

STAHL UND EISEN

ZEITSCHRIFT FÜR DAS DEUTSCHE EISENHÜTTENWESEN

Herausgegeben vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute

Geleitet von Dr.-Ing. Dr. mont. E. h. O. Petersen

unter Mitarbeit von Dr. J. W. Reichert und Dr. W. Steinberg für den wirtschaftlichen Teil

HEFT 33

14. AUGUST 1941

61. JAHRGANG

Elektronenmikroskop, Uebermikroskop und Metallforschung.

Von Walter Henneberg in Berlin.

Mitteilung aus dem Forschungs-Institut der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin.

[Bericht Nr. 553 des Werkstoffausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute*].

(Anfänge der Elektronenmikroskopie. Aufbau und Wirkungsweise des Emissionsmikroskops und des Durchstrahlungs-Uebermikroskops mit elektrischen Linsen. Anwendung des Elektronenmikroskops zu Gefügeuntersuchungen und Verfolgung von Gefügeumwandlungen. Untersuchung von Form und Größe von Rauchteilchen, Eisenrost, Oxydfilmen auf Eisen und Aluminium sowie von Oberflächengefügen von Metallen mit dem Abdruckverfahren.)

[Hierzu Tafeln 25 bis 30.]

Als Elektronenmikroskop wird im Gegensatz zum Lichtmikroskop ein Gerät bezeichnet, mit dem Gegenstände statt mit Licht mit Elektronen abgebildet und beobachtet werden können¹⁾. Verschiedene Gründe lassen den Ersatz des Lichtes durch Elektronen für zahlreiche Untersuchungen vorteilhaft erscheinen trotz der vielen Schwierigkeiten, denen durch die Eigenart der Elektronenstrahlung der Aufbau und die Bedienung des Elektronenmikroskops begegnet.

Die Kontraste einer gewöhnlichen lichtoptischen Abbildung werden durch das verschiedene Absorptions-, Reflexions- und Streuungsvermögen oder bei Selbstleuchtern das verschiedene Emissionsvermögen der einzelnen Teile des abgebildeten Gegenstandes bedingt. Ein Wechsel in der Art der beleuchtenden Strahlung, beispielsweise ein Übergang von Rot zu Violett, wird daher einige Kontraste verschwinden und neue hervortreten lassen. Es ist auch verständlich, daß dieselben Gegenstände, mit Elektronen statt mit Licht abgebildet, im allgemeinen anders aussehen werden, da ja das Absorptions-, Streuungs- und Emissionsvermögen für Elektronenstrahlung anderen Gesetzen gehorcht als das für Lichtstrahlung. So liefert, da für jedes Kathodenproblem die Frage der Elektronenemission von grundlegender Bedeutung ist, die elektronenoptische Kathodenabbildung hierzu wertvolle Beiträge. Außerdem gestattet das Elektronenmikroskop in einfacher Weise, Körper im Glühzustand zu betrachten; es ermöglicht also Beobachtungen von Vorgängen bei hohen Temperaturen, beispielsweise Umkristallisationen, die mit dem Lichtmikroskop nur schwer oder gar nicht zu machen sind. Schließlich kommt den Elektronenstrahlen der üblichen Geschwindigkeiten eine Wellenlänge zu, die einige Zehnerpotenzen unter der des sichtbaren Lichtes liegt. Da aber die Wellenlänge des Lichtes dem Auflösungsvermögen des Licht-

mikroskops eine grundsätzliche Schranke setzt²⁾, war von vornherein zu erwarten, daß mit dem Elektronenmikroskop das Eindringen in die dem Lichtmikroskop verschlossene Welt des Kleinen und Aller kleinsten bis herab zu Molekül- und Atomabmessungen möglich sein müßte.

In dem vorliegenden Bericht werden Ergebnisse, die mit dem Elektronenmikroskop auf dem Gebiete der Metallforschung gewonnen wurden, wiedergegeben. Zuerst wird auf die Arbeiten mit dem Emissionsmikroskop, dann auf die jüngsten Ergebnisse mit dem Uebermikroskop, das vorzugsweise als Durchstrahlungsmikroskop ausgebildet ist, eingegangen. Entsprechend dem maßgeblichen Anteil, den das Forschungs-Institut der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin, mit seiner zehnjährigen Entwicklungsarbeit an den Fortschritten der Elektronenoptik hat, und in Anbetracht der Tatsache, daß die Metall- und anderen Oberflächenabbildungen sowie die entsprechenden Verfahren fast ausschließlich aus diesem Institut stammen, werden bevorzugt die aus diesem Institut hervorgegangenen Arbeiten berücksichtigt.

Die Anfänge der Elektronenmikroskopie.

Der erste Vorschlag, mit Elektronenstrahlen ein Bild submikroskopischer Gegenstände zu erhalten, stammt von H. Stintzing³⁾. In Erkenntnis der dem Lichtmikroskop gesetzten Schranken wollte er mit Elektronen- oder Röntgenstrahlen eine Sonde herstellen, die klein gegen den zu untersuchenden Gegenstand ist (eine Aufgabe, die im wesentlichen jeder Elektronenstrahlröhre zugrunde liegt), und mit dieser Sonde den Gegenstand Punkt für Punkt und Reihe für Reihe abtasten. Die in jedem Punkt durchgelassene Strahlungsmenge gibt bei stofflich homogenen Körpern ein Bild der Dicke und bei überall gleich

*) Vorgetragen in der Sitzung des Arbeitsausschusses des Werkstoffausschusses am 17. Juli 1940. — Sonderabdrucke sind vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, Postschließfach 664, zu beziehen.

¹⁾ Vgl. auch Borries, B. v.: Stahl u. Eisen 61 (1941) S. 725/35 (Werkstoffaussch. 548).

²⁾ Nach den eingehenden Untersuchungen von E. Abbe hängt der Abstand d zweier gerade noch trennbarer Punkte mit der benutzten Wellenlänge λ und der numerischen Apertur $n \cdot \sin \alpha$ des Mikroskops durch die Beziehung $d = k \lambda / n \cdot \sin \alpha$ zusammen, in der k eine Konstante von der Größenordnung 1 ist.

³⁾ DRP. 485 155 vom Mai 1927; siehe auch Synge, E. H.: Phil. Mag. 6 (1928) S. 356/62; vgl. Chem. Zbl. 100 (1929) I, S. 265/66.

dicken Körpern ein Bild der örtlichen Zusammensetzung, kurz ein Seitenstück zum Durchstrahlungsbild im Lichtmikroskop. Es darf nicht wundernehmen, daß Stintzing zu dem Elektronen- oder Röntgenbild den Umweg über die durch den abtastenden Strahl bewirkte Rasterung des Bildes ging; sind doch Linsen für Röntgenstrahlen bis zum heutigen Tage unbekannt⁴⁾, und war die Tatsache, daß es Linsen für Elektronenstrahlen gibt, erst praktisch gleichzeitig mit seinem Vorschlag durch die Arbeiten von H. Busch⁵⁾ bekannt geworden. Durch diese Arbeiten von Busch ist die Entwicklung so nachhaltig beeinflusst worden, daß die Bemerkungen Stintzings zu seiner Zeit übersehen worden sind. Erwähnt sei nur, daß neuerdings M. Knoll⁶⁾ und mit dem Ziele der Uebermikroskopie M. v. Ardenne⁷⁾ den Gedanken von Stintzing aufgegriffen und verwirklicht haben. Das von Ardenne geschaffene Gerät ist unter dem Namen Rastermikroskop bekannt geworden. Dieses im Plan älteste Uebermikroskop kann — und das ist einer seiner heute allerdings noch kaum ausgenutzten Vorzüge — als Metallmikroskop dienen, indem man nach Knoll und v. Ardenne die Sonde über die Metallfläche führt und

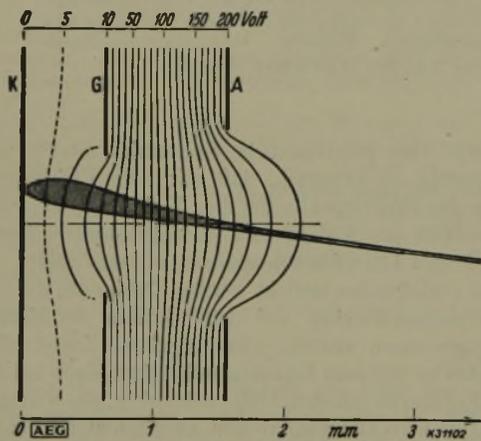


Bild 1. Schematische Darstellung.

Bilder 1 und 2. Elektrisches Elektronenmikroskop zur Abbildung der Elektronen aussendenden Kathode (Emissionsmikroskop). Zwischen den Linselektroden G und A (Bild 1) und der Kathode K bildet sich das Potentialfeld aus, das die von der Kathode kommenden Elektronenstrahlen zu einem Bild auf dem Leuchtschirm (Bild 1, weit rechts) vereinigt.

die reflektierten Elektronen auffängt und zur Bildherstellung benutzt.

Gegenüber diesem möglichen Wege erfolgte der wirkliche Fortschritt in anderer Richtung. Angeregt durch die Arbeiten von Busch⁵⁾, der den Nachweis erbrachte, daß die bekannte Konzentrationsspule der Braunschen Röhre, allgemein überhaupt jedes rotationssymmetrische Magnetfeld auf Elektronen genau so wirkt wie eine Linse auf Lichtstrahlen, wurden in den Jahren 1927 bis 1931 Untersuchungen durchgeführt, die zunächst die von Busch bereits erwähnten Abbildungen mit Elektronenstrahlen⁸⁾ vornahmen und sich später mit den Linseneigenschaften einer Magnetspule befaßten⁹⁾. Wenn somit auch die Anregung, durch elektronenmikroskopische Untersuchungen die ein-

gangs aufgeführten Vorteile zu erzielen, unmittelbar nahegelegt war, so haben doch erst E. Brüche und H. Johannson¹⁰⁾ Aufnahmen belangreichen Inhalts, die zugleich die ersten mit elektrischen Linsen erreichten Bilder und die ersten hochvergrößerten Halbtonbilder darstellten, veröffentlicht, während sich eine praktisch gleichzeitig erschienene Arbeit¹¹⁾ noch auf Lochkamera-Abbildungen und solche von Blenden und Netzen beschränkte und bei geometrisch einfachen Gegenständen stehen blieb.

Eines der ersten Elektronenmikroskope von E. Brüche und H. Johannson¹⁰⁾ aus dem Jahre 1932 zeigt Bild 1 und 2. Die von der Kathode G (Bild 1) ausgehenden Elektronen gelangen unter dem Einfluß des sich zwischen der Kathode K und den Blenden G und A ausbildenden elektrischen Feldes, das als Linse wirkt, auf den weit rechts von der Abbildung zu denkenden Leuchtschirm. Hier erscheint ein Bild der als Abbildungsgegenstand dienenden Kathode K, das bereits bei der ersten Versuchsanordnung ohne eine zweite Linse und auf die verhältnismäßig kurze Entfernung von 35 cm eine etwa 80fache Vergrößerung aufwies. Befreit man die Elektronen durch Glühen der Kathode aus dieser, so liefert das Elektronenbild offenbar einen Einblick in die Emissionsfähigkeit der einzelnen Kathodenbezirke und in den Einfluß von sogenannten aktivierenden Schichten, wie sie bei technischen Kathoden (z. B. in Röhren) vielfach Verwendung finden. Außerdem gelingt es,

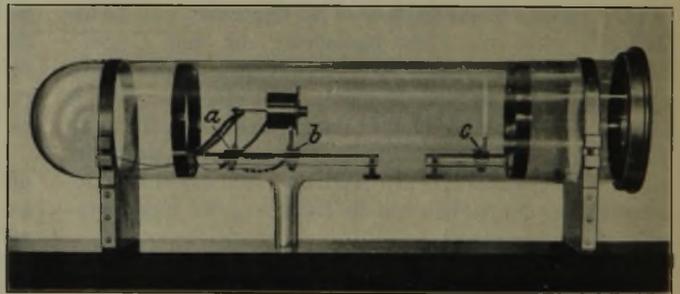


Bild 2. Ansicht.

a = Objektträger, b = Mikroskopsystem, c = Bildschirm.

die bei längerem Gebrauch, bei Ueberhitzung oder durch Gaseinflüsse entstehenden Emissionsänderungen oder Zerstörungen der Kathode unmittelbar beim Betrieb zu verfolgen.

Glühkathoden.

Ein mit der Einrichtung nach Bild 1 und 2 erhaltenes Glühkathodenbild¹⁰⁾ zeigt Bild 3 (Tafel 25). Es stellt eine mit einem aktivierenden, d. h. die Emission erhöhenden Belag von Bariumoxyd versehene Nickelkathode dar, in die ein Kreuz eingeritzt war (vgl. Bild 4). Aus der Wiedergabe dieses Kreuzes konnte geschlossen werden, daß die Elektronen wirklich ein geometrisch ähnliches Bild des Gegenstandes liefern. Bild 5 gibt einige Aufnahmen aus einer Untersuchungsreihe von Nickelglühkathoden¹⁰⁾ wieder, der entnommen werden kann, wie das anfänglich über die ganze Kathode (mit Ausnahme der eingeritzten Stellen) verteilte Bariumoxyd bei der Reduktion zuerst in die Rillen hinüberdampft, um bei längerem Betrieb der Kathode auch dort zu verschwinden.

Bezogen sich die soeben erörterten Aufnahmen auf das Elektronenemissionsvermögen der Kathode unter dem

¹⁰⁾ Naturwiss. 20 (1932) S. 49 u. 353/58.

¹¹⁾ Knoll, M., und E. Ruska: Ann. Phys., Lpz., V. Ser., 12 (1932) S. 607/40.

⁴⁾ Schon M. v. Laue [Naturwiss. 8 (1920) S. 968/71] hatte die Ueberschreitung des Auflösungsvermögens des Lichtmikroskops durch Abbildungen mit Röntgenstrahlen erörtert, die aber wegen des Fehlens von Linsen nicht durchführbar sind.

⁵⁾ Ann. Phys., Lpz., IV. Ser., 81 (1926) S. 974/93; Arch. Elektrotechn. 18 (1927) S. 583/94.

⁶⁾ Siehe Beiträge zur Elektronenoptik, hrsg. von H. Busch und E. Brüche. Leipzig 1937. S. 141/42.

⁷⁾ Z. Phys. 109 (1938) S. 553/72.

⁸⁾ Wolf, F.: Ann. Phys., Lpz., IV. Ser., 83 (1927) S. 849/83.

⁹⁾ Ruska, E., und M. Knoll: Z. techn. Phys. 12 (1934) S. 389/99.

Einfluß einer aktivierenden Schicht und auf die Verteilung dieser Oberflächenschicht über die Kathode, so lassen solche Bilder bei geeigneter Behandlung der Kathode aber auch weitgehende Schlüsse auf das Gefüge der Unterlage zu. Wird nämlich die Dicke der aktivierenden Schicht klein gemacht, so zeigen sich im Elektronenbilde nicht mehr die Eigenschaften der Schicht, sondern es treten die verschiedenen Kristallite der Unterlage durch verschiedenartige Emission hervor. Bei Berücksichtigung des Umstandes, daß nicht die auf den Kristall gebrachte aktive Schicht, sondern die Kristallite in ihrer Orientierung selber die Emission bestimmend beeinflussen, erscheint es unangebracht, hier von einem „Fremdschichtverfahren“ im Gegensatz zu einem „Selbststrahlungsverfahren“ zu sprechen, wie dies gelegentlich geschehen ist¹²). Tatsächlich liegt hier eine durch die aktive Schicht begünstigte Emission der Kristallite, also eine Selbststrahlung vor. Die Entwicklung dieses Kristallbildes aus dem ursprünglichen Schichtverteilungsbild zeigt nach Aufnahmen von W. Knecht¹³) *Bild 6*, das außerdem drei Lichtbilder einiger Zwischenstufen wiedergibt. An diesen Bildern ist bemerkenswert, daß nicht nur anfangs Lichtreflexions- und Elektronenemissionsvermögen völlig verschiedenartig über die Kathodenfläche verteilt sind, sondern daß auch der Kristallaufbau im Lichtbild kaum zu erkennen ist. Auch in dieser Hinsicht geht also das Elektronenbild über das hinaus, was dem Lichtbild zu entnehmen ist; dieses würde erst, wie durch andere Versuche belegt werden konnte, nach erfolgtem Ätzen das Gefüge in gleicher Weise zeigen.

Vorgänge im Metallinnern bei thoriertem Wolfram und Molybdän.

Nicht nur das Gefüge der Oberfläche ist den Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop zugänglich, sondern zum Teil auch Vorgänge, die sich im Innern des Metalls abspielen. Technisch und auch wissenschaftlich bemerkenswert ist die Erscheinung des thorierten Wolframs. I. Langmuir¹⁴) hatte gefunden, daß Wolfram mit einem Thoriumoxydgehalt von 1 bis 3 % nach geeigneter Wärmebehandlung eine sehr kräftige Elektronen-Emissionsfähigkeit zeigt; seither ist in zahlreichen Arbeiten dieser Aktivierungs- und Emissionsvorgang untersucht und außerdem das thorierte Wolfram in der Technik vielfach angewendet worden. Die Wärmebehandlung geht dabei so vor sich, daß nach einer Reduktion des Thoriumoxyds, bei der gleichzeitig das Thorium aus dem Innern an die Oberfläche des Wolframs tritt und die bei Temperaturen über 2700° K erfolgt, die Aktivierung in einem Temperaturbereich von 1900 bis 2300° K vorgenommen wird. Sie bewirkt, daß das reduzierte Thorium sich auf der Oberfläche ausbreitet. Eine Erhitzung auf Temperaturen über 2400° K zerstört die aktive Schicht wieder, indem sie das Thorium zum Verdampfen bringt.

Die lange Zeit umstrittene Frage war nun die, wie bei der Reduktion das Thorium an die Oberfläche gelangt und sich dort ausbreitet. Langmuir¹⁴) glaubte zunächst, daß die Thoriumatome durch das Wolframgitter an die Oberfläche diffundieren und dort unbeweglich bleiben, bis sie von selbst verdampfen oder von nachfolgenden Thoriumatomen fortgestoßen werden (induzierte Verdampfung). A. Gehrts¹⁵) dagegen, der die Aktivierung rechnerisch verfolgte, ging von der Annahme aus, daß die

Thoriumatome nur an einzelnen bevorzugten Stellen, beispielsweise den Kristallgrenzen, an die Oberfläche gelangen und auf dieser gleitend das Wolfram überziehen. Eine Entscheidung dieser Fragen brachte in eindeutiger Weise das Elektronenmikroskop¹⁶). *Bilder 7 und 8* zeigen zwei elektronenoptische Aufnahmen von thoriertem Wolfram, die verschiedenen Versuchsreihen entstammen und an der unteren Grenze der Reduktionstemperatur erhalten wurden, so daß die Emission der Wolframunterlage neben der der Thoriumquellen zu erkennen ist. Diesen Bildern ist zu entnehmen, daß der Thoriumaustritt weder gleichmäßig auf der Oberfläche erfolgt noch etwa auf die Korngrenzen beschränkt ist, sondern vielmehr zum Teil inmitten der Kristallite vor sich geht. Die Stellen, an denen das Thorium austritt, sind ebenfalls nicht festgelegt, sondern unregelmäßig über die Kristallite verteilt. Diese Erscheinung steht mit der Vorstellung im Einklang, daß bei der Herstellung des thorierten Wolframs die Wolframkristalle um die Thoriumoxydkörner herumwachsen, so daß sich das reduzierte Thorium beim Aktivierungsvorgang durch die Kristallite den Weg an die Oberfläche bahnt.

Eine ähnliche Frage ist die, ob und in welchem Grade das technisch ebenfalls benutzte thorierte Molybdän dem thorierten Wolfram verwandt ist. Eine solche Verwandtschaft ist nach der Stellung von Wolfram und Molybdän in der gleichen Vertikalreihe des periodischen Systems von vornherein zu vermuten; sie endgültig zu beweisen, gelang erst mit dem Elektronenmikroskop. *Bilder 9 und 10* (Tafel 26) zeigen elektronenoptische Aufnahmen von thoriertem Wolfram und thoriertem Molybdän in kennzeichnenden Aktivierungsstufen¹⁷). Die Bilder a geben die Verteilung von Thoriumquellen nach fast völliger, b diejenige nach unvollständiger Entaktivierung, c teilweise aktivierte Oberflächen und d Gefügebilder wieder. Es ist zu erkennen, daß die einzelnen Vorgänge bei thoriertem Wolfram und Molybdän einander weitgehend ähnlich sind.

