n = 1.832	ca. 420 <sup>1)</sup> —2570	2570
MgO	Periklas	3.65	regulær	n = 1.734	< 2800	2800
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Korund $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.95	trigonal	$\omega = 1.768$ ; $\epsilon = 1.760$	< 2050	2050
	$\beta$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.30	hexagonal <sup>2)</sup>	$\omega = 1.677$ ; $\epsilon = 1.635-1.650$		
	$\alpha$ -Kvarts $\beta$ -Kvarts	(20 <sup>3)</sup> 2.65 (561 <sup>3)</sup> 2.55 (585 <sup>3)</sup> 2.52 (900 <sup>3)</sup> 2.53	trigonal hexagonal	$\omega \left\{ \begin{array}{l} (20^\circ) = 1.544 \\ (570^\circ) = 1.585; \epsilon \left\{ \begin{array}{l} (20^\circ) = 1.553 \\ (570^\circ) = 1.543 \end{array} \right. \\ (580^\circ) = 1.533; \epsilon \left\{ \begin{array}{l} (580^\circ) = 1.540 \end{array} \right. \end{array} \right.$	< 575 575—870	< 1470 <sup>3)</sup>
SiO <sub>2</sub>	$\alpha$ -Tridymit	2.27	pseudohexagonal (rombisk <sup>2)</sup> )	n = 1.475	< 200—275 <sup>4)</sup>	< 1470 <sup>3)</sup>
	$\beta$ -Tridymit	ca. 2.30	hexagonal	n = 1.485	870—1470	(1670) <sup>3)</sup>
	$\alpha$ -Kristobalit	2.33	pseudoregulær	n = 1.485	< 117 <sup>5)</sup>	
	$\beta$ -Kristobalit Glas (+Kvartsglas-)	2.21 2.21	regulær	n = 1.459	1470—1710	1710
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hematit	5.2	trigonal	$\omega = 3.22$ ; $\epsilon = 2.94$		

1) Omvandlingen ved 420° til en lav temperaturform er illet kjendt.

2)  $\beta$ -formen monotrop i forhold til  $\alpha$ -formen.

3) Ustabil smeltepunkt.

4) Ustabil omvandlingspunkt mellem  $\alpha$ - og  $\beta$ -tridymit.

5) Ustabil omvandlingspunkt mellem  $\alpha$ - og  $\beta$ -kristobalit.

6) Magnetiske omvandlinger ved + 40° og 678°.

7) Ved opbejling til højere temperaturer afgir hematit surstof og gaar gradvis over til magnetit.

Tabel II. Forbindelser.

