

**Zeitschrift:** Nachrichten aus der Eisen-Bibliothek der Georg-Fischer-Aktiengesellschaft

**Herausgeber:** Eisenbibliothek

**Band:** - (1966)

**Heft:** 33

**Artikel:** Forschung und die Zukunft der Stahlerzeugung

**Autor:** Goodeve, Charles

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-378082>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## FORSCHUNG UND DIE ZUKUNFT DER STAHLERZEUGUNG

VORTRAG VON SIR CHARLES GOODEVE

In dieser Welt des schnellen technischen Fortschrittes erleben wir viele Änderungen: Öl und Kernenergie verdrängen langsam die Kohle, die Elektronik hat das Nachrichtenwesen revolutioniert, und Aluminium und Titan haben sich behauptende Stellungen erobert. Desungeachtet schreitet der Stahl wie ein Koloss weiter und beherrscht die Metallwelt in einem solchen Ausmass, dass alle anderen Metalle unter dem Begriff «Nichteisenmetalle» zusammengefasst werden. Wird das immer so bleiben? Beruht die heutige dominierende Stellung des Stahls auf einer geschichtlichen Entwicklung, hat sie eine Ursache, die eines Tages zu wirken aufhört, oder besteht vielleicht ein grundlegender Unterschied zwischen dem Eisen und den anderen Metallen, ein viel grösserer Unterschied, als alle Nichteisenmetalle untereinander aufweisen?

Die Einzigartigkeit des Eisens, das sich für die mannigfachsten Verwendungszwecke modifizieren lässt, hat schon der antike Eisenschmied erkannt. Das zeigt uns die Odyssee, die das Härteln und Anlassen des Stahls erwähnt. Aber auch der japanische Schmied ist der neuesten Verfahrenstechnik, der thermomechanischen Behandlung des Stahls und der Verwendung von Verbundwerkstoffen zuvorgekommen, das beweisen die Samurai-Schwerter. Als Ergebnis dieser langdauernden Vorherrschaft beträgt der jährliche Verbrauch an Eisen und Stahl gegenwärtig 93% des Gesamtverbrauchs aller Metalle. Was können wir nun — die gewaltige Vergangenheit betrachtend — von der Zukunft sagen?

Auf der Basis unserer neuerworbenen Kenntnis in der Theorie der Metalle will ich versuchen, diese Frage mindestens teilweise zu beantworten. Der innere Aufbau des Eisenatoms scheint eine glückliche Vereinigung der Eigenschaften darzustellen, die nicht nur die Ursache für die Bildung dieses «Kolosse» sind, sondern ihm auch eine gesicherte Zukunft versprechen. Einige andere Metalle und verschiedene Werkstoffe, wie Keramik und Kunststoffe, sind dem Eisen und Stahl hinsichtlich gewisser Eigenschaften überlegen und daher mit Eisenwerkstoffen in Wettbewerb getreten; sie werden diese aus ihren Verwendungsgebieten auch weiterhin verdrängen.

Aber wegen ihrer Preiswürdigkeit und der Eigenschaft, sich auf die mannigfältigste Weise modifizieren und so den verschiedensten Verwendungszwecken zuführen zu lassen, Eigenschaften, die beide — wie wir sehen werden — dem inneren Aufbau des Eisenatoms zu verdanken sind, werden sich die Eisenwerkstoffe neue Gebiete erobern. Ihre ausserordentliche Legierungsfähigkeit lässt überdies die begründete Hoffnung auftreten, dass in der Zukunft mit ihnen noch höhere Gipfel der Errungenschaften zu erklimmen sind. Was allerdings nur dann zutrifft, wenn die Stahlindustrien der Welt ihre Grundlagen- und angewandten Forschungen noch erweitern. Weitere traditionelle Werkstoffe werden von den Eisenwerkstoffen zum Wettbewerb herausgefordert, wie sie es bereits auf dem Gebiete des Wohnungsbaus und der Verpackungsindustrie tun. Die Konkurrenz, der die Stahlindustrie begegnet, ist ernst zu nehmen, doch, wie wir sehen werden, haben wir die begründete Hoffnung, dass wir sie meistern können, wenn wir sie nur richtig anpacken.

Ich hoffe, Sie werden mir nun erlauben, Ihnen eine vereinfachte Darstellung der Theorie der Metalle zu geben, so wie wir sie heute sehen. Beginnen wir mit der Betrachtung des Kernes, des Innern des Eisenatoms, so ergibt sich die Tatsache, dass dieser beständiger als die Atomkerne irgend eines andern Elementes ist; nicht nur, dass die innere Struktur dieses Kernes, sein besonderer Aufbau aus Neutronen und Protonen stabil ist, er besitzt sogar den grössten Massendefekt. Dieser Fehlbetrag an Masse deutet darauf hin, dass bei der Bildung des Eisens aus anderen Elementen grosse Energiebeträge freigeworden sind. Eisen erscheint uns somit als die «Asche» von Kernzerfall und andern Kernreaktionen; niemand könnte jemals eine Atombombe aus ihm machen. Diese besondere Eigenschaft des Kerns ist wahrscheinlich auch der Grund für die weite Verbreitung des Eisens; in der Form seiner Verarbeitung kommt es in ungeheuren Mengen auf der Erdoberfläche vor. Es ist übrigens wahrscheinlich, dass der Erdkern grösstenteils aus Eisen besteht, welches noch mit geringen Mengen von Nickel vermischt ist.

Den eigentlichen Charakter verdankt das Eisen

den Elektronen seiner Atomhülle, insbesondere aber den 8 äusseren seiner 26 Elektronen. Alle Elektronen umkreisen den Atomkern in einer Reihe von Bändern oder Mustern in der Form eines «Tanzes». Die Wissenschaft hat den Elektronen Zahlen zugeordnet, 1, 2, 3, 4 usw., die ihre Energie, und Buchstaben s, p, d und f, die die Form der Muster beschreiben.