Strukturforschung mit dem Emissionsmikroskop.

Bisher wurden solche Erscheinungen behandelt, für deren Verfolgung das Elektronenmikroskop deshalb besonders geeignet war, weil sie sich — wie die Emissionsfähigkeit der Glühkathode — unmittelbar oder — wie die Verteilung der Thoriumquellen — mittelbar in der Elektronenemission bemerkbar machten, während das Lichtbild zu ihrer Beobachtung ungeeignet war. Durch die Tatsache, daß die Struktur eines Kristallgemisches bei bestimmter Behandlung im Elektronenbild sichtbar wird, ist der Anschluß an ein anderes Gebiet, das der Strukturforschung, gewonnen. Dieser Frage hat sich besonders H. Boersch¹⁸) gewidmet, der den Eingriff in das bei der Abbildung im Elektronenmikroskop entstehende Beugungsbild auf diese Abbildung untersuchte und zur Strukturbestimmung ausnutzte. Er wies nach, daß sich bei Dunkelfeldaufnahmen von durchstrahlten Folien, die durch Abblendung des primären (Beugungs-) Bildes bis auf einzelne Interferenzmaxima entstehen, die Kristalle, die in diese Interferenzmaxima reflektieren, mit erhöhter Helligkeit abgebildet werden. Es entsteht also im Bild eine sich der Dickenstruktur überlagernde Kristallagerungsstruktur (*Bild 13*). Ähnliches gilt für den Fall, daß bei üblicher Abbildung (Hellfeldaufnahme) die Apertur des abbildenden Strahlen-

¹²) Ruska, E.: In: Beiträge zur Elektronenoptik, hrsg. von H. Busch und E. Brüche. Leipzig 1937. S. 49/51.

¹³) Ann. Phys., Lpz., V. Ser., 20 (1934) S. 161/82.

¹⁴) Vgl. Compton, K. T., und I. Langmuir: Rev. modern Physics 2 (1930) S. 138; vgl. Chem. Zbl. 101 (1930) II, S. 877.

¹⁵) Z. techn. Phys. 12 (1931) S. 66/74; 15 (1934) S. 456/61.

¹⁶) Brüche, E., und H. Mahl: Z. techn. Phys. 16 (1935) S. 623/27.

¹⁷) Brüche, E., und H. Mahl: Z. techn. Phys. 17 (1936) S. 262/66.

¹⁸) Ann. Phys., Lpz., V. Ser., 26 (1936) S. 631/44; 27 (1936) S. 75/80.

ganges verändert wird. Bei Verkleinerung der Apertur werden die stärker gestreuten Elektronen ausgeschieden. Da Stellen größerer Objektdicke sich durch stärkere Streuung kenntlich machen, wird durch die Ausscheidung der gestreuten Elektronen, also der Kontrastreichtum der Abbildung erhöht (*Bild 11 und 12*). Da sich auch die Abbildungsschärfe infolge der Ausschaltung dieser Elektronen erhöht, spricht, abgesehen von der verminderten Intensität, alles für die Verwendung kleiner Blenden im Elektronenmikroskop. Für das über die Leistung des Lichtmikroskops hinausgehende Uebermikroskop¹⁹⁾ ist diese Erkenntnis von besonderer Bedeutung gewesen.

Neben diesen Strukturbestimmungen sind die Gefügewandlungen von Bedeutung, wie sie beispielsweise bei Eisen (α - γ -Umwandlung) oder Zirkon (α - β -Umwandlung) auftreten. Nachdem zuerst E. Brüche und W. Knecht²⁰⁾ diese Umwandlungen mit dem Elektronenmikroskop verfolgt und die entstehenden Gefüge aufgenommen hatten, gelang es W. G. Burgers und J. J. A. Ploos van Amstel²¹⁾, auch die Zwischenstufen der Umwandlung photographisch festzuhalten. Die *Bilder 14 bis 16* zeigen die mit der Umwandlung von γ - in α -Eisen verbundene Umkristallisation an einem mit Strontiumoxyd aktivierten Eisenband. Die im Endzustand gebildeten Kristallite gehen durch allmähliches Wachstum aus kleinen Kernen hervor. Das Bild des einen Gefügezustandes hat dabei mit dem des anderen keinerlei Ähnlichkeit, wie die bei Zirkon erhaltenen *Bilder 17 und 18* besonders deutlich erkennen lassen. Wird nun aber die Umwandlung durch entsprechende Aenderung der Temperatur wieder rückgängig gemacht, so kann man eine merkwürdige Erscheinung beobachten (*Bild 19*). Trotz der völligen Verschiedenheit der Gefüge im β - und α -Zustand bildet sich unter Umständen aus dem α -Gefüge dasselbe β -Gefüge, das vorher bestanden hatte. Man könnte fast von einem Erinnerungsvermögen der Kristallite sprechen. Diese Erscheinung steht im Einklang mit der Vorstellung über den Phasenübergang, nach denen die neue Phase aus Keimen hervorgeht, die bereits in der alten Phase vorhanden sind²²⁾.

Weitere Arbeiten mit dem Emissionsmikroskop.

Bisher wurde durchweg von solchen elektronenmikroskopischen Untersuchungen gesprochen, bei denen die die Abbildung bewirkenden Elektronen aus dem Untersuchungsgegenstand durch Glühen ausgelöst wurden oder bei denen sie (*Bilder 11 bis 13*) von einer fremden Quelle aus durch den Gegenstand hindurchgeschossen wurden, genau wie bei dem Durchstrahlungsverfahren der Lichtoptik. Elektronen lassen sich aber auch durch Bestrahlung des Metalles mit Licht, mit Elektronen oder Ionenstrahlen oder aber durch äußerst hohe elektrische Felder auslösen. Die Anwendung solcher elektrischen Felder setzt voraus, daß der Gegenstand nahezu punktförmig ist, also eine feine Spitze oder ein Kügelchen von kleinstem Durchmesser darstellt. Dieses bereits mit gewissem Erfolg angewendete Verfahren ist daher in der Auswahl der Untersuchungsgegenstände so beschränkt, daß hier nur auf es hingewiesen zu werden braucht. Mit ihm ist außer dem Gefüge des Probekörpers auch das Wandern aufgedampfter Schichten beob-

achtet worden²³⁾. Die Auslösung durch hohe Feldstärken bedingt zugleich eine so große Beschleunigung der Elektronen, daß diese ohne Dazwischenschalten von Elektronenlinsen auf einem um den Gegenstand herum angeordneten Leuchtschirm ein Projektionsbild des Gegenstandes entwerfen. Obwohl es sich also hier nicht um eine Abbildung im eigentlichen Sinne des Wortes handelt, reicht das Auflösungsvermögen nach den neuesten Angaben bis in die Nähe der Atomabmessungen, so daß es sich hier um eine Form des Uebermikroskops handelt.

Eine größere Zahl von Untersuchungen ist unter Verwendung von Licht zur Elektronenauslösung angestellt worden. Hierbei befindet sich die leitende, aber nicht besonders vorbehandelte Kathode auf beliebiger, beispielsweise Zimmertemperatur; die elektronenoptische Emissionsbetrachtung ist damit ohne besondere Vorbehandlung bei allen Temperaturen anwendbar, was kürzlich bezweifelt worden ist²⁴⁾. Auch diese Bilder zeigen oft Unterschiede, die bei visueller Beobachtung desselben Gegenstandes verborgen bleiben. Als Beispiel diene *Bild 20 und 21* (Tafel 27), die den Abdruck eines sauber gewaschenen Daumens auf einer gut geschabten Aluminiumplatte im Elektronenbilde (*Bild 21*) zeigen, von dem im Lichtbilde (*Bild 20*) nichts zu erkennen war²⁵⁾. Besonders kontrastreiche Bilder ergeben sich bei der Untersuchung von Mineralien (*Bild 22 und 23*), die gegenüber dem lichtoptischen Verfahren mitunter von Vorteil zu sein schienen²⁶⁾.

Die bisher besprochenen Elektronenbilder sind sämtlich mit dem Elektronenmikroskop nach *Bild 1 und 2* oder mit Weiterentwicklungen dieses Mikroskops gemacht worden, mit Ausnahme derer in den *Bildern 14 bis 19*, die mit einem Elektronenmikroskop mit magnetischen Linsen¹⁾ erhalten wurden, und mit Ausnahme der Durchstrahlungsbilder (*Bilder 11 bis 13*). Sie zeigen die Mannigfaltigkeit der Ergebnisse, die mit dem Emissionsmikroskop, d. h. demjenigen Elektronenmikroskop, bei dem Elektronen emittierende Gegenstände abgebildet werden, erhalten wurden. Sie enthüllen viele Erkenntnisse, die dem Lichtmikroskop verborgen bleiben mußten, und bestätigen damit nachträglich die in die Verwendung des Elektronenmikroskops gesetzten Hoffnungen. Da das erzielte Auflösungsvermögen nahezu an das des Lichtmikroskops heranreicht, das des menschlichen Auges jedenfalls weit übertrifft, handelt es sich auch hier um ein Mikroskop in des Wortes eigentlichem Sinne. Die gelegentlich aufgeworfene Frage, ob die zahlreichen elektronenoptischen Untersuchungen auf dem Gebiete der Emissionsforschung zur eigentlichen Mikroskopie zu zählen sind¹²⁾, muß daher nicht nur bejaht werden, sondern es muß sogar festgestellt werden, daß es sich gerade hier um die eigentliche Elektronenmikroskopie handelt. Wie bisher auch üblich, sind daher in diesem Aufsatz alle diejenigen Geräte als Elektronenmikroskope bezeichnet, mit denen unter Verwendung von Elektronen statt Licht als Vermittler der Abbildung kleine Gegenstände vergrößert zu sehen sind. Als Elektronenübermikroskope oder Uebermikroskope schlechthin werden diejenigen Elektronenmikroskope be-

¹⁹⁾ Müller, E. W.: Z. Phys. 106 (1937) S. 541/50; 108 (1938) S. 668/80. Benjamin, M., u. R. O. Jenkins: Nature, Lond., 143 (1939) S. 599; vgl. Chem. Zbl. 111 (1940) II, S. 1990. Benjamin, M.: J. Soc. Glass Technol. 24 (1940) S. 93/96; vgl. Chem. Zbl. 111 (1940) II, S. 2651.

²⁴⁾ Borries, B. v., u. E. Ruska: Ergebn. exakt. Naturwiss. 19 (1940) S. 253.

²⁵⁾ Pohl, J.: Z. techn. Phys. 15 (1934) S. 579/81.

²⁶⁾ Mahl, H.: Z. Kristallogr., Mineral. Petrogr., Abt. B, 46 (1935) S. 280/92; vgl. Chem. Zbl. 106 (1935) II, S. 849. Mahl, H., und J. Pohl: Z. techn. Phys. 16 (1935) S. 219/24.

¹⁹⁾ Vgl. Brüche, E.: Jb. AEG-Forsch. 3 (1933) S. 118.

²⁰⁾ Z. techn. Phys. 16 (1935) S. 95/98.

²¹⁾ Nature, Lond., 136 (1935) S. 724; vgl. Chem. Abstr. 30 (1936) Sp. 4005; Physica 4 (1937) S. 15/22; vgl. Chem. Zbl. 108 (1937) I, S. 2741. Nature 141 (1938) S. 330; Physica 5 (1938) S. 305/12.

²²⁾ Avrami, M.: J. chem. Physics 7 (1939) S. 4103/12; vgl. Chem. Zbl. 111 (1940) II, S. 1542.

Walter Henneberg: Elektronenmikroskop, Uebermikroskop und Metallforschung.

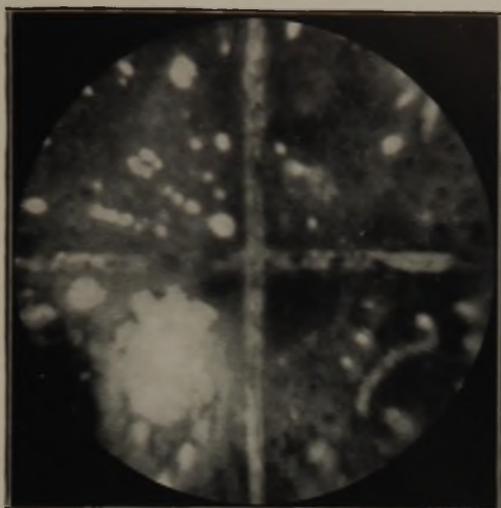


Bild 3.

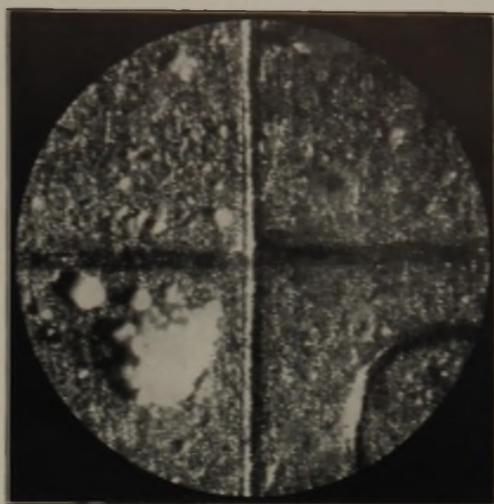
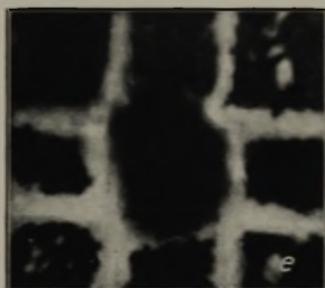
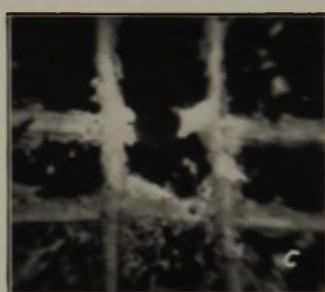


Bild 4.

Bild 3 und 4. Abbildung einer Nickelkathode mit Bariumoxydbelag durch Elektronen (Bild 3) und Licht (Bild 4). ($\times 150$.)



Bilder 5 a bis f. Zerstörungsvorgang an einer überheizten Nickelkathode mit Bariumoxydbelag, aufgenommen mit dem Elektronenmikroskop. ($\times 65$.)

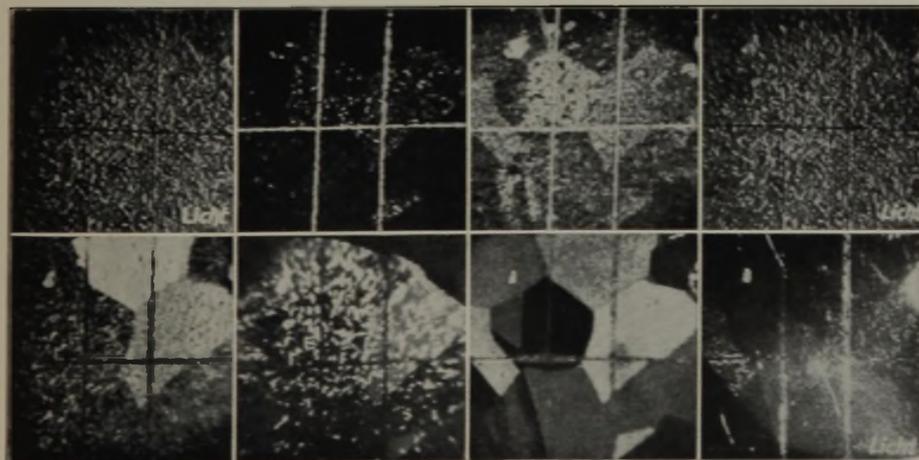


Bild 6. Entwicklung des elektronenoptischen Kristallbildes aus dem Schichtverteilungsbild, dazwischen lichtoptische Vergleichsaufnahmen. ($\times 30$.)

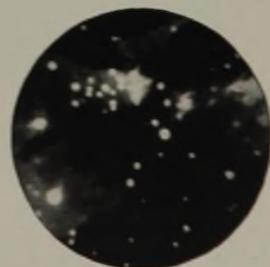


Bild 7.



Bild 8.

Bild 7 und 8. Bilder von der Aktivierung eines thoriierten Wolframbandes, elektronenoptisch aufgenommen. ($\times 30$.)

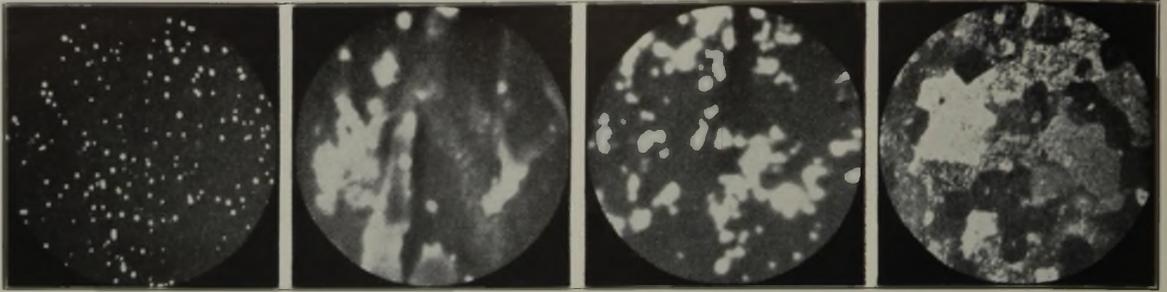


Bild 9.

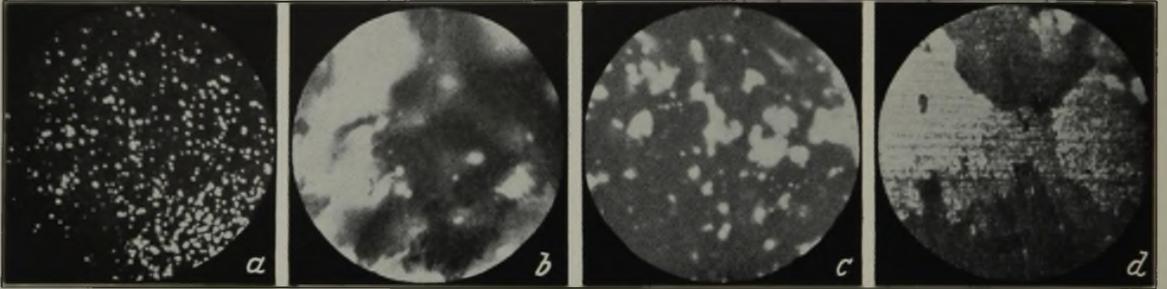


Bild 10.

Bilder 9 und 10. Elektronenoptische Aufnahmen von thoriertem Wolfram (Bild 9) und thoriertem Molybdän (Bild 10) in verschiedenen Aktivierungsstufen. ($\times 25$.)



Bild 11.



Bild 12.

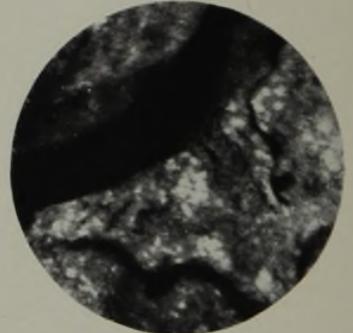


Bild 13.

Bilder 11 bis 13. Eingriff in das Beugungsbild zur Veranschaulichung der Bildentstehung und zur Gefügeuntersuchung mit dem Elektronenmikroskop. Zentrales Hellfeld, große Apertur (Bild 11), kleine Apertur (Bild 12), Dunkelfeld von einer Stelle des (200)-Ringes, kleine Apertur (Bild 13). ($\times 20$.)



Bild 14.



Bild 15.



Bild 16.

Bilder 14 bis 16. Umkristallisation von Eisen am γ - α -Umwandlungspunkt. ($\times 30$.)

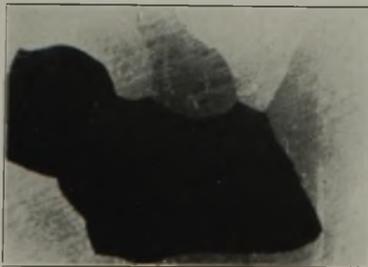


Bild 17. β -Zirkon (1100°).