Formel	Sammensætning vægt pct.				Mineralnavn Fysikalsk-kemisk betegnelse	Specifik vægt	Krystalssystem	Bryningsindices Na-lys		Stabilitets- område C°	Smeltepunkt C°
	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>				$\omega$	$\epsilon$		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub>			62.9	37.1	Sillimanit Glas	3.24	rombisk	$\alpha = 1.638$ , $\beta = 1.624$ , $\gamma = 1.653$ n = 1.530		< 1816	1816
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		28.4	71.6		Spinel	3.5	regulær	n = 1.723		< 2135	2135
2 MgO · SiO <sub>2</sub>		57.2	42.8		Forsterit	3.216	rombisk	$\alpha = 1.635$ , $\beta = 1.651$ , $\gamma = 1.670$		< 1890	1890
MgO · SiO <sub>2</sub>					Klinonstatit $\beta$ -MgO · SiO <sub>2</sub> Enstatit	3.192	monoklin	$\alpha = 1.645$ , $\beta = 1.647$ , $\gamma = 1.655$		< 1557	(1557) <sup>1)</sup>
		40.1	59.9		$\alpha'$ -MgO · SiO <sub>2</sub> $\beta$ -MgO · SiO <sub>2</sub> Kupferit	3.175	rombisk	$\alpha = 1.640$ , $\beta = 1.646$ , $\gamma = 1.652$		2)	2)
					$\gamma$ -MgO · SiO <sub>2</sub> Glas	2.857	rombisk	$\alpha = 1.578$ , $\beta = 1.585$ , $\gamma = 1.591$ n = 1.580		2)	2)
						2.758					
3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62.2		37.8			3.038	regulær	n = 1.710		< 1535	(1535) <sup>1)</sup>
5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47.8		52.2		$\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> $\beta$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Glas	2.828	regulær rombisk <sup>2)</sup>	n = 1.608 $\gamma = 1.692$ n = 1.662		< 1455	1455
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.4		64.6		$\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> $\beta$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.981	monoklin <sup>2)</sup>	$\alpha = 1.643$ , $\beta = 1.655$ , $\gamma = 1.663$		< 1600	1600
3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.8		75.2			3.05	tetragonal <sup>2)</sup> rombisk <sup>2)</sup>	$\omega = 1.617$ , $\epsilon = 1.652$ $\alpha = 1.662$ , $\beta = 1.671$ , $\gamma = 1.674$		< 1720	1720
3 CaO · SiO <sub>2</sub>	73.6		26.4				monoklin <sup>2)</sup>	$\beta = 1.715$		5) < 1900	
2 CaO · SiO <sub>2</sub>	65.0		35.0		$\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> $\beta$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> $\gamma$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub>	3.27 3.28 2.97	monoklin rombisk monoklin	$\alpha = 1.715$ , $\beta = 1.720$ , $\gamma = 1.737$ $\alpha = 1.717$ , $\beta = 1.735$ , $\gamma = 1.735$ $\alpha = 1.640$ , $\beta = 1.645$ , $\gamma = 1.654$		1420—2130 675—1420 < 675	2130
3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub>	58.2		41.8				rombisk <sup>2)</sup>	$\alpha = 1.641$ , $\gamma = 1.650$		< 1475	(1475) <sup>1)</sup>
CaO · SiO <sub>2</sub>	48.2		51.8		Pseudowollastonit $\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> Wollastonit $\beta$ -CaO · SiO <sub>2</sub> Glas	2.912 2.915 2.904	pseudohexagonal (monoklin <sup>2)</sup> ) monoklin	$\alpha = 1.610$ , $\gamma = 1.654$ $\alpha = 1.616$ , $\beta = 1.629$ , $\gamma = 1.631$ n = 1.628		1200—1540 < 1200	1540
	20.1		36.6	43.3	Anortit Glas	2.765 2.700	triklin	$\alpha = 1.576$ , $\beta = 1.585$ , $\gamma = 1.589$ n = 1.575		< 1550	1550
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub>	40.8		37.2	22.0	Gehlenit Glas	3.038 2.884	tetragonal	$\omega = 1.669$ , $\epsilon = 1.658$		< 1590	1590
3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub>	50.9		30.9	18.2			rombisk <sup>2)</sup>	$\alpha = 1.675$ , $\gamma = 1.685$		6) < 1335	
2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub>	41.2	14.7	44.1		Åkermanit Glas	2.944 2.955	tetragonal	$\omega = 1.631$ , n = 1.641, $\epsilon = 1.638$		< 1458	1458
CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub>	25.8	18.6	53.6		Diopsid Glas	3.275 2.854	monoklin	$\alpha = 1.664$ , $\beta = 1.671$ , $\gamma = 1.694$ n = 1.607		< 1391	1391
CaO · MgO · SiO <sub>2</sub>	35.9	25.6	38.5		Monocellit <sup>7)</sup>	3.1	rombisk	$\alpha = 1.639$ , $\beta = 1.646$ , $\gamma = 1.653$		(1436-1507) <sup>1)</sup>	
5 CaO · 2 MgO · 6 SiO <sub>2</sub>	38.9	11.1	50.0				rombisk <sup>2)</sup>	$\alpha = 1.621$ , $\beta = 1.627$ , $\gamma = 1.635$		(1365) <sup>1)</sup>	
2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub>	13.7	34.6	51.7		Kordierit <sup>7)</sup> $\alpha$ -2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> $\beta$ -2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub>	2.6	rombisk (hexagonal) hexagonal <sup>2)</sup>	$\alpha = 1.519-1.524$ , $\beta$ og $\gamma = 1.522-1.528$ n = 1.535—1.560		8)	(1345-1460) <sup>1)</sup>
FeO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
	31.0	69.0			Magnetit	5.2	regulær	n = 2.42 <sup>9)</sup>		10) < 1580	1580
2 CaO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.2		58.8				(taalsig)	$\alpha = 2.25$		< 1436	(1436) <sup>1)</sup>
CaO · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.9		74.1				(enaksig)	$\omega = 2.58$ , $\epsilon = 2.43$		< 1216	(1216) <sup>1)</sup>