Die meisten der 8 äusseren Elektronen des Eisens besetzen das «3d»-Energieband, welche dieses Band jedoch nicht füllen. Und dies ist das Geheimnis des Eisens. Seine speziellen Eigenschaften, wie beispielsweise sein Magnetismus oder die mannigfaltige Legierbarkeit des Eisens, sind das Ergebnis dieser ungewöhnlichen Elektronenstruktur. Die Beherrschung dieser Vielseitigkeit des Eisens, die zur Wandlung des Kristallaufbaus führt und Zwischenformen ermöglicht, bildet die Grundlage für die Eisenkunde.

Dieses nur teilweise mit Elektronen aufgefüllte «d»-Band macht Eisen nach der Bezeichnung durch die Chemiker zu einem Übergangsmetall und gibt ihm interessante und wertvolle chemische Eigenschaften. Einige dieser äusseren Elektronen sind für die chemische Wertigkeit des Eisens verantwortlich und bestimmen die Stärke seiner Bindungen zu anderen Atomen. Das Eisen verdankt seine chemischen und viele seiner metallurgischen Eigenschaften einer besonders ausgewogenen Affinität zu Sauerstoff, Kohlenstoff und zahlreichen anderen Elementen. Besäße es eine gleich starke Affinität zum Sauerstoff wie Aluminium, würde die Befreiung des Eisens aus seinen Oxyderzen eine ungeheure Energie erfordern. So wie die Dinge nun aber liegen, reicht die Affinität des Kohlenstoffs zum Sauerstoff bei der Temperatur des Hochofens oder eines Vorreduktions-Röstofens gerade aus, um das Erz seines Sauerstoffs zu berauben und metallisches Eisen zu erzeugen. Der Kohlenstoff, das Grundelement des organischen Lebens auf unserem Planeten, hat noch ein weiteres Attribut, er ist als «Schlüssel zur Metallurgie» bekannt, und dies gilt ganz besonders für die Eisenmetallurgie.

Gehen wir noch einen Schritt weiter in der Betrachtung der besonders glücklichen Abgewogenheit der Affinität des Eisens gegenüber Sauerstoff und Kohlenstoff und der damit zusammenhängenden Konsequenzen, so stellen wir fest, dass, falls Eisen eine ebenso grosse Affinität zum Kohlenstoff hätte wie Chrom und Titan, um nur ein Beispiel zu nennen, der Hochofen anstelle von metallischem Eisen Eisenkarbide liefern würde.

Hätte das Eisen hingegen eine geringere Affinität zum Kohlenstoff als sie ein spezifischer Anbau seiner Valenzelektronen vermittelt, so könnte ein grosser Teil seiner Legierungen nicht hergestellt werden; wir hätten dann beispielsweise nicht die reiche Auswahl an verschiedenen Guss-eisensorten mit ihrem niedrigen Schmelzpunkt. Die geschilderte glückliche Ausgewogenheit der chemischen Eigenschaften des Eisens bestimmt ein Gewinnungsverfahren, welches das Eisen zum weitaus billigsten Metall macht. Bei einer näheren Betrachtung des 3d-Energiebandes des Eisens stossen wir auf weitere Hinweise für die Einzigartigkeit des Eisens. In diesem Band haben zehn Elektronen ihre Plätze, letztere können jedoch nur von zehn gepaarten Elektronen eingenommen werden, eine Struktur, welche das 3d-Band des Kupfers besitzt. Zwei Elektronen sind dann gepaart, wenn der Vektor ihres Drehimpulses entgegengesetzte Richtung hat. Im metallischen Eisen ist das 3d-Energieband durchschnittlich nur von etwa sieben Elektronen besetzt, von denen fast die Hälfte nicht gepaart sind, für die also die Richtung des Vektors ihres Drehimpulses die gleiche ist. Im 3d-Band des Eisens befinden sich vier gepaarte und drei ungepaarte Elektronen. Diese nicht miteinander gekoppelten, «unverheirateten» Elektronen besitzen nun eine grössere Bewegungsfreiheit als die gepaarten 3d-Elektronen, und sie sind es nun, die den Hauptbeitrag zur Bindungsenergie liefern und zu der dichten Packung der Eisenatome im Kristall. Da diese drei ungepaarten 3d-Bindungselektronen in ihren Bindungskräften äusserst richtungsabhängig sind, geben sie dem metallischen Festkörper Eisen seine hohe Festigkeit oder, wie man sich im Ingenieurwesen ausdrückt, seinen grossen Elastizitätsmodul. In mehr vereinfachter Form kann man sagen, dass die 3d-Elektronen mehr in spezifischen Richtungen ein- und ausgehen als die kreisenden 3s-Elektronen, welche den gewöhnlichen Typ der äussersten Energiebande der Metalle repräsentieren (siehe Bild 1). Alle Eisenwerkstoffe haben etwa die doppelte Festigkeit des Titans, die dreifache des Aluminiums und fast die dreifache der Kunststoffe. Bezuglich ihrer Festigkeit werden die Eisenwerkstoffe nur von wenigen seltenen Metallen, wie beispielsweise dem Ruthenium und dem Osmium, übertroffen, die in ihren 4d- bzw. 5d-Bändern eine ähnliche Anordnung der Elektronen besitzen wie das Eisen. Als ich heute vormittag in den Georg-Fischer-Werken grosse Werkzeugmaschi-