Bild 18. α -Zirkon (600°).



Bild 19. β -Zirkon (1150°).

Bilder 17 bis 19. Umkristallisation bei der β - α - und α - β -Umwandlung von Zirkon. ($\times 20$.)

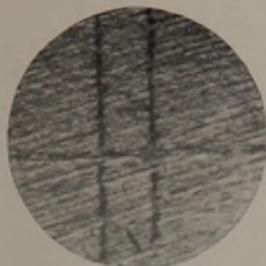


Bild 20. Lichtbild.



Bild 21. Elektronenoptische Aufnahme mit lichtelektrisch ausgelösten Elektronen.

Bild 20 und 21. Geschabte Aluminiumplatte mit Daumenabdruck. ($\times 6$.)



Bild 22. Bleiglanz.



Bild 23. Kupferkies.

Bild 22 und 23. Lichtelektrische Elektronenbilder von Mineralien. ($\times 5$)



Bild 28. Uebersichtsbild mit der langbrennweitigen Projektionslinse L_2 . ($\times 1000$.)



Bild 29. Hochvergrößerte Aufnahme der in Bild 28 gekennzeichneten Stelle mit der kurzbrennweitigen Projektionslinse L_3 . ($\times 10000$.)

Bild 28 und 29. Magnesiumoxydrauch auf einem Drahtnetz niedergeschlagen (zur Wirkungsweise der Doppellinse des elektrostatischen Durchstrahlungs-Ueermikroskops).



Bild 30. Mit pulsender Gleichspannung.

Bild 31. Mit reiner Gleichspannung.

Bild 30 und 31. Magnesiumoxydrauch, aufgenommen mit dem elektrostatischen Ueermikroskop. ($\times 10000$.)

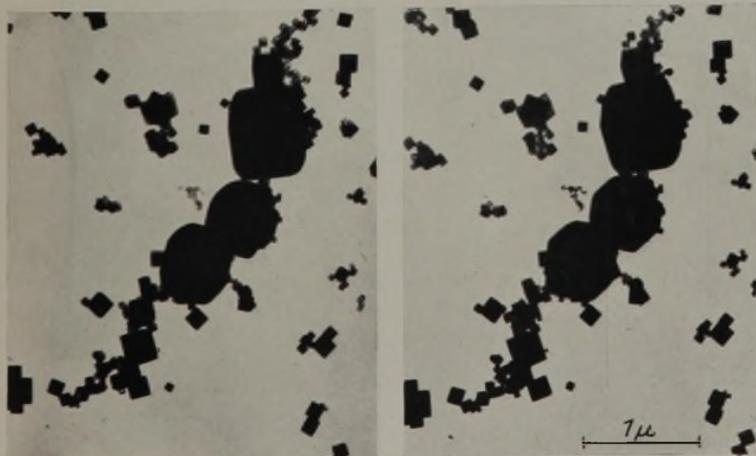


Bild 32.

Bild 33.

Bild 32 und 33. Stereoaufnahmen von Magnesiumoxydrauch. ($\times 15500$.)

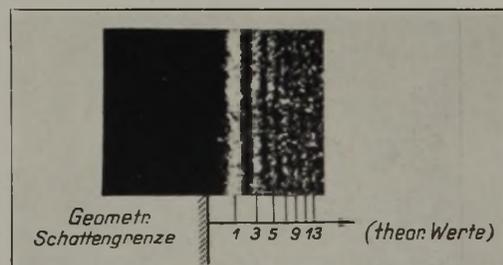


Bild 34. Fresnelsche Elektronenbeugung an einer Kante von amorphem Aluminiumoxyd, verglichen mit der berechneten Lage der Beugungsmaxima (unten).



Bild 35. Zinkoxydrauch. ($\times 9500$.)

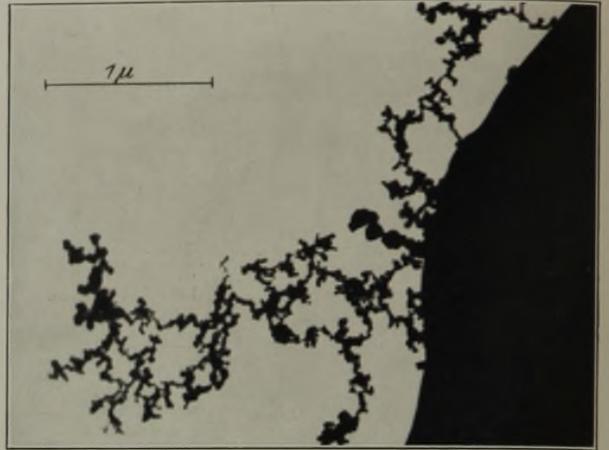


Bild 36. Zinnoxidrauch. ($\times 22\ 000$.)



Bild 37. Eisenrost, 5 Monate alt. ($\times 20\ 000$.)

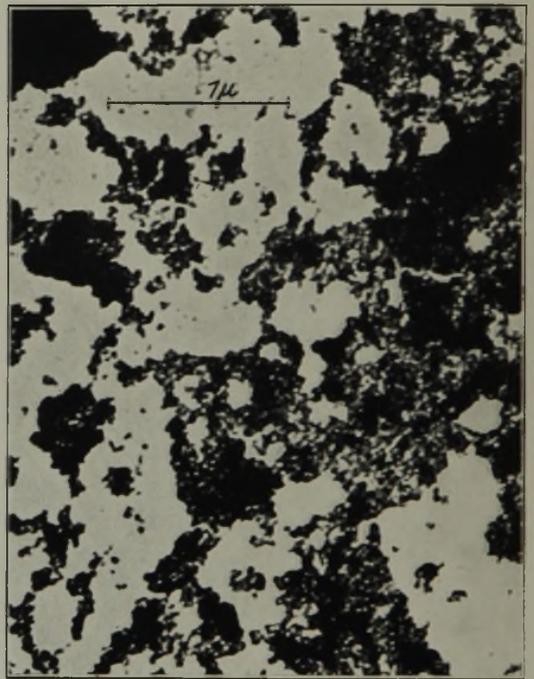


Bild 38. Frischgefälltes Ferrihydroxyd. ($\times 24\ 000$.)

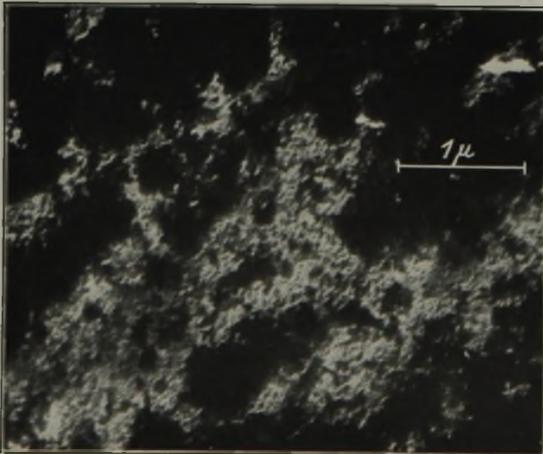


Bild 39. Eisenoxydfilm. ($\times 17\ 000$.)



Bild 40. Elektrolytisch erzeugter Aluminiumoxydfilm.
($\times 10\ 000$.)



Bild 41. Aluminiumoxydfilm, abgenommen von gewalztem Reinaluminium. ($\times 5000$.)

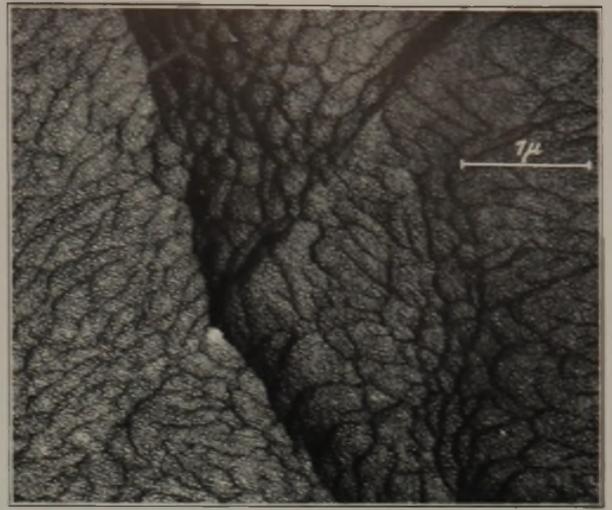


Bild 42. Aluminiumoxydfilm, abgenommen von einer geätzten Aluminiumoberfläche. ($\times 17\ 000$.)

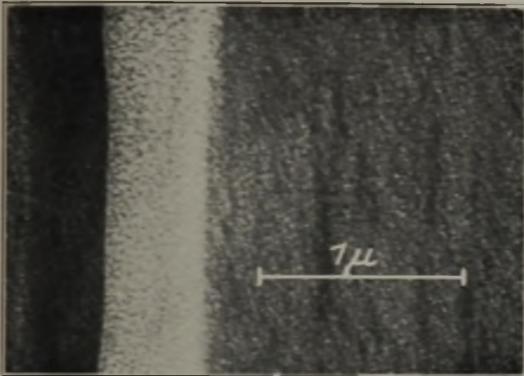


Bild 43. Aluminiumoxydfilm nach Bild 42 bei stärkerer Vergrößerung. ($\times 27\ 000$.)



Bild 44. Aluminiumoxydfilm nach Bild 42 bei anderer Behandlung; gefügelos. ($\times 27\ 000$.)

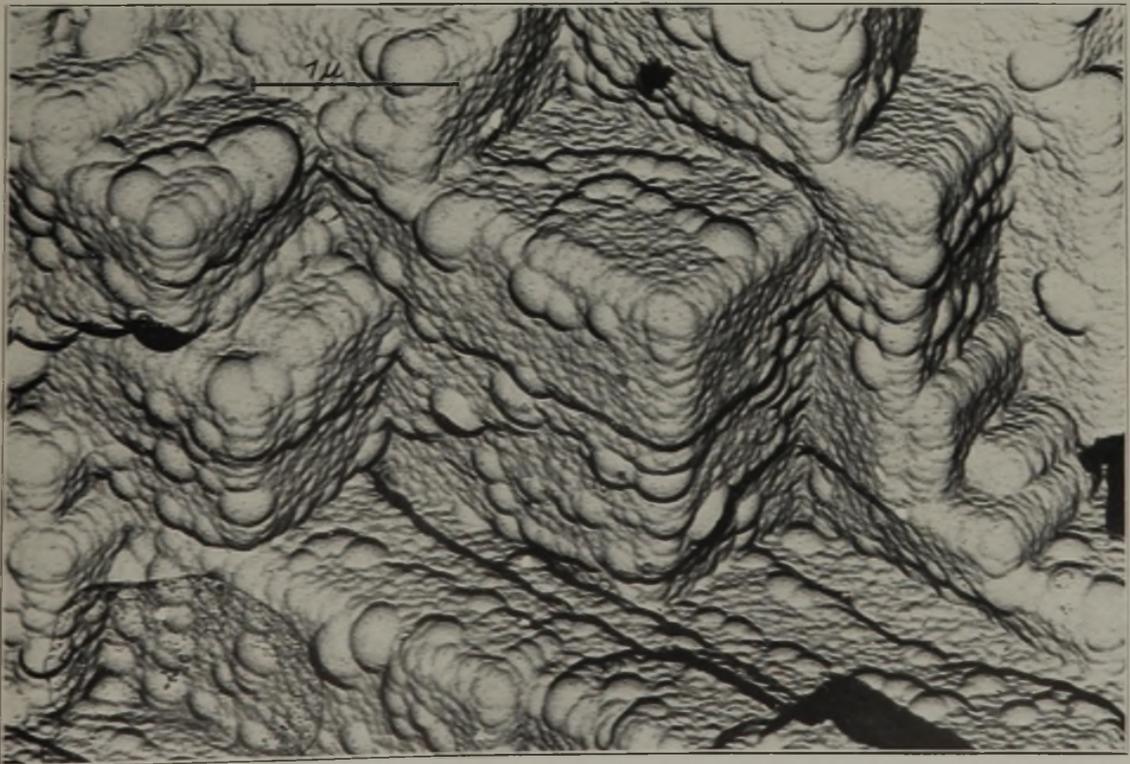


Bild 45. Ueermikroskopisches Oberflächenbild (Abdruckbild) von zweifach geätztem Aluminium. ($\times 27\ 000$.)



Bild 46. Uebermikroskopisches Oberflächenbild (Abdruckbild) von geätztem technischem Duralumin. ($\times 5000$.)



Bild 48. Abdruckbild von geätztem Kupfer mit einer Zaponlackfolie. ($\times 10\,000$.)



Bild 47. Abdruckbild einer geätzten Nickeloberfläche mit einem Nickeloxydfilm. ($\times 5000$.)



Bild 49. Abdruckaufnahme eines Aluminiumeinkristalles. ($\times 13\,000$.)



Bild 50. Abdruckaufnahme eines Aluminiumkristallgefüges. ($\times 3500$.)

zeichnet, die in ihrem Auflösungsvermögen über das des Lichtmikroskops hinausgehen¹⁹⁾.

Bisher ist es nicht gelungen, von Kathoden, d. h. Selbststrahlern, unter Einschaltung von Abbildungsstrahlengängen Bilder zu erhalten, die das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops, das bei 0,1 bis 0,2 μ liegt, überschreiten. Das mag daran liegen, daß man anscheinend 1934 diese Versuche eingestellt hat. Es liegen jedoch keineswegs grundsätzliche Hindernisse vor, die die Erreichung dieses Zieles unmöglich erscheinen lassen.

Auch auf dem Gebiete des Durchstrahlungsverfahrens schien das schon früh gesteckte Ziel des Uebermikroskops, „d. h. eines Mikroskops, das infolge der Kleinheit der Elektronenwellenlänge auch dann noch aufzulösen vermag, wenn das Lichtmikroskop längst seine prinzipielle Grenze erreicht hat“¹⁹⁾, anfangs kaum erreichbar zu sein. Wenn trotz aller Bemühungen, die Ueberschreitung des Auflösungsvermögens des Lichtmikroskops nachzuweisen, zunächst keine Erfolge zu verzeichnen waren, so mochte dies, wie der Verfasser 1935 in einem zusammenfassenden Bericht ausführte²⁷⁾, zum Teil daran liegen, daß die bis dahin untersuchten Objekte nicht genügend Feinheiten aufwiesen, um die hohen Vergrößerungen zu rechtfertigen. Erst durch die Erfolge von Krause und Beischer²⁸⁾ erhielten diese Arbeiten einen merklichen Auftrieb. Krause benutzte nicht mehr optisch unbekannte Objekte, sondern bekannte Testobjekte der Optik und verglich Elektronen- und Lichtbild. Es gelang ihm überzeugend zu zeigen, daß die Auflösung beider Aufnahmen etwa gleich ist. Um nun zunächst Objekte mit genügend feinen Einzelheiten zu erhalten, wählten Beischer und Krause Kolloide, auf deren Größe und oft auch Form mittelbar geschlossen werden kann, so daß eine Kontrolle der elektronenoptischen Aufnahmen möglich war. Sie konnten erstmalig Teilchen von submikroskopischer Größe deutlich sichtbar zeigen. Im Anschluß an diese Arbeiten, auf die auf der Physikertagung 1936 hingewiesen wurde, griff auch die Firma Siemens und Halske dieses Arbeitsgebiet auf; und heute ist es bereits gelungen, für das Durchstrahlungsverfahren eine ganze Anzahl von Uebermikroskopen zu bauen. Im folgenden werden Durchstrahlungsaufnahmen besprochen und dabei zur Abgrenzung gegen den vorangegangenen Bericht¹⁾, der sich mit speziellen Ausführungen des magnetischen Uebermikroskops befaßt, nur solche betrachtet, die mit dem elektrostatischen Uebermikroskop der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, das von H. Mahl, zum Teil in Zusammenarbeit mit H. Boersch, entwickelt worden ist²⁹⁾, erhalten wurden.

[Kürzlich ist besonders betont worden³⁰⁾, daß das Uebermikroskop nach Mahl die Eigenschaft der Durchstrahlung des Gegenstandes mit dem früher veröffentlichten Siemens-Mikroskop und seinen Vorläufern gemeinsam habe. Die Durchstrahlung von Gegenständen mit Elektronen zur Erzielung submikroskopischer Auflösungen wurde, was dabei aber nicht erwähnt wurde, bereits 1927/29 von H. Stintzing³⁾ erörtert.]

Ferner muß ein Eingehen auf die übrigen vom Forschungs-Institut der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft entwickelten und erprobten Uebermikroskope systemati-

sehen Darstellungen der Grundlagen und Verfahren der Elektronenmikroskopie überlassen bleiben³¹⁾. Daher wird weder das von H. Boersch gebaute Schatten-Uebermikroskop noch das magnetische Mikroskop von E. Kinder und A. Pendzich, das Jochlinsen-Uebermikroskop, dessen magnetische Linsen in ihrem Aufbau von den bis dahin für Elektronenmikroskope üblichen völlig abwichen, weiter berücksichtigt³²⁾.

Das elektrostatische Uebermikroskop.

Der Strahlengang und das Schaltschema des elektrostatischen Uebermikroskops nach Mahl sind aus Bild 24 ersichtlich. Die von einer Glühkathode G ausgesandten Elektronen werden durch eine erste Blende beschleunigt und durchsetzen das Objekt.

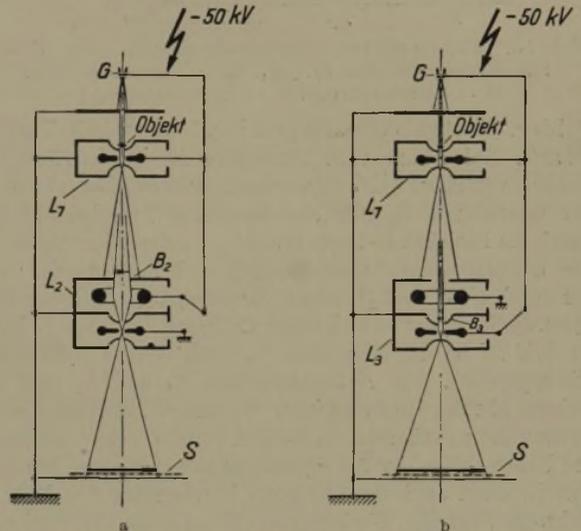


Bild 24. Strahlengang und Schaltschema des elektrostatischen Durchstrahlungs-Uebermikroskops.

a = Linse L_2 eingeschaltet, ergibt das Uebersichtsbild, hergestellt vom Querschnitt B_2 ; b = Linse L_3 eingeschaltet, ergibt das hochvergrößerte Bild, hergestellt vom Zwischenbild B_3 .

[Kürzlich ist besonders betont worden³⁰⁾, daß das Uebermikroskop nach Mahl die Eigenschaft der Ausbildung einer besonderen Elektronenquelle als Dreielektrodensystem mit negativer Steuerblende mit dem früher veröffentlichten Siemens-Mikroskop und seinen Vorläufern gemeinsam habe. Daß aber das Siemens-Mikroskop noch mit einer zusätzlichen Kondensorenspule arbeitet³³⁾, wurde jedoch in diesem Zusammenhang nicht erwähnt.]

Nach Verlassen des Gegenstandes durchlaufen die Elektronen drei aus je drei Elektroden bestehende Linsen L_1 , L_2 und L_3 , die eingeschaltet sind, wenn die ringförmige Mittelelektrode an dem negativen Pol der Beschleunigungsspannung liegt, und ausgeschaltet, wenn sie wie die Außenelektroden geerdet ist. Von den Linsen L_2 und L_3 hat L_2 eine lange, L_3 eine kurze Brennweite. Ist daher L_2 eingeschaltet (Bild 24 a), so entsteht auf dem Leuchtschirm S ein Uebersichtsbild mäßiger Vergrößerung (500- bis 1000fach) als Bild des Querschnitts B_2 , während bei eingeschalteter Linse L_3 ein Bild hoher Vergrößerung (10 000fach) als Bild des Zwischenbildes B_3 auf dem Leuchtschirm erscheint (Bild 24 b).

[Kürzlich ist besonders betont worden³⁰⁾, daß das Uebermikroskop nach Mahl die Eigenschaft der Zwischen-

³¹⁾ Vgl. Brüche, E., und A. Recknagel: Elektronengeräte. Berlin 1941.