1) Inkongruent smeltning.

2) Monotrop i forhold til  $\beta$ -MgO · SiO<sub>2</sub>.

3) Monotrop i forhold til  $\alpha$ -5 CaO · 3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

4) Monotrop i forhold til  $\alpha$ -3 CaO · 5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

5) Spaltet ved opbejling til 1900° uden smeltning i 2 CaO · SiO<sub>2</sub> og CaO.

6) Spaltet ved opbejling til 1335° uden smeltning i 2 CaO · SiO<sub>2</sub> og CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

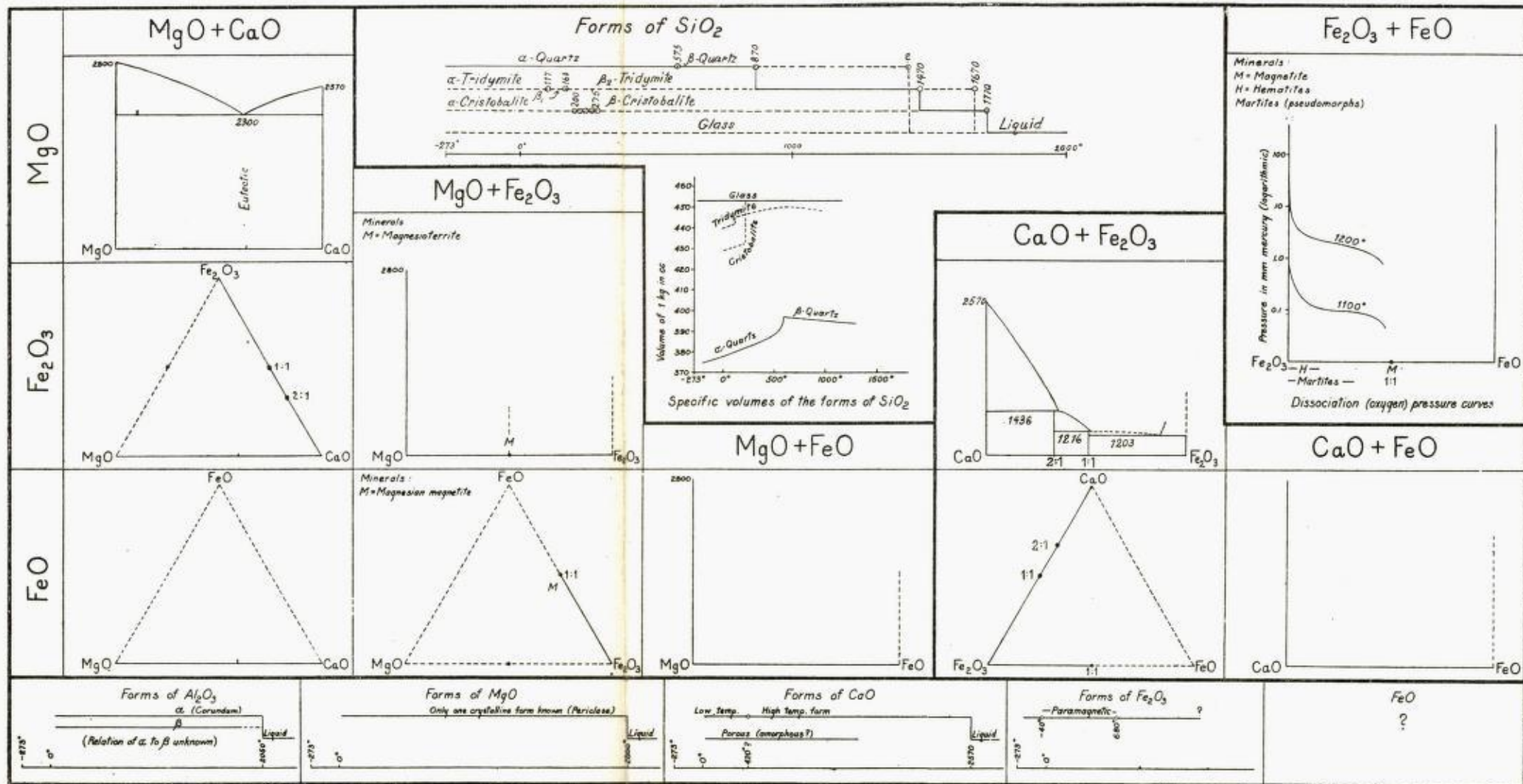
7) Danner faste opløsninger med varierende sammensætninger, stabilitets-områder og fysikalske egenskaber.