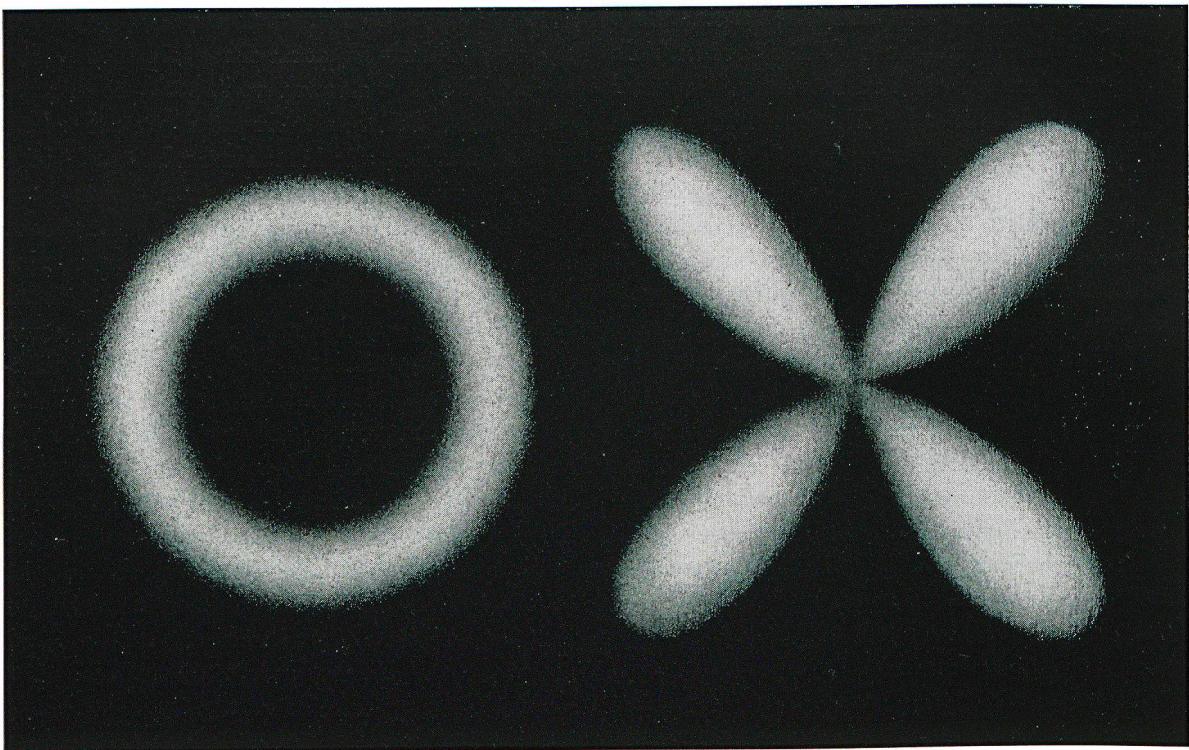


Bild 1: Ungefährtes Bahnenschema der «3s»- und «3d»-Elektronen. Elektronen niedrigerer Energie sind fortgelassen.

nen beobachtete, die schwere Stahlgussstücke zu engen Toleranzen bearbeiteten, musste ich dauernd an die 3d-Elektronen des Eisens denken, die die Werkzeugmaschinen starr gegen die ungeheuren bei dieser Arbeit wirkenden Kräfte zusammenhalten.

Die auffallend grosse Legierbarkeit des metallischen Eisens ist auf sein, man möchte sagen «freundschaftliches» Verhalten zu andern Elementen zurückzuführen (manchmal ist dieses Verhalten sogar zu freundschaftlich, wie z. B. zum Wasserstoff). Der metallische Festkörper Eisen lädt nicht nur andere metallische Elemente ein, als Gäste Gitterplätze seiner Kristalle zu besetzen, wie dies die meisten Nichteisenmetalle ebenfalls tun, sondern er lädt überdies hinaus Atome mit kleinem Atomvolumen, wie Kohlenstoff- und Stickstoffatome, ein, sich zwischen seine Gitterebenen einzuschleichen und so Zwischen-gitter-Legierungen zu bilden. Doch kann nun diese letzterwähnte Eigenschaft des Eisens nicht ausschliesslich den 3d-Elektronen zugeschrieben werden, die Tatsache jedoch, dass solche interstitiäre Legierungsbildungen hauptsächlich bei den Übergangsmetallen vorkommen, ist ein zu beachtendes Anzeichen dafür, dass ein Zusammenhang in dieser Richtung besteht.

Dazu kommt, dass die kubisch flächenzentrierte

Form, in die bei höheren Temperaturen der raumzentrierte Eisenkristall umgewandelt wird, genügend Kohlenstoff lösen kann, um Perlit zu bilden und somit während der Abkühlung Versetzungen sperrt. Perlit und Sperrung geben dem Stahl seine Zugfestigkeit und Streckgrenze. Reinst Eisen kann eine Streckgrenze von nur etwa  $5 \text{ kg/mm}^2$  haben; ist es aber mit andern Elementen legiert, verformt und wärmebehandelt, kann diese bei über  $250 \text{ kg/mm}^2$  liegen, während die Zugfestigkeit um 70% beziehungsweise 20% höher liegt. Eisen ist in der Tat neben Titan eines der beiden Metalle, welche industriell entwickelt ihre theoretische Fliessgrenze um mehr als 40% zu übersteigen vermögen. (Es wurden zwei Stahlproben in Stabform von 1 cm Durchmesser mit Streckgrenzen von 6 und  $200 \text{ kg/mm}^2$  gezeigt, wovon die erste leicht von Hand gebogen werden konnte.)

Diese Eigenschaften reihen das Eisen in die Spitzenklasse hochfester Metalle ein, und seine Festigkeit bezogen auf seine Herstellungskosten ist hervorragend. Der Zement, dessen verhältnismässig geringe Eigenfestigkeit auf Wasserstoff- und Protonenbindung beruht, wird mit Stahl armiert. Der niedrige Preis des Zements ermöglicht jedoch auch seine Verwendung in grosser Masse, und damit besteht die Möglichkeit, ihm

trotz seiner geringen Festigkeit, d. h. seinem kleinen Elastizitätsmodul die jeweils geforderte Festigkeit zu geben. Noch geringer sind die durch «van der Waalsche»-Kräfte bestimmten, die Festkörper der Kunststoffe zusammenhaltenden Festigkeiten.