³²⁾ Boersch, H.: Z. techn. Phys. 20 (1939) S. 346/50; Jb. AEG-Forsch. 7 (1940) S. 34/42. Kinder, E., und A. Pendzich: Jb. AEG-Forsch. 7 (1940) S. 23/26.

³³⁾ Siehe Fußnote 24: a. a. O., S. 282.

²⁷⁾ Henneberg, W.: ETZ 56 (1935) S. 853/56.

²⁸⁾ Krause, F.: Z. Phys. 102 (1936) S. 417/22; Krause, F.: Naturwiss. 25 (1937) S. 817/25; Beischer, D., und F. Krause: Naturwiss. 25 (1937) S. 825/29.

²⁹⁾ Mahl, H.: Naturwiss. 27 (1939) S. 417. Z. techn. Phys. 20 (1939) S. 316/17. Boersch, H.: Z. techn. Phys. 20 (1939) S. 346/50; vgl. auch Jb. AEG-Forsch. 7 (1940) S. 1/90 (Sonderh. ft. Uebermikroskop). Ausführlichste Beschreibung: Mahl, H.: Kolloid-Z. 94 (1940) S. 105/17; vgl. Chem. Zbl. 111 (1940) II, S. 3518/19.

³⁰⁾ Siehe Fußnote 24: a. a. O., S. 302/03, Anm. 1 zu S. 302.

bildbeobachtung mit dem früher veröffentlichten Siemens-Mikroskop und seinen Vorläufern gemeinsam habe. Daß diese Behauptung unzutreffend ist, da Mahl die unbequeme Beobachtung des Zwischenbildes gerade vermeidet, geht nicht nur aus den vorstehenden Ausführungen, sondern auch aus der Darstellung jener Verfasser³⁴⁾ hervor.]

Ermöglicht wird die beschriebene Arbeitsweise des elektrostatischen Elektronenmikroskops durch die außerordentliche Tiefenschärfe elektronenoptischer

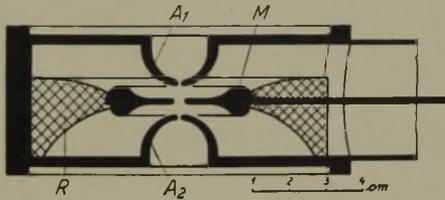


Bild 25. Elektrostatische Hochspannungslinse des Uebermikroskops nach Bild 24. (A_1 , A_2 = Außenelektroden, M = Mittelelektrode, R = Hartgummiring.)

Bilder, die etwa 1000mal so groß ist wie die optische Tiefenschärfe. Daher kann ohne Verstellung der Objektivlinse L_1 aus dem von dieser Linse entworfenen Strahlengang entweder der Querschnitt B_2 oder das eigentliche Zwischenbild B_3 durch die Projektions-Doppellinse L_2 , L_3 abgebildet werden. Die Linsen müssen dabei lediglich so bemessen sein, daß der durch die Linse L_2 bewirkte Strahlengang seinen engsten Querschnitt in der an sich engen Öffnung der Linse L_3 hat. In Bild 25 ist die Einzellinse L_3 noch einmal vergrößert wiedergegeben. Die Außenelektroden A_1 und A_2 sind in Achsennähe der Mittelelektrode M genähert, um eine kleine Brennweite zu erhalten, im übrigen von ihr weiter entfernt, um Uberschläge der Hochspannung zu vermeiden. Diesem Zwecke dient auch die besondere Formgebung der Mittelelektrode sowie die Werkstoffauswahl und die Oberflächenbehandlung aller Elektroden. Die Mittelelektrode M ist in einem Hartgummiring R befestigt. Eine Ansicht der Linse zeigt Bild 26, eine solche des ganzen Uebermikroskops

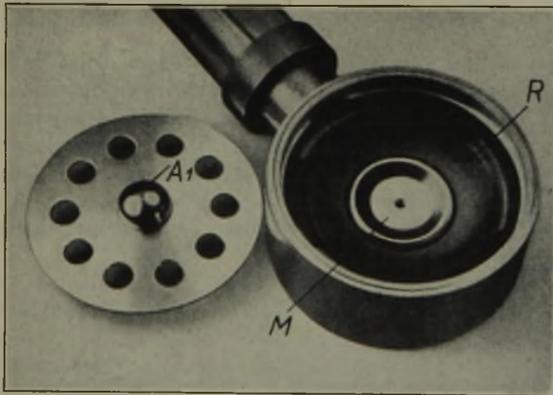


Bild 26. Ausführung der elektrostatischen Hochspannungslinse nach Bild 25.

Bild 27. In Bild 27 ist beim Mikroskop die Doppellinse, darunter die Schleuse zum Ein- und Ausbringen photographischer Platten in den Vakuumraum des Mikroskops sowie die Einblicköffnung zur Betrachtung des Leuchtschirmes und schließlich oben die Schleuse für das Objekt zu erkennen.

Die Bilder 28 und 29 (Tafel 27) mögen zunächst die Wirkungsweise der Doppellinse erläutern und gleichzeitig einen Einblick in die Untersuchungsmöglichkeiten liefern. Bild 28 zeigt ein Ubersichtsbild von Magnesiumoxydrauch, der auf einem Drahtnetz niedergeschlagen war, Bild 29 einen hoch-

vergrößerten Ausschnitt aus demselben. Während das Ubersichtsbild den Anschluß an die vom Lichtmikroskop her bekannten Bilder vermittelt, sind dem hochvergrößerten Bild Einzelheiten zu entnehmen, die die lichtoptische Wahrnehmbarkeit bereits weit überschreiten. Bei diesen und den folgenden Abbildungen ist häufig ein Vergleichsmaßstab angegeben, mit dessen Hilfe das erreichte Auflösungsvermögen sofort erkannt werden kann. Eine Eigenschaft, die allein dem elektrostatischen Gerät zukommt, ist den Bildern 30 und 31 zu entnehmen. Sie zeigen wieder Magnesiumoxydrauch,

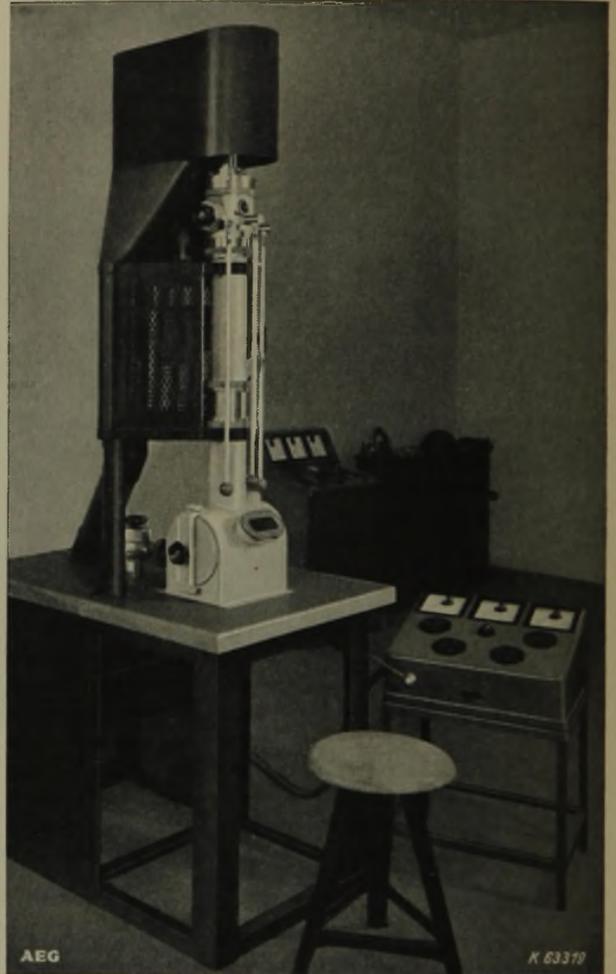


Bild 27. Ausführung des elektrostatischen Uebermikroskops (1940) für die Abbildung durchstrahlter Objekte.

einmal mit reiner Gleichspannung, das andere Mal mit pulsender Gleichspannung aufgenommen. Daraus, daß der Betrieb mit pulsender Gleichspannung keine nennenswerten Unschärfen in das Bild bringt, erkennt man, daß beim elektrostatischen Uebermikroskop besondere Anforderungen an die Glättung der Gleichspannung nicht gestellt zu werden brauchen. Diese Erscheinung ist physikalisch darin begründet, daß Linsenspannung und Beschleunigungsspannung so miteinander gekoppelt werden können, und es bei dem benutzten Mikroskop auch sind, daß die Brechkraft der Linse, die allein von dem Quotienten beider Spannungen abhängt, auch bei Änderungen der Spannung konstant bleibt³⁵⁾.

Einem dahingehenden Vorschlage der Lichtoptik folgend kann man auch stereoskopische Bilder herstellen, indem man den Gegenstand zweimal unter verschiedenen

³⁵⁾ Johansson, H., und O. Scherzer: Z. Phys. 80 (1933) S. 183/92.

³⁴⁾ Siehe Fußnote 24: a. a. O., S. 302.

Winkeln aufnimmt. Auch hierbei wird die große Tiefenschärfe des Elektronenmikroskops ausgenutzt. Als Beispiel diene *Bild 32* und *33*. Betrachtet man das Original solcher Aufnahmen im Stereoskop, so erhält man außerordentlich plastische Bilder der Kristalle, was ihre Ausdehnung und gegenseitige Lage anlangt, die weit größeren Aufschluß geben als die ebenen Bilder.

Ueber die Bildentstehung im Elektronen- und Uebermikroskop sind verschiedene Untersuchungen von H. Boersch³⁶⁾ angestellt worden, der dabei auch die ersten elektronenoptischen Dunkelfeldaufnahmen herstellte und den Einfluß der verschiedenen Streuvorgänge, die die Elektronen im Objekt erleiden, auf die Bildkontraste und die Wirkung des Oeffnungsfehlers der Linse in Abhängigkeit von der Blendengröße zeigte. Wenn sämtliche durch das Objekt hindurchgegangenen Elektronen durch die Linse wieder im Bilde vereinigt werden, so ist nach Boersch allein der im Objekt absorbierte oder nach rückwärts diffundierte Anteil der Elektronen für die Kontrastbildung verantwortlich. Wird nun durch eine Blende mit zentraler Oeffnung auch ein Teil der nach vorn, d. h. auf die Linse zu, gestreuten Elektronen ausgeblendet, so werden die Kontraste verstärkt, da nun von den stärker streuenden Bildteilen noch weniger Elektronen ins Bild gelangen. In ähnlicher Weise läßt sich auch die Entstehung des Dunkelfeldbildes erklären, das sich besonders zum Nachweis dünnster Gegenstände eignet.

H. Boersch³⁷⁾ gelang weiterhin der Nachweis, daß in der Elektronenoptik außer den bisher bekannten Fraunhoferschen Beugungserscheinungen auch die aus der Optik her bekannten Fresnelschen Beugungen auftreten, bei denen den abgelenkten Strahlen der Primärstrahl überlagert ist. Er zeigte dies an der Beugung an einer Kante von amorphem Aluminiumoxyd (*Bild 34*), die unter der versuchsmäßig erhaltenen Beugungsfigur die sich aus theoretischen Ueberlegungen der Optik ergebende Verteilung der Beugungsmaxima zeigt. Man erkennt, daß die gleichen Gesetze wie in der Optik auch für die Elektronenoptik gelten und daß die der Analogie zugrunde gelegte Vorstellung einer Elektronenwelle nach de Broglie auch dort ihre Berechtigung hat, wo es sich um die Streuung an nicht periodischen (nicht regelmäßig angeordneten) Streukörpern von übermolekularen Abmessungen handelt. Es ergibt sich somit die grundsätzliche Möglichkeit, die Wellenlänge der Elektronen unmittelbar aus geometrischen Abmessungen zu bestimmen, nämlich aus der Entfernung von Elektronenquelle und Beugungsobjekt sowie der Interferenzmaxima untereinander, während man bei den Beugungen an Kristallen stets auf die erst auf dem Umwege über Röntgenstrahlinterferenzen ermittelte Größe der Gitterkonstanten angewiesen ist. Wenn die Herstellung dieser Fresnelschen Beugungserscheinungen in der wiedergegebenen Güte auch erst unter Ausnutzung der Hilfsmittel der Elektronenoptik (äußerst kleiner Elektronenquelle) möglich ist, unter Bedingungen, die im Uebermikroskop nicht verwirklicht sind, so können sich doch, worauf Boersch hinwies, unscharfe Beugungsfiguren dem uebermikroskopischen Bild überlagern. Solche Unschärfen scheinen im uebermikroskopischen Bild von J. Hillier³⁸⁾ gefunden worden zu sein. Es ist selbstverständlich, daß man bei der Auswertung der Bilder diesem Umstand Rechnung tragen muß.

³⁶⁾ Ann. Phys., Lpz., V. Ser., 26 (1936) S. 631/44; 27 (1936) S. 75/80. Jb. AEG-Forschg. 7 (1940) S. 27/42.

³⁷⁾ Naturwiss. 28 (1940) S. 709/11 u. 711/12.

³⁸⁾ Phys. Rev. [2] 58 (1940) S. 842.

Metallkundliche Anwendungen des Uebermikroskops.

Aus den zahlreichen Anwendungen, die das Uebermikroskop bisher gefunden hat, seien im folgenden einige Beispiele herausgegriffen³⁹⁾. Wünschenswert ist die Ermittlung der Form und Größe von Rauchteilchen. Diese liegen im allgemeinen unter der Auflösungs-grenze des Lichtmikroskops, so daß mit lichtoptischen Verfahren nur mittelbare Schlüsse möglich sind. Dagegen liefert das Elektronenmikroskop bei vielen Rauchen eine weitgehende Auflösung der einzelnen Kristallhaufen. Die Rauche werden dabei entweder auf ein feinmaschiges Drahtnetz oder auf eine dünne Zaponfolie niedergeschlagen. Während im ersten Fall die frei tragenden Gegenstände abgebildet werden, wird im zweiten Fall die Trägerfolie mit abgebildet. Es gelingt jedoch, diese so fein und vor allem gleichmäßig auszubilden, daß eine Struktur von ihr nicht auf dem Bilde erscheint. In *Bild 35* (Tafel 28) ist ein Zinkoxydrauch wiedergegeben, der aus einem Lichtbogen mit Zinkelektroden niedergeschlagen worden ist⁴⁰⁾. Man erkennt die verschieden großen stacheligen, wirt aneinanderhängenden Gebilde. Ein völlig anderes Bild ergibt der in ähnlicher Weise hergestellte Zinnoxidrauch (*Bild 36*), der aus langen, baumartig verzweigten Gebilden besteht, dessen Einzelglieder kleine Würfel sind⁴⁰⁾.

Bemerkenswert ist der Vergleich von Eisenrost mit Eisenhydroxyd⁴¹⁾. Während zur Rostbildung Elektrolyt-eisen einige Stunden in destilliertes Wasser gelegt wurde, die Rostflocken durch Schütteln entfernt und auf einen Objektträger aufgebracht wurden, wurde das Ferrihydroxyd chemisch ausgefällt (Ammoniakfällung aus Ferrichlorid). Die in *Bild 37* wiedergegebene Aufnahme von fünf Monate altem Rost zeigt neben größeren undurchsichtigen Kristallen durchsichtige Plättchen, die meist eine wohlbestimmte sechseckige Form haben. Wahrscheinlich handelt es sich dabei um die α - bzw. γ -Form des Ferrihydroxyds. Der flockige, rotbraune Niederschlag von frisch gefälltem Ferrihydroxyd (*Bild 38*) stellt dagegen eine lose Zusammenlagerung von sehr kleinen kolloidalen Teilchen ($\approx 100 \text{ \AA}$) dar, während Kristallplättchen nur selten vorkommen.

Der Vergleich von Oxydfilmen im Elektronenmikroskop erklärt ein unterschiedliches Verhalten solcher Filme. In *Bild 39* ist ein Eisenoxydfilm wiedergegeben, in *Bild 40* ein elektrolytisch erzeugter Aluminiumoxydfilm⁴²⁾. In dem Eisenoxydfilm, der von schwach gelb angelassenem Eisen abgelöst wurde, sind große örtliche Dickenunterschiede sowie außerordentlich viele feinste Poren zu erkennen, deren Zahl etwa $10^8/\text{mm}^2$ beträgt. Abgesehen von dem vermutlich erst beim Ablösen des Films entstandenen großen Loch sind beim Aluminiumoxydfilm nur wenige Poren zu sehen, deren Zahl um mehrere Zehnerpotenzen geringer ist als beim Eisenoxydfilm, obwohl der Film an vielen Stellen schon so dünn war, daß die Elektronen praktisch ungeschwächt hindurchgelassen wurden. Daher ist verständlich, daß der elektrolytisch erzeugte Aluminiumoxydfilm im Gegensatz zu dem Eisenoxydfilm die Metalloberfläche gegen Korrosion zu schützen vermag.

Oberflächenabbildungen im Uebermikroskop.

Bei der Untersuchung derartiger abgelöster Oberflächenschichten konnte H. Mahl⁴²⁾ ⁴³⁾ nun eine sehr bedeutsame

³⁹⁾ Vgl. außer den jeweils angeführten Arbeiten auch Mahl, H.: Jb. AEG-Forschg. 7 (1940) S. 67/76. Jakob, A., und H. Mahl: Ebenda, S. 77/87.

⁴⁰⁾ Mahl, H.: Kolloid-Z. 91 (1940) S. 105/17.

⁴¹⁾ Mahl, H.: Z. Metallkde. 33 (1941) S. 68/73.

⁴²⁾ Mahl, H.: Z. techn. Phys. 21 (1940) S. 17/18.

⁴³⁾ Metallwirtsch. 19 (1940) S. 488/91. Z. Metallkde. 33 (1941) S. 68/73. Z. techn. Phys. 22 (1941) S. 33/38.

Feststellung machen. An den Stellen, an denen die Oberflächenschicht gleichmäßig gewachsen war, zeigte sie ein kennzeichnendes Feingefüge, das offenbar dem Oberflächengefüge der vor der Oxydation geätzten Metalloberfläche zuzuschreiben ist. Die abgelöste Oxydschicht liefert also einen Abdruck der Oberfläche. Nachdem dies erkannt worden war, ergab sich auch die Möglichkeit, statt mit chemisch gewachsenen Oberflächenschichten auch mit künstlich aufgetragenen Schichten derartige Abdrücke zu erzielen. Wegen der Herstellung und Ablösung dieser Oberflächenschichten möge auf die Originalarbeiten⁴²⁾⁴³⁾ verwiesen und hier nur einige der erhaltenen Oberflächenbilder wiedergegeben werden. Sie sind deshalb von besonderer Bedeutung, als es die ersten Oberflächenbilder von übermikroskopischer Feinheit sind, die überhaupt erhalten wurden, und die einzigen unverzerrten Bilder, die bisher hergestellt werden konnten. Das später veröffentlichte Reflexionsverfahren nach B. v. Borries⁴⁴⁾ führt zu starker Bildverzerrung in einer Richtung. Das Feldemissionsmikroskop²³⁾ ist auf besondere Gegenstände beschränkt. Schliffe von der im Elektronenmikroskop erforderlichen geringen Dicke lassen sich bislang nicht herstellen.

[Kürzlich ist darauf hingewiesen worden³⁰⁾, daß das Uebermikroskop nach Mahl nicht zuletzt die Eigenschaft der Präparationstechnik mit dem früher veröffentlichten Siemens-Mikroskop und seinen Vorläufern gemeinsam habe. Daß diese Behauptung unzutreffend ist, da die Untersuchungen von Mahl das Gebiet der übermikroskopischen Oberflächenabbildung überhaupt erst erschlossen, geht nicht nur aus den vorausgehenden Ausführungen, sondern auch aus der Darstellung jener Verfasser⁴⁵⁾ hervor.]