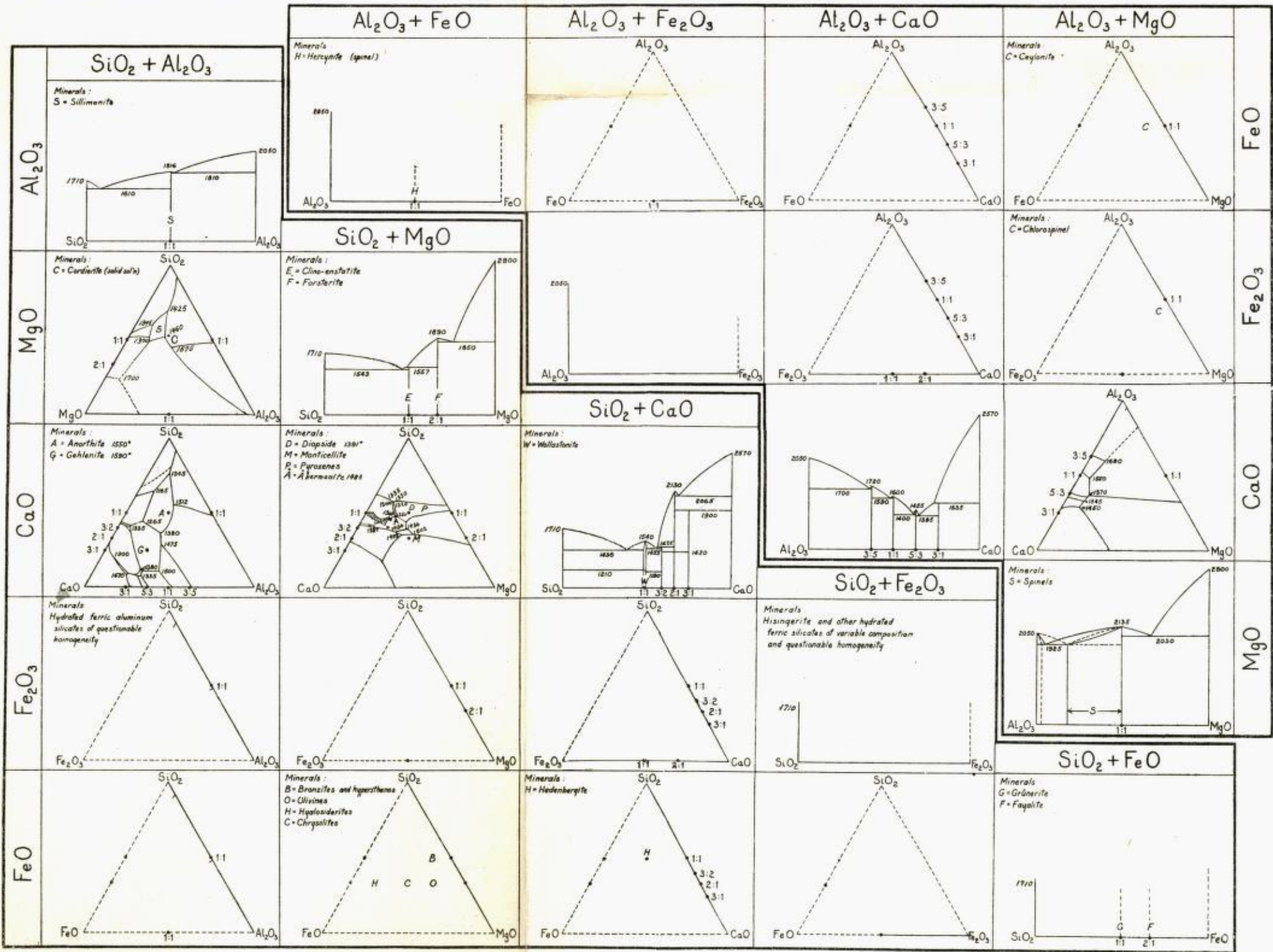
8) Monotrop i forhold til  $\alpha$ -2 MgO · 2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5 SiO<sub>2</sub>.

9) For bølglængden  $\lambda = 700 \mu$ .

10) Et reversibelt magnetisk omvandlingspunkt ved 530°.









# ALMINDELIGE ILDFASTE OKSYDER.

Oversigt over blandingsystemernes kjendte, invariante punkter ( $\varrho$ : temperaturer og sammensætninger som karakteriserer smeltninger og omvandlinger i blandingerne).

(Efter Olaf Andersen, Ildfaste oksyders fysikalske kemi, N. G. U. Nr. 101).

Tabel III. Invariante punkter

(med uteladelse av de kongruent smeltende oksyders og forbindelser smeltepunkter, som er gjengit i tab. I og II).

Krystalliserte faser i likevegt med smelte	Likevegtens art e = eutektikum r = reaktionspunkt	Smeltens sammensætning vegts pct.				Temperatur C°	Krystalliserte faser i likevegt med smelte	Likevegtens art e = eutektikum r = reaktionspunkt	Smeltens sammensætning vegts pct.				Temperatur C°
		CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>				CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
$\alpha$ -CaO — MgO kalciumoksyd — periklas	e	67	33			2300	$\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> pseudowollastonit — åkermanit	e	49.2	6.3		44.5	1377
$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> korund — sillimanit	e			64	36	1810	$\beta$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> kalciumorthosilikat — åkermanit	r	49.5	6.2		44.3	1387
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> sillimanit — kristobalit	e			13	87	1610	2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — CaO · MgO · SiO <sub>2</sub> åkermanit — kalciumorthosilikat — monticellit (fast oppløsn.)	e	39	18.3		42.7	1436
MgO — MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> periklas — spinel	e		45	55		2030	2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> — CaO · MgO · SiO <sub>2</sub> åkermanit — forsterit — monticellit (fast oppløsn.)	r	33.3	22.3		44.4	1436
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> spinel — korund	e		2	98		1925	MgO — CaO · MgO · SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> periklas — monticellit (fast oppløsn.) — kalciumorthosilikat	r	37.3	22.3		40.3	1498
MgO — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> periklas — forsterit	e		65		35	1850	MgO — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> — CaO · MgO · SiO <sub>2</sub> periklas — forsterit — monticellit (fast oppløsn.)	r	32.1	26.4		41.5	1502
2 MgO · SiO <sub>2</sub> — $\beta$ -MgO · SiO <sub>2</sub> forsterit — klinoenstatit	r		39		61	1557	MgO — $\alpha$ -CaO — $\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> periklas — kalciumoksyd — kalciumorthosilikat	e	?	?		?	> 1900
$\beta$ -MgO · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> klinoenstatit — kristobalit	e		35		65	1543	CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> anortit — tridymit — pseudowollastonit	e	23.2		14.8	62.0	1170
$\alpha$ -CaO — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumoksyd	r	62.2		37.8		1535	CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> anortit — sillimanit — tridymit	e	9.8		19.8	70.4	1345
3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	e	50		50		1395	2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit — pseudowollastonit	e	47.2		11.8	41.0	1310
$\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	e	47		53		1400	2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit	e	37.5		53.3	9.2	1505
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	e	33.5		66.5		1590	2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit — anortit — pseudowollastonit	e	38		20	42	1265
$\alpha$ -3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> korund	e	24		76		1700	2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit — anortit — korund	e	29.2		39	31.8	1380
$\alpha$ -CaO — $\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> kalciumoksyd — kalciumorthosilikat	e	67.5			32.5	2065	$\beta$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumorthosilikat	e	49.5		43.7	6.8	1335
$\alpha$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub>	r	55.5			44.5	1475	$\beta$ -2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — $\alpha$ -5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumorthosilikat	e	52		41.2	6.8	1335
3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> pseudowollastonit	e	54.5			45.5	1455	CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — $\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> anortit — korund — sillimanit	r	15.6		36.5	47.9	1512
$\alpha$ -CaO · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> pseudowollastonit — tridymit	e	37			63	1436							



kalciumoxyd — periklas	r	51.5	6.2	43.3	1450	
MgO — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — α-5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> periklas	e	46	6.3	47.7	1345	
MgO — α-5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> periklas	e	41.5	6.7	51.8	1345	
MgO — MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> periklas — spinel	r	40.7	6.9	52.4	1370	
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — α-3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> spinel	r	33.3	3.5	63.2	1550	
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — α-3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> spinel korund	r	21	5	74	1680	
β-MgO · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> — α-2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> klienostatit — tridymit — kordierit (fast opløsn.)	e		20.3	18.3	61.4	1345
SiO <sub>2</sub> — α-2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> tridymit — kordierit (fast opl.) — sillimanit	r		10	23.5	66.5	1425
α-2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kordierit (fast opløsn.) — sillimanit — spinel	r		16.1	34.8	49.1	1460
MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — α-MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> spinel — kordierit (fast opløsn.) — forsterit	r		25.7	22.8	51.5	1370
2 MgO · SiO <sub>2</sub> — β-MgO · SiO <sub>2</sub> — α-2 MgO · 2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 5 SiO <sub>2</sub> forsterit — klienostatit — kordierit (fast opløsn.)	e?		25	21	54	1360
2 MgO · SiO <sub>2</sub> — MgO — MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> forsterit — periklas — spinel	e		56	16	28	1700
α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — MgO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> korund — spinel — sillimanit	r		15.2	42	42.8	1575
SiO <sub>2</sub> — CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> — 5 CaO · 2 MgO · 6 SiO <sub>2</sub> tridymit — diopsid — (fast opløsn.)	e	30.6	8	61.4	1320	
SiO <sub>2</sub> — β-CaO · SiO <sub>2</sub> — 5 CaO · 2 MgO · 6 SiO <sub>2</sub> tridymit — wollastonit (fast opløsn.) — (fast opløsn.)	r	ca. 31	ca. 8	ca. 61	1330	
SiO <sub>2</sub> — α-CaO · SiO <sub>2</sub> — β-CaO · SiO <sub>2</sub> tridymit — pseudowollastonit — wollastonit (fast opløsn.)	r	31.3	7.2	61.5	1335	
α-CaO · SiO <sub>2</sub> — β-CaO · SiO <sub>2</sub> — 5 CaO · 2 MgO · 6 SiO <sub>2</sub> pseudowollastonit — wollastonit (fast opløsn.) — (fast opløsn.)	r	31.4	7.6	61	1340	
α-CaO · SiO <sub>2</sub> — 5 CaO · 2 MgO · 6 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> pseudowollastonit åkermanit	r	36.7	12.3	51	1365	
5 CaO · 2 MgO · 6 SiO <sub>2</sub> — CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> fast opløsn. — diopsid — åkermanit	e	36	12.6	51.4	1350	
2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> — MgO · CaO · 2 SiO <sub>2</sub> åkermanit — forsterit — diopsid	e	29.8	20.2	50	1357	

2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — β-2 CaO · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit — kalciumorthosilikat	r	48.3	42.0	9.7	1380	
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · 2 SiO <sub>2</sub> — β-2 CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit kalciumorthosilikat	r	48.2	11.9	39.9	1335	
α-3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — 2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit — korund	r	31.2	44.5	24.3	1475	
3 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> — α-2 CaO · SiO <sub>2</sub> kalciumorthosilikat	r	58.3	33.0	8.7	1455	
α-CaO — 3 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumoksyd — trikalciumsilikat	r	59.7	32.8	7.5	1470	
α-CaO — α-2 CaO · SiO <sub>2</sub> — 3 CaO · SiO <sub>2</sub> kalciumoksyd — kalciumorthosilikat — trikalciumsilikat	r	68.4	9.2	22.4	1900	
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — α-CaO · SiO <sub>2</sub> anortit — pseudowollastonit	e	34.1	18.6	47.3	1299	
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> anortit — tridymit	e	10.5	19.5	70.0	1359	
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — α-2 CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit — kalciumorthosilikat	e	49.6	23.7	26.7	1545	
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — α-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> anortit — korund	e	19.3	39.3	41.4	1547	
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit	e	37.8	52.9	9.3	1512	
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — α-3 CaO · 5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gehlenit	e	35	50.8	14.2	1552	
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — 2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> anortit — gehlenit	e	30.2	36.8	33.0	1385	
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> — α-CaO · SiO <sub>2</sub> gehlenit — pseudowollastonit	e	45.7	13.2	41.1	1316	
β-2 CaO · SiO <sub>2</sub> — α-5 CaO · 3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalciumorthosilikat	e	51.3	41.8	6.9	1350	
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — β-MgO · SiO <sub>2</sub> — SiO <sub>2</sub> anortit — klienostatit — tridymit	e	10.2	9.4	18.5	61.9	1222
CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2 SiO <sub>2</sub> — β-MgO · SiO <sub>2</sub> — 2 MgO · SiO <sub>2</sub> anortit — klienostatit — forsterit	r	11.0	14.6	20.2	54.2	1260
2 CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub> (26 pct.) + 2 CaO · MgO · 2 SiO <sub>2</sub> (74 pct.) fast opløsning gehlenit — åkermanit	1)	41.1	10.9	9.7	38.3	1388

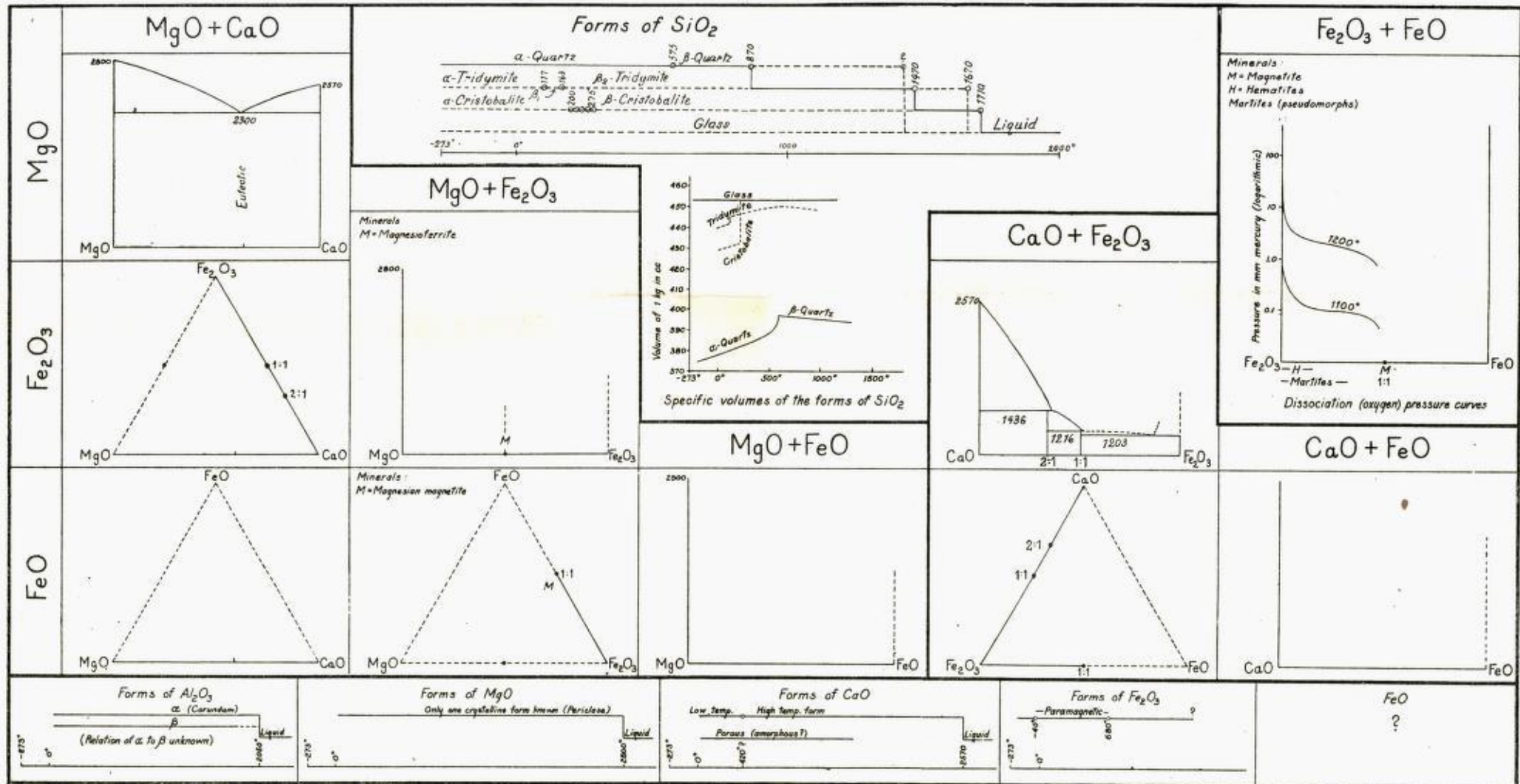
1) Likevegten består mellom en fast oppløsning av den givne sammensetning og en smelte av samme sammensetning ved en minimumstemperatur (1388°), hvor likevegtsdiagrammets solidus- og liquiduskurver berører hinanden.



# ALMINDELIGE ILDFASTE OKSYDER.

Likevegtsdiagrammer for en-, to- og trekomponentsystemerne.

(Efter Olaf Andersen, Ildfaste oksydens fysikalske kemi, N. G. U. Nr. 101. Reproducert med endel forandringer efter R. B. Sosman, Journ. Ind. Engin. Chem., 8, 1916).



	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MgO
		Minerals H = Hercynite (spinel)	Minerals C = Ceylanite	Minerals C = Ceylanite
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				