Die bemerkenswerte ferromagnetische Bezirksstruktur des Eisens kann auf das durch den Spin der ungepaarten Elektronen des unaufgefüllten 3d-Energiebandes aufgebaute Magnetfeld zurückgeführt werden. Diese magnetischen Bezirke können sich ausserdem wie bei Dynamoblechen infolge der Anordnung des Raumgitters des Eisens so orientieren, dass ihre magnetischen Eigenschaften gerichtet werden. Ferner kann dieser Ferromagnetismus durch geeignetes Legieren und entsprechende Wärmebehandlung wie in Dauermagneten gesperrt oder leicht umkehrbar gemacht werden wie in Transformatorenkernen. Die Rolle des Eisens bei der Umwandlung mechanischer in elektrische Energie, bei ihrer Übertragung und Umsetzung in die dynamische Form, wird vielleicht nur allzu oft als gegeben hingenommen.

Bis jetzt haben wir nur diejenigen Eigenschaften des Eisens behandelt, durch die es sich von allen andern Metallen unterscheidet. Nun wollen wir uns mit seiner Verformbarkeit oder Plastizität, einer Eigenschaft, die es mit den meisten andern Metallen teilt, befassen. Die Lenkung dieser äusserst wichtigen Eigenschaft beruhte in der Vergangenheit ausschliesslich auf der Erfahrung. In den Nachkriegsjahren haben wir dieses Phänomen jedoch zu verstehen gelernt. Wir wissen nun, warum Metalle verformt werden können, d.h. veranlasst werden können, unter hoher Schubspannung zu fliessen, nämlich deshalb, weil die Versetzungen im Kristallgitter mehr oder minder frei durch das Metall wandern können. In dem weichen Stahl, den ich Ihnen gezeigt habe, können die Versetzungen, weil das Kristallkorn gross ist, leicht grosse Strecken zurücklegen. Im hochfesten Stahl mit einer Streckgrenze von 200 kg/mm<sup>2</sup> ist das Korn fein, ausserdem enthält er sehr viele, sehr kleine Teile von abgeschiedenem Chromkarbid, die der Bewegung der Versetzungen einen gewissen Widerstand leisten, ohne sie ganz zu unterbinden. Es sind die Versetzungen, die den Metallen Verformbarkeit und die Fähigkeit zu fliessen geben; um einem Metall Festigkeit zu geben, müssen wir die Versetzungen festlegen, doch nicht zu stark, da in diesem Falle das Metall brüchig wird. Die Stahlprobe,

die ich Ihnen jetzt zeige, wurde durch Verformung bei einer Temperatur von etwa 500°C und mit anschliessender Abschreckung und Anlassen hergestellt. Trotz hoher Festigkeit besitzt dieser Stahl eine grosse Verformbarkeit und ist sehr zuverlässig, und seine Herstellung ist verhältnismässig billig.

Dieser Fortschritt in theoretischer Erkenntnis hat bereits grosse wirtschaftliche Erfolge eingebbracht. Anstatt beim Entwickeln eines Stahls für einen speziellen Verwendungszweck die langsame und mühsame Methode auf gut Glück zu beschreiten, kann man nun die Suche auf solche Kombinationen und Legierungselemente, Wärmebehandlung und mechanische Bearbeitung beschränken, die theoretisch Aussicht haben, die gewünschten Eigenschaften zu ergeben. Die Zahl von Permutationen und Kombinationen, die man ohne Lenkung durch die Theorie untersuchen müsste, würde in die Milliarden gehen.

Ein treffendes Beispiel hiefür ist die kürzliche Entwicklung auf dem Gebiete der Baustähle. In der Vergangenheit hat die Erhöhung der Festigkeit eines Stahls stets zu einem Verlust an Verformbarkeit geführt, was sich besonders bei tiefen Temperaturen bemerkbar machte; ausserdem sank seine Schweissbarkeit. Man weiss nun, dass der Perlit, der so lange das «Rückgrat» der Baustähle war, an diesem Verhalten schuld ist. Man hat erkannt, dass die Anwesenheit einer geringen Menge von Niobium und Kohlenstoff und ein genau abgestimmtes Walzen Stähle mit der Festigkeit der Perlitstähle ergeben kann. In Grossbritannien werden gegenwärtig einige Bau stähle mit niedrigem Perlitgehalt, die übrigens besonders für Länder mit langen, harten Wintern geeignet sind, produziert; sie besitzen bis hinunter zu sehr tiefen Temperaturen neben einer hohen Streckgrenze hohe Verformbarkeit und Zähigkeit und lassen sich ausserdem leicht schweissen.

Die Zukunft voraussagen zu wollen ist dem Hineinschauen in eine Kristallkugel vergleichbar, doch die hier von mir skizzierte Erkenntnis verschafft uns ein gewisses Vertrauen in eine solche Vorhersage, denn viele uns heute im Geiste vor schwedende Entwicklungen sind mit den besonderen Eigenschaften des Eisenatoms verknüpft.

Die Tatsache, dass die Eisenerzvorkommen praktisch unerschöpflich sind, wurde bereits erwähnt. Glücklicherweise übertragen sich die magnetischen Eigenschaften der ungepaarten 3d-Elektronen auf gewisse Eisenerze, was ihre Anreicherung

verhältnismässig billig macht. Der erhöhte Verbrauch von stückiggemachten Rohstoffen für den Hochofen hängt zum Teil von dieser Eigenschaft ab, wie in concreto die Ausbeutung der riesigen Roteisensteinvorkommen des Mesabi-Erzgebietes in den Vereinigten Staaten, um nur ein Beispiel zu nennen. Magnetische Erzreicherung mit anschliessender Stückigmachung (Pelletierung) wird weiterhin in verstärktem Masse angewandt werden und somit dazu beitragen, die Herstellungskosten des Eisens niedrig zu halten.