In *Bild 41* (Tafel 29) ist der Aluminiumoxydabdruck von gewalztem Reinaluminiumblech wiedergegeben. Sehr kontrastreich und plastisch treten in ihm feinste Oberflächenunebenheiten sowie Walzrillen hervor. Im Abdruckbild einer vor der Oxydation mit Kalilauge geätzten Aluminiumoberfläche (*Bild 42*) zeigen sich dagegen einzelne Aetzstufen und Grübchen, die der Beschauer sofort plastisch sieht. Ueberlagert zeigt sich bei diesen Aufnahmen die Struktur des Aluminiumoxydfilms, die bei weiterer Vergrößerung allein erkennbar ist (*Bild 43*), gegen die nun die der Unterlage zurücktritt. Danach scheint die Aluminiumoxydfolie aus kleinsten Kriställchen aufgebaut zu sein. Bei anderer Behandlung gelingt es jedoch, den Aluminiumoxydfilm selbst bei höherer Vergrößerung gefügelos zu erhalten (*Bild 44*).

Den Einfluß des Aetzmittels auf das Oberflächengefüge zeigt, besonders im Vergleich zu *Bild 42*, die Aufnahme einer Aluminiumoberfläche in *Bild 45*. Die im Abdruck wiedergegebene Aluminiumoberfläche war mit zwei verschiedenartig wirkenden Aetzmitteln behandelt worden. Unter der Einwirkung eines Salzsäure-Flußsäure-Gemisches trat zunächst ein würfelförmiger Abbau des Werkstoffs ein, der in den groben Stufen erkennbar ist. Eine nachfolgende Behandlung in heißer Salpetersäure ließ auf den Würfeln die kleinen Grübchen entstehen.

In gleicher Weise lassen sich auch Aluminiumlegierungen übermikroskopisch abbilden, soweit sie sich elektrolytisch oxydieren lassen. Dies zeigt *Bild 46* (Tafel 30) an geätztem technischem Duralumin, bei dem die vielen kleinen schwarzen Körnchen bemerkenswert sind, die in dem großflächigen Aetzgefüge eingestreut sind und die unter der Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops liegen. Es könnte sich hier um Kupferabscheidungen handeln, die

im Lichtmikroskop nur unter besonderen Vorbehandlungsbedingungen gesehen werden können. — Daß das beschriebene Verfahren nicht auf Aluminium und auf Oxydschichten beschränkt ist, wurde bereits erwähnt. So gibt *Bild 47* das Abdruckbild einer geätzten Nickeloberfläche mit Hilfe eines Films wieder, der durch thermisches Oxydieren erzeugt wurde, und *Bild 48* das Bild von geätztem Kupfer mit Hilfe einer Zaponlackfolie.

H. Mahl⁴⁶⁾ hat das beschriebene Abdruckverfahren zur Feingefügeuntersuchung benutzt. Es tritt damit dem anfangs erwähnten Verfahren der Emissionsmikroskopie ergänzend zur Seite. Ohne hier auf die Einzelheiten dieses neuen Verfahrens einzugehen, seien lediglich Beispiele der von Mahl erzielten Aufnahmen gebracht, denen die Grundlage dieses Verfahrens bereits zu entnehmen ist. In *Bild 49* ist eine Aufnahme wiedergegeben, die an einem Aluminiumeinkristall gewonnen wurde. Die Flächen waren mit Flußsäure-Salzsäure-Gemisch behandelt worden, so daß die Würfel Flächen (100-Ebenen) freigelegt wurden. Das Bild wirkt bereits ohne weiteres so plastisch, daß man eine Grobanalyse der Schichtung schon beim bloßen Anblick zu geben geneigt ist. *Bild 50* zeigt eine größere Aluminiumoberfläche mit verschiedenen gelagerten und verschieden abgebauten Kristalliten.

Hiermit mögen die Beispiele für den Einsatz des Uebermikroskops für die Metallforschung abgeschlossen sein. Wenn auch das Uebermikroskop zunächst nur von durchstrahlten Gegenständen unverzerrte Bilder liefern zu können scheint, so lehrt doch das plastische Abdruckverfahren von Mahl, wie man durch Entwicklung geeigneter Verfahren die ursprünglichen Grenzen dieses Mikroskops zu überschreiten und ihm auf diese Weise das Gebiet der Oberflächenuntersuchung zu erschließen vermag.

Zusammenfassung.

Das Elektronenmikroskop bildet im Gegensatz zum Lichtmikroskop die Gegenstände mit Elektronen statt mit Licht ab. Es erweitert auf diese Weise die Kenntnisse der Dinge kleiner Abmessungen, zumal da es auch wegen der kleinen Elektronenwellenlänge die dem Lichtmikroskop durch die Wellenlänge des Lichtes gesetzte grundsätzliche Schranke im Auflösungsvermögen zu überschreiten gestattet. Auf Aufbau und Wirkungsweise der verschiedenen bisher gebauten Elektronenmikroskope wird eingegangen und dabei besonders das Emissionsmikroskop und das elektrostatische Uebermikroskop, das als Durchstrahlungsmikroskop ausgebildet ist, behandelt. Die Vielfachheit der Aufgaben auf metallkundlichem Gebiet wird aufgezeigt, die das Elektronenmikroskop in seinen verschiedenen Formen bereits jetzt anzugreifen vermag, und auf die wichtigsten Ergebnisse, vor allem bei der Untersuchung von Form und Größe von Rauchteilchen, Eisenrost, Oxydfilmen von Eisen und Aluminium sowie von Oberflächengefügen von Metallen hingewiesen, die bislang erzielt wurden. Das beim Uebermikroskop verwendete Verfahren des plastischen Abdrucks hat besonders bei Aluminiumoberflächen zu aufschlußreichen Abbildungen geführt.

Es ist jetzt Angelegenheit des praktisch oder wissenschaftlich arbeitenden Metallfachmanns, beim Angreifen neuer Fragen sich dieses Forschungsmittels, das sich ihm im Elektronenmikroskop, sei es im Emissionsmikroskop zur Untersuchung glühelektrisch oder photoelektrisch emittierender Oberflächen, sei es im Rückstrahlungs- oder Durchstrahlungsmikroskop, besonders im Uebermikroskop, darbietet, zu bedienen.

⁴⁴⁾ Z. Phys. 116 (1940) S. 370/78.

⁴⁵⁾ Siehe Fußnote 24: a. a. O., S. 310.

⁴⁶⁾ Metallwirtsch. 19 (1940) S. 1082/85.

An den Bericht schloß sich folgende Erörterung an, bei der gleichzeitig der Bericht von B. v. Borries¹⁾ berücksichtigt wurde.

F. Körber, Düsseldorf: Für den Metallkundler ergibt sich die Frage, wo auf dem Gebiete der Metallforschung das Elektronenmikroskop am zweckmäßigsten angesetzt werden kann, um gegebenenfalls neue Erkenntnisse zu erhalten. Die Herren v. Borries und Henneberg haben bereits auf bemerkenswerte Anwendungsmöglichkeiten hingewiesen, wie die Untersuchung von Rost- und Oxydschichten, Kristallwachstum und Phasenumwandlungen. Das elektronenoptische Untersuchungsverfahren könnte ferner durch eine Untersuchung der Auflösungsreste von Rückstandsanalysen zur Klärung des Wesens der Korngrenzsubstanz, die mit der Stahlgüte in Zusammenhang stehen dürfte, eingeschaltet werden. Vielleicht kann das Elektronenmikroskop auch zweckmäßig auf dem Gebiete der Schlackenumsetzungen angesetzt werden.

F. Stäblein, Essen: Da nach den Ausführungen der Herren v. Borries und Henneberg zunächst nur die Elektronendurchstrahlung dünner Schichten eine Steigerung der Vergrößerung gegenüber der Lichtoptik erwarten läßt, wird sich der an die Betrachtung entsprechender vorbereiteter Metalloberflächen gewöhnte Metallgraph vor die Aufgabe gestellt sehen, eine ganz neue Technik der Probenvorbereitung zu entwickeln, wenn er vom Uebermikroskop Gebrauch machen will. In dieser Hinsicht geben die in den Berichten gebrachten Beispiele von zweckmäßigen Kunstgriffen weitere Anregung, wie die Beobachtung des äußersten Randes einer Kerbbiegeprobe oder die Durchstrahlung eines abgelösten Oxydfilms, der gewissermaßen wie ein Abziehbild erstaunlich viele Feinheiten der Oberfläche erkennen ließ. Das Auffinden derartiger Kunstgriffe wird nur durch engste Zusammenarbeit aller Beteiligten möglich sein.

K. Daeves, Düsseldorf: Die Möglichkeit der elektronenoptischen Verfolgung der γ - α -Umwandlung bei Eisen stellt gegenüber lichtoptischen Untersuchungen einen Fortschritt dar. Ist es grundsätzlich bedingt, daß bei emittierenden Stoffen keine stärkere Vergrößerung als beim lichtoptischen Verfahren erzielt wird? Das etwa notwendige Ueberstreichen der Proben mit emittierenden Stoffen hat sein Seitenstück in dem auch lichtoptisch notwendigen differenzierenden oder färbenden Anätzen der Schiffe. Dies hätte beim Elektronenmikroskop allerdings in anderen Fällen nur Sinn, wenn auch eine Steigerung der Vergrößerung gegenüber der Lichtoptik erreicht wird.

H. Schottky, Essen: Welche Schichtdicken können elektronenoptisch nach dem Durchstrahlungsverfahren untersucht werden? Ist es gegebenenfalls möglich, auf diesem Wege etwas über die Struktur solcher zusammenhängender Metallschichten zu erfahren und Veränderungen derselben zu verfolgen?

B. v. Borries, Berlin-Siemensstadt: Eine Reihe der in der Erörterung angeschnittenen Fragen ist durch die seit der Tagung erzielten Fortschritte weitergefördert worden. So gelang es, wie in dem gedruckten Bericht¹⁾ bereits ausführlicher dargestellt wurde, auch die übliche Metallmikroskopie unter gewissen Modifikationen übermikroskopisch weiterzuführen. Damit können metallographische Probleme und Fragen der Feingestalt technischer Oberflächen jetzt mit einer etwa 10fach besseren Auflösung als der des Lichtmikroskops angegangen werden. Weiterhin ist die Durchstrahlung dickerer Objekte durch Erhöhung der Strahlspannung auf 220 kV ermöglicht worden, wie ebenfalls im gedruckten Bericht bereits erwähnt wurde. Die Schichtdicke, die für die Erkennung feiner Einzelheiten heute die praktische Grenze darstellt, liegt etwa bei 10^{-4} g/cm².

W. Henneberg, Berlin: Das bei Selbstleuchtern erzielbare Auflösungsvermögen liegt zur Zeit noch nicht unter dem des Lichtmikroskops. Es sind aber keine grundsätzlichen Bedenken vorhanden, die für das Emissionsmikroskop die Erzielung übermikroskopischer Auflösungen verhindern könnten. Trotzdem kommt der Untersuchung emittierender Stoffe mit dem Elektronenmikroskop auch jetzt schon eine wesentliche Bedeutung zu, da man nicht nur andere Aussagen als mit dem Lichtmikroskop erhält, sondern vornehmlich auch bei so hohen Temperaturen untersuchen kann, wie dies mit dem Lichtmikroskop nur schwer oder gar nicht möglich ist. Dieser Vorteil spielt besonders bei den Phasenumwandlungen eine wichtige Rolle.

Daß sich auf dem Gebiete der Metallforschung eine neue Technik der Probenvorbereitung entwickeln muß, scheint nach den Erfahrungen, die man mit dem Lichtmikroskop gemacht hat, keineswegs überraschend zu sein. Hier bedurfte es sogar langwieriger Untersuchungen, bis die Objekte so weit vorbereitet waren, daß sie die Einzelheiten zeigten, die über die Form und die Struktur Aufschluß geben. Es muß bei dieser Gelegenheit daran erinnert werden, daß beim Lichtmikroskop oft derartig tiefe Eingriffe in das Untersuchungsobjekt notwendig sind, daß man ohne weitere Forschungen gar nicht immer sagen kann, ob das für das Mikroskop vorbereitete Objekt auch wirklich noch dasjenige ist, das man untersuchen wollte. Ebenso wie beim Lichtmikroskop wird es auch beim Elektronenmikroskop erforderlich sein, daß man die erhaltenen Aufnahmen richtig zu deuten lernt. Diese ganzen Fragen können, wie in der Erörterung sehr richtig hervorgehoben wurde, nur durch engste Zusammenarbeit aller Beteiligten gelöst werden.

Die Schichtdicken, die nach dem Durchstrahlungsverfahren untersucht werden können, liegen in der Größenordnung von einigen hunderttausendstel Millimetern. Bereits das übermikroskopische Bild läßt über die Struktur solcher Schichten Aussagen zu, die im übrigen durch Beugungsaufnahmen erweitert werden können.

Zuschriften an die Schriftleitung.

(Für die in dieser Abteilung erscheinenden Veröffentlichungen übernimmt die Schriftleitung keine Verantwortung.)

Elektrolytisches Schnellverfahren zum Aetzipolieren von Metallschliffen.

Das in der Arbeit von A. L. De Sy und H. Haemers¹⁾ angegebene elektrolytische Schnellverfahren zum Aetzipolieren von Metallschliffen haben wir mit unlegiertem und niedriglegiertem Chrom-Nickel-Stahl ausprobiert und es sehr verwendbar gefunden. Die Korrosionsgefahr wird vermindert und es kann mit geringeren Stromstärken gearbeitet werden, falls man eine Mischung von Isoamylalkohol und Methylalkohol benutzt. Die Aetzzeit wird jedoch dadurch ein wenig verlängert.

Jedoch soll die Aufmerksamkeit auf einen Nachteil bei diesem Verfahren gelenkt werden. In der Lösung wird Aethylperchlorat gebildet, das, wie auch die verwandten Perchloratester, hochexplosiv ist; Aethylperchlorat ist explosiver als Nitroglycerin. In verdünnten Lösungen ist der Stoff ungefährlich; bei Verdampfung aber, beispielsweise durch Spritzen oder Tropfen beim Entnehmen einer Elektrode, wird der Sprengstoff isoliert und kann durch Wärme, Schlag oder dergleichen zur Explosion gebracht werden. Es

ist deshalb zweifelhaft, ob das Verfahren für die Massenherstellung von Schliffen verwendbar ist, da eine geringe Unvorsichtigkeit die Gefahr eines ernststen Unfalles hervorrufen kann.

Kopenhagen, 18. März 1941.

Eggert Knuth.

* * *

Was die Gefahr der Explosion des unter Umständen gebildeten Aethylperchlorats betrifft, so glauben wir, daß diese als ausgeschlossen betrachtet werden kann, und zwar aus folgenden Gründen. Das gebildete Aethylperchlorat ist in der von uns verwendeten Lösung sehr verdünnt, wenn man von einer Perchlorsäure mit der Dichte 1,425 g/cm³, d. h. von einer 20prozentigen Säure ausgeht und auf einen Teil dieser wäßrigen Lösung vier Teile 96prozentigen Aethylalkohols mit einem Zusatz von 3 % Aether hinzufügt, so daß die Konzentration der Perchlorionen vielleicht 4 % beträgt in einer Lösung, die rd. 80 % Aethylalkohol und 20 % Wasser enthält. Durch Elektrolyse wird

¹⁾ Stahl u. Eisen 61 (1941) S. 185/87.

das Aethylperchlorat in Perchlor und Aethyl elektrolysiert. Bleibt beim Herausnehmen des Metallschliffes Aethylperchlorat am Metall hängen, dann ist dessen Konzentration sehr gering, und zwar 1. durch die geringe Konzentration an Aethylperchlorat in der Lösung und 2. durch die sehr gute Auflösbarkeit von Aethylperchlorat in Alkohol. Durch das Spülen der Probe nach der Elektrolyse entfernt man auch diese geringen Spuren.

Aus wissenschaftlichen Untersuchungen über die Ursache der Polierbarkeit, über die Zusammensetzung des anodisch gebildeten Erzeugnisses und über den Vorgang des Polierens — die Untersuchungen sollen demnächst veröffentlicht werden — ziehen wir folgende Schlüsse:

1. Die Perchlorsäure wird zu $\text{Cl} + \text{O}_2$ reduziert (Reaktion mit Silbernitrat vor und nach der ersten Elektrolyse).
2. Wenn ein Bad nicht mehr reagiert, dann bleibt auch das gesamte Perchlor ungebunden, und man findet das gesamte Perchlor quantitativ als Chlor zurück.
3. Um die anodisch gebildete Schicht zu isolieren, wurde die Metallprobe unter Strom aus der Lösung gehoben, dann an der Luft ohne Spülen getrocknet, in Bakelit (135°) mit Gummilack oder mit geschmolzenem Wismut (300°) eingepackt. Niemals wurde auch die geringste Verpuffung beobachtet.

In den beinahe zwei Jahren, die wir nun die Lösung benutzen und in denen wir Hunderte von Proben poliert haben, hat sich auch nie die geringste Explosion ereignet, obwohl wir keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen getroffen haben. Unsere Untersuchungen bestätigen, daß die Gefahr von Explosionen nicht vorhanden ist, weil alle Einflüsse mitwirken, um die Konzentration an Aethylperchlorat sehr gering zu halten oder sogar zu verhindern.

Die Beobachtung, daß eine Mischung von Aethyl- und Isoamylalkohol die Korrosionsgefahr vermindert, haben auch wir gemacht. Hierzu kann als Beweis angeführt werden, daß beim Polieren von Aluminium in einer derartigen Lösung das Ergebnis minderwertig und zweifelhaft ist.

Ebenso können wir auch bestätigen, daß man in alkoholischen Eisenchlorid-, Salpetersäure- und Salzsäure-Wasserstoffsperoxyd-Lösungen in bestimmten Fällen ätzipolieren kann. Hierbei ergeben sich folgende Nachteile: 1. die Lösungen sind schneller verbraucht, 2. die Ätzung ist meist zu heftig und 3. das Ergebnis ist ziemlich zweifelhaft.

Gent, 6. April 1941.

Albert De Sy und Herman Haemers.

* * *

Auch meiner Meinung nach ist die Gefahr, die mit dem Arbeiten mit einer Lösung wie der vorliegenden verbunden ist, unter üblichen Verhältnissen sehr gering. Die explosive Eigenschaft des Aethylperchlorats ist indessen meist unbekannt, weshalb man an verschiedene Möglichkeiten für Unfälle in Laboratorien, die hierauf nicht achten, denken kann. Ein Versuch, bevor die Lösung ganz und gar ausgebraucht ist, den Alkohol durch Destillation wiederzugewinnen, wird eine ernste Gefahr mit sich bringen. Unfälle dieser Art habe ich persönlich in Erfahrung gebracht. Ob ein Spritzen in der Praxis eine Gefahr bedeutet, ist schwieriger zu sagen. Ich dachte in diesem Zusammenhang vor allem daran, daß die nahen Holzteile der Elektrolysevorrichtung während längerer Zeiten durch eingedampften und teilweise aufgesaugten Elektrolyt verunreinigt werden und dadurch eine Konzentration von Aethylperchlorat geschaffen wird, die gefährlich werden kann.

Nach den ergänzenden Ausführungen der Herren De Sy und Haemers gebe ich aber gern zu, daß ich diese letzte Möglichkeit als unwahrscheinlich ansehe. Grundsätzlich halte ich es jedoch für richtig, in Verbindung mit der Veröffentlichung eines Verfahrens, wie das der Herren De Sy und H. Haemers, das wahrscheinlich in einem weiten Umfange in der Praxis Verwendung findet, auf die Gefahr hinzuweisen, die mit dem Eindampfen größerer Mengen von Lösung verbunden ist.

Kopenhagen, 16. Mai 1941.

Eggert Knuth.

Umschau.

Stand des Dampfkesselwesens auf amerikanischen Eisenhüttenwerken.

Auf Grund seiner Erfahrungen bei der Babcock and Wilcox Co. in New York veröffentlicht D. N. Mauger¹⁾ einen Ueberblick über die Lage der Dampfwirtschaft und die Fortschritte des Dampfkesselwesens auf amerikanischen Hüttenwerken.

