

# STAHL UND EISEN

## ZEITSCHRIFT FÜR DAS DEUTSCHE EISENHÜTTENWESEN

Herausgegeben vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute im NS.-Bund Deutscher Technik

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 35

2. September 1943

63. Jahrgang

	Seite		Seite
Neue Erfahrungen aus dem Winderhitzerbetrieb. Von Walther A. Güldner in Dortmund . . . . .	633	Umschau . . . . .	647
Der Einfluß der Geschwindigkeit bei der Kaltverformung von Stählen auf Grund von Untersuchungen mit dem Rollhärteprüfer. Von Hubert Hauttmann in Oberhausen . . . . .	641	Rückschau und Ausblick — Das Ziehen zäher Werkstoffe — Verfahren zur Festlegung von Mittellinien durch ein Streufeld — Zehn Fragen zur Preßluftwirtschaft	
		Patentbericht . . . . .	651
		Vereinsnachrichten . . . . .	652

## Neue Erfahrungen aus dem Winderhitzerbetrieb

Von Walther A. Güldner in Dortmund

[Bericht Nr. 216 des Hochofenausschusses und Mitteilung Nr. 316 der Wärmestelle des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute im NSBDT.\* 1.]

*(Unterschiedlicher Winderhitzerbetrieb bei Verhüttung reicher und armer Erze. Bemerkenswerte Temperaturmessungen an Kuppeln und Heißwindleitungen. Speichergorgänge zwischen Winderhitzerkuppel und Hochofen. Auswirkungen von Brennschacht- und Gitterwerksschäden. Kurvenmäßige Darstellung des Speicherzustandes. Weiterentwicklung der Brenner zur kurzflamigen Verbrennung und deren Auswirkung auf den Winderhitzer. Messungen von Brenngas und Brennluft durch Kreltsche Scheiben. Gesamtwirkungsgrad der Winderhitzung und Gasersparnisse.)*

Laien, die zum erstenmal vor einem Hochofenwerk stehen, halten die aufstrebenden Bauten der Winderhitzerbatterien häufig für den eigentlichen Hochofen. Auch in der Werbung treten ihre schlanken schwarzen Türme wiederholt stärker in den Vordergrund als die durch allerlei äußeres Gitterwerk verdeckten Schmelzöfen. Und doch führt im täglichen Arbeitsleben des Hochöfners der Winderhitzerbetrieb durchweg nur ein Schattendasein. Er gibt sich zufrieden, wenn die Winderhitzer ihm einen gleichmäßig auf die gewünschte Heißwindtemperatur erwärmten Wind liefern, der in Menge und Güte den jeweiligen Erfordernissen leicht angepaßt werden kann. Auge und Gedanken des Hochöfners beurteilen darum die Anzeige der Meßgeräte in den Meßwarten meist auch nur unter dem einen Gesichtswinkel des Ofenganges: wie er war und wie er sich wohl auswirken wird.

Ganz anders aber sprechen die Kurven den Energieingenieur an. Auch für ihn ist der Betriebsablauf des Hochofens wichtig, nicht allein, weil der Hochofen an sich der größte Energiespender ist, sondern auch weil ein unregelmäßiger Ofengang später meist Störungen der Energiezufuhr, z. B. zu den Walzwerken, zur Folge haben kann. Daneben ist er sich aber auch bewußt, daß der Winderhitzer ein großer Gasabnehmer ist, der bis zu 28 % der abgegebenen verfügbaren Wärmemengen des Hochofens verarbeitet. Er vermag andererseits einen Wirkungsgrad zu erreichen, der den aller anderen bekannten Wärmewandler übertrifft und auf gleicher Höhe mit denen steht, die neuzeitliche Dampfkesselanlagen entwickeln<sup>1)</sup>. Während aber bei diesen mit einem sehr viel größeren Aufwand an hochwertigem technischen Einrichtungen, wie z. B. Überhitzern, Wasser- und Luftvorwärmern, gearbeitet werden muß, um den hohen Wirkungsgrad zu erreichen, besteht der Winderhitzer durch einen bemerkenswert einfachen Aufbau. Nun führt gerade

der hohe erzielbare Wirkungsgrad zu der Forderung, ihn auch dauernd betriebsmäßig zu erreichen und zu halten. Jede Verschlechterung seines Gasverbrauchs schlägt bei der Höhe seines Wärmeumsatzes für den Gesamt-Energiehaushalt eines Eisenhüttenwerks sehr stark zu Buch.

Darüber hinaus bietet die Winderhitzeranlage noch die einmalige Möglichkeit, bei der Organisation des Energieeinsatzes ihre Speichereigenschaft nutzbringend einzusetzen. Ein zeitweiliges Überangebot an Wärme kann aufgenommen und in Mangelzeiten wieder abgesetzt werden. In Dampfkesseln und bei anderen Wärmöfen ist dies nicht zu erreichen.

Man sollte meinen, daß bei solcher Bedeutung für das Energiewesen der Winderhitzerbetrieb häufiger Gegenstand von Betriebsuntersuchungen sei. Wenn dies nicht durchweg der Fall ist, so mag das daran liegen, daß — bei seinem verhältnismäßig einfachen Aufbau und bei seinem ebenso einfachen Einbau in den Betrieb — der Winderhitzer selbst nur seltener Anlaß zur Untersuchung gibt. Seine Betriebsbedingungen ändern sich nur in langen Zeiträumen. Hierbei trübt dann oft die Gewohnheit den kritischen Blick der Ingenieure bis zur Betriebsblindheit, und unbemerkt öffnen sich Tür und Tor zu einer überraschend großen Verschwendung. So läßt sich fast behaupten, daß unter diesem Gesichtswinkel die größte Einfachheit nicht immer das Wunschbild einer wirtschaftlichen Lösung darstellt. Erst fremde Impulse, wie sie z. B. durch die gegenwärtigen Zeitverhältnisse mit ihrer Energieknappheit gegeben werden, regen zu Nachprüfungen an. Über eine solche Nachprüfung, ihren Ablauf, die getroffenen Feststellungen und Folgerungen soll hier berichtet werden. Die Ergebnisse dürften über den eigenen Werksgebrauch hinaus bemerkenswert sein.

Der Zweck des Winderhitzers ist der Wärmeaustausch, d. h. hier die Aufbringung eines möglichst hohen Wärmeverrats. Dem durch Kuppel- und Abgastemperatur begrenzten Aufladen folgt die bis herunter zur unteren Grenze der Heißwindtemperatur getriebene Entspeicherung. Bei dem verhältnismäßig hohen Schwedeneranteil im Thomasmüller, wie er früher üblich war, wurden die Thomasöfen ständig mit Windtemperaturen von 750 bis 850° betrieben.

\* 1) Vortrag vor der Wärmewirtschaftlichen Tagung am 21. April 1943 in Dortmund. — Sonderabdrucke sind vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, zu beziehen.

<sup>1)</sup> Schwiedeßen, H.: Stahl u. Eisen 62 (1942) S. 151/55 (Wärmestelle 299).

Der hohe Tageskoksdurchsatz der Öfen führte dazu, daß die Winderhitzer bereits nach  $1\frac{1}{2}$  h völlig entseichert waren und wieder auf Gas umgestellt werden mußten. Die Umstellung erfolgte grundsätzlich nach der Zeit, wobei diese so gewählt wurde, daß am Ende der Aufheizzeit ungefähr

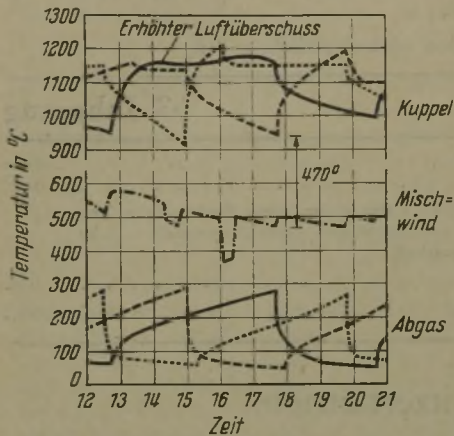


Bild 1. Temperatur zu Versuchsbeginn.

eine aus der Erfahrung als zulässig angesehene Abgastemperatur erreicht oder nicht überschritten werden durfte. Mit dem ständig wachsenden Anteil armer Inlanderze im Möller wurde an diesem Verfahren kaum etwas geändert, obwohl die Windtemperatur, zum Teil erheblich, heruntersetzt werden mußte und der Koksdruck der Hochöfen und damit auch gleichzeitig die Windmenge in der Zeiteinheit abgesunken war. Rückwirkungen aus dem geänderten Möller auf den Winderhitzerbetrieb ergaben sich scheinbar auch sonst nicht, denn die verlangten niedrigen Windtemperaturen bedeuteten immerhin eine Entlastung. Wind von  $500^{\circ}$  war leichter bereitzustellen als etwa Wind von dauernd  $850^{\circ}$ . So blieb alles beim alten.

Die sich einstellenden Ergebnisse der unverändert fortgesetzten Aufheizung der Winderhitzer bei gleichbleibenden Umstellzeiten des Drei-Winderhitzer-Betriebes zeigt das Bild 1. Es sind die Betriebsverhältnisse, wie sie zu Beginn der Untersuchung vorlagen. Wie der Kurvenverlauf in der Mitte erkennen läßt, verlangte der Schmelzbetrieb eine Windtemperatur von etwa  $500^{\circ}$ . Sie wird durch Zusatz von Kaltwind auf dieser gleichen Höhe gehalten und ist deshalb mit „Mischwindtemperatur“ bezeichnet. Hierzu waren drei Winderhitzer in Betrieb, die bis zu  $1150^{\circ}$  und  $1200^{\circ}$  Kuppeltemperatur aufgeladen wurden (obere Liniengruppe), wobei die zugehörigen Abgastemperaturen bis dicht unter  $300^{\circ}$  hinaufstiegen (untere Liniengruppe). Wurde nach etwa  $2\frac{1}{2}$  h umgestellt, so lag die Kuppeltemperatur noch bei  $1000^{\circ}$ , niedrigstenfalls bei  $900^{\circ}$ . Es bestand also noch ein erheblicher Wärmeverrat, der seinen Ausdruck in dem sehr hohen,  $470^{\circ}$  betragenden Unterschied zur Mischwindtemperatur findet. Die Abgastemperaturen stiegen gleich nach Beginn des Wiederaufheizens auf  $100^{\circ}$  und mehr, fingen also auf einer Höhe an, auf der eigentlich das Ende des Aufheizens erreicht sein sollte.