Kohlenstoff, in der festen Form oder im Öl und Gas, wird immer benötigt werden, um Eisen aus seinem Erz zu befreien, und die bekannten Kohlenvorkommen sind zum mindesten noch für einige hundert Jahre ausreichend. Während der letzten Jahre wurde der Wert des Hochofens, in dem das Erz dem Kohlenstoff begegnet, wiederholt angezweifelt; trotz allem fährt er jedoch fort, wenn vielleicht auch nur aus dem einfachen Grunde, die leistungsfähigste Einheit der Stahlindustrie zu sein, munter zu gedeihen. Immerhin deuten die chemischen Vorgänge des Hochofenprozesses darauf hin, dass für die Gewinnung des Eisens noch andere Wege möglich sind, und tatsächlich wird heute schon bis zu einem bestimmten Grade der Hochofen bereits umgangen. So ist z.B. die Reduktion der Eisenerze bei einer niedrigeren Temperatur möglich, und der dann gewonnene Eisenschwamm kann im Lichtbogenofen zu Stahl verarbeitet werden. Beispielhaft für ein solches Stahlgewinnungsverfahren sind die vor kurzem projektierten Stahlwerke, die in Neuseeland gebaut werden sollen, wo sandiger titanhaltiger Magneteisenstein verarbeitet werden soll.

Übrigens bietet gerade dieses Projekt ein hervorragendes Beispiel internationaler Zusammenarbeit. Unter der Leitung einer britischen Firma von Industrieberatern und in Zusammenarbeit mit einer amerikanischen Forschungsorganisation wurde eine grössere Anzahl von Verfahren studiert, unter Auswahl derjenigen zu Versuchen und Weiterentwicklung, die am versprechendsten waren. Neuseeländisches sandiges Erz und Kohle wurden einer deutschen Gesellschaft geschickt, die in ihren Drehrohröfen daraus durch direkte Reduktion ungefähr 70 t Schwammeisen gewinnen konnte. Ungefähr 4 t dieses Schwammeisens gingen an ein britisches Forschungslaboratorium, welches nach einer Verfahrenstechnik für die Umwandlung in Stahl hoher Güte forschte. Der Rest dieses Schwammeisens wurde nach Edmonton in Kanada verschifft und dort einem Stahl-

werk übergeben, das die Laboratoriumsergebnisse der britischen Forscher bestätigte und nun Grossversuche in einem 15-t-Stahlofen unternahm. Die Stahlindustrien der Welt sind — wie Sie sehen — eine Gemeinschaft mit freundschaftlichem Umgang, die «die Eigenschaften des Eisenatoms widerspiegelt».

Solche direkte Stahlgewinnungsverfahren sind bereits im Betrieb; genau so wie im Überseeeverkehr die Verwendung von vorreduzierten Pellets als Rohmaterial für den Hochofen, werden sie wahrscheinlich in erweitertem Ausmass zur Anwendung kommen.

Durch die ausserordentliche Verbreitung des Sauerstoffkonverters, des LD-Verfahrens, welches den Nachteil des hohen Kohlenstoffgehaltes im flüssigen Roheisen rasch und billig ausmerzt, wurde die Stellung des Hochofens gefestigt. Ein Blick in unsere die Zukunft deutende Kristallkugel zeigt ganz deutlich, dass der Siemens-Martin-Ofen mit der Zeit verschwinden wird. Sie als Schweizer können sehr stolz darauf sein, dass die Pionierarbeit für die Verwendung von Sauerstoff im Konverter von einem Ihrer Landsleute, Dr. R. Durrer, und seinen Mitarbeitern geleistet wurde.

In Ländern hingegen, in denen Schrott einen grossen Teil des Rohmaterials für die Stahlgewinnung darstellt, wird der Siemens-Martin-Ofen sich halten können, bis er von grossen Lichtbogenöfen oder dem neuen F.O.S. (Fuel-Oxygen-Srap = Brennstoff-Sauerstoff-Schrott) Verfahren überholt wird. Bei diesem neuen Verfahren wird ganz einfach ein ausserordentlicher leistungsfähiger Öl-Sauerstoff-Brenner zum Schmelzen des Schrottes verwendet, anschliessend wird die Schmelze gefrischt (siehe Bild 2).

Wenn auch das Roheisen am Hochofen mit Abständen abgestochen wird, so muss der Hochofenprozess trotzdem zu den kontinuierlichen Verfahren gezählt werden. Seit langem sind viele Leute von der Idee gefesselt, dass ein Verfahren entwickelt werden sollte, den Stahl kontinuierlich aus flüssigem Roheisen zu gewinnen; diese Möglichkeit wird in Grossbritannien, Frankreich und Belgien verfolgt.

In Grossbritannien ist vor einiger Zeit eine Versuchsanlage für kontinuierliche Stahlgewinnung in Betrieb genommen worden, und es ist beabsichtigt, diesen Prozess demnächst für eine halb-industrielle Anlage weiter auszudehnen. (Bild 3 zeigt diese Anlage; Bild 4 ist ein Schema, welches ihr Prinzip zur Anschauung bringt).

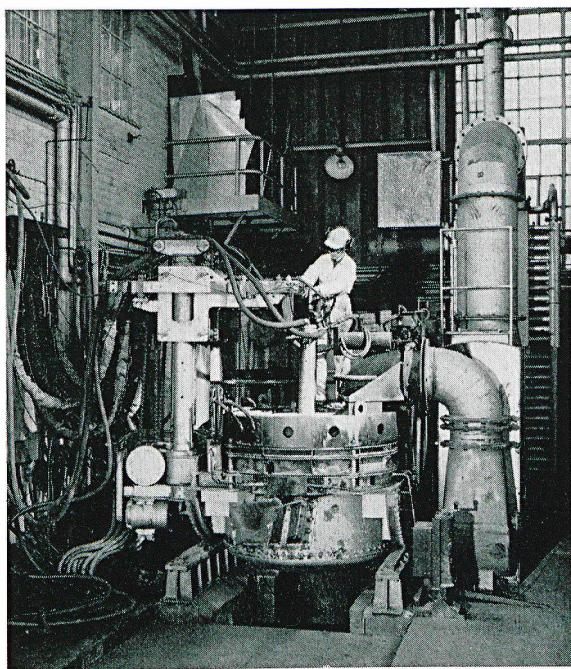


Bild 2: Der umgebauten 500-kg-Lichtbogenofen in den Laboratorien der BISRA in Sheffield, der erfolgreich für das FOS (Fuel-Oxygen-Scrap = Brennstoff-Sauerstoff-Schrott) Stahlerzeugungsverfahren eingesetzt wurde. Der Öl-Sauerstoff-Brenner ist auf dem Bild in seiner Arbeitsstellung gezeigt.

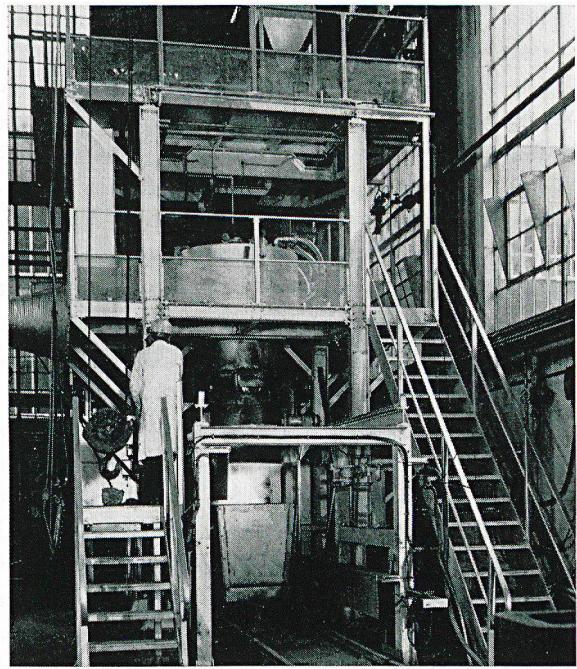


Bild 3: Die kontinuierliche Sprühstahlverfahrensanlage in Sheffield.

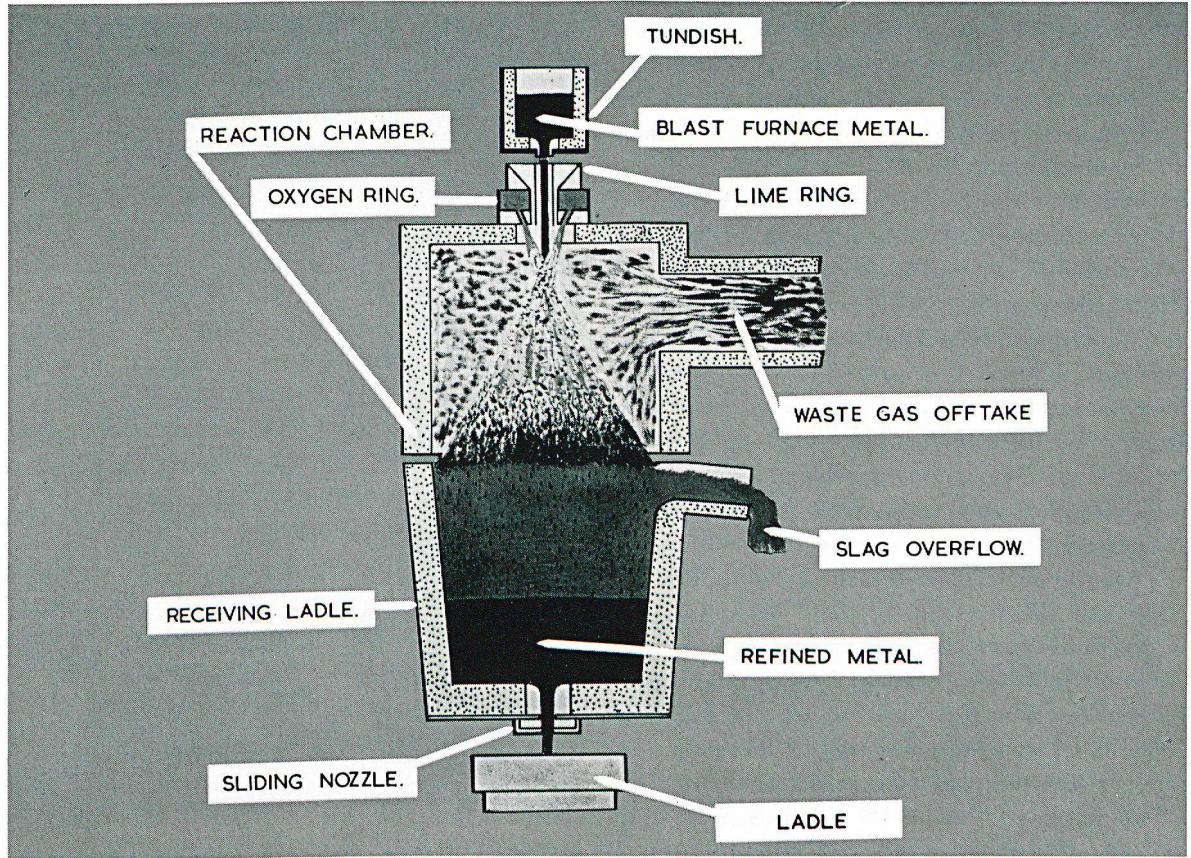


Bild 4: Betriebsmethode des Sprühstahlverfahrens.

Unter Verwendung von gewöhnlichem Roheisen konnte in einigen Sekunden Stahl von der üblichen Qualität gewonnen werden. Die zähen verformbaren Proben, die ich hier zeige, haben einen Kohlenstoffgehalt von 0,06% und eine Charpy-Kerbschlagenergie-Absorption von 20,9 m.kg. Um dieses Verfahren auf eine industrielle Basis zu stellen und um die besten Arbeitsbedingungen dafür festzulegen, wird allerdings noch sehr viel Arbeit erforderlich sein. Heutzutage ist die Fachliteratur voll mit Berichten über «kontinuierliche Prozesse».

Wir haben gesehen, dass Eisen sich etwas zu freundschaftlich zum Wasserstoff verhält, der die unangenehme Eigenschaft hat, am Stahl kurz nach seiner Herstellung feine Risse zu bilden. Nun kann Wasserstoff aus dem Stahl mittels eines satzweisen Verfahrens, einer Vakuumbehandlung, welche jedoch sehr teuer ist, entfernt werden. Jetzt ist es gelungen, dieses Gas ebenso wie Sauerstoff in der Gegenwart von Kohlenstoff sehr schnell und kontinuierlich zu entfernen. Eine derartige Anlage ist in Verbindung mit einer Stranggussanlage bis jetzt jedoch noch mit einer Zwischenpfanne in Betrieb genommen worden. Eine Verschmelzung der beiden Anlagen ist natürlich nur eine Frage der Zeit.

Strangguss für sich betrachtet fängt endlich an, den Einfluss zu gewinnen, den seine Enthusiasten seit langem erhofft hatten. Hinsichtlich seiner Verfahrenstechnik leidet er jedoch noch immer an Kinderkrankheiten; in dem gleichen Masse, in dem diese ausgemerzt werden können, zeigen sich seine Vorteile, wie seine Güte, Gleichmässigkeit und hohes Ausbringen usw. Bisher ist das Verfahren im allgemeinen nur für das Giessen von Brammen und Knüppeln angewandt worden; eine neuere Entwicklung ist das Giessen von Profilen (siehe Bild 5 und Bild 6).

In der Umformungstechnik, d. h. im Walzen, Schmieden, Ziehen usw. zeichnen sich weniger revolutionäre als verfahrenstechnische Änderungen ab. Ein entscheidendes Ineinandergreifen von verschiedenen Verfahren ist die Einführung von thermo-mechanischen Behandlungen, in denen die mechanische Verformung mit einer Wärmebehandlung vereinigt ist, mit dem besonderen Ziel, ein feines Korngefüge zu erhalten. Darüber hinaus beginnt die Hochenergielumformung eine ständig zunehmende Rolle zu spielen. Das Walzen von Bandstahl unmittelbar aus Pulver, ein Verfahren, das bislang auf Aluminium und Nickel beschränkt war, wird an mehreren

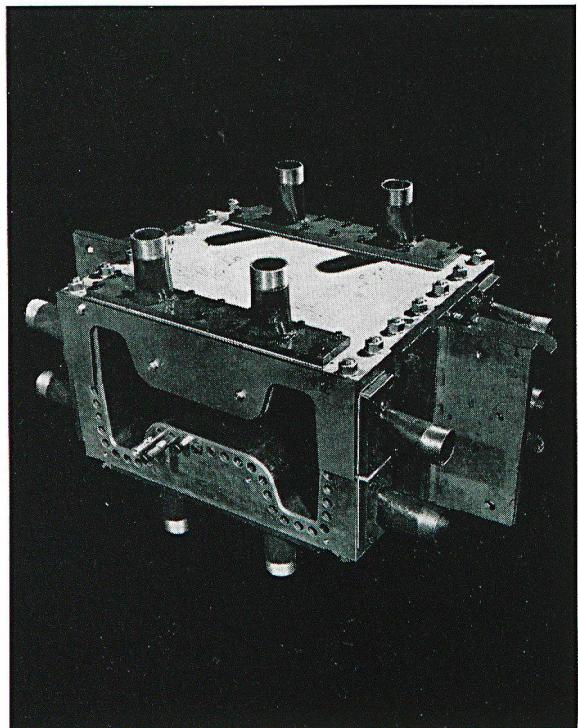


Bild 5: Wassergekühlte Kupferkokille zum Stranggiessen von «Hundeknochen»-Rohlingen zum Walzen von Trägern.

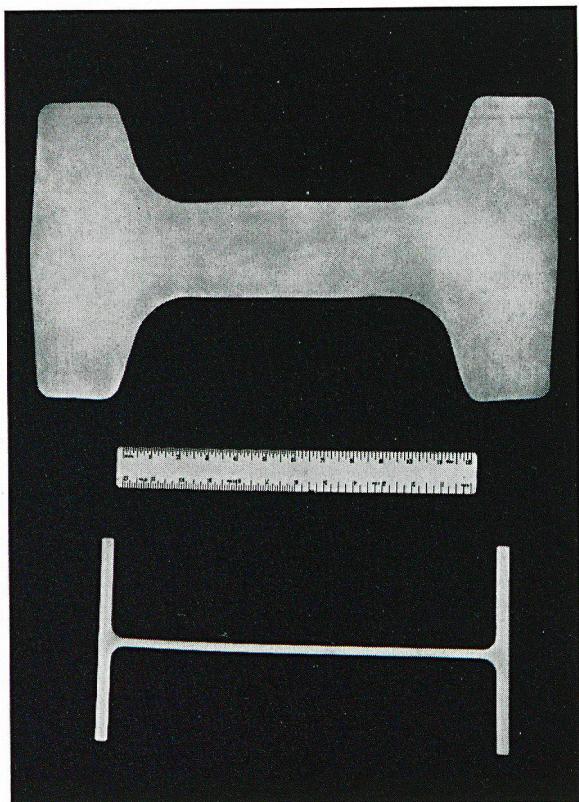


Bild 6: Schnitte des «Hundeknochen»-Profils im Gusszustand und des fertig gewalzten Trägers. (Der abgebildete Massstab ist ein Zollmassstab. 12" = 30,5 cm.)

Stellen untersucht. Seine Zukunft hängt hauptsächlich noch davon ab, ob Eisen- oder Stahlpulver billig genug hergestellt werden können. Ich zeige Ihnen hier Proben von überweichem Bandstahl und rostfreiem Stahlband, die aus Pulver gepresst und dann gewalzt worden sind. Sie erfüllen die entsprechenden Normen, sind aber im Augenblick wesentlich teurer in der Herstellung als gewöhnliches Material.

Die Automation setzt sich in der Stahlindustrie ebenso wie in den Nichteisenmetallwerken rapide durch. Da die Massenherstellung jedoch in der Stahlindustrie weiter verbreitet ist, ist die Notwendigkeit und die Möglichkeit der Automation für sie grösser. Diese Entwicklungen werden auch weiterhin dazu beitragen, die Herstellungskosten von Stahl niedrig zu halten und werden darüber hinaus auch zu einer genauen Innehaltung der Verfahrenstechnik und damit zu einer hohen Qualität der Erzeugnisse führen. Ausserdem bieten diese Entwicklungen grössere Möglichkeiten für etwaige Änderung der Verfahren, nach denen Stahl erzeugt und behandelt wird, so dass sich weitere Vorteile aus der mannigfaltigen Legierbarkeit dieses Metalls erzielen lassen.

Eisen und Stahl müssen und werden sich — und das glaube ich fest — weiterhin in ihren Erzeugnissen durchsetzen. Wir müssen jedoch sofort hinzufügen, dass die Eisenwerkstoffe ganz allgemein eine schwache Seite haben — sie korrodieren. Der Grund dafür ist, dass die Valenzelektronen des Eisens keine dichte Oxydschicht bilden, wie es zum Beispiel Aluminium und Chrom tun. Aber hier kommt dem Eisen die Freundschaft zu anderen Metallen zur Hilfe. Dadurch, dass es Gastatome, wie Chrom oder Nickel, in sein Gitter einzuladen in der Lage ist, können wir alle nützlichen Eigenschaften des Stahls plus seinen Widerstand gegen die Korrosion erhalten. Durch Verzinken, Vernickeln und Verzinnen und neuerdings auch durch Überziehen mit Aluminium und mit Kunststoffen verfügen wir über die Vorteile des Stahls, welcher in seinem grossen Verhältnis zwischen seiner Festigkeit und seinen niedrigen Herstellungskosten besteht, und können neben anderen Eigenschaften über das bessere Aussehen der Oberfläche der hier erwähnten Überzugsmaterialien verfügen. Wir haben für eine verbesserte Oberflächenbearbeitung eine Menge gelernt, und es wird nicht mehr lange dauern, bis eine grosse Auswahl von Stählen mit dem Aussehen von Nichteisenmetallen, mit Anstrichen und Kunststoffüberzügen in den Handel

kommen, anstatt der vor Rost ungeschützten schmutzigen Stähle. Ausserdem haben wir gelernt, dass die Korrosion durch eine verbesserte Konstruktion bekämpft werden kann. Von Seiten der Behälterindustrie, einschliesslich der Industrie für die Herstellung der «fahrbaren Behälter», der Karosserien für Automobile, wird den Stahl die grösste Herausforderung erwarten. Auf diesem Gebiete wird der Stahl vermutlich einen immer grösseren Prozentsatz seines Marktes verlieren, obgleich anzunehmen ist, dass er wahrscheinlich den Gesamtumsatz wegen der ungeheuren Zunahme der Behälterherstellung noch vergrössern kann. Stahl wird aber durch die Einführung neuer Verfahrenstechniken an Boden gewinnen, Verfahrenstechniken zur Herstellung von hochfestem und zähem martensitischem Blech, «Marplate» genannt. Marplate ist das Ergebnis von grundlegenden Untersuchungen über die Geschwindigkeiten, mit denen die verschiedenen Reaktionen während der Wärmebehandlung vor sich gehen. Eine solche Behandlung beschränkt sich nicht mehr auf das einfache Erhitzen und Eintauchen in Öl, um den Stahl zu härten, oder auf ein langes Glühen mit langsamem Abkühlen, um den Stahl weich zu machen. Es existieren nun besonders für Blech und Draht Verfahren, die eine genaue Beherrschung der verschiedenen Reaktionen erlauben und damit gestatten, neue und gleichmässigere Erzeugnisse zu allerniedrigsten Herstellungskosten zu ermöglichen. Ein Muster eines solchen Erzeugnisses wird mit den Bildern N und P gezeigt. Ausserdem zeige ich einige Proben eines martensitischen Bleches mit einer Festigkeit von  $125 \text{ kg/mm}^2$ , also einer Festigkeit, die fast schon zu hoch für viele Verwendungszwecke ist. Nachdem die japanischen Schwertschmiede die notwendigen Erfahrungen und Kenntnisse gesammelt hatten, steuerten sie ihre Wärmebehandlungsverfahren zum Teil durch Verwendung von Stahl verschiedener Stärke. In modernen Stahlwerken erfolgt die Regelung durch Instrumente und entsprechende Vorrichtungen.

Ich möchte diesen Vortrag mit der ausdrücklichen Betonung schliessen, dass jede Zivilisation auch weiterhin auf dieses Metall mit den 3d-Elektronen angewiesen sein wird. Im Englischen bedeutet 3d auch die drei Dimensionen: Festigkeit, niedrige Herstellungskosten und Vielseitigkeit für die Verwendung. Deswegen ist die Zukunft für den Stahl gesichert.