Während Deutschland seit 1933 auf einen ungeheuren wirtschaftlichen und technischen Aufschwung zurückblicken kann, war die Wirtschaftskrise in den Vereinigten Staaten noch 1939 nicht ganz abgeschlossen, so daß sich die Gedanken der amerikanischen Hütten- und Kraftwerksingenieure erst seit zwei Jahren auf die Erneuerung und technische Verbesserung ihrer Anlagen richten. Die meisten Kesselanlagen haben infolge der lange anhaltenden Krise ein Alter von über dreißig Jahren erreicht. Damit tritt die Notwendigkeit des Ersatzes in den Vordergrund, wobei man natürlich die Fortschritte der wissenschaftlichen Erkenntnis für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit bei der Erzeugung und Verwendung von Dampf ausnutzen möchte. Zunächst beschäftigt man sich daher mit der Frage nach den aufzustellenden Leistungen und den anzuwendenden Drücken und Temperaturen. Wenn dabei auch vor allem die vorliegenden Bedingungen des einzelnen Unternehmens als Grundlage dienen müssen, die sich aus der Größe der erforderlichen Dampf- und Stromleistung, der Brennstoffart und -beschaffung und nicht zuletzt aus der Speisewasserfrage und den zur Verfügung stehenden Geldmitteln ergeben, so zeichnen sich doch gewisse Entwicklungslinien über die angewendeten Drücke und Temperaturen von allgemeiner Bedeutung ab.

¹⁾ Iron Steel Engr. 17 (1940) Nr. 10, S. 40/49 u. 59.

In den Jahren 1937 bis 1939 arbeiteten die Babcock-und-Wilcox-Werke 34 Entwürfe von Dampfkraftwerken für Eisenhütten aus. Von diesen waren an Kesselanlagen

- 19 für 10 bis 20 atü Dampfspannung,
- 4 für 30 bis 40 atü Dampfspannung,
- 5 für 40 bis 50 atü Dampfspannung,
- 6 für 60 bis 70 atü Dampfspannung

vorgesehen und ausgelegt. Mehr als die Hälfte aller Entwürfe blieb also bei den bisher üblichen Dampfdrücken von 10 bis 20 atü stehen, während nur ein gutes Sechstel auf ausgesprochenen Hochdruckdampf übergang.

Dem Verwendungszwecke nach waren

- 16 Kesselanlagen mit Drücken von 15 bis 20 atü und geringer Ueberhitzung für die allgemeine Hüttdampfversorgung, für Walzenzugmaschinen, Gebläsemaschinen und Heizungen und nur
- 1 Hochdruckanlage von 47,5 atü und 350° unter Zwischenschaltung einer Turbine für eine Walzwerks-Dampfversorgung bestimmt.
- 17 Anlagen entfielen auf Hüttenkraftwerke mit Dampfspannungen zwischen 10 atü und 260° und 65 atü und 450°, wobei 8 Anlagen ihren Dampf über Vorschaltturbinen abgeben und nur 1 Kessel eine Hochdruckkondensationsturbine versorgt.

Als Begründung für die Neigung, Kesselanlagen amerikanischer Hütten im großen Umfange auf niedrige Drücke und Temperaturen ausulegen, kann man wohl anführen, daß es sich in vielen Fällen darum handelt, vorhandene überalterte Dampferzeuger zu ersetzen, wobei die Verhältnisse bei den Dampfablehmern berücksichtigt werden müssen. Besteht kein Bedarf an zusätzlichem Strom, der die Aufstellung einer Vorschaltturbine rechtfertigte, so hat die Einführung des Hoch-

druckdampfes keinen Sinn, wenn man nicht gleichzeitig auch die mit Dampf betriebenen Maschinensätze auf die neuen Verhältnisse zuschneiden will. Vermutlich dürfte in vielen Fällen entscheidend sein, daß man billigen Strom von den Großkraftwerken beziehen kann und daher auf eine eigene Erzeugung verzichtet, und das um so eher, falls man die Brennstoffe zukaufen muß. Allgemein gesehen geht die Entwicklung, genau wie bei uns, in Richtung einer verstärkten Verstromung der Anlagen, weil Haupt- und Nebenantriebe in den Walzwerken und andere mit Motorenantrieb ausgerüstet werden. Dazu kommt, daß die Verfeinerung auf den Hüttenwerken immer weiter zunimmt, wobei dann der Strombedarf stärker ansteigt als die Höhe des durchgesetzten Rohstahles. Die große Zahl der Dampfanlagen für Stromerzeugung scheint auf diese Entwicklung hinzudeuten. Der Anteil der Vorschaltturbinen ist hierbei sehr beachtlich. Immerhin befinden sich auch unter den Kraftwerksanlagen noch drei Werke, die mit ausgesprochen niedrigem Dampfdruck arbeiten wollen. Bei diesen Planungen scheint die Platzfrage eine Rolle gespielt zu haben, da man Wert darauf gelegt hat, möglichst leistungsfähige Anlagen auf möglichst kleinem Raum zu erhalten.

Bei großem Gichtgasüberschuß, also billigem Brennstoff, tritt nach amerikanischer Auffassung die Wärmeersparnis je kWh bei der Einführung von Hochdruckdampf gegenüber anderen Vorteilen des Niederdruckdampfes in den Hintergrund; insbesondere können die Aufwendungen für die Kesselanlagen, die Speisepumpen, Rohrleitungen und Turbinen, wie auch die Kosten der Wasseraufbereitung geringer werden. Nicht unbeachtet darf in diesem Zusammenhang bleiben, daß die Belastungsverhältnisse im Dampfnetz bei Hüttenwerken wesentlich stärker schwanken als bei öffentlichen Großkraftwerken und daß hiervon die Wirtschaftlichkeit der Hochdruckanlagen stark abhängt.

Die mögliche Wärmeersparnis geht aus Bild 1 hervor, in der der Wärmeverbrauch je erzeugte kWh für das gesamte Kraftwerk, also Kessel- und Turbinenanlage, in Abhängigkeit vom

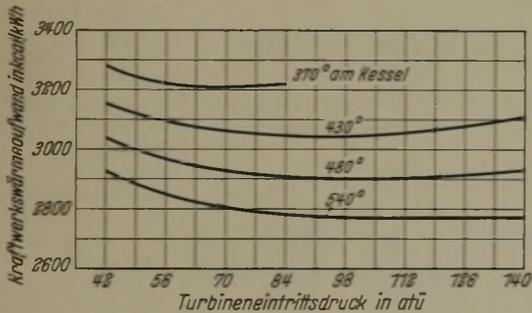


Bild 1. Gesamtwärmeverbrauch eines Kraftwerkes in Abhängigkeit vom Turbineneintrittsdruck.

Eintrittsdampfdruck einer Turbine mit vier Anzapfungen dargestellt ist. Danach fällt der Wärmeverbrauch bis zu einem Eintrittsdruck von etwa 90 atü und steigt infolge der Mehraufwendungen für die Nebenanlagen, wie z. B. Speisepumpen, bei steigendem Druck wieder an, während der Wärmeverbrauch der Turbine allein noch weiter zurückgehen würde. Die meisten öffentlichen Großkraftwerke arbeiten daher auch im Vorschaltbetrieb mit etwa 90 atü und 500°. Derartige Anlagen würden auf Hüttenwerken nur in Ausnahmefällen Anwendung finden und einen Wärmeverbrauch von 2830 kcal aufweisen. Im allgemeinen begnügt man sich mit Anlagen von 60 atü und 450° bei einem Wärmeverbrauch von 3030 kcal je kWh.

Bei der Betrachtung deutscher Verhältnisse dürften für die Anwendung von Hochdruckdampf durchaus die gleichen Gesichtspunkte Geltung haben, was ja auch in der Festlegung von Normdrücken und Normtemperaturen für Kesselanlagen (Einheitskessel) und zugehörige Turbinen zum Ausdruck kommt. Dagegen würden wir doch wohl gesteigerten Wert darauf legen, die zu erzielenden Wärmegewinne bei Hochdruckdampf auszunutzen und nur auf Grund von besonderen Verhältnissen Kraftwerksanlagen von 10 atü und 260° auf Hüttenwerken erstellen.

Für die 34 amerikanischen Entwürfe waren folgende Brennstoffe vorgesehen:

- 12 Anlagen für Kohlenstaub,
- 5 Anlagen für Kohlenstaub und Gichtgas,
- 2 Anlagen für Kohlenstaub und Koksofengas,
- 3 Anlagen für Gichtgas,
- 11 Anlagen für Kohle und Kleinkoks auf Wanderrosten,
- 1 Anlage für Natargas.

Bemerkenswert ist in dieser Aufstellung, daß die festen Brennstoffe, vor allen Dingen der Kohlenstaub, aber auch die Stückkohle, im Vordergrund stehen. 11 Anlagen verbrennen Gas allein oder als Zusatzfeuerung, während 23 für feste Brennstoffe ausgelegt sind. In den zurückliegenden Zeiten war es noch möglich, die Hüttenwerksenergie aus dem anfallenden Gichtgas bereitzustellen. Bei den gesteigerten Stromforderungen ist entweder kein Ueberschußgas mehr vorhanden, oder es ist in die metallurgische Verarbeitung abgewandert. Es hat sich also im Laufe der Zeit eine Verlagerung vollzogen, die im Kraftwerksbau wegen der höheren Brennstoffkosten zu der Forderung eines besten Wirkungsgrades und einer Senkung der Anlagekosten bei steigender Dampfleistung führt.

Bei der Verschiedenartigkeit der Brennstoffe muß der Entwicklung der Feuerung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Bisher war es in den Vereinigten Staaten nicht üblich, zwei Brennstoffe unter einem Kessel zu verfeuern, sondern man hatte für jede Brennstoffart besondere Anlagen. Im Jahre 1916 rechnete man, daß 50 % der Dampfleistung aus Kohle und 50 % aus Gas erzeugt werden könnten. Bei Gasmangel mußte die Kohle 70 % der Dampferzeugung übernehmen, so daß eine Reserve von 40 % Heizfläche für Kohlenbetrieb vorgesehen wurde. Heute werden etwa 80 % aus Gas und 20 % aus Kohle erzeugt, wobei die Kohle bei Gasmangel 65 % des Dampfes übernimmt. Das bedeutet eine Steigerung von 225 % an Kohlenheizfläche, deren Bereitstellung wegen der schlechten Ausnutzung selbst in dem reichen Amerika als wirtschaftlich nicht tragbar angesehen wird. Man ist daher in großem Maße dazu übergegangen, Kessel für zwei bis sogar vier Brennstoffarten zu erstellen. Deswegen und wegen der höheren geforderten Dampfleistungen hat man die Feuerräume durch Wasserrohre gekühlt und dadurch bei Kohlenstaub, als keine Verschlackung der Heizflächen mehr zu befürchten war, einen leistungsfähigen Betrieb erzielt. Durch dieselbe Maßnahme wurde eine Reihe älterer Kesselanlagen auf erheblich höhere Leistung umgebaut.

Die nachstehend aufgeführten Beispiele aus dem Kesselbau geben einen Einblick sowohl in die Größenverhältnisse amerikanischer Dampfkraftanlagen als auch in die Art ihrer baulichen Ausführung. Die vorliegenden Angaben lassen erkennen, daß in einigen Fällen der Dampfbedarf sehr beachtlich ist und weit über die Größen hinausgeht, die bei deutschen Werken gebräuchlich sind. Allerdings soll nicht unerwähnt bleiben, daß sich auch bei uns eine Entwicklung zu größeren und größten Einheiten bereits angebahnt hat. Bei Betrachtung der Bauweise fällt besonders auf, daß sich die Vorliebe der vergangenen Jahre zu mehreren, oft vier bis sechs Trommeln in den Kesseln erhalten hat. Man ist der Ansicht, daß durch einen großen Wasservorrat die auftretenden Betriebschwankungen besser ausgeglichen werden könnten. Der deutsche Dampfkesselbau ist bekanntlich zum höher elastischen Eintrommelkessel mit Regelung übergegangen, wobei selbst sehr erhebliche Schwankungen überunden werden können, wie die Entwicklung einer Wasserrohrkesselanlage mit einer Trommel bei einem Zechenbetrieb gezeigt hat¹⁾.

Die Tennessee Coal, Iron and Railroad Company hat seit dem Jahre 1928 auf ihrem Hochofenwerk in Ensley, Alabama, eine große Kesselanlage in Betrieb, die aus fünf 1350-m²-Kesseln besteht, von denen einer in Bild 2 wiedergegeben ist. Die Kessel werden mit 26 atü bei 320° Dampftemperatur und einer Leistung von über 100 t/h Dampf aus Gichtgas bei einer Heizflächenbelastung von 80 kg/m² h betrieben. Als Ausgleichsbrennstoff ist Kohlenstaub vorgesehen, dessen Brenner sich über den Gichtgasbrennern an der Stirnseite befinden. Die Gichtgaszuführungsleitung liegt unter Flur, während der Kohlenstaub aus der allgemeinen Mahlanlage des Werkes bereitgestellt wird. Die Kessel enthalten drei Ober- und eine Untertrommel im Verdampferteil sowie eine Ober- und eine Untertrommel am Wasservorwärmer. Die Verbrennungsluft wird anschließend in einem Röhrenluftherizer vorgewärmt. Die Rauchgase durchströmen den Kessel in der Hauptsache in waagerechter Richtung, woraus sich eine verhältnismäßig tiefe Bauart ergibt.

Bei der Jones and Laughlin Steel Corporation, Pittsburgh, Pa., werden auf dem Hochofenwerk Eliza vier 2400-m²-Kessel mit einer Leistung von je 115 t/h bei einem Höchstdruck von 31,5 atü und 385° betrieben. Der Druck im Dampfnetz beträgt 30 atü. Als im Jahre 1936 ein neues Bandwalzwerk in Betrieb kam, traten Belastungsspitzen von 25 000 kW auf, die von einem fünften Kessel aufgefangen werden sollten, der in Bild 3 dargestellt ist. Der Kessel wird, wie die anderen, üblicherweise mit 115 t/h betrieben, kann aber eine Spitzenleistung von 180 t/h hergeben. Der dabei auftretende größere Ueberhitzer-

¹⁾ Reichardt, R.: Arch. Wärmewirtsch. 22 (1941) Nr. 1, S. 78.

druckabfall wird durch die höhere Kesselspannung von 33,5 atü überwunden. In der Dampfleitung befindet sich ein Schnellöffnungsventil, das für den ständigen Betrieb den Dampfdruck auf 30 atü drosselt. Bei Eintreten der Spitzen wird die Feuerung

beitzweise dieses großen Kessels wird als sehr befriedigend bezeichnet. Allerdings mußte der Salzgehalt des Kesselwassers zur Vermeidung von Schäumen und Spucken niedrig gehalten werden. Zur Ueberwindung dieser Schwierigkeiten wurden in die Dampftrommel besondere Dampftrockner eingebaut. Daneben befinden sich ebenfalls in der Trommel Dampfwascher, deren Verwendung im deutschen Kesselbau noch unbekannt ist. Hierbei wird die migerisene Dampf-feuchtigkeit durch das Speisewasser so weitgehend ausgewaschen, daß keine Versalzung der Turbine eintritt.

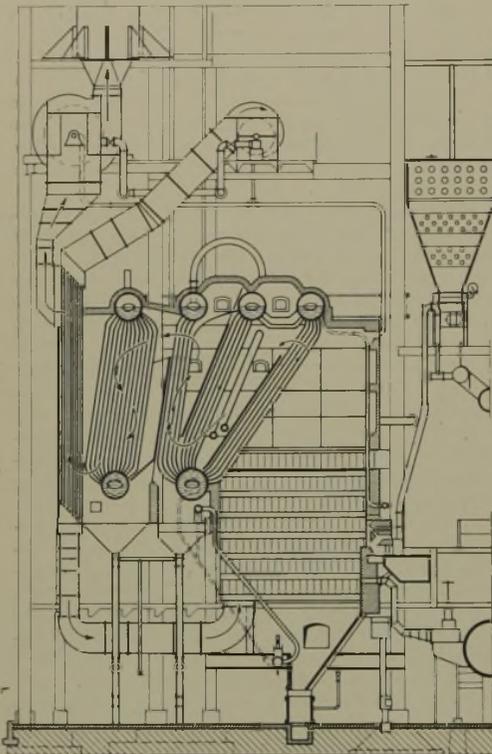


Bild 2. 1350-m²-Kessel für 100 t/h Dampf, 26 atü, 320° der Tennessee Coal, Iron and Railroad Company, Ensley, Al.

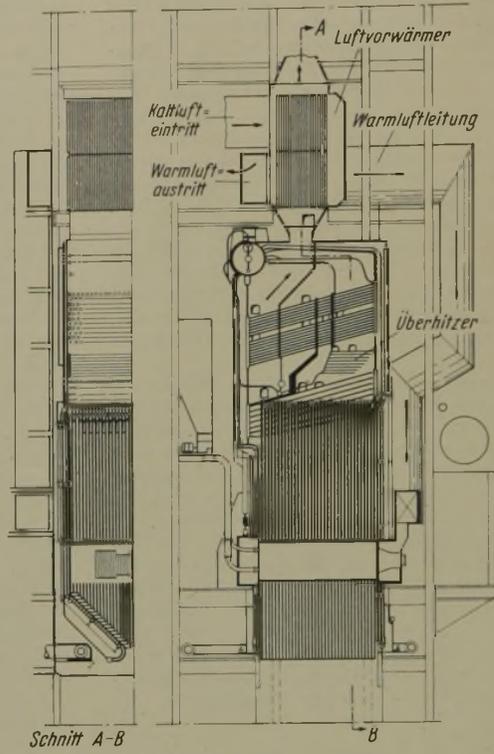


Bild 3. 2400-m²-Kessel für 180 t/h Dampf, 33,5 atü, 385° der Jones and Laughlin Steel Corporation, Pittsburgh, Pa.

hochgefahren; die erforderlichen Dampfmen gen werden durch das ganz geöffnete Ventil abgegeben. Um auch in diesem Fall den Dampf rechtzeitig zur Verfügung zu stellen, ist für einen genügenden Wasservorrat im Kessel durch Anbringung einer 1800 mm großen Trommel Vorsorge getroffen, die gleichzeitig einen ausreichenden Dampfraum zur Verfügung stellt. Die Heizflächenbelastung beträgt etwa 75 kg/m² h. Als Brennstoff wird Kohlenstaub verwendet, bei dem ein Wirkungsgrad von 85,9 % zu erzielen ist. Daneben kann der Kessel auch zusätz-

lich die Kohlenstaubfeuerung parallel zur Trommel eingebaut ist. Bei der dadurch wachsenden Kesselbreite wird ein größerer Wasservorrat zugelassen und eine höhere Damperzeugung als bei einer Feuerung senkrecht zur Trommel erzielt. Die Abgase werden in mehrfachen Umlenkungen mit senkrechten Trennwänden durch die Rohrbündel zwischen den Trommeln hindurchgeführt. Der Ueberhitzer hat 1780 m² Heizfläche.

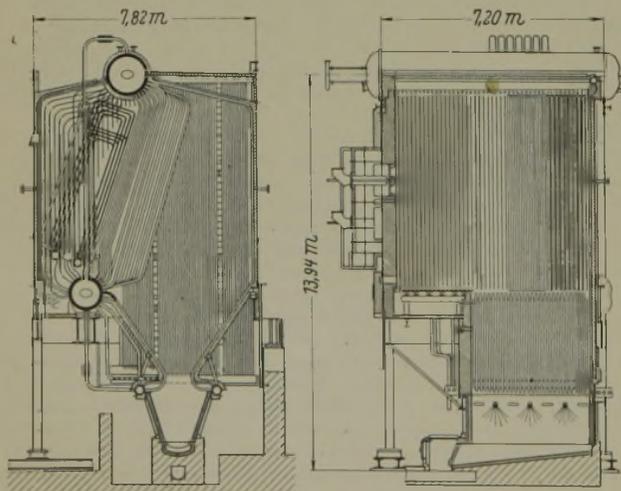


Bild 4. 1280-m²-Kessel für 65 t/h Dampf, 61,5 atü, 400° der Youngstown Sheet and Tube Company, Indiana Harbor, Ind.

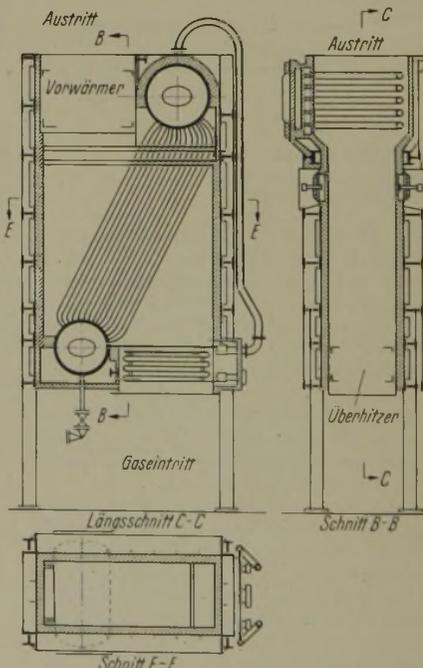


Bild 5. 220-m²-Gasmaschinen-Abhitzekeessel der Bethlehem Steel Company, Werk Maryland; Dampfleistung 5 t/h, 31,5 atü, 370°.

lich mit Gichtgas befeuert werden, wobei sich ein Wirkungsgrad von 80,7 % ergibt, wenn 100 t Dampf aus Gichtgas und 80 t Dampf aus Kohlenstaub erzeugt werden. Die Wände sind wassergekühlt. Der Ueberhitzer ist mit einer ausreichenden Regelung für sehr weite Grenzen versehen. Der Röhrenluftvorwärmer ergibt eine Lufttemperatur von 280°. Die Ar-

bei 220 m² Gasmaschinen-Abhitzekeessel der Bethlehem Steel Company, Werk Maryland; Dampfleistung 5 t/h bei 31,5 atü und 370° ergibt. Das stündlich zur Verfügung stehende Abgasgewicht von 30 000 kg hat 650° Eintritts- und 225° Austrittstemperatur, der Wirkungsgrad erreicht 68 %. Um die Auspuffstöße der Gasmaschine im Kessel aufzufangen, wurde die Umwandlung für 1 at Ueberdruck berechnet.

Walther A. Güldner.

Fehlerquellen beim Walzen.

Als Mitteilung aus dem Institut für bildsame Formgebung der Technischen Hochschule Aachen ist unter obigem Titel eine Arbeit von Paul Grüner und Theo Brüggemann in Aachen erschienen¹⁾. Die Verfasser haben in dieser Arbeit die beim Walzen vorkommenden Fehlerquellen untersucht, ihre Ursachen ermittelt und in 54 Lichtbildern — teilweise Aufnahmen in natürlicher Größe, teilweise in stärkeren Vergrößerungen — festgehalten. Mit diesem Bericht ist gewissermaßen eine planmäßige Beispielsammlung gegeben, die es auch dem Anfänger gestattet, Fehlerquellen an spanlos verformtem Werkstoff zu beurteilen.

Beim Walzen verschiedener Werkstoffe läßt sich ja ein zeitweises Auftreten bestimmter Fehler nicht vermeiden, deren Ursache in einem Hüttenwerk oft eine sehr umstrittene Frage zwischen dem Stahlwerker und dem Walzwerker bildet. Eine klare, sichere Entscheidung in dieser Beziehung ist für ein Hüttenwerk nicht wesentlich; dennoch ist dem Betriebe damit ein Mittel in die Hand gegeben, in Zukunft das Auftreten einer bestimmten Fehlerquelle zu vermeiden, oder sofort zu entscheiden, in welchem Betriebe die eigentliche Ursache einer solchen Fehlerquelle liegt.

Es ist also der Sinn und die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, vorkommende Fehlerquellen, die an Walzerzeugnissen auftreten, zu ermitteln und sie dann planmäßig so zu ordnen, daß die Ursachen der einen Gruppe in reinen Werkstoffehlern, also einwandfrei im Stahlwerk zu suchen sind, während die andere Gruppe eine fehlerhafte Behandlung des Stahles im Walzwerk zeigen soll, d. h. reine Walzwerksfehler sind.

Eine dritte Gruppe enthält dann die Aufzeichnung von Werkstoffehlern, die durch eine bestimmte Wärmebehandlung

¹⁾ Bericht Nr. 164 des Walzwerksausschusses des VDEh. — Sonderabdrucke sind vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, Postschließfach 664, zu beziehen.

im Walzwerk wieder behoben werden können, also fehlerhafte Walzerzeugnisse durch Rot- und Heißbruch. Zur Bestimmung dieser Fehlerquellen werden entsprechende Hinweise gegeben.

In Gruppe I werden dreierlei Fehler unterschieden, die im Stahlwerk gemacht werden können: Die Anlieferung eines fehlerhaften Walzerzeugnisses durch

1. Lunker und Gasblasen,
2. Zeilengefüge und Einschlüsse im Stahl,
3. Flocken.

In Gruppe II sind fünf Hauptpunkte angeführt, die durch fehlerhafte Behandlung des Stahles im Walzwerk gemacht werden; es sind dies Walzfehler durch

4. Wärmebehandlung,
5. Ueberwalzungen,
6. Einwalzung von Fremdstoffen,
7. Walzarmaturen,
8. beschädigte Walzen sowie schlechtes Arbeiten der Walzen.

Die der Arbeit beigegebenen Bilder behandeln Fehler beim Walzen verschiedener Werkstoffe; sie geben aber auch dann einen Anhalt, wenn ähnliche Erscheinungen bei einem anderen Verformungsverfahren, z. B. beim Pressen oder Schmieden, auftreten.

Kurse für industrielle Feinmessung in Jena.

Bei den im Frühjahr 1941 durchgeführten Kursen der Staatlichen Ingenieurschule für Optik¹⁾ war die Beteiligung so groß, daß unter Beibehaltung des bisherigen Lehrplanes zwei weitere Kurse dieser Art im Oktober und November 1941 durchgeführt werden. Auf Grund der Erfahrungen ist jetzt eine jeweilige Kursdauer von vier Wochen vorgesehen. Die Teilnehmerzahl für jeden Kurs ist auf 50 beschränkt. Den Abschluß bildet eine Prüfung, deren Bestehen durch Zeugnis bescheinigt wird.

Einzelheiten sind von der Geschäftsstelle der Ingenieurschule, Jena, Carl-Zeiß-Platz 12, zu erfragen.

¹⁾ Vgl. Stahl u. Eisen 60 (1940) S. 1158.

Patentbericht.

Deutsche Patentanmeldungen¹⁾.

(Patentblatt Nr. 32 vom 7. August 1941.)

Kl. 7 a, Gr. 7, K 147 741. Stauchgerüst für Walzwerke. Erf.: Rudolf Heckmann und Joseph Bingener, Magdeburg. Anm.: Fried. Krupp Grusonwerk, A.-G., Magdeburg-Buckau.

Kl. 7 a, Gr. 10, B 184 219. Maschine zum Doppeln von Feinblechen. J. Banning, A.-G., und Robert Feldmann, Hamm i. W.

Kl. 7 a, Gr. 18, J 61 151. Rollenlagerung für Walzwerkswalzen. Erf.: Dipl.-Ing. Hans Fuchs, Wuppertal-Elberfeld. Anm.: G. & J. Jaeger, G. m. b. H., und Dipl.-Ing. Hans Fuchs, Wuppertal-Elberfeld.

Kl. 18 c, Gr. 2/15, N 43 425. Vorrichtung zum selbsttätigen Eintauchen, insbesondere zum Härten von Werkstücken. Eugen Nädelin, Ebingen (Württ.).

Kl. 18 c, Gr. 9/02, I 66 149. Durchlaufofen zur Wärmebehandlung von Sturzen, Blechen, Rohren od. dgl. Erf.: Fritz Holzhausen, Düsseldorf-Gerresheim, und Dipl.-Ing. Christian Pfeil, Essen. Anm.: „Indugas“, Industrie- und Gasofenbau-gesellschaft m. b. H., Essen.

Kl. 40 b, Gr. 14, H 158 182; Zus. z. Anm. H 154 578. Verwendung von Nickel-Chrom-Eisen-Legierungen für Gegenstände höchster Warmfestigkeit. Erf.: Dr. Eberhard Both, Hanau a. M. Anm.: Heraeus-Vacuumschmelze, A.-G., Hanau a. M.

Kl. 42 k, Gr. 29/05, J 66 251. Prüfmaschine zur Ermittlung des Verschleißwiderstandes von Maschinenteilen. Erf.: Cassius Johnen, Dessau. Anm.: Junkers Flugzeug- und Motorenwerke, A.-G., Dessau.

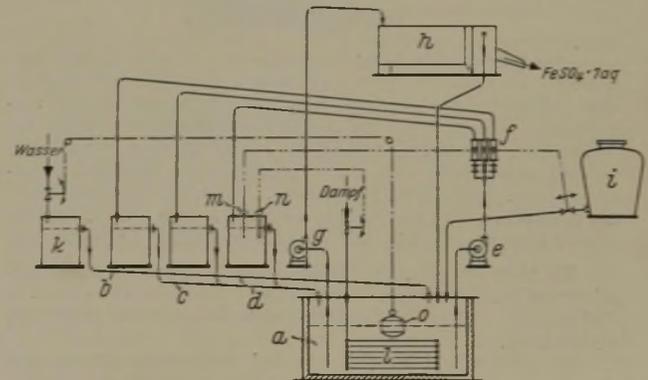
Kl. 49 b, Gr. 34/04, K 149 622. Verfahren zur Herstellung einwandfreier Schweißverbindungen zwischen an sich schweißrissigen Stählen. Erf.: Dr.-Ing. Werner Bottenberg, Runderoth, Rhld. Anm.: Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung, e. V., Düsseldorf.

Deutsche Reichspatente.

Kl. 48 d, Gr. 2₀₃, Nr. 703 589, vom 26. Januar 1940; aus-gegeben am 12. März 1941. Dr.-Ing. Albert Sulfrian in Aachen. *Einrichtung zur Aufrechterhaltung gleichmäßiger Zusammensetzung und Temperatur von Beizbädern der eisenverarbeitenden Industrie.*

¹⁾ Die Anmeldungen liegen von dem angegebenen Tage an während dreier Monate für jedermann zur Einsicht und Einspracherhebung im Patentamt zu Berlin aus.

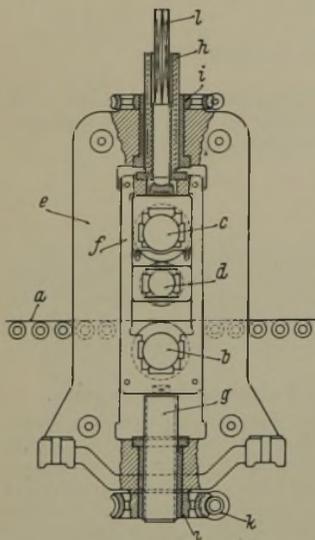
Der sich im Bottich a sammelnde Ueberlauf der Beizbottiche b, c, d wird durch die Pumpe e über Verteiler f den Bottichen b, c, d wieder zugeführt. Pumpe g führt einen Teil der Beize der Kristallisationsanlage h zu, in der ein Teil des Eisenvitriols abgeschieden wird und die Mutterlauge zum Bottich a zurückfließt. Zum Ausgleich des Säureverbrauches läuft die entsprechende Menge Säure aus dem Behälter i in den Bottich a. Durch



die Kreislaufführung der Beize aus Bottich a über Bottich b, c, d gleicht sich die Säurekonzentration aus, d. h. der Gehalt der Beize an Säure bleibt in allen Bottichen b, c, d gleich groß. Durch die Kristallwasserbildung des Eisenvitriols vermindert sich die Flüssigkeitsmenge im Bottich a. Um diese Verminderung zu decken, wird Wasser in den Vorspülbottich k gegeben, in dem die in den Bottichen b, c, d gebeizten Bleche vorgespült werden, so daß sich der Vorspülbottich mit Salz und Säure anreichert. Die überlaufende Flüssigkeit fließt in den Bottich a zurück und tritt in den Kreislauf ein. Außerdem tritt durch das zufließende Wasser eine fortwährende Verdünnung der Anreicherung im Bottich k ein. Durch die Wärmequelle l wird der Temperatureausgleich geregelt. Schalt- und Prüferäte m, n, o dienen zum selbsttätigen Regeln des Zuflusses an Säure sowie der Dampf- und Wasserzufuhr.

Kl. 18 c, Gr. 3₂₅, Nr. 703 727, vom 16. September 1933; aus-gegeben am 14. März 1941. Fried. Krupp A.-G. in Essen. (Erfinder: Paul A. Heller in Essen.) *Verfahren zum Herstellen von gußeisernen Gegenständen mit gehärteter Oberfläche.*

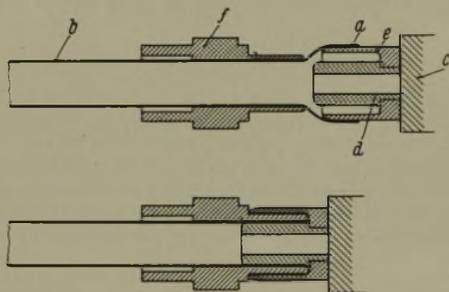
Die zu ihrer Herstellung verwendete, durch Nitrieren härtbare chromhaltige Graugußlegierung wird durch schnelle Abkühlung vollständig weiß zur Erstarrung gebracht, danach einer solchen Wärmebehandlung unterworfen, daß sich der Graphit abscheidet, worauf das Härten durch Nitrieren erfolgt.



Kl. 7 a, Gr. 22₀₃, Nr. 703 735, vom 4. März 1937; ausgegeben am 14. März 1941. Emil Skuballa in Beuthen, Oberschles. Trio-walzwerk.

Die waagerechte Förder- und Walzbahn a steht fest. Nach jedem Walzstich wird der ganze Walzensatz b, c, d, der in einem im Walzenständer e geführten geschlossenen Einzelrahmen f gelagert ist, auf- oder abbewegt mit Hilfe von Spindeln g, h, die durch Schneckenräder i und Schneckenk betätigt werden. Die Spindeln h sind gleichzeitig die Druckmutter für die Anstellspindeln l der Walzen.

Kl. 7 c, Gr. 21, Nr. 703 772, vom 24. März 1935; ausgegeben am 15. März 1941. Deutsche Röhrenwerke, A.-G., in Düsseldorf. *Vorrichtung zur Herstellung einer Stülpmuffe an einem Rohrende.*



Das aufgemuffte Ende a des Rohres b wird in die Aufmuffung des Stülpstempels c geschoben, der aus einem Dorn d vom Innendurchmesser des Rohres und einem den Dorn d umgebenden Stülpring e vom Außendurchmesser der Weite der Aufmuffung besteht. Auf das Rohr b wird der den Abstand der fertigen Stülpmuffe vom Rohr b durch seine Wandstärke bestimmende Abstandsring f geschoben. Durch axiales Verschieben des Stempels c wird das Ende a über den formgebenden Teil des Abstandsringes umgelegt und in seine endgültige Lage gebogen.

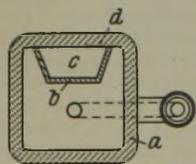
Kl. 10 a, Gr. 17₀₁, Nr. 703 834, vom 9. Januar 1940; ausgegeben am 17. März 1941. Dipl.-Ing. Ulrich Rohrwasser in Urfort über Moers. *Verfahren zum Ablöschen von glühendem Koks od. dgl.*

Der glühende Koks wird mit einer kolloidalen Lösung oder einer Suspension von Stoffen gelöscht, die beim Auftreffen auf den glühenden Koks dessen leuchtende Schicht abdecken und eine dunkle Färbung des sich bildenden Dampfes verursachen, z. B. Kohlenschlammwasser.

Kl. 31 c, Gr. 17, Nr. 704 002, vom 23. April 1933; ausgegeben am 20. März 1941. Großbritannische Priorität vom 7. November 1932. Bochumer Verein für Gußstahlfabrikation, A.-G., in Bochum. *Kokille zum Herstellen von Verbundgußblöcken für Schienen.*

In die einteilige an beiden Enden offene Kokille a wird eine herausziehbare Trennwand b unverklammert eingesetzt, die den ersten Teilguß im Raum c derart U-förmig oder trapezförmig umgibt, daß sie reibungslos seitlich davon abgehoben werden kann; die offene Seite der Trennwand wird durch die Kokillenwand d gebildet. Nach dem Entfernen der Trennwand wird der zweite Teilguß eingefüllt.

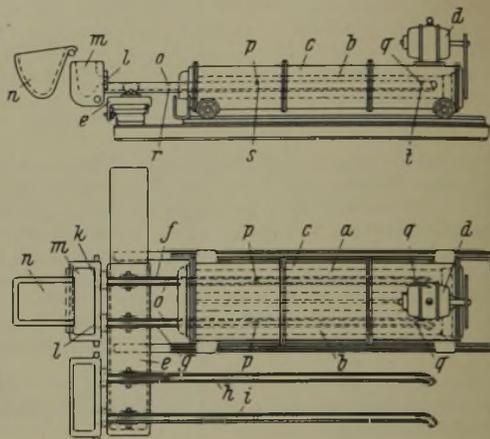
Kl. 31 c, Gr. 18₀₁, Nr. 704 036, vom 30. September 1939; ausgegeben am 21. März 1941. Buderus'sche Eisenwerke



in Wetzlar. (Erfinder: Dipl.-Ing. Josef Flimm in Wetzlar.) *Verfahren zum Herstellen von Schleudergußstücken mit weicher Außenhaut.*

Die Gußstücke werden in abschreckend wirkenden Kokillen hergestellt, die mit einer unter Wärmetönung reagierenden Auskleidungsmasse versehen sind, und zwar mit Magnesium, vorteilhaft in Verbindung mit Metalloxyden, die durch Magnesium reduzierbar sind.

Kl. 31 c, Gr. 18₀₁, Nr. 704 037, vom 20. August 1939; ausgegeben am 21. März 1941. Deutsche Eisenwerke, A.-G., in Mülheim, Ruhr. (Erfinder: Dipl.-Ing. Albrecht v. Frankenberg und Ludwigsdorf † in Mülheim, Ruhr.) *Verfahren und Vorrichtung zum gleichzeitigen Gießen mehrerer Hohlkörper in einer Schleudergußmaschine.*



Die beiden Schleudergußformen a, b sind im gemeinsamen Maschinengehäuse c gelagert und werden von dem gemeinsamen Motor d angetrieben. Der auf einem quer zur Achsenrichtung der Maschine verfahrbare Rinnenwagen e hat die Rinnen f, g und außerdem noch die Bereitschaftsrinnen h, i. Die Rinnen f, g werden aus den Ausläufen k, l eines gemeinsamen kippbaren Einlaufgefäßes m durch Kippen des Gießkumpels n beschickt. Die Rinnen f, g haben auswechselbare Steckscheiben o, p, q, die Durchflußöffnungen r, s, t frei lassen. Durch die Scheiben o, p, q wird in den Rinnen das Metall jeweils gestaut, so daß durch die Auslauföffnungen in beiden Rinnen jeweils gleiche Werkstoffmengen zu gleicher Zeit weiterfließen und mithin aus den Ausläufen beider Rinnen gleichzeitig die Muffen beider Schleudergußformen mit der gleichen Werkstoffmenge gefüllt werden, bevor durch die axiale Verschiebung der Maschine in beiden Formen der Guß des zylindrischen Teiles beider Rohre beginnt. Die freien Durchlaufquerschnitte der Stauwände o, p, q nehmen hierbei nach dem Auslaufende hin ab.

Kl. 18 c, Gr. 8₅₀, Nr. 704 061, vom 12. Juli 1935; ausgegeben am 21. März 1941. Kohle- und Eisenforschung, G. m. b. H., in Düsseldorf. (Erfinder: Dipl.-Ing. Paul Hoff und Dr.-Ing. Hans Scholz in Dortmund.) *Verfahren zur Erhöhung der Dauerstandfestigkeit von Bauteilen aus Stahl.*

Die Bauteile, die Betriebstemperaturen von 450 bis 600° ausgesetzt werden sollen und in üblicher Weise abgekühlt oder in üblicher Weise vergütet sind, werden vor der Prüfung oder Inbetriebnahme unter Ausschaltung von aufkohlenden oder verstickenden Mitteln einer Glühung von mindestens 20 h Dauer bei einer Temperatur, die mindestens 20° über der Prüf- oder Betriebstemperatur, jedoch stets oberhalb 500° und unterhalb der Rekrystallisationstemperatur liegt, so lange unterworfen, bis die Dauerstandfestigkeit gegenüber dem nicht geblühten Zustand gestiegen ist.

Kl. 40 b, Gr. 15, Nr. 704 433, vom 26. August 1938; ausgegeben am 31. März 1941. Heraeus-Vacuumschmelze, A.-G., in Hanau. (Erfinder: George Henry Stuart Price in Wembley, Middlesex, England.) *Verwendung von Wolframlegierungen für Gegenstände, die große Dichte und magnetische Permeabilität besitzen müssen.*

Die Legierung mit mindestens 2% Ni, 0,1 bis 5% Fe, Rest, jedoch über 83% Wo, wird als Werkstoff für Gegenstände verwendet, deren Dichte nicht wesentlich weniger als 15 g/cm³ und deren magnetische Permeabilität größer als 2 sein soll. Die Legierung kann außerdem noch einen Zusatz von 0,1 bis 4% Cu enthalten.

Wirtschaftliche Rundschau.

Vom belgischen Kohlen- und Eisenmarkt.

Die Kohlenförderung litt unter den Schwierigkeiten in der Beschaffung der notwendigen Werkstoffe zum Grubenausbau, obwohl sich der Bezug von Grubenholz besserte. Durch verschiedene Maßnahmen, wie die Erhöhung der Löhne, neue Grundsätze bei der Einstellung und vor allem Leistungsprämien sollen auch die Förderleistungen gehoben werden. Die Nachfrage nach Kohlen aller Sorten blieb lebhaft. Das Mißverhältnis zwischen Angebot und Nachfrage beruht wesentlich auf dem Rückgang der Förderung, denn der Versand auf der Eisenbahn und den Wasserwegen hat sich sichtlich gebessert. Auch die Abfuhr von den Zechen mit Kohlenwagen und anderen Fahrzeugen konnte durchgeführt werden. Man ist zu einer Verkaufsregelung aller Kohlsorten übergegangen je nach dem allgemeinen Verbrauch in den verschiedenen Bezirken. Die verfügbaren Mengen Hausbrandkohlen wurden für den Juli um 100 000 t auf 300 000 t vermehrt. Im allgemeinen wurden jedoch die verfügbaren Mengen der Industrie auf Grund ihres Vorzugsrechtes zugeleitet. Preßkohlen sind der Eisenbahn vorbehalten. Zur Erleichterung der Koksversorgung wird die Zuteilung von Koks vom 1. Juli an nicht mehr für drei Monate, sondern nur noch für je einen Monat vorgenommen.

Im Erzeugungsplan der Eisenindustrie spiegeln sich die unregelmäßigen Kohlenlieferungen naturgemäß wider. Wenn, insgesamt gesehen, das Verfahren der bevorzugten Lieferungen für verschiedene Betriebe von Vorteil war, so konnten doch zahlreiche Werke nur mit Unterbrechungen arbeiten. Der Beschäftigungsstand schwankte deshalb von Werk zu Werk. Eisenerze wurden regelmäßig geliefert. In den letzten Wochen besserte sich auch im Zusammenhang mit der Entspannung der Verkehrslage auf den Eisenbahnen der Versand der Hüttenenerzeugnisse.

Die Nachfrage der in- und ausländischen Kundschaft blieb umfangreich. Die Zuteilung der Erzeugnisse geschah im Einklang mit den getroffenen Vorkehrungen und gemäß den Rechten jeder einzelnen Verbrauchergruppe. Die weiterverarbeitenden Betriebe waren nach wie vor gut mit Aufträgen versehen. Die Konstruktionswerkstätten zeigten normale Beschäftigung, da sie über Bestellungen großen und mittleren Umfanges verfügten. Die Gießereien hatten aus preislichen Gründen Schwierigkeiten in der Versorgung mit französischem Roheisen. Um günstigere Bezugsmöglichkeiten zu schaffen, wird Belgien im Austausch gegen französisches Gießereirohisen Koks liefern. Die französischen Hämatitlieferungen waren ausreichend. Man beabsichtigt,

Bestellregelung für spanabhebende Werkzeuge.

— Die Reichsstelle für Eisen und Stahl und der Bevollmächtigte für die Maschinenproduktion erließen unter dem 1. Juli 1941 eine „Gemeinsame Anordnung über die Bestellregelung für spanabhebende Werkzeuge“¹⁾. Die Bestimmungen dieser Anordnung gelten für Werkzeuge dieser Art aus legiertem und unlegiertem Stahl einschließlich Guß sowie Werkzeuge, die mit Hartmetall bestückt sind; sie enthalten in der Hauptsache Vorschriften, welche die Lagerhaltung einschränken. In einer Werkzeugsorte und -abmessung dürfen danach Bestellungen nicht gegeben werden, solange die Gesamtmenge der vom Besteller in dieser Sorte und Abmessung erfolgten Bestellung zuzüglich des jeweils vorhandenen Lagerbestandes die Menge

¹⁾ Reichsanzeiger Nr. 153 vom 4. Juli 1941.

neue Hochöfen in Betrieb zu nehmen, um eine bessere Bedarfsdeckung zu erzielen. Die Drahtindustrie war gut beschäftigt. Das Abkommen zwischen den Drahtwerken wurde bis zum 30. Juni 1942 verlängert.

Demnächst soll die Verwendung von Eisen für private Bauzwecke geregelt werden. Es ist beabsichtigt, die öffentlichen Gebäude und die infolge des Krieges zerstörten oder beschädigten Wohnhäuser bevorzugt zu beliefern.

* * *

Der Generalsekretär des Wirtschaftsministeriums hielt es im Hinblick auf die Wiederbelebung der Wirtschaft für angebracht, eine „Technische Dienststelle für die Anpassung der Industrie“ zu errichten. Dieser Dienststelle liegt es ob, die technischen Aufgaben, die sich aus der Anwendung neuer Rohstoffe ergeben, die Verbesserung der Erzeugung, die fachmännische Ausbildung der Arbeitskräfte sowie die Anpassung der Industrie an die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen zu bearbeiten. Die Dienststelle soll mit den verschiedenen Zweigen der Industrie und den öffentlichen Dienststellen in ständiger Fühlung bleiben, um die erwähnten Aufgaben durchzuführen und in Kreisen der Wirtschaft aufklärend zu wirken. Die Dienststelle ist dem Studiendienst des Wirtschaftsministeriums zugeteilt.

Auf Grund einer Verordnung des belgischen Wirtschaftsministeriums wird, im Anschluß an die Errichtung einer technischen Dienststelle für die Anpassung der Industrie, die weitmöglichste Rationalisierung der Industrie zur Pflicht gemacht. Die Industrieunternehmen müssen künftighin bei ihrer Erzeugung folgende Gesichtspunkte beachten: Sparsame und wirtschaftliche Verwendung der Rohstoffe, Güteverbesserung der Erzeugnisse, Feststellung und genaue Bezeichnung ihrer Handelsbenennungen, Förderung der technisch-wissenschaftlichen Untersuchung unter Mitwirkung von Versuchsanstalten u. a.

Die Industriezweige, die zur Planung oder Ausführung von Untersuchungen auf ihrem Gebiete schreiten wollen, oder die einen Auftrag zur Ausführung von Untersuchungen erteilen wollen, müssen das Wirtschaftsministerium hiervon benachrichtigen. Sie haben das Wirtschaftsministerium außerdem über den Verlauf und die Ergebnisse dieser Untersuchungen auf dem laufenden zu halten.

übersteigt, die zur Deckung des beim Besteller nachweislich für die nächsten sechs Monate zu erwartenden Bedarfs erforderlich ist.

Die Eisenpreise in Frankreich. — Nachdem die französischen Eisenpreise im Herbst 1940 durch eine allgemeine Preiserhöhung eine bescheidene Anpassung an die verteuerten Erzeugungsverhältnisse erfahren hatten, blieben die Preise seitdem durchweg unverändert. Nunmehr wurden in Frankreich vereinzelt Preisverbesserungen nach oben gestattet. Für Kleiseisenwaren aus Eisen, Bandisen, Bandstahl und Blechen sowie auch für Bauartikel beträgt die Preiserhöhung 24 % gegenüber den am 1. September 1939 geltenden Preissätzen, für alle sonstigen Kleiseisenwaren 23 %. Die Drahtpreise wurden gegenüber den am 22. Mai 1940 geltenden Preisen ebenfalls heraufgesetzt.

Buchbesprechungen.

Machu, Willi, Dipl.-Ing., Dr. techn. habil., Dozent an der Technischen Hochschule in Wien, Regierungsrat und Mitglied des Reichspatentamtes, Zweigstelle Oesterreich: **Metallische Ueberzüge**. Mit 191 Abb. und 49 Zahlentaf. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler, Kom.-Ges., 1941. (XX, 595 S.) 8°. 40 RM., geb. 42 RM.

Wenn auch in den letzten Jahren die Bedeutung der nicht-metallischen Schutzüberzüge besonders durch die Entwicklung der Chemie der Kunststoffe erheblich gewachsen ist, so spielen doch nach wie vor die metallischen Ueberzüge beim Schutz gegen Korrosion eine führende Rolle. Es ist daher zu begrüßen, daß sich der Verfasser der großen Mühe unterzogen hat, in dem vorliegenden Buch zusammenfassend alle vorkommenden Verfahren zur Erzeugung metallischer Ueberzüge, ihre Eigenschaften, Anwendungsmöglichkeiten, Prüfverfahren sowie die einschlägigen Patente zu behandeln.

Der Verfasser bringt in einem allgemeinen Teil zunächst in kurzer Form das Wichtigste über die theoretischen Grundlagen der Korrosion sowie über die Deckschichtenbildung und Korrosionspassivität. Die klare Darstellung dieses Gebietes, auf dem der Verfasser selbst durch zahlreiche Arbeiten hervorgetreten ist, ist dazu angetan, die mancherlei noch bestehenden Unklarheiten und irrigen Auffassungen zu beseitigen. Anschließend werden dann alle die Maßnahmen geschildert, die für die verschiedenen Metallüberzüge wiederkehren, und zwar die gebräuchlichen Arbeitsweisen zur vorbereitenden Reinigung der Metalloberfläche und die Grundzüge der Herstellung von Metallüberzügen nach den verschiedenen Verfahren. Diese Verfahren sind in drei Gruppen eingeteilt, und zwar:

1. Thermische Verfahren (Aufschmelzverfahren, Diffusions- oder Zementationsverfahren, Einbrenn- oder Amalgamverfahren, Aufdampfverfahren).

2. Mechanische Verfahren (Plattieren, Aufdrücken oder Aufkleben von dünnen Metallblechen, Blattmetallen, Ueberziehen durch Anreiben von Metallpulvern, Spritzverfahren).
3. Elektrochemische Verfahren (Tauch-, Sud- und Kontaktverfahren, galvanotechnische Verfahren, Kathodenzertäubung).

Im zweiten Teil des Buches wird dann jeder in Frage kommende Metallüberzug für sich ausführlich behandelt. Nach Besprechung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Ueberzugmetalles sowie Korrosionsbeständigkeit und Anwendungsmöglichkeiten werden sämtliche Herstellungsverfahren geordnet nach thermischen, mechanischen und elektrochemischen Verfahren und anschließend die Eigenschaften der Ueberzüge und die Prüfverfahren behandelt. Am Ende jedes Abschnittes finden sich die recht zahlreichen Hinweise auf das Fachschrifttum.

Bei der Bearbeitung eines derartig umfangreichen Gebietes ist es verständlich, wenn der Fachmann hier und da kleine Ungenauigkeiten findet, besonders bei den Abschnitten, bei denen der Verfasser nicht aus eigenem Wissen berichtet, sondern sich auf das Schrifttum stützen muß. Einige dieser Mängel seien nachstehend richtiggestellt: In dem Abschnitt „Beizerei“ wird z. B. gesagt, daß nach P. Dickens ein Eisengehalt von etwa 40 g/l Ferrosulfat günstig wirkt. Tatsächlich hat Dickens ja einen Teil seiner Laboratoriumsversuche mit 49 g/l Ferrosulfat durchgeführt. Für den Betrieb wichtiger sind aber die Versuche mit höheren Ferrosulfatgehalten, über die Dickens zusammenfassend sagt, daß die Entzunderung durch einen Eisensulfatgehalt bis zu 200 g/l nicht verlangsamt, sondern vielmehr gefördert wird. Denn dies sind die Eisensulfatgehalte, die beim Nachschärfen und Aufarbeiten der Säure erreicht und überschritten werden.

An anderer Stelle wird von den „fast stets zu hohen Zinkauflagen“ gesprochen, die bei Blechen meist über 1000 g Zink für den doppelseitigen Quadratmeter betragen sollen. In Wirklichkeit liegen die heute üblichen Zinkauflagen je nach Blechdicke und Verwendungszweck etwa zwischen 300 und 450 g/m² doppelseitig.

Auch die Beurteilung der Maschinenverzinkung von Blechen kann nicht ohne Widerspruch bleiben. Im Gegensatz zum Verfasser weist G. Siebel im „Handbuch des Eisenhüttenwesens“ gerade auf die Gleichmäßigkeit der Zinkauflage bei der Maschinenverzinkung hin; ferner ist nicht einzusehen, warum diese Bleche, die eine höhere Zinkauflage haben als die normalen handverzinkten Bleche, eine geringere Korrosionsbeständigkeit haben sollen.

Bei einer Neuauflage wären neben der Beseitigung dieser Ungenauigkeiten auch einige Ergänzungen wünschenswert. Bei dem Abschnitt „Beizeinrichtungen“ z. B. wäre es wohl zweckmäßig, etwa auf die in den letzten Jahren in Deutschland stark an Bedeutung gewinnenden Beizbehälter mit Auskleidungen aus keramischen Stoffen einzugehen, die ja bei sorgfältiger Herstellung recht gute Erfolge erzielen lassen und sicherlich die Behälter aus Holz und Sandstein in vielen Fällen verdrängen werden. Die Behandlung der Feuerverzinkung von Rohren kann durch einen Hinweis auf die Ausziehorrichtung mittels Magnetrollen ergänzt werden, die im Ausland und seit einigen Jahren auch in Deutschland in Anwendung ist und einen erheblichen Fortschritt bedeutet (DRP. 677 300).

Diese kleinen Mängel können aber den Gesamteindruck des Buches nicht beeinträchtigen. Der Verfasser hat das Ziel, eine wertvolle zusammenfassende Darstellung der Metallüberzüge und der damit zusammenhängenden Fragen zu geben, erreicht und damit eine Lücke im deutschen Schrifttum ausgefüllt. Das Buch kann sowohl dem Ingenieur im Betrieb als auch dem Werkstoffachmann ein wesentliches Hilfsmittel und Nachschlagewerk werden, so daß eine weite Verbreitung erwartet und gewünscht werden kann.

Rolf Haarmann.

Holmkvist, Erik: Bergslagens Gruvspråk. Uppsala: A.-B. Lundequistska Bokhandeln (1941). (V, 105 S.) 4^o. 15 schwed. K.

Dieses aus dem Archiv für die Erforschung der schwedischen Landessprachen an der Universität Uppsala hervorgegangene Wörterbuch der in den Bergslagen üblichen Grubensprache beruht auf dem Stande der Technik zwischen 1870 und 1890, d. h. der Zeit vor der Einführung der neuzeitlichen Abbauverfahren; es berücksichtigt aber auch das frühere Vorkommen der Fachausdrücke bis in das hohe Mittelalter. Die in den einzelnen Gegenden übliche Aussprache wird angegeben. Die Grubensprache Mittelschwedens ist reich an deutschen Lehnwörtern; dies ist bei der Beteiligung deutscher Fachleute an der Entwicklung des schwedischen Bergwesens und der überragenden Bedeutung des deutschen Bergbaues in früherer Zeit nicht überraschend. Daneben hat der schwedische Bergbau aber auch eigene Fachausdrücke, die für den Fremden bisweilen schwer verständlich sind. Das Wörterbuch von Holmkvist wird deshalb dem Fachmann, der mit dem schwedischen Bergwesen von heute zu tun hat, gute Dienste leisten, und auch wegen seiner sprachwissenschaftlichen Gründlichkeit für den Geschichtsforscher von Wert sein.

Otto Johannsen.

Vereins-Nachrichten.

Verein Deutscher Eisenhüttenleute.

Änderungen in der Mitgliederliste.

- Baare, Paul-Adolf**, Dipl.-Ing., Hüttendirektor, Mannesmannröhren-Werke, Abt. Großenbaum, Duisburg-Großenbaum; Wohnung: Altenbrucher Damm 143. 24 003
- Blank, Frank-Herbert**, Dipl.-Ing., Leiter des Baubüros Mährisch-Ostrau der Heinrich Koppers G. m. b. H., Mährisch-Ostrau 3, Postfach 14. 35 044
- Ebert, Franz**, Dr.-Ing., Gewerberat, Gewerbeaufsichtsamt, Wiener-Neustadt (Niederdonau); Wohnung: Gymeldorfer Straße 1. 31 020
- Feldmann, Erich**, Betriebsingenieur, Falvahütte, Abt. Hochofen, Schwientochlowitz (Oberschles.); Wohnung: Königshütte (Oberschles.), Kattowitz Str. 20. 35 126
- Fiene, Wilhelm**, Dipl.-Ing., Rheinmetall-Borsig A.-G., Berlin-Marienfelde; Wohnung: Berlin-Lichtenrade, Wünsdorfer Str. 72. 36 106
- Knudson, Hans Helmuth von**, Dipl.-Ing., Betriebsdirektor, Fried. Krupp A.-G., Essen; Wohnung: Ruhrallee 18. 23 092
- Tgahrt, Wolfgang**, Dipl.-Kfm., Vorstandsmitglied der Eisen- u. Metall A.-G., Essen; Wohnung: Pettenkofer Str. 28. 39 124
- Thier, Hermann**, Dipl.-Chem., Maschinenfabrik Buckau R. Wolf A.-G., Werk Salbke, Versuchsanstalt, Magdeburg SO; Wohnung: Gabelsberger Str. 8. 35 536
- Thomas, Heinrich**, Ingenieur, Hochofenassistent, Deutsche Eisenwerke A.-G., Werk Schalker Verein, Gelsenkirchen; Wohnung: Hertastr. 33. 40 220
- Weber, Emil**, Obergeringenieur, Siemag, Siegerner Maschinenbau-A.-G., Dahlbruch über Kreuztal (Kr. Siegen); Wohnung: Hochstr. 6. 08 108
- Weigt, Günther**, Dipl.-Ing., Zorge (Südharz). 35 023
- Wiskott, Paul**, Betriebsführer, Brune & Kappesser G. m. b. H., Essen; Wohnung: Rheinhausen, Rheingoldstr. 71. 40 347

- Zaepke, Oscar**, Dr.-Ing., Prokurist, Abt.-Vorsteher, Kohle- u. Eisenforschung G. m. b. H., Dortmund; Wohnung: Freiligrathstr. 9. 36 473
- Zöllner, Hans**, Dipl.-Ing., Geschäftsführer, Westf. Leichtmetallwerke G. m. b. H., Nachrodt (Kr. Altena); Wohnung: Adolf-Hitler-Str. 111. 18 130

Gestorben:

- Skuballa, Emil**, Direktor, Beuthen (Oberschles.). * 12. 4. 1891. † 25. 7. 1941. 39 301

Neue Mitglieder.

- Eberle, Hermann**, Dr. phil., kaufm. Leiter der Maschinenfabrik Meer A.-G., M. Gladbach; Wohnung: Düsseldorf 10, Duisburger Str. 101. 41 297
- Hennig, Lothar**, Abteilungsleiter, Reichswerke A.-G. für Erzbau u. Eisenhütten „Hermann Göring“, Hütte Braunschweig, Watenstedt über Braunschweig; Wohnung: Braunschweig, Juliusstr. 31 f. 41 298
- Jacoby, Adolf**, Ingenieur, Chef des Techn. Büros der Rombacher Hüttenwerke, Rombach (Westm.); Wohnung: Großmövern (Westm.), Schlachthausstr. 1. 41 299
- Mircea, Ion**, Ingenieur, Aachen, Nizzaallee 95. 41 300
- Uferkamp, Albert**, Ingenieur, Hartmann & Braun A.-G., Frankfurt (Main) W 13, Königsstr. 97; Wohnung: Frankfurt (Main) 21, Im Burgfeld 186. 41 301
- Uza, Kurt**, Dipl.-Ing., (dzt. stellv.) Betriebsführer der Härterei Dr. A. Brandenstein, Berlin N 31, Ackerstr. 125; Wohnung: Berlin W 50, Rankestr. 13. 41 302
- Wetternik, Leopold**, Dr. phil., Abteilungsleiter, Gebr. Böhrer & Co. A.-G., Zentrale Forschung und Prüfung, Kapfenberg (Steiermark); Wohnung: Mariazeller Str. 19. 41 303