Durch den Umstand, daß ein auf diese Weise nur unvollständig entseichter Winderhitzer in der nachfolgenden Aufheizzeit mit verhältnismäßig geringem Gasverbrauch wieder aufgeladen werden kann, fehlt in vielen Fällen dem Betrieb der Anstoß, hier eine wesentliche Änderung herbeizuführen. Trotzdem ist eine Anpassung des Aufheizzustandes an die geforderte Wärmeleistung unbedingt erforderlich, zumal wenn es sich um nichtisolierte Winderhitzer, wie in diesem Fall, handelt; denn

1. sind infolge der höheren Temperaturlage und der damit höheren Außenwandtemperatur des Winderhitzers die Abstrahlungsverluste höher, und
2. ergeben die hohen Abgastemperaturen unnötige Essenverluste, besonders wenn zur Vermeidung zu hoher

Kuppeltemperaturen, wie im Bild dargestellt, auch noch der Luftüberschuß gesteigert wird. Und

3. braucht man nicht gegen Ende des Aufheizens mit hohem Luftüberschuß zu fahren, um die Kuppel zu schonen.

Die erste Maßnahme bestand daher darin, die Entspeicherung bis zum völligen Schließen des Kaltwindschiebers fortzusetzen und gegebenenfalls erst bei Beginn des Abfalls der Heißwindtemperatur den Winderhitzer umzusetzen. Die Aufladung sollte anschließend nur mit einer solchen Gasmenge erfolgen, daß der kommende Entspeicherungsvorgang in 2 h beendet war. Hierbei wird allerdings die Möglichkeit nicht ausgenutzt, Gasüberschüsse in den Winderhitzern zu speichern und für den Gesamtbetrieb nutzbar zu machen. Der Betrieb regte an, die Abgastemperatur am Ende der Aufheizzeit als Maßstab für den Aufheizzustand der Winderhitzer zu wählen, wobei durch Versuche festgestellt werden sollte, welche Temperaturhöhe der jeweilig geforderten Wärmeleistung entsprach<sup>2)</sup>. Diese Aufgabenstellung enthält wohl kaum bisher unbekannte Fragen. Doch führte der Weg zu ihrer Lösung über eine Reihe von Schwierigkeiten und zu Erkenntnissen, die festgehalten zu werden verdienen.

### Temperaturmessungen

Bei einem der untersuchten Hochöfen fiel im Verlauf dieser Arbeit auf, daß die Aufschreibungen der Mischwindtemperatur eine bemerkenswerte Gleichmäßigkeit hatten, und zwar auch dann noch, wenn der Kaltwindschieber geschlossen war und ein deutliches Absinken hätte festgestellt werden müssen. Da die Nachprüfung der Meßwertanzeiger keine Anstände erkennen ließ, konnte der Fehler nur in einer örtlich falschen Anbringung des Temperaturfühlers liegen. Aus Bild 2 sieht man, daß das bisherige Pyrometer (Süd) gegenüber dem Eintritt der Heißwindleitung in den Heißwindring angebracht war. Vorn am Ring teilt sich der Windstrom, am Pyrometer trifft er wieder zusammen. Es ist darum anzunehmen, daß sich hier eine Stelle schwacher Luftströmung ausbildet und das Pyrometer infolgedessen im wesentlichen nur die Steintemperatur anzeigt. Am neuangebrachten Vergleichspyrometer Ost wurden dagegen nicht nur wesentlich höhere Temperaturen gemessen, sondern es spricht auch feinfühlicher auf die Schwankungen der Kaltwindzugabe an. Beide Kurven des Bildes 2 sind gleichzeitig aufgenommen und geben eine Erklärung dafür, daß die Winderhitzer falsch beurteilt werden mußten. Die zu niedrig angezeigte, tatsächlich aber höher liegende Temperatur veranlaßte die Wärter immer wieder, bei hohen Anforderungen die Aufheizung über ein übliches Maß hinauszutreiben. Der Erfolg blieb in vielen Fällen ganz aus. In anderen gelang scheinbar eine Erhöhung der Wind-

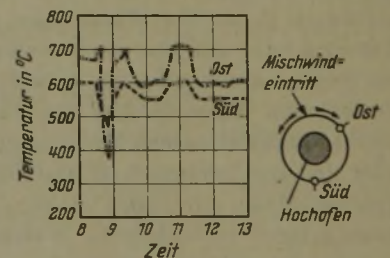


Bild 2. Einbaustellen der Mischwindpyrometer.

temperatur nur sehr zögernd. Andererseits lag für die Wärter kein Anlaß vor, über diese Eigenarten zu berichten, da die Mischwindtemperatur eine derartige Gleichmäßigkeit aufzuweisen schien, daß keinerlei Forderungen mehr zu stellen waren, und das war anscheinend erreicht, obwohl der

<sup>2)</sup> Siehe auch Stoecker, J.: Stahl u. Eisen 50 (1930) S. 249/54 (Hochofenaussch. 111).

Kaltwindschieber sehr viel weniger betätigt werden mußte als an anderen Hochöfen. Eine Kalt- und Heißwindstrahlenbildung wurde nicht beobachtet. Sie ist auch schon deshalb unwahrscheinlich, weil der Kaltwind senkrecht in den Heißwind eintritt, womit eine gute Durchwirbelung erreicht ist.

Das neue Pyrometer Ost wurde dann der weiteren Betriebsbeurteilung zugrunde gelegt und hat dazu beigetragen, daß der Gasverbrauch je 1000 Nm<sup>3</sup> Wind wesentlich herabgesetzt werden konnte. Eine Auswirkung dieser Veränderung auf den eigentlichen Hochofengang trat eindeutig nicht in Erscheinung, da der Einfluß des wechselnden Möllers stärker war.

Bei dem Versuch, jetzt nach den neuen Richtlinien zu fahren, stellte sich heraus, daß innerhalb einer Gruppe ein Winderhitzer, nämlich Nummer 31 des Bildes 3, immer wieder aus der Reihe fiel. Schon beim Aufheizen stieg die Kuppeltemperatur besonders schnell an, auch wenn man bei der vorliegenden Mischwindtemperatur mit der gleichen Gasmenge und Abgastemperatur arbeitete wie bei den anderen. Um die Kuppel nicht zu beschädigen, ging daher der Betrieb dazu über, einen wesentlich höheren Luftüberschuß zu nehmen, wodurch die Kuppeltemperatur zwar gesenkt, der Abgasverlust aber vergrößert wurde. Nach der Umstellung auf Wind ergab sich eine auffallend niedrige Heißwindtemperatur (Punkt B in Bild 3), womit der Winderhitzer auch hierin schlechter lag als die anderen. War schließlich der Kaltwindschieber ganz geschlossen, übertraf die Kuppeltemperatur den Mischwind noch um 80 bis 100°, woraus auf eine nicht beendete Entspeicherung geschlossen wurde. Da der Grund weder in der Heißwindleitung selbst noch an unbeabsichtigter Kaltwindzufuhr liegen konnte, wurden am Eintritt E der Heißwindleitung, und zwar hinter dem Heißwindschieber des Winderhitzers und am Eintritt A vor der Einmündung des Kaltwindes, je ein Pyrometer eingebaut, deren Aufzeichnungen in Bild 3 (unten) wiedergegeben sind.

Betrachtet man zunächst den gesunden Winderhitzer 33, so sieht man, daß ab 12.30 Uhr eine Mischwindtemperatur von 800° in der Ringleitung am Ofen verlangt wurde. Bei der Aufladung auf eine Kuppeltemperatur von 1000° (obere Kurve) stellte sich eine Abgastemperatur von 270° ein. Nach dem Umstellen fiel die Kuppel gleichmäßig auf 800°, d. h. auf den Betrag, der als Mischwindtemperatur vorgeschrieben war. Beide Temperaturen stimmen am Ende der Entspeicherung überein; der Kaltwindschieber ist geschlossen, die Entspeicherung beendet.

Der gestörte Winderhitzer 31 wurde bei gleicher Abgastemperatur um 100° höher, also auf 1100° an der Kuppel aufgeladen, erreichte aber nur eine Mischwindtemperatur von 750° am Ofen. Hierbei war allerdings die Kaltwindzugabe gleich groß wie im ersten Fall, aber selbst wenn sie gänzlich unterblieben wäre, hätten nur im ersten Augenblick der Umstellung 800° erzielt, dann aber nicht mehr gehalten werden können. Bei der schon nach weniger als 2 h vorgenommenen Umstellung konnten an der Kuppel noch 810° gemessen werden, die Mischwindtemperatur lag bei geschlossenem Kaltwindschieber schon 90° tiefer. Sie betrug nur noch 720°. Hier klaffte ein Widerspruch, der durch den Einbau des Pyrometers E aufgeklärt werden sollte.

Diese Meßstelle E erfaßt den Temperaturablauf hinter dem Heißwindaustritt, d. h. am Anfang der Heißwindleitung (von den drei mittleren Heißwindkurven die oberste). Aus dem eingezeichneten Ablauf der Entspeicherung lassen sich folgende Betrachtungen ableiten. Nach dem Umstellen treibt der hocharwärmte Heißwind auch die Temperatur am Anfang der Leitung in die Höhe. Der Höchstwert ist bereits nach 5 bis 20 min erreicht, bleibt aber 40° niedriger als die höchste Kuppeltemperatur. Im Verlauf der Entspeicherung nehmen beide Temperaturen ab, die Messung am Winderhitzeraustritt liegt dabei bis auf die ersten 10 bis 15 min stets 30 bis 40° höher als die an der Kuppel. Zwischen beiden Punkten findet eine größere Wärmeaufnahme statt, die nur aus der Abgabe des Brennschachtmauerwerks herrühren kann. Der Schacht ist demnach nicht unwesentlich am Wärmeaustausch beteiligt. Der entsprechende Vorgang am Winderhitzer 31 sieht ganz anders aus. Obwohl die Anfangskuppeltemperatur 100° höher liegt, werden am Winderhitzeraustritt nur 860°, also 240° weniger als an der Kuppel und somit 100° weniger als bei Winderhitzer 33 gemessen. Beide Temperaturen fallen mit der Entspeicherung, überschneiden sich aber nie, denn noch am Ende liegt die Kuppel 50° höher als der Wind am Leitungsanfang. Tatsächlich war der Speicher jedoch leer. So blieb nur die Möglichkeit, daß die Kuppel für sich allein, zum mindesten in der Nähe des Pyrometers, noch wärmer geblieben war als das Gitterwerk.

Zunächst seien noch einige Worte über den Temperaturverlauf in der Heißwindleitung eingeschaltet. Auch an ihrem Ende A steigt nach der Umstellung die Temperatur auf einen Höchstwert (mittlere der drei Heißwindkurven). Gegenüber dem Anfang E fehlen aber etwa 80 bis 90°, die in der 32 m langen, nicht isolierten Leitung verlorengegangen sind. Dieser Verlust nimmt gegen Ende des Entspeichungsabschnitts auf 30° ab. Ein- und Austrittstemperatur haben sich also einander genähert. Auch hier handelt es sich um einen Speichervorgang. Die Wärme geht nur zu einem Teil als Außenverlust ganz verloren (es konnten Manteltemperaturen von 110° an der 1600-mm-Dmr.-Leitung mit 300 mm Schamotteauskleidung gemessen werden), der andere blieb als Speicherung im Mauerwerk. Am Ende des Abschnitts sind die Abstrahlungsverluste ziemlich unverändert groß, aber die Wärmeaufnahme des Mauerwerks

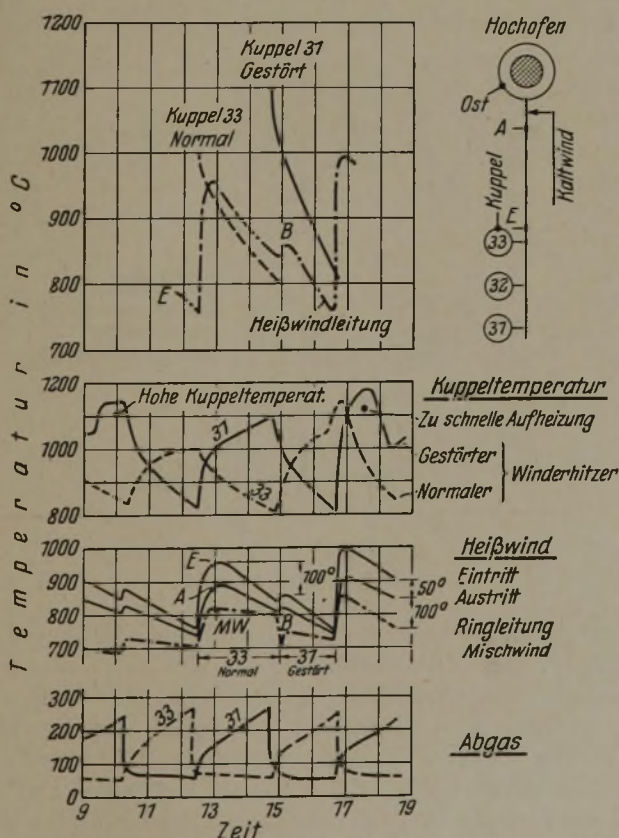


Bild 3. Gestörter Heißwindbetrieb.

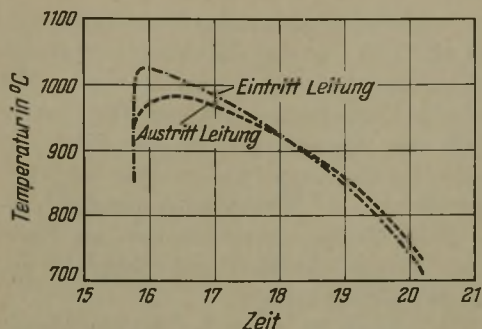


Bild 4. Entspeicherung der Heißwindleitung.

Bild 4 hervorgeht, bei dem am Ende der Entspeicherung der Heißwind 30° wärmer aus der Leitung herauskommt, als er hineinging. Der Umkehrpunkt ist bei diesem vierstündigen Vorgang etwa nach 2 1/2 h erreicht, in den letzten 1 1/2 h entspeichert die Leitung sichtbar.

Somit erweist sich, daß die Heißwindleitung einen selbsttätigen Wärmeausgleicher darstellt, der die gegebenen Temperaturveränderungen des Heißwindes mildert, indem er die hohen Anfangstemperaturen herab-, die niedrigen Endtemperaturen aber heraufsetzt. Damit werden auch Untersuchungen bestätigt, die vor zehn Jahren K. Rummel in einer Sitzung des Ausschusses für Wärmewirtschaft bekanntgegeben hat.

Zur Klärung der noch offenen Frage, warum die Kuppel 31 beim Entspeichern stets erheblich wärmer blieb als der austretende Heißwind, wurde der Winderhitzer abgeschaltet und befahren. Dabei stellte sich heraus, daß Zerstörungen des Brennschachts und der oberen Lagen des Gitterwerks vorhanden waren, wie sie H. Schuhmacher<sup>3)</sup> bereits einmal beschrieben hat. Diesmal waren sie nicht ganz so groß wie die im Bild 5 wiedergegebenen. Der Brennschacht hatte sich geneigt und das angrenzende Gitterwerk eingedrückt, einige benachbarte Züge waren mit Steinen abgedeckt. Hinzu kam, daß das Gichtgas unverhältnismäßig viel Gichtstaub mit sich geführt hatte, der sich auf den Steinen abgelagert hatte und hier gesintert war. Der ganze Besatz trug Kronen von Gichtstaub, die den Durchtritt der

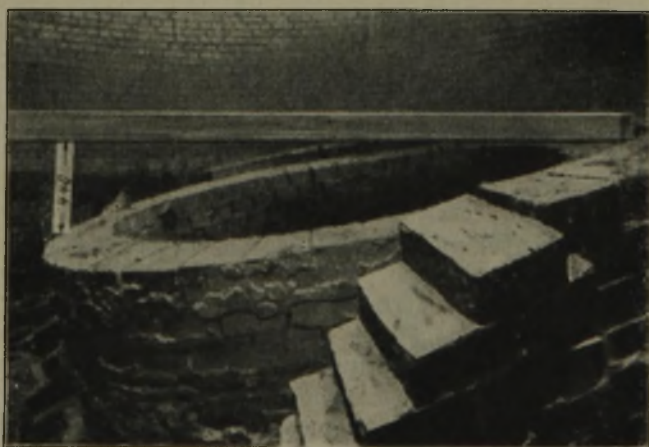


Bild 5. Abweichung des Winderhitzerschachts nach 20monatiger Betriebsdauer.

Abgase beeinträchtigten und zum Teil den Eintritt in die zweite Zone gänzlich behinderten.

Daraus ergaben sich folgende Aufheizverhältnisse:

Das Brenngas, das mit zu langer Flamme noch im oberen Teil des Schachtes und über dem Gitterwerk verbrannte, hat einmal die Schachtsteine zum Erweichen und zum Schwinden gebracht, woraus sich die Neigung des Brennschachtes erklärt. Dann aber war den Gasen der freie Abzug verwehrt,

<sup>3)</sup> Stahl u. Eisen 58 (1938) S. 372 (Hochofenaussch. 167).

hat abgenommen. Bei längerer Ausdehnung des Entspeicherungsvorganges wird sie gleich Null und geht dann in eine Wärmeabgabe über. Dann mißt man einen Temperaturverlauf, wie er aus

so daß die Feuer-raumbelastung unter der Kuppel höhere Werte annahm als früher. Dadurch, daß die Achse des geneigten Brennschachtes unmittelbar auf den Scheitel der Kuppel gerichtet

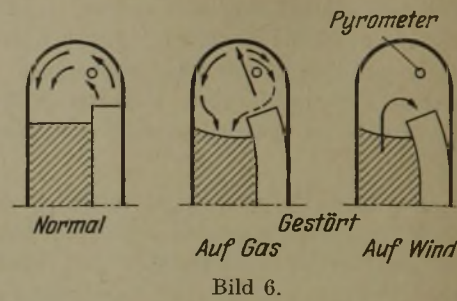


Bild 6. Strömung bei geneigtem Brennschacht.

war (Bild 6), mußte sich der Gas-Flammenstrom nach allen Seiten entlang der Kuppel nach abwärts bewegen. Das seitlich im Mannloch angebrachte Kuppelpyrometer kam damit unmittelbar in das abbrennende Gas-Luft-Gemisch und erhielt die hohe Temperatur aus erster Hand. In der Windzeit konnten nur die Kanäle arbeiten, die noch frei waren. Diese befanden sich aber vornehmlich in der Mitte, da die Randzonen durch den dort stärker angefallenen Gichtstaub teilweise verstopft waren. Der aufsteigende Wind drehte aber nach Verlassen des Gitterwerks auf kürzestem Wege um in den geneigten Schacht, so daß jetzt das Pyrometer im Windschatten lag. Die angrenzenden Mauerwerksteile der Kuppel wurden also nicht mehr so stark entspeichert, und die Steintemperatur am Pyrometer blieb damit 50° höher als die wahre Windtemperatur am Schluß der Entspeicherung. Die Beobachtung, daß diese Erscheinungen besonders bei geringerer Windmenge auffälliger wurden, bestätigen diese Überlegungen.

Nach diesen Ergebnissen wurde das Pyrometer E wieder ausgebaut, das Pyrometer A vor der Kaltwindleitung aber für den Dauerbetrieb belassen. Seine Aufzeichnungen wurden auf das gleiche Schaubild gelegt, auf dem die Mischwindtemperatur des Heißwindringes am Ofen geschrieben wird. Daraus ergeben sich ganz neue Kurvenbilder, die eine schnelle Beurteilung des Speicherungs-zustandes und damit eine schärfere Überwachung des Winderhitzerbetriebs gestatten. Die übliche Aufschreibung der Kuppel- und Abgastempera-

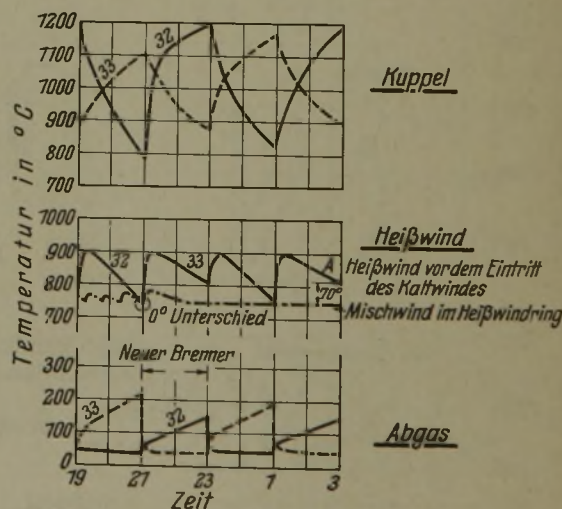


Bild 7. Neue Fahrweise.

turen bleibt bestehen, so daß sich ein Schaubild, ähnlich wie in Bild 7 dargestellt, entwickelt. Die Windtemperatur A am Ende der Heißwindleitung nimmt mit fortschreitender Entspeicherung ab und erreicht bei Schluß des Kaltwind-schiebers die vom Hochofen geforderte Höhe der Mischwindtemperatur MW. Beide Kurven treffen sich und verlaufen noch eine Weile gemeinsam, bis der Temperaturabfall die Umstellung erzwingt. Heiß- und Mischwindtemperaturen

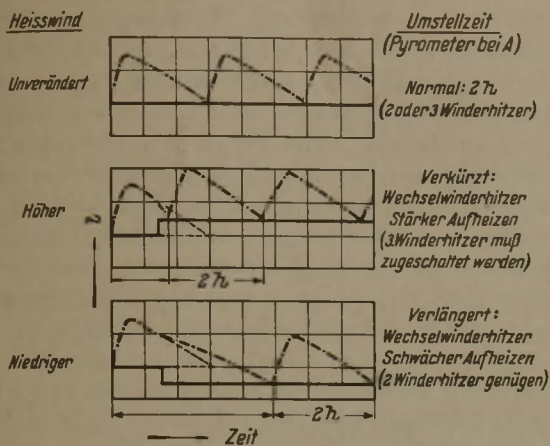


Bild 8. Winderhitzerbetrieb.

sind dann gleich hoch und gestatten mit der Kuppel zu dritt eine gegenseitige Überwachung. Unregelmäßigkeiten mit den oben beschriebenen Ursachen sind jetzt sofort erkennbar.

Die Aufheizung ist in Ordnung, wenn das Ende der Entspeicherung nach 2 h erreicht wird. Daraus ergeben sich zwangsläufig bei genau geregelter Luftüberschüß die richtigen Heizgasmengen und Abgastemperaturen. Der beste erzielbare Wirkungsgrad dürfte somit betriebsmäßig gesichert sein. In Bild 7 trifft bei Entspeicherung des Winderhitzers 32 die Temperatur A (Ende der Heißwindleitung) mit der verlangten Mischwindtemperatur nach 2 h zusammen. Dieser Speicher war richtig aufgeheizt und ist jetzt völlig leer. Der Winderhitzer 33 aber ist nach 2 h nicht entspeichert, denn der Temperaturunterschied zwischen Heiß- und Mischwind beträgt noch  $70^\circ$ . Hier darf künftig nicht mehr so stark aufgeheizt werden, so daß Heizgas eingespart werden kann. Die Höhe der Abgastemperatur beim Aufheizen läßt das auch erkennen. Will man andererseits in Zeiten von Gasüberschüssen, die sonst durch die Fackel abgeblasen werden müssen, diese Gasüberschüsse im Winderhitzer bis zur zulässigen Höhe der Abgastemperatur speichern, so muß man anders vorgehen.

Werden zwischendurch die verlangten Heißwindtemperaturen geändert, so kann der Betrieb dem durch Änderung der Umstellzeiten nachkommen. Die drei möglichen Fälle sind in Bild 8 schematisch untereinander gezeichnet. Wird z. B. die Windtemperatur erhöht, so muß der Kaltwind gedrosselt werden, und mehr Wind strömt durch den Winderhitzer. Die Entspeicherung findet schneller statt, das Ende wird schon vor Ablauf der üblichen 2 h erreicht. Der Winderhitzer muß früher umgesetzt werden. In der Zwischenzeit ist aber der unter Gas befindliche Winderhitzer durch vermehrte Gaszugabe stärker aufgeheizt worden, so daß er möglichst bereits so viel mehr Wärme enthält, daß er wieder für 2 h Entladung bereitsteht. Bei Herabsetzung der Heißwindtemperatur verläuft der Vorgang sinngemäß mit verminderter Heizgasmenge gleichartig.

Es gibt Fälle, bei denen z. B. beim Vorkommen eines schweren Erzsatzes die Notwendigkeit einer Temperaturerhöhung zeitlich vorherbestimmt ist. Hierbei kann eine rechtzeitige Verständigung zwischen Schmelz- und Winderhitzerbetrieb von großem Nutzen sein. Durch die Beachtung dieser Schaubilder ist eine sinnlose Überladung der Winderhitzer ausgeschlossen. Bei den beschriebenen unisolierten Winderhitzern ist das von besonderer Bedeutung und hat zu Gasersparnissen von 20 bis 25 % geführt. Weiterhin kommt man sehr bald dazu, festzustellen, daß hier ein Drei-Winderhitzer-Betrieb nur bei sehr hohen Heißwindtemperaturen und hohem Windbedarf notwendig ist. Schon bei mittleren

Anforderungen lohnt es sich meist nicht mehr, die Speicherwärme von drei Winderhitzern bereitzustellen. Der Zwei-Winderhitzer-Betrieb bringt auf diese Weise weitere Gasersparnisse, deren Nachprüfung durch das neue Schaubild gesichert ist. Man könnte dieses Verfahren auch bei weiter sinkenden Mischwindtemperaturen fortsetzen. Seine natürliche Grenze wird es erst dort haben, wo die zur selbsttätigen Zündung des Heizgases notwendige Temperatur unterschritten wird. Hier darf der Winderhitzer nicht bis zum äußersten entspeichert werden. Diese Gasverluste wird man in Kauf nehmen müssen, sofern nicht selbsttätige Zündung vorzuziehen wäre.

Der ursprüngliche Gedanke, die Aufladung bis zur Erreichung einer vorgeschriebenen Abgastemperatur fortzusetzen, wobei diese in einen zahlenmäßigen Zusammenhang mit der Mischwindtemperatur gebracht werden sollte, wurde fallen gelassen; denn der Grad der Entspeicherung hat einen sehr großen Einfluß auf die Abgastemperatur. Ist z. B. bei hoher Entspeicherung und geringer geforderter Wärmeleistung mit wenig Aufheizgas auszukommen, so würde die Bedienung etwa durch verstärkten Luftüberschüß die für übliche Verhältnisse höher vorgeschriebene Abgastemperatur zu erreichen suchen, was hier nicht erwünscht wäre.

### Brennerfragen

Ursprünglich waren die Winderhitzer ohne besondere Brennereinrichtungen ausgerüstet. Wie schon H. Schuhmacher<sup>3)</sup> berichtet hat, traten durch das explosionsartige Abreißen der Flamme starke Erschütterungen auf, die eine höhere Belastung als  $15\,000\text{ m}^3/\text{h}$  unmöglich machten. Eine Besserung brachte der Einbau eines Brenners gemäß Bild 9. Der Verbrennungswind tritt aus einer Düse aus und saugt seitlich Gas an. Durch diese Vormischung wird ein gleichmäßiges Abbrennen und Aufsetzen der Flamme auf den Brennermund, selbst bei Belastung von über  $25\,000\text{ Nm}^3/\text{h}$ , erreicht. Wie man heute weiß, geht hierbei die Verbrennung verhältnismäßig langflammig vor sich. In dem betrachteten Winderhitzer hatten sich außerdem größere Mengen Gicht-

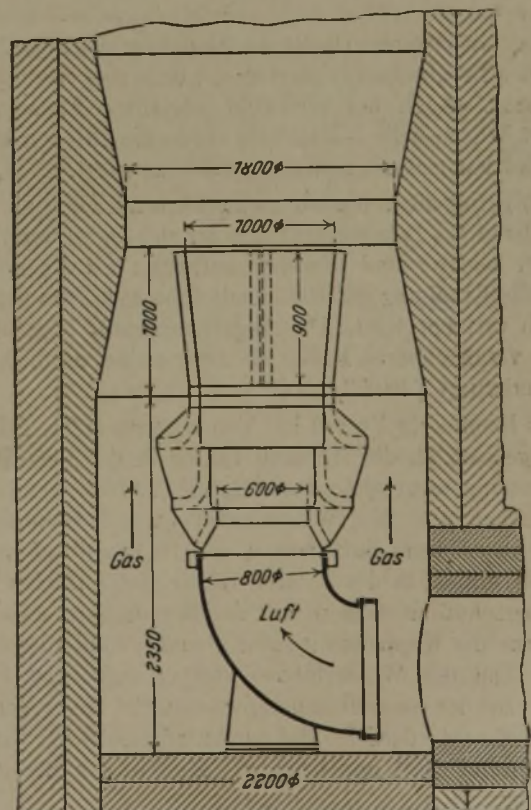


Bild 9. Gasbrenner.

staub am Fuße des Brennschachts abgelagert und damit eine schleppende Verbrennung besonders begünstigt. Die festgestellten Aufheizerscheinungen an dem kranken Winderhitzer 31 und die von Schuhmacher beobachtete Schwindung des Brennschachtmauerwerks im oberen Drittel fügten sich zwanglos in diese Überlegung ein.

Die Hauptverbrennung dürfte etwa 5 m unter der Oberkante des Schachtes stattgefunden haben, da hier das Mauerwerk die größte Schwindung, nämlich 8 %, aufweist. Je langflämmiger die Verbrennung ist, um so mehr Mißstände stellen sich ein. Die Abgastemperatur liegt bei langflämmiger Verbrennung stets höher als bei kurzflämmiger.

Alle diese Überlegungen haben zu eingehenderer Beschäftigung mit der Brennerfrage geführt mit dem Ziel, durch

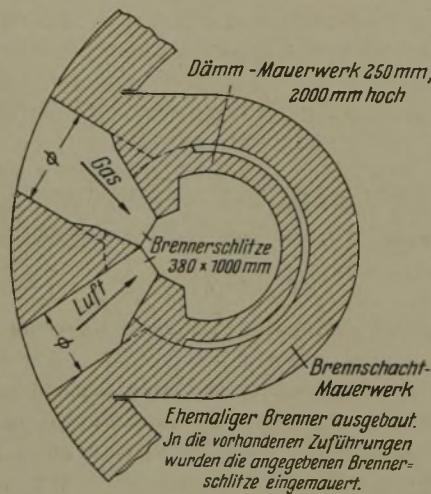


Bild 10.  
Winderhitzerbrenner aus Mauerwerk.

einfachen Umbau eine kurzflämmigere Verbrennung zu erreichen. Bild 10 zeigt die Weiterentwicklung des Brenners, die im Sinne der von K. Rummel<sup>4)</sup> entwickelten Grundsätze vorgenommen wurde. Gas- und Luftströmung treffen senkrecht aufeinander, ergeben die beste Vormischung, brennen kurzflämmig ab und treten als Abgas in den Schacht und das Gitterwerk. Damit die Flammen nicht das Mauerwerk des Brennschachts zerstören, wurde eine Schutzmauer eingebaut. Auch ein senkrecht gestellter Flachbrenner, Bauart Wärmestelle Düsseldorf, würde die gleichen Dienste tun und hat sich an anderen Stellen bewährt.

Der Erfolg dieser Maßnahmen zeichnet sich klar ab. Nach dem Urteil des Betriebs läßt sich der so ausgerüstete Winderhitzer leichter und schneller aufheizen als die anderen, wenn die Erhöhung der Heißwindtemperatur vom Schmelzbetrieb verlangt wird. Die Abgastemperatur liegt niedrig, in den vergleichbaren Fällen niedriger als bei der bisherigen Brennerbauart (Bild 7).

Als besonderer Vorteil hat sich herausgestellt, daß man im Gegensatz zu der früheren Übung in der Lage ist, die Kuppeltemperatur ohne Änderung des Luftüberschusses zu beherrschen und den Winderhitzer auch in den tieferen Lagen ausreichend aufzuheizen. Es ist, auch auf anderen Werken, üblich, in der zweiten Hälfte der Aufheizzeit den Luftüberschuß zu steigern mit der Begründung, daß damit nicht nur die Kuppeltemperatur gesenkt, sondern auch der untere Teil des Winderhitzers stärker aufgeheizt werden könne. Bei der neuen Brennerausrüstung ist dieses Vorgehen nicht mehr erforderlich. Bei der kurzflämmigeren Verbrennung kommt die Kuppel niemals mehr in den Bereich der

höchsten Flammentemperaturen. Diese liegen jetzt tiefer im Brennschacht, wo sie unschädlich sind. Die Kuppel kommt nur noch mit den schon ausgebrannten Abgasen in Berührung. Eine Vereinfachung der Feuerführung ergab sich, als man dazu überging, in die Gas- und Luftleitungen Krellsche Scheiben einzubauen und die Meßergebnisse auf ein Folgezeigergerät zu übertragen. Die Meßwertanzeiger befinden sich unmittelbar am Gas- und Brennluftschieber des Winderhitzers, so daß die Bedienungsmannschaft nicht nur sofort übersieht, welche Gasmengen zugeführt werden, sondern auch, daß die richtige Verbrennung eingestellt ist. Auch diese Maßnahmen haben Gasersparnisse ergeben, da bisher die Wärter erst nach Rückkehr ins Meßhaus feststellen konnten, wieviel Gas und Luft sie „aufgedreht“ hatten. Nur in zwingenden Fällen machten sie den Weg noch einmal zurück, um die erste Einstellung zu verbessern. Der Sauerstoffgehalt der Abgase liegt jetzt unter 1 %, während er früher zwischen 4 und 6 % lag. Der Luftüberschuß ist also von etwa 50 bis 80 % auf 13 bis 15 % zurückgesetzt worden und (das ist wohl wichtig zu erwähnen) er wird dauernd so gehalten. Eine Weiterentwicklung zur selbsttätigen Einstellung ist vorgesehen.

Die Ausbildung der Flamme im Schacht dürfte nach diesen Maßnahmen eine andere geworden sein. Um ihren Einfluß auf das Brennschachtmauerwerk sicherzustellen, wurden optische Temperaturmessungen der Steine vorgenommen. Sie ergaben Werte von etwa 1200°, solange das Gas aufgedreht war. Im Augenblick der Abstellung der Feuerung sank die gemessene Temperatur schlagartig um 100°. Nach dieser Beobachtung kann man schließen, daß während des Betriebs nicht die wahre Steintemperatur gemessen worden ist, sondern daß die Flammenstrahlung dabei eine Rolle spielt. Man kann sich nicht gut vorstellen, daß in einem so kurzen Zeitraum eine Abkühlung des Mauerwerks um 100° stattfinden sollte. Ähnliche Erscheinungen sind nach einer Mitteilung von K. Guthmann bei der Messung der Mauerwerkstemperatur an Siemens-Martin-Öfen beobachtet worden.

Durch die Verlagerung der heißen Zone nach unten dürfte die Absenkung des Brennschachts verhindert werden. Sie ist, worauf H. Schuhmacher<sup>3)</sup> bereits hinweist, nur darauf zurückzuführen, daß die an der Außenwand liegenden Brennschacht-Steine etwa 120° kälter blieben und ihre Schwindung entsprechend kleiner ist. Aus wärmetechnischen, aber auch aus Gründen der Werterhaltung des Besatzes wäre es erwünscht, wenn Winderhitzer grundsätzlich isoliert würden. Dann dürften Erwärmung und Schwindung viel gleichmäßiger und unschädlich sein. Das würde auch für das Gitterwerk Geltung haben. Denn auch dessen Randsteine schwinden im nichtisolierten Winderhitzer bei weitem nicht so stark wie die Mitte. Die Oberfläche des Gitters nimmt daher die Form eines hohlen Uhrglases an (siehe Bild 6). Isolierung und kurzflämmige Verbrennung werden die beobachteten Schäden am Besatz zum Verschwinden bringen. Es wird auch nicht mehr notwendig sein, das obere Schachtdrittel mit Steinen noch höherer Feuerfestigkeit zu besetzen, wie es ursprünglich vorgeschlagen wurde.

#### Gasmessung

Die vorliegende Winderhitzer-Untersuchung ließ es wünschenswert erscheinen, Gas- und Brennluft zu messen. Für eine Mengenbestimmung durch die Normblende gibt es aber bei der gedrängten Bauweise der Hochofenanlage weder im Gas- noch im Brennluftnetz genügend lange störungsfreie Meßstrecken. Daher bestand die Notwendigkeit, auf eine

<sup>4)</sup> Arch. Eisenhüttenw. 10 (1936/37) S. 505/10 u. 541/48 (Wärmestelle 242 u. 243).

andere Meßweise überzugehen, wobei die Benutzung von Schrägrohren auf die Dauer wegen der verhältnismäßig großen Staubgehalte in Gas und Brennluft ausscheiden mußte; denn die kleinen Bohrungen setzen sich schnell zu. Gute Erfahrungen, die an anderen Betriebsstellen bereits mit der Krellschen Scheibe gemacht waren, führten dazu, von dieser Meßmöglichkeit jetzt auch hier Gebrauch zu machen.

Die Krellsche Scheibe besteht aus einem Kreisblech von etwa 200 mm Dmr. und 3 mm Dicke. Sie wird gegen die Gasströmung etwa in die Mitte der Leitung gestellt, wobei es nach den Erfahrungen nichts ausmacht, wenn sie nicht genau im Leitungsmittelpunkt oder nicht genau senkrecht zur Wandung steht. Ihre Anzeige ist, wie auch schon früher festgestellt wurde, nicht nur gegen derartige Einflüsse, sondern auch gegen Störungen der Strömung sehr unempfindlich. Durch ein halbzölliges Rohr wird der Druck, ähnlich wie bei der Normblende, an der Vorder- und Rückseite abgenommen. Die Entnahmestellen sitzen im Scheibenmittelpunkt. Bild 11 gibt die Anordnung einer Krellschen Scheibe in einer Gasleitung wieder.

Die Bestimmung der Gasmenge aus dem Differenzdruck erfolgt nach der Formel für Staurohre

$$V = f \cdot 1,25 \cdot D^2 \sqrt{\frac{h}{\gamma}} = m^3/h.$$

Der Angleichbeiwert  $f$ , der beim Staurohr 0,84 ist, nimmt bei der Krellschen Scheibe, wie zu erwarten war, an verschiedenen Verwendungspunkten verschiedene Werte an und muß von Fall zu Fall neu bestimmt werden. Daher ist es notwendig, die Krellsche Scheibe an der Stelle, an der sie betriebsmäßig sitzen soll, einzueichen. Im vorliegenden Fall war die Einbaustelle ungünstig. Sowohl voralso auch hinterher teilte sich der Gasstrom. Ein brauchbares Meßergebnis wäre bei einer Normblende durch diese Anordnung in Frage gestellt oder sogar unmöglich gemacht worden. Weit vor der Winderhitzergruppe konnte aber der Gesamtverbrauch mehrerer Winderhitzergruppen gemeinsam durch eine Normblende gemessen werden. Nach Zu- oder Abschalten einzelner Winderhitzer wurde die Anzeige der Krellschen Scheibe mit dieser Messung in Übereinstimmung gebracht und der notwendige Angleichwert errechnet. Auch Änderungen des Gasverbrauchs ergaben an dieser Verwendungsstelle den gleichen Angleichwert, wodurch die betriebsmäßige Eignung des Meßverfahrens erwiesen war. An anderen Stellen zeigten sich die gleichen Erfahrungen. Nur mit der Verwendungsstelle ändert sich der Angleichbeiwert. So wurde an einer Stelle bei einem Leitungsdurchmesser von 1400 mm ein Angleichwert von 0,565 gefunden, an einer anderen Stelle bei einem Leitungsdurchmesser von 1100 mm ein Beiwert von 0,724. Eine 2-m-Leitung ergab 0,684. Ein ähnliches Verfahren wurde auch bei der Windmessung eingeführt, die Ergebnisse sind auf ein Folgezeigergerät übertragen worden und so die richtige Feuerführung sichergestellt.

### Gasersparnisse

Mehr noch als früher ist heute die Frage nach der erzielten Energieersparnis in den Vordergrund gerückt. Das erste Bild zeigte die Betriebsgestaltung einer Winderhitzergruppe, wie sie vor Beginn der Versuche bestand. Von diesem Ofen und einem gleich großen Nachbarofen, dessen

Mischwindtemperaturen auch damals schon richtig gemessen wurden, stammen die nachstehenden Gasverbrauchszahlen. Sie wurden aus den Monatsabrechnungen entnommen, stellen also weitgehend Durchschnittswerte dar, wie man sie in diesem Zusammenhang ausschließlich gebrauchen sollte. Es kommt nämlich nicht darauf an, daß nach-

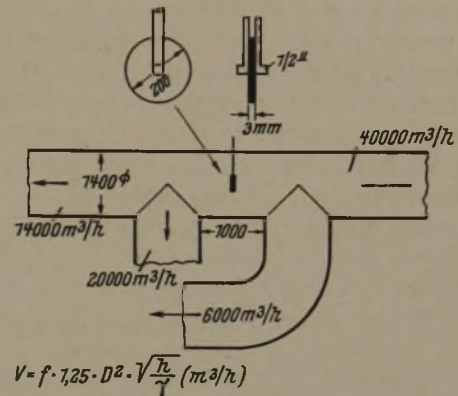


Bild 11.

Krellsche Scheibe zur Mengenmessung.

gewiesen wird, was ein Winderhitzerbetrieb im Einzelverbrauch bei strengster Beobachtung aller Vorschriften leisten kann, sondern darauf, zu wissen, was er bei den üblichen Betriebsbedingungen des Alltags wirklich und dauernd leistet.

In Bild 12 ist über den jeweiligen mittleren monatlichen Mischwindtemperaturen der Gasverbrauch in Nm³ zu 1000 kcal aufgetragen, der vor der Untersuchung notwendig war, um den Verbrennungswind je t Koks auf diese Temperatur zu erwärmen. Der Windbedarf im Hochofen konnte in der bekannten Weise aus den Kohlenstoff- und Stickstoffbilanzen errechnet werden. Damit ist der Gasbedarf der Winderhitzer auf die tatsächlich im Hochofen zur Verbrennung von 1 t Koks verbrauchte Windmenge bezogen. Alle Unterwegsverluste am Heißwindschieber und

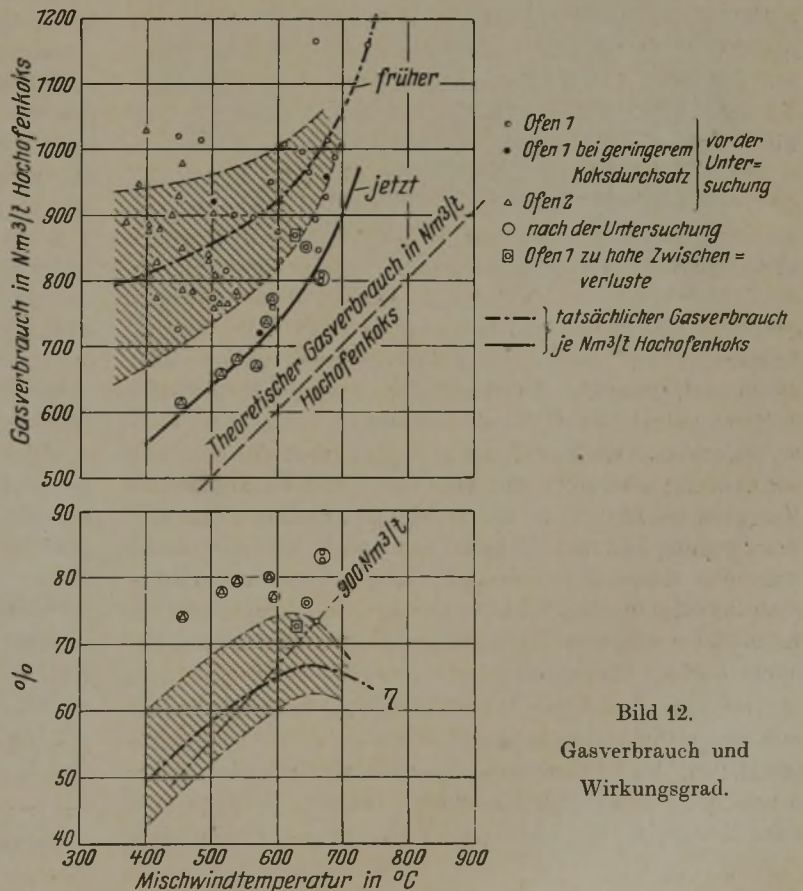


Bild 12.

Gasverbrauch und Wirkungsgrad.

Düsenstock sind eingeschlossen, ebenso wie auch der Wirkungsgrad der Winderhitzung alles umfaßt, also den Wirkungsgrad der Winderhitzer und des Heißwindtransportes bis zur Verbrennungsstelle.

Für mittlere Verhältnisse kann man annehmen, daß zur Verbrennung von 1 t Koks 3050 m<sup>3</sup> Wind benötigt werden. Um diese Menge auf z. B. 800° zu erwärmen, gebraucht man auch gerade etwa 800 Nm<sup>3</sup> Hochofengas von 1000 kcal. Faustformelmäßig ist danach der theoretische Gasaufwand zur Winderwärmung zahlenmäßig genau so hoch wie die Windtemperatur selber. Demgegenüber zeigt *Bild 12*, daß der wahre Verbrauch bei dem sich praktisch selbst überlassenen Winderhitzerbetrieb wesentlich darüber lag, und zwar am meisten bei den tieferen Mischwindtemperaturen. Die Gründe für diese Erscheinung sind oben bereits ausgeführt. Innerhalb gleicher Temperatur streuen die Punkte um 200 Nm<sup>3</sup>/h und mehr. Teilweise ist auch die Höhe des monatlichen Koksdurchsatzes von Einfluß (ausgefüllte Punkte im Schaubild). Mit steigender Temperatur nimmt die Streuung ab. Im Bereich von 650° ist der Abstand zur theoretischen Kurve am kleinsten. Mit noch höheren Temperaturen wächst der Aufwand wieder stärker an. Das Streugebiet ist hier am kleinsten. Die Abhängigkeit des Gasbedarfs von der Mischwindtemperatur ist in der stark ausgezogenen Kurve dargestellt. Aus ihr wurde der Verlauf des mittleren Wirkungsgrades und seines Streugebietes bestimmt. Man erkennt, daß bei tiefen Temperaturen mit nur 45 bis 60 % Gesamtwirkungsgrad gearbeitet wurde und der Bestwert zwischen 63 und 75 % lag.

Diese Zahlen überraschen, denn für den Winderhitzer allein werden im allgemeinen wesentlich höhere Werte genannt werden können. Diese sind aber nur ein, wenn auch wesentlicher Bestandteil der umfassenderen Gesamtbetrachtung der Heißwindversorgung. Der Rest sind Betriebs- und Unterwegsverluste. Man hatte sich daran gewöhnt, den Eigenbedarf an Gas mit etwa 22 % der Erzeugung zu messen und die Anlagen an Hand dieser Zahl zu beurteilen. Bei einem mittleren Gasanfall von 4100 Nm<sup>3</sup>/t Koks entsprechen 22 % 900 Nm<sup>3</sup> je t Koks für den Winderhitzer. Ein wirkliches Urteil läßt sich aber nur fällen, wenn auch die dabei dauernd erzielte Mischwindtemperatur genannt wird, denn bei 660° hätte in diesem Fall, und darauf kommt es an, ein Gesamtwirkungsgrad von 73 %, bei 570° aber nur einer von 63 % vorgelegen. Darum sei empfohlen, in die Monatsabrechnungen des Gichtgases diesen Gesamtwirkungsgrad mit hineinzunehmen. Er zeigt sofort an, ob die Anlage richtig gearbeitet hat. Der Anteil am Gesamtgasverbrauch ist nicht so bedeutungsvoll. Da Mischwindtemperatur und theoretischer Gasverbrauch ziffernmäßig gleich sind, genügt es in vielen Fällen, wenn die festgestellte mittlere monatliche Mischwindtemperatur durch den Gasverbrauch des Winderhitzers je t Hochofenkoks dividiert wird. Wenn allerdings der von den Gebläsen kommende Kaltwind bei Eintritt in den Winderhitzer schon 60 bis 80° Vorwärmung hat, so muß diese Temperatur von der Mischwindhöhe abgesetzt werden. Die Änderungen des Gichtgaseiswertes und des Windbedarfs je t Koks sind bei diesen Kennzahlen nicht berücksichtigt. Bei ganz genauen Rechnungen ist das erforderlichlich.

Den vielen bisherigen Monatswerten im Schaubild stehen nun einige Punkte gegenüber, die die erzielten Fortschritte klarstellen. Es ist eine Reihe durch Einkreisung besonders bezeichneter Monate eingezeichnet. Ihre Werte liegen ausnahmslos bereits an der unteren Grenze des Streugebiets

oder unter ihr. Offenbar entwickelt sich hier ein zweiter Linienzug, der, strichpunktiert dargestellt, in seinem Wesen der bisherigen, darüberliegenden Verbrauchsabhängigkeit nahekommt. Der Höhenunterschied entspricht der Gasersparnis; diese beträgt danach etwa 200 m<sup>3</sup>/t Koks, das bedeutet gegenüber dem bisherigen Mittelwert eine Ersparnis von 20 bis 25 %. Bewegt sich der Winderhitzergasverbrauch nicht mehr in der Nähe dieses Linienzuges, so müssen besondere Störungen vorliegen, die sich entweder auf Bedienungsängel gründen, z. B. etwa darauf, daß nicht genügend entspeichert wurde, oder darauf, daß die Unterwegsverluste ein übliches Maß übersteigen. (Dies war z. B. der Grund für den übermäßig hohen Verbrauch des Ofens 1 bei einer mittleren Temperaturerhöhung von 630°. Der Punkt ist durch ein Rechteck gekennzeichnet.) Die Gesamtwirkungsgrade sind entsprechend den Gasersparnissen angestiegen. Sie bewegen sich jetzt zwischen 74 und 83 %. Der Theorie entspricht es, daß die Wirkungsgradkurve einen Höchstwert durchläuft und bei weiter ansteigenden Mischwindtemperaturen wieder absinkt, da dann der Feuerungswirkungsgrad abnimmt<sup>5)</sup>. Der Winderhitzeranteil am Eigenverbrauch des Hochofens beläuft sich nun auf 15 % bei 450° und 19,6 % bei 620° Temperaturerhöhung. Hervorgehoben zu werden verdient es, daß die erreichten Werte betriebsmäßig an nichtisolierten Winderhitzern erzielt wurden, die stärker mit Gichtstaub verunreinigt sind. Solche Ablagerungen erschweren den Wärmeübergang, sie isolieren gewissermaßen, erhöhen die Abgastemperaturen und verschlechtern den Wirkungsgrad. Die Undichtheiten an den Heißwindschiebern und die Übertragungsverluste in der Heißwindleitung sind ebenfalls nicht besonders herabgesetzt oder für die Versuche günstig beeinflusst. Man darf vielmehr erwarten, daß hier noch weitere Vorteile zu erreichen sind.

#### Zusammenfassung

Fast gleichbleibende Gasverbrauchszahlen von Winderhitzern bezogen auf die Tonne verhütteten Hochofenkoks trotz wesentlich herabgesetzter Windtemperatur gaben Veranlassung zu einer eingehenden Untersuchung der Betriebsverhältnisse. Sie führten zu der Erkenntnis, daß der Speicherzustand und die Betriebsführung den jeweilig geforderten Wärmeleistungen angepaßt werden muß, wobei zur Beurteilung die Messungen der Kuppel- und Abgastemperaturen nicht ausreichend sind. Eine neu eingeführte Messung am Ende der Heißwindleitung vor Eintritt des Kaltwindes ergibt sofort die notwendige Klarheit, wenn sie mit der Mischwindtemperatur zusammen aufgeschrieben wird. Dieses Bild läßt auch Krankheitszustände von Winderhitzern erkennen, von denen einer beschrieben werden konnte. Kurzflämmige Brenner und darüber hinaus die Isolierung von Winderhitzern und Heißwindleitungen bieten erhebliche Vorteile und führen zu sehr beachtlichen Gasersparnissen von 20 bis 25 %, besonders wenn das Gas- und Luftgemisch überwacht werden kann. Auch bei sehr ungünstiger Leitungsführung ist hierfür eine brauchbare Messung durch die Krellsche Scheibe zu erreichen. Der betriebsmäßig erreichte Gesamt-Wirkungsgrad zwischen Winderhitzer und tatsächlicher Verbrennungsleistung im Hochofen ist leicht zu überschlagen, wenn man die Mischwindtemperatur durch den Gasverbrauch der Winderhitzer je t Hochofenkoks dividiert. Es wird empfohlen, diese Größe den Monatsberichten als Kennwert beizufügen.

<sup>5)</sup> Anhaltzahlen der Wärmestelle. Düsseldorf 1934. S. 23.



# Der Einfluß der Geschwindigkeit bei der Kaltverformung von Stählen auf Grund von Untersuchungen mit dem Rollhärteprüfer

Von Hubert Hauttmann in Oberhausen\*)

[Bericht Nr. 629 des Werkstoffausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute im NSBDT.\*\*)]

(Aufbau und Anwendung des Rollhärteprüfers. Untersuchung des Einflusses der Verformungsgeschwindigkeit mit einem besonders entwickelten Gerät an 34 Versuchsstählen (alterungsbeständige Stähle und Tiefziehstähle mit bis 0,20% C, unlegierte Stähle mit bis 0,60% C, Stähle St 52, unberuhigte und mit Silizium und Aluminium beruhigte Thomasstähle im normalgeglühten und bei 1100° geglühten Zustand, teils auch im vergüteten, weichgeglühten und rekristallisierten Zustand). Geradliniger Anstieg des Verformungswiderstandes mit dem Logarithmus der Verformungsgeschwindigkeit. Einfluß der Stahleigenschaften auf den Anstieg des Verformungswiderstandes.)

Die Verformung von Stoffen ist ein zeitgebundener Vorgang. Bei den verformenden Beanspruchungen der Werkstoffprüfverfahren und technologischen Formgebungsarbeiten nimmt die Geschwindigkeit auf die Meßgrößen des Arbeitsaufwandes und auf den Ablauf der Verformung einen Einfluß, der bestimmten Gesetzen unterliegt. So wird z. B. in einer zusammenfassenden Arbeit von F. Fettweis<sup>1)</sup> über den Einfluß der Versuchsgeschwindigkeit auf das Ergebnis des Zugversuches auf die schon 1909 von P. Ludwik<sup>2)</sup> bei Zinndrähten festgestellte logarithmische Abhängigkeit der Streckgrenze und Zugfestigkeit von der Dehngeschwindigkeit hingewiesen, für die L. Prandtl<sup>3)</sup> später eine mathematische Begründung gab. Fettweis kommt auf Grund eigener Beobachtungen und Auswertungen fremder Versuche zu dem Ergebnis, daß Streckgrenze und Zugfestigkeit zunächst linear mit dem Logarithmus der Dehngeschwindigkeit ansteigen, bei sehr hohen Geschwindigkeiten aber stärker zunehmen. H. Deutler<sup>4)</sup> fand, daß beim Zugversuch im gesamten Bereich einer Dehngeschwindigkeit von 0,0001 bis 1000 %/s die Zugspannung in der Nähe des Höchstlastpunktes mit dem Logarithmus der Dehngeschwindigkeit ansteigt.

Über den Einfluß der Arbeitsgeschwindigkeit bei Kaltverformungsverfahren liegen ebenfalls zahlreiche Veröffentlichungen vor. Bei den technologischen Arbeitsweisen stößt aber die Durchführung von Messungen im allgemeinen auf Schwierigkeiten. Wie aus einer zusammenfassenden Arbeit von F. Schwier<sup>5)</sup> über den Einfluß der Ziehgeschwindigkeit hervorgeht, sind die Meßergebnisse von vielen Einflüssen wie Reibung, Temperaturerhöhung u. dgl. überdeckt, so daß genaue Feststellungen z. B. über die Abhängigkeit des Kraftbedarfes von der Verformungsgeschwindigkeit schwer zu treffen sind. Die Ergebnisse einzelner Untersuchungen über gleiche technologische Verfahren weichen daher stark voneinander ab.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, den Gesetzen für den Einfluß der Geschwindigkeit bei der Kaltverformung von Stahl unter Anwendung einer den kontinuierlichen Formgebungsverfahren, Walzen und Ziehen, ähnlichen Verformungsart nachzugehen. Eine solche Verformung läßt sich am Rollhärteprüfer mit einer unter Last rollenden Kugel erzeugen.

## Das Rollhärteprüfgerät

In dem vom Verfasser entwickelten Rollhärteprüfer<sup>6)</sup> (Bild 1) rollt eine Kugel möglichst frei beweglich — um

\*) Auszug aus der von der Montanistischen Hochschule Leoben genehmigten Dr.-Dissertation von H. Hauttmann (1942).

\*\*\*) Sonderabdrucke sind vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, zu beziehen.

<sup>1)</sup> Arch. Eisenhüttenw. 6 (1932/33) S. 149/54 (Werkstoffaussch. 188).

<sup>2)</sup> Phys. Z. 10 (1909) S. 411/17.

<sup>3)</sup> Z. angew. Math. Mech. 8 (1928) S. 85/106.

<sup>4)</sup> Phys. Z. 33 (1932) S. 247/59.

<sup>5)</sup> Stahl u. Eisen 61 (1941) S. 577/87 (Drahtverarb.-Aussch. 4).

<sup>6)</sup> DRP. Nr. 698 034, Kl. 42 k, Gr. 23 vom 2. 10. 1937. — Hergestellt von der Firma Losenhausenwerk, Düsseldorf.

zusätzliche Kräfte zu vermeiden — unter gleichbleibender Belastung über die Prüffläche. Dies wird in einfacher Weise dadurch bewirkt, daß die Kugel, an einem gewichtsbelasteten Hebel in einer halbrunden Rinne von größerem Durchmesser

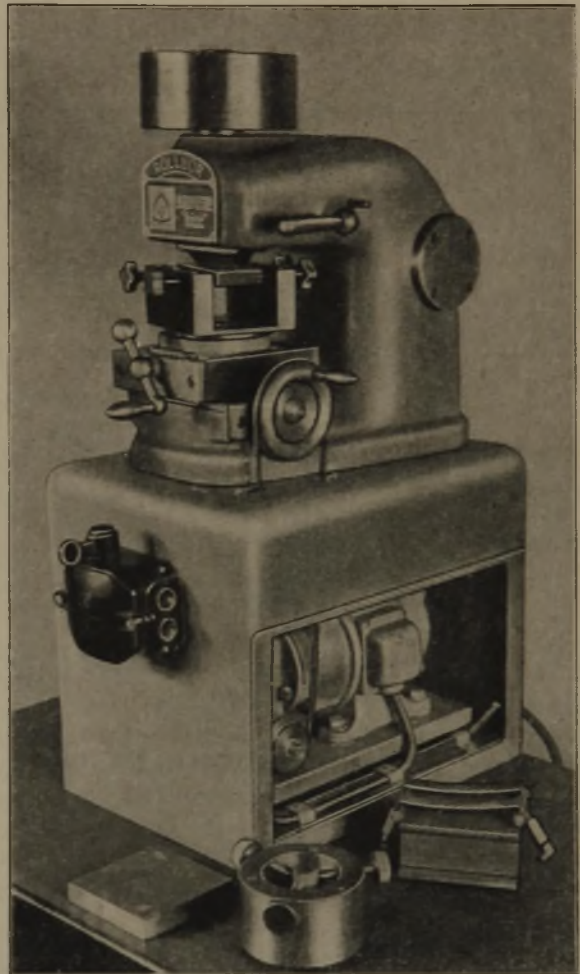


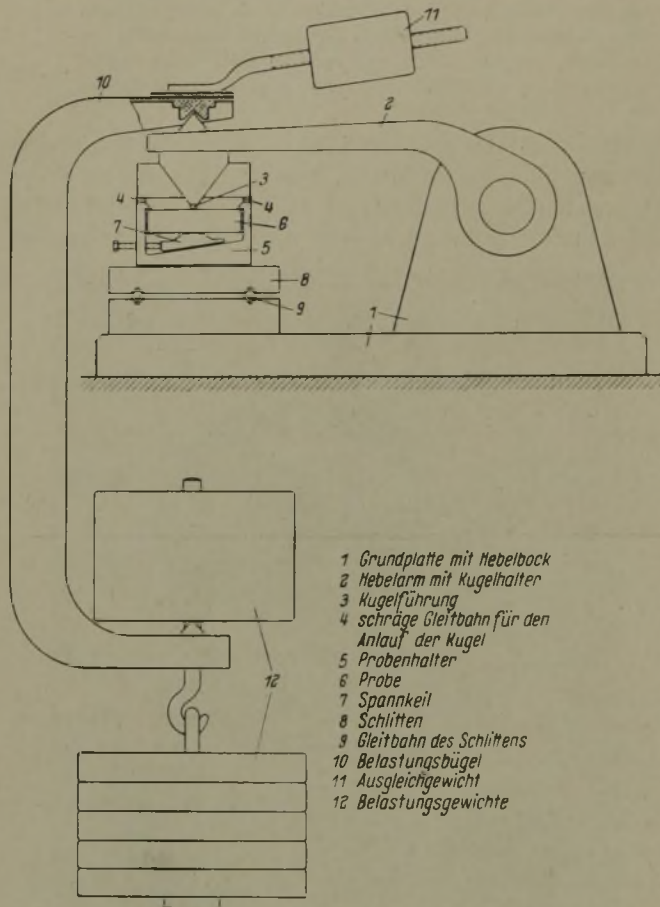
Bild 1. Übliches Rollhärteprüfgerät.

als der der Kugel geführt, in Richtung senkrecht zur Hebelachse bewegt wird. Die Bewegung der Kugel erfolgt durch Verschiebung eines Schlittens, der den Probenhalter mit der Probe trägt. Beim Rollen der Kugel bleibt die Länge des Hebelarmes und daher die Belastung unverändert. Bei der Härtebestimmung wird eine bestimmte Rollgeschwindigkeit eingehalten. Die auf der Prüffläche erzeugte Kugelspur wird gemessen, aus ihrer Breite oder auch Tiefe ist an Hand einer Eichkurve die Härte in Brinelleinheiten zu ermitteln.

Die Möglichkeit einer kontinuierlichen Beobachtung der Härte macht das Rollhärtegerät zur Untersuchung von Schweißungen und wärmebehandelten, einsatzgehärteten, kaltverformten Teilen besonders geeignet<sup>7)</sup>. Das Gerät er-

<sup>7)</sup> Bautechn. 15 (1937) S. 599; desgleichen Zwangl. Mitt. Dtsch. Verb. Mat.-Prüf. Techn. 30 (1938) S. 44; Stahl u. Eisen 57 (1937) S. 1284. Hauttmann, H.: Mitt. Forsch.-Anst. Gutehoffn. 7 (1939) S. 42/47. Schoenmaker, P.: Smit Mededeeling (September 1941).

laubt auch die Beobachtung zeitlicher Veränderungen der Härte bei Alterungsvorgängen. Der Ablauf der Aushärtung kann bei entsprechender Rollgeschwindigkeit an den Veränderungen der Rollspur, sowohl der Zeit als auch der Härte nach, verfolgt werden. In der Patentschrift<sup>6)</sup> zu dem Gerät ist schon erwähnt, daß sich das Gerät außer zur Härte-



- 1 Grundplatte mit Nebelbock
- 2 Hebelarm mit Kugelhalter
- 3 Kugelführung
- 4 schräge Gleitbahn für den Anlauf der Kugel
- 5 Probenhalter
- 6 Probe
- 7 Spannkeil
- 8 Schlitten
- 9 Gleitbahn des Schlittens
- 10 Belastungsbügel
- 11 Ausgleichgewichte
- 12 Belastungsgewichte

Bild 2. Schematische Darstellung des Rollhärteprüfgerätes für hohe Rollgeschwindigkeiten.

messung auch zur Ermittlung des Einflusses der Geschwindigkeit auf die Verformung von Werkstoffen eignet. Es braucht nur für veränderliche Rollgeschwindigkeiten eingerichtet zu werden.

Das für die vorliegende Arbeit verwendete, für einen großen Bereich veränderlicher Verformungsge-

schwindigkeit in der Versuchsanstalt der Gutehoffnungshütte gebaute Gerät ist in den Bildern 2 und 3 dargestellt. Es ist für niedrige Schlittengeschwindigkeiten von 0,2 bis 6 mm/s mit einem Spindelantrieb, für höhere Geschwindigkeiten von 7 bis 1000 mm/s mit einer schwingenden Kurbelschleife ausgerüstet, die nach allmählichem Anlauf über eine Rollbahnstrecke von 40 mm gleichförmige Geschwindigkeit ergibt. Den Antrieb besorgt ein vierstufiger Getriebemotor über ein zwanzigstufiges Drehbankgetriebe. Der Schlitten mit dem Probenhalter kann einen Weg von 200 mm zurücklegen, eine Kugelspur kann daher bis 100 mm lang sein.

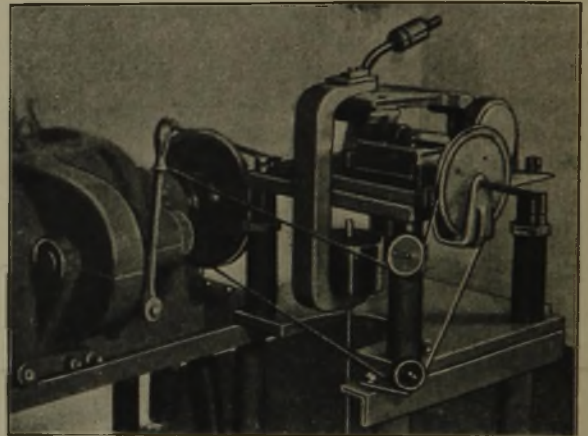


Bild 3. Rollhärteprüfgerät für hohe Rollgeschwindigkeiten.

Für die angewandte Kugel von 2,5 mm Dmr. ist eine Gewichtbelastung bis 80 kg vorgesehen.

Der auf dem Schlitten befestigte Probenhalter wurde so ausgebildet, daß eine gleichmäßige, horizontale Lage der Prüfstücke gesichert ist. Die eingelegte Probe wird mit einem Keil durch Anziehen zweier Schrauben von unten her gegen Anschläge der beiden Schenkel des U-förmigen Probenhalters gedrückt und kommt so in die beabsichtigte Lage. Der Probenhalter kann im Schlitten seitlich verschoben werden, eine Millimeterskala erleichtert das Ansetzen der Rollbahnen in gleichmäßigen Abständen. Da der plötzliche Anlauf der Kugel aus ihrer unter Last erfolgten Einsenkung bei höherer Geschwindigkeit Anlaß zu Schwingungen gibt, war es notwendig, eine Vorrichtung einzubauen, durch die die Kugel in der Ausgangsstellung so entlastet wird, daß sie nur ganz wenig in das Prüfstück eindringt und erst bei einsetzender Bewegung des Schlittens allmählich die volle Last

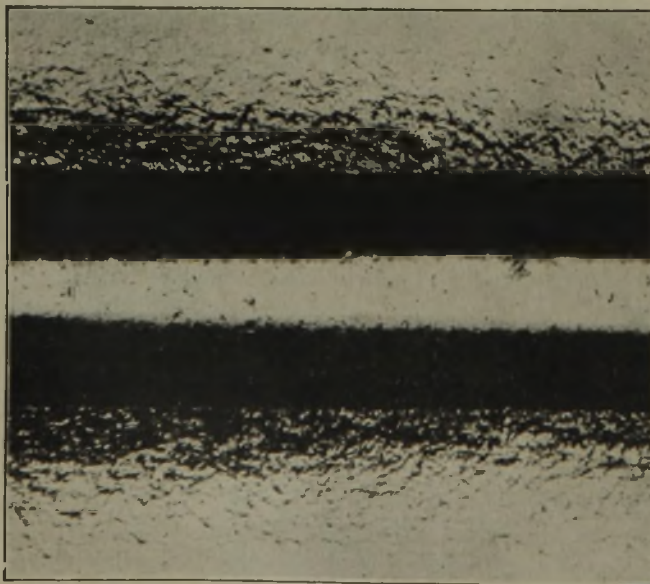


Bild 4. Normalgeglühter Zustand.

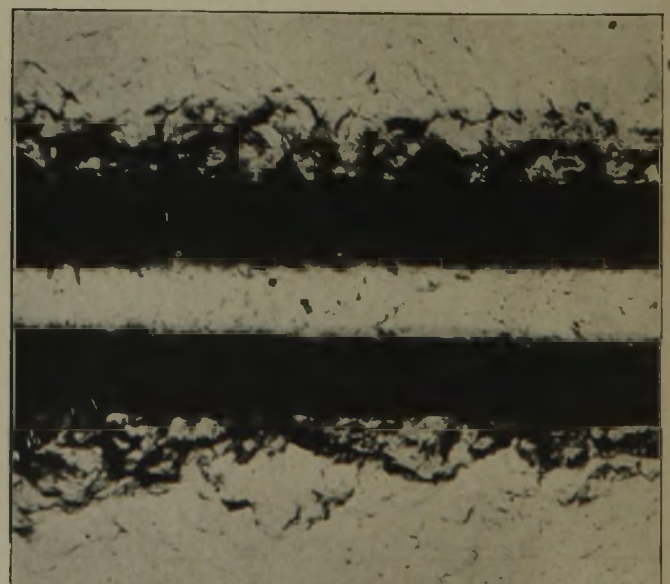


Bild 5. Bei 1100° gegläht.

Bilder 4 und 5. Rollspur der 2,5-mm-Kugel bei der Rollhärteprüfung von Stahl (Spurbreite 0,735 mm).

erhält. Am Probenhalter wurde zu diesem Zweck eine Gleitbahn angebracht, auf der der Kugelhalter mit einem Gleitstück aufruhrt. Erst wenn der Schlitten eine Strecke von etwa 40 bis 50 mm zurückgelegt hat, ist das Gleitstück an der schrägen Gleitbahn so weit gesenkt, daß die volle Last auf die Kugel wirkt. Vom Getriebe ausgehende Schwingungen konnten durch eine Bandbremse an der Antriebswelle beseitigt werden.

Die Genauigkeit der Messung der Spurbreite der Kugelrollbahn mußte bei den vorliegenden Versuchen größer sein als bei einer gewöhnlichen Rollhärtebestimmung. Benutzt wurde ein mit Mikrometer-Kreuztisch versehenes Brinell-Meßmikroskop der Firma Zeiß, auf dessen Meßskala  $\frac{2}{1000}$  mm noch geschätzt werden konnten. Die Spurbreite wurde an drei Stellen der Kugelrollbahn im Bereich der gleichmäßigen Geschwindigkeit gemessen, aus den drei Einzelwerten wurde ein Mittelwert errechnet. Das kennzeichnende Aussehen der Rollbahnen an einem der Versuchsstähle im normalgeglühten Zustand und bei 1100° geglüht geben die Bilder 4 und 5 wieder. Aus den Bildern ist zu ersehen, daß die Spurränder des normalgeglühten Stahles bei Feinkörnigkeit sehr geradlinig verlaufen, während bei dem überhitztgeglühten Stahl sich die Ungleichmäßigkeit der Verformung einzelner großer Kristallite entsprechend ihrer Orientierung stark bemerkbar macht. Im Meßmikroskop wurde die lichte Spurbreite gemessen, d. h. die Meßstriche wurden von der Kugelbahn aus an die Spurränder bis zur ersten Berührung angelegt. An den normalgeglühten Stählen wurde auf diese Weise die wahre Spurbreite sehr genau gemessen, bei den 1100° geglühten bzw. grobkörnig rekristallisierten Proben waren aber die Meßergebnisse von den Ungleichmäßigkeiten an den Spurrändern etwas beeinflußt, was bei der Beurteilung der Versuchsergebnisse beachtet werden muß.

**Versuchsdurchführung**

Um den Einfluß der Geschwindigkeit bei der Verformung mit dem Rollhärteprüfer zu ermitteln und gleichzeitig auch den Einfluß der Stahleigenschaften auf die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Verformung beobachten zu können, war es am zweckmäßigsten, von einer für alle Versuchsstähle gleichgehaltenen Verformung auszugehen und ihre Änderungen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zu verfolgen.

Nach einer Reihe von Vorversuchen ergab sich, daß die günstigsten Verhältnisse für die Feststellung der Spurbreitenänderungen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei einer Eindringtiefe der Kugel von nicht mehr als etwa ein Drittel des Kugeldurchmessers gegeben sind. Bei tieferem Eindringen der Kugel wird die Feststellung der Verformungsänderungen durch Messung der Spurbreite aus geometrischen Gründen schwieriger. Ein anderer Grund für die Wahl einer geringen Einsenkstärke der Kugel geht aus dem in Bild 6 gezeichneten Kräfteparallelogramm hervor. Bei kleiner Spurbreite ist der Unterschied zwischen der resultierenden Kraft  $P_R$  und der Kugelbelastung  $P$  in Größe und Richtung so gering, daß man bei Spurbreiten unter ein Drittel des Kugeldurchmessers zur Vereinfachung  $P_R = P$  setzen kann. Als einheitliche Ausgangsverformung wurde eine Kugelbahn von 0,735 mm Spurbreite gewählt.

Der anzuwendende Geschwindigkeitsbereich war nach oben durch das Eintreten nicht mehr zu beseitigender Schwingungen, erkennbar an Wellen in der Kugelspur, begrenzt. Da bei einzelnen Stählen die Schwingungen bei bestimmten hohen Rollgeschwindigkeiten einsetzten, mußte angenommen werden, daