

Werk

Titel: Übersichtliche Darstellung physikalischer Gemische durch "Netzebenen"

Autor: Zschimmer , E.

Ort: Berlin

Jahr: 1918

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0006 | LOG_0184

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Dezennien vorwiegend dem Ausbau seiner Lehre vom Licht- und Farbensinn zugewendet.

Hering war Meister der Sprache und Meister in der Kunst, die Ergebnisse mühevoller Einzelarbeit einem größeren Kreise in vollendeter Form, gewissermaßen im Festtagsgewande, vorzuführen und das Höchste und Schwerste in wundervollen Bildern und Gleichnissen dem Verständnis näherzubringen. Außer den schon vorhin erwähnten Vorträgen sei auf jenen über die spezifischen Sinnesenergien (Lotos 1884) hingewiesen und vor allem auf die berühmte Rede über das Gedächtnis als eine allgemeine Funktion der organisierten Materie, die durch Wiedergabe in *Ostwalds* Klassikern der Naturwissenschaften weiteren Kreisen zugänglich geworden ist. Der Naturforscher, dem Muße und Gelegenheit zum Studium fachwissenschaftlicher Schriften fehlt, erhält durch diesen Vortrag wohl am besten einen Eindruck von der Größe der wissenschaftlichen Persönlichkeit *Herings*.

Kraft und Güte waren in ihm in wundervoller Harmonie vereint und verliehen seinem Wesen einen seltenen Zauber, der ihm bis an sein Lebensende eigen blieb.

Vieles hat er unvollendet zurückgelassen. Die Wege, die er, unter Überwindung von Hemmnissen aller Art, gebahnt hat, werden der physiologischen Forschung, nicht nur auf dem Gebiete der Sinnenphysiologie, für lange Zeit die Richtung weisen.

Übersichtliche Darstellung physikalischer Gemische durch „Netzebenen“.

Von Dr. E. Zschimmer, Jena.

Die Kenntnis der Eigenschaften „physikalischer Gemische“ (*Nernst*) hat sich in den letzten Jahrzehnten außerordentlich erweitert. Für die Petrographie und wichtige Zweige der chemischen Technik, namentlich die Stahl- und Eisenindustrie, Metallindustrie, Keramik, Zement-, Emaille- und Glasindustrie ist der genaue Einblick in das Verhältnis der Mehrstoffsysteme unentbehrlich geworden, man hat daher begonnen, die schmelzflüssigen Gemische der Metalle, Metalloide, Silikate, Borate, Aluminate usw. eingehend zu studieren. Von hervorragender Bedeutung sind die Arbeiten von *van't Hoff*, des Carnegie-Instituts, *Tammanns* und seiner Schüler. Auf technischem Gebiete ist eine umfangreiche Literatur entstanden über Stahl und Eisen, Schlacken, Zement, Emaille, Glas usw.

Zur übersichtlichen Darstellung der Mischungsverhältnisse und davon abhängigen physikalisch-chemischen Eigenschaften bedient man sich für Zweistoffsysteme des gewöhnlichen rechtwinkligen Koordinatenpapiers. Bei Dreistoffsystemen wählt man entweder die bekannten Dreieckskoordinaten oder man berechnet die Be-

standteile des Gemisches wie bei Lösungen in der Weise, daß man einen Bestandteil gleich 1 oder 100 setzt und die Verhältnisse auf rechtwinkligem Koordinatenpapier zur Darstellung bringt; hierbei denkt man sich im Koordinatenursprung 1 bzw. 100 Teile des Lösungsmittels und auf den beiden Achsen die veränderlichen Werte der gelösten Bestandteile berechnet auf 1 oder 100 Teile Lösungsmittel aufgetragen. Will man weiter gehen und noch einen vierten Stoff oder eine abhängige Eigenschaft mit den drei übrigen Stoffen des Gemisches in Beziehung bringen, so liegt am nächsten die vielfach schon benutzte körperliche Darstellung. Ein bekanntes Beispiel bietet das für die Zementindustrie wichtige Dreistoffsystem Kieselsäure — Tonerde — Kalk¹⁾, nebst zugehörigen Schmelztemperaturen, wobei die Gebiete der flüssigen und kristallisierten Gemische und bei letzteren die Gebiete der auskristallisierten Verbindungen zur Anschauung kommen.

Die körperliche Darstellung hat den Nachteil, daß man in das Modell nicht hineinsehen kann, daher lassen sich räumlich abgesonderte Gebiete im Innern nicht übersehen, wie die in der Ebene abgegrenzten Flächenstücke eines physikalischen Gemisches, denen besondere Eigenschaften in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung entsprechen. Außerdem bleibt man bei den genannten Arten der bildlichen Darstellung auf vier Stoffe oder allgemein vier zueinander in Beziehung gesetzte Größen beschränkt. Für die Petrographie und für die mit schmelzflüssigen Gemischen arbeitenden Zweige der Technik kann die Kenntnis der einfachen zusammengesetzten Stoffgemische aber keinesfalls genügen, da es sich praktisch zumeist um die verwickelten Beziehungen von mehr als 4 Stoffen in den Gemischen handelt. Um die Verhältnisse bei solchen komplizierteren Gemischen wenigstens innerhalb gewisser Grenzen zu übersehen, haben *H. E. Boeke* und *W. Eitel* versucht, die mehrdimensionale Geometrie linearer Räume auf Vielstoffsysteme anzuwenden. Diese geistreiche Methode beansprucht sicherlich hohes Interesse, doch wird man die zusammenfassende Arbeit von *W. Eitel*²⁾ wohl kaum mit der Überzeugung aus der Hand legen, daß die Darstellung schon eines Fünfstoffsystems durch Projektion der „Polytope“ eine leicht zu verstehende Sache ist und ihre allgemeine Anwendung wahrscheinlich macht; jedenfalls für technische Zwecke dürften diese Projektionen viel zu schwierig zu entziffern sein.

Bei den von mir untersuchten Mehrstoffsystemen aus dem Bereiche der Jenaer Gläser hat sich nun eine Art der Darstellung bewährt, auf die ich die Aufmerksamkeit lenken möchte, da sie mir allgemeinerer Anwendung fähig zu sein

¹⁾ Eine Abbildung des Modells findet sich bei *W. Mathesius*: Die physikalischen und chemischen Grundlagen des Eisenhüttenwesens, S. 181. Spamer, 1916. Ferner in der Abhandlung von *G. A. Rankin*: Z. f. anorgan. Chemie, Bd. 92, S. 213 (1915).

²⁾ Z. f. anorgan. Chemie, Bd. 100, S. 95 (1917).

scheint. Schneidet man aus der Ebene des rechtwinkligen Koordinatenpapiers (Fig. 1 a) in regelmäßigen Abständen quadratische Flächenstücke E' (Fig. 1 b) aus, so bleibt eine „Netzebene“ E übrig (d. h. ein Netz, bestehend aus Streifen des Papiers). Hatte man zuvor in der vollen Ebene des Koordinatenpapiers eine Kurve AB oder eine Fläche F (z. B. Stoffgebiet) dargestellt, so erscheint nach dem Ausschneiden der Quadrate wie in Fig. 2 eine durchbrochene Kurve oder Fläche auf der Netzebene E . (In Fig. 2 sind nur die Hauptkoordinatenlinien in den übrigbleibenden

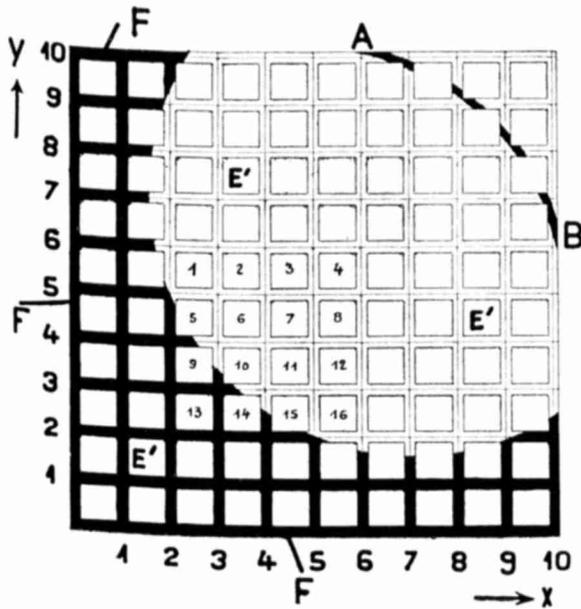
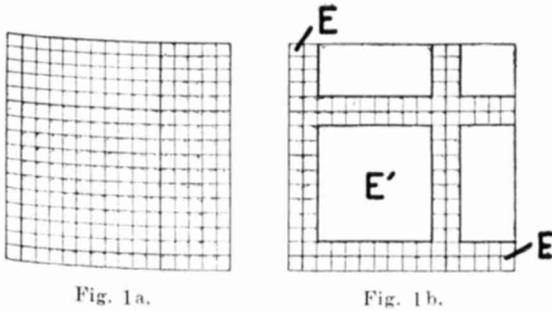


Fig. 2.

Streifen der Netzebene E eingezeichnet.) Die Fläche F (das Schwarze in Fig. 2) kann bei physikalischen Gemischen (Mehrstoffsystemen) verschiedene Bedeutung haben; in den hier gewählten Beispielen soll angenommen werden, daß sämtliche Koordinaten, die auf 100 Lösungsmittel berechneten Mengen der Stoffe schmelzflüssiger Gemische bedeuten (z. B. Al_2O_3 , MgO , CaO usw. auf 100 SiO_2), während die schwarzen bzw. schraffierten Flächen (vergl. die späteren Figuren) das Kristallisationsgebiet unter gewissen, beim Versuch gegebenen Bedingungen zur Anschauung bringen. Die Abbildung auf der

Netzebene ersetzt noch ziemlich gut das Bild auf dem nichtdurchbrochenen Koordinatenpapier, da das Auge, wie Fig. 2 zeigt, die fehlenden Stücke der Kurve und Flächenbegrenzungen mit Leichtigkeit ergänzt.

Es bleiben nun die herausgeschnittenen quadratischen Flächenstücke E' (Fig. 1 b) für die Darstellung von zwei neuen veränderlichen Größen (2 neuen Stoffen) verfügbar, die man sich in funktionaler Beziehung denken kann zu gewissen, in der Netzebene E dargestellten Größenpaaren. Jede Ebene E' soll also zugeordnet sein zu je einem Schnittpunkt der in Fig. 2 gezeichneten Hauptkoordinatenlinien, und zwar immer zu demjenigen Punkt (x_m, y_n) , der der unteren linken Ecke der Ebene E' gegenüberliegt. In Fig. 3 ist eine solche Zuordnung im Ausschnitt¹⁾ zur Anschauung gebracht: jede Ebene E' (Nr. 1—16 aus Fig. 2) enthält ein rechtwinkliges Koordina-

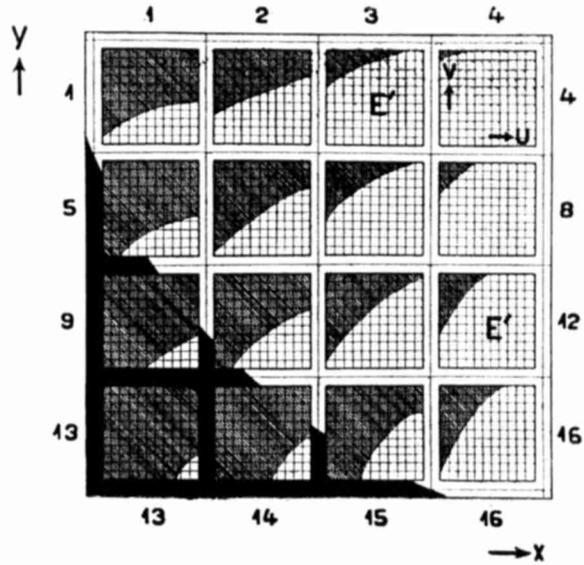


Fig. 3.

tenetz, in welchem der Zusammenhang zweier neuer veränderlicher Größen u und v (zweier neuer Stoffe) in Abhängigkeit von den Werten (x_m, y_n) , die der Fläche F in Fig. 2 angehören, dargestellt ist. Die schraffierten Teile der Ebenen E' bedeuten das Kristallisationsgebiet der Lösungen $(L + x + y + u + v)$, während der schwarze Teil der Netzebene E das Kristallisationsgebiet der Lösungen $(L + x + y)$ darstellt (wie in Fig. 2); das Lösungsmittel L denke man sich in der linken unteren Ecke von Fig. 2. Diese Art der Darstellung hat Ähnlichkeit mit den Verfahren, welches die Biologen anwenden, um sich durch Mikrotomschnitte ein Bild von dem Aufbau eines organischen Körpers zu verschaffen. Ähnlich wie der Beschauer die in Fig. 2 dargestellte schwarze Fläche F voll sieht, so ergänzt er auch den kontinuierlichen Gang der

¹⁾ Man denke sich das Stück 1—4—16—13—1 aus Fig. 2 ausgeschnitten und vergrößert.

beiden Veränderlichen u und v in Abhängigkeit von den Veränderlichen x und y ; er überblickt den Zusammenhang der vier Größen x, y, u, v , wie man scherzhafterweise sagen könnte, „im vierdimensionalen Raum“.

Nichts hindert, das Verfahren fortzusetzen. Aus den Koordinatenebenen E' in Fig. 3 lassen sich, wie aus der Ebene E' in Fig. 1, wieder Quadrate E'' ausscheiden (Fig. 4). In diesen Quadraten kann man aber ein drittes Paar von veränderlichen Größen r und t auf einem eingezeichneten Koordinatennetz in Abhängigkeit von (u, v) und hiermit zugleich auch von (x, y) darstellen. Der Beschauer sieht also jetzt bereits „sechsdimensional“, — allerdings werden nun entweder an seine Schärfe etwas ungewöh-

zeigen, wie sich die Darstellung durch Netzebenen bei den *mehrzähligen* Systemen gestalten würde. Selbstverständlich hat das Verfahren, solange nur 3 Stoffe in Betracht gezogen sind, vor den bisher üblichen Darstellungen durch Dreieckskoordinaten oder räumliche Modelle keinen wesentlichen Vorzug; erst wo diese Hilfsmittel versagen, wird sich die Brauchbarkeit erweisen.

Ich möchte das ganz besonders betonen, um nicht den Eindruck zu erwecken, als wäre bei einem Dreistoffsystem die Darstellung durch Netzebenen dem älteren Verfahren durch Dreieckskoordinaten überlegen. Im Gegenteil: *Dreieckskoordinaten* leisten *hierbei* mehr, da sie den Zusammenhang kontinuierlich darstellen; also erst wenn die Zahl der Veränderlichen über 3 hin-

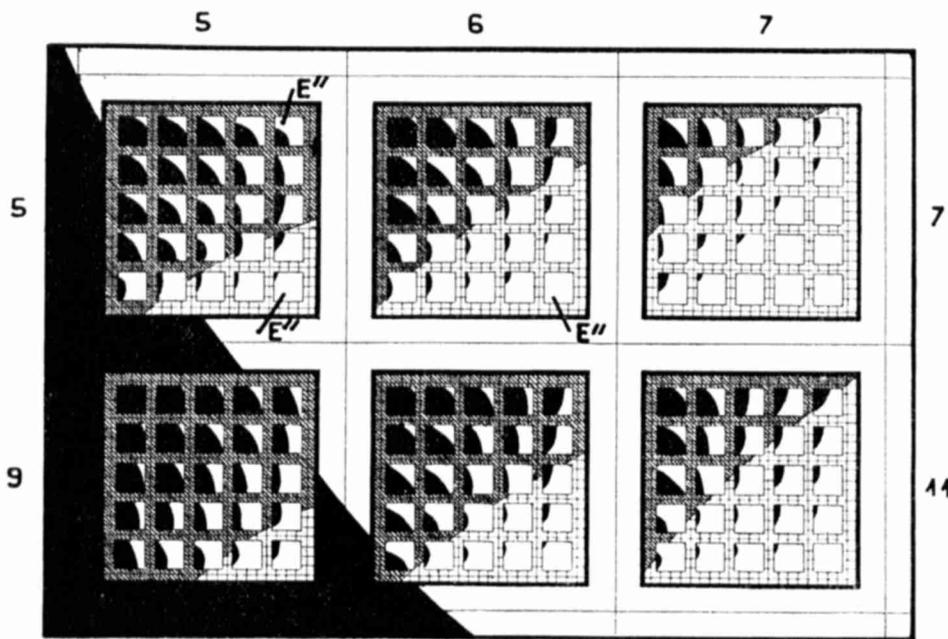


Fig. 4.

liche Anforderungen gestellt, oder die Zeichenebene, d. h. die ursprüngliche Netzebene E wächst sich zu einer schließlich unbequemen Größe aus. Ich bin bei der Anwendung des Verfahrens für *technische Zwecke* bis zu einer Größe von etwa 4×4 m gegangen; bei dieser Größe der Netzebene E konnte ich noch eine gute Übersicht über die Kristallisation von sieben Stoffen in physikalischen Gemischen gewinnen¹⁾.

Die meisten wissenschaftlich-exakten Untersuchungen über Mehrstoffsysteme beziehen sich auf die Schmelztemperaturen (Kristallisationstemperaturen) der feurigflüssigen Gemische. Da man bisher Systeme mit mehr als 3 Stoffen nicht ausführlich bearbeitet hat, so muß ich mich darauf beschränken, an einem *Dreistoffsystem* zu

¹⁾ Unter Zuhilfenahme der Photographie und Projektion lassen sich diese Unbequemlichkeiten besonders für Vorlesungszwecke erheblich vermindern.

ausgeht, wird man Netzebenen praktisch verwenden. Als Beispiel wählte ich das Zahlenmaterial des Kieselsäure-Tonerde-Kalk-Systems aus der oben angeführten Abhandlung von Rankin; ein Stück der Netzebene, welche in diesem Falle einen langen Flächenstreifen bildet, ist in Fig. 5 dargestellt; man hat sich die Reihe der Felder also nach links bis zum Nullpunkt der Netzebene, nach rechts beliebig weit fortgesetzt zu denken. Alle Prozentwerte wurden umgerechnet auf 100 SiO_2 ; in der „ersten Ebene“ (Netzebene) erscheinen die Schmelzen $100 \text{SiO}_2 - x \text{CaO}$ mit den zugehörigen Kristallisationstemperaturen (Schmelztemperaturen). Die „zweiten Ebenen“ (in diesem Falle einfache Koordinatenebenen, keine Netzebenen mehr wie bei 4 Stoffen) sind der Reihe nach zugeordnet den Punkten 0 CaO, 5 CaO, 10 CaO, 15 CaO . . . usw. In jeder dieser zweiten Ebenen läuft als Abzisse der auf

100 SiO₂ berechnete Al₂O₃-Gehalt der Gemische, und zugeordnet die Kristallisationstemperatur (Schmelztemperatur) als Ordinate. In dem ersten der eingezeichneten Quadrate, welches dem Koordinatennullpunkt der Netzebene zugeordnet ist (in der Figur fehlend), würde man also die Beziehung zwischen Schmelztemperatur und Zusammensetzung bei den kalkfreien Schmelzen 100 SiO₂—Al₂O₃ erkennen. Der Schmelzpunkt der reinen Kieselsäure (1625°) erscheint in dem nach links bis zum Nullpunkt ergänzt gedachten Streifen zweimal: 1. auf der Ordinatenachse der „Netzebene“, im System SiO₂—CaO, und 2. auf der Ordinatenachse des eben erwähnten ersten Quadrats, in welchem die Schmelzen SiO₂—Al₂O₃ eingetragen sind. Schreitet man in der Reihe der eingezeichneten Quadrate nach rechts fort, so zeigt sich die Veränderung der Beziehung zwischen Temperatur und Zusammensetzung durch den Eintritt wachsender Mengen CaO in die Schmelze. Diese Veränderung kann nur sprunghaft (in Fig. 5 von 5 zu 5 CaO auf 100 SiO₂) zur Darstellung gebracht werden, doch läßt sich der kontinuierliche Gang der Funktion noch leicht vorstellen (u. U. schiebt man Zwischenwerte ein). Man erkennt z. B. in dem in Fig. 5 ausgeschnittenen Stück des Gesamtbildes, wie durch die Steigerung des Kalkgehaltes, der zu 100 SiO₂ zugesetzt wurde, in diesem Abschnitt des Mischungsgebietes die Schmelztemperatur ansteigt, während Zusatz von Tonerde in mäßigen Mengen die Schmelztemperatur erniedrigt. Auch die Lage eines Eutektikums — in diesem Falle α CaO . SiO₂ + CaO . Al₂O₃ . 2 SiO₂ — ist zu erkennen. Im Raummodell der Dreieckskoordinaten (S.308 Anm.) würde dieses die Spitze eines Trichters bilden; bei der hier gewählten Berechnung des CaO- und Al₂O₃-Gehaltes auf 100 SiO₂ würde die räumliche Darstellung an Stelle des Trichters die Form einer Rinne annehmen, die bei dem Eutektikum eingeknickt ist. Man erhält das räumliche Bild aus Fig. 5 leicht, wenn man die eingezeichneten Quadrate (100 SiO₂—Al₂O₃) nach vorn in die Höhe klappt und um den Nullpunkt ihres Koordinatensystems um 90° nach hinten dreht, so daß sie senkrecht auf der Papierfläche (parallel zur Temperaturachse der Netzebene) stehen. Man kann natürlich nach Belieben die Darstellung von vornherein auch so wählen, daß in der Netzebene an Stelle der Temperatur die Tonerdegehalte auf 100 SiO₂ als Ordinaten eingezeichnet werden und in die Quadrate als Ordinaten die Tonerdegehalte (in gleichem Maßstabe und gleicher Höhe mit den entsprechenden Tonerdeordinaten der Netzebene) mit zugehörigen Temperaturen als Abszissen; die eingezeichneten Quadrate brauchen dann nur um die Ordinatenachse hochgeklappt zu werden, um den Zusammenhang zwischen Temperatur, CaO- und Al₂O₃-Gehalt zu sehen.

Zur Beurteilung der Leistung der „Netzebenen-

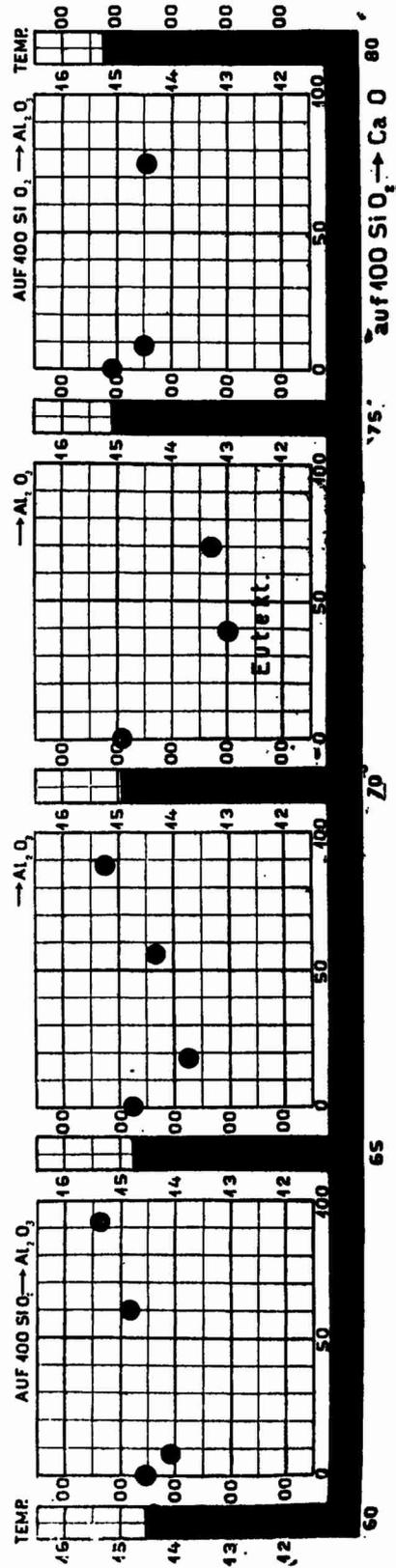


Fig. 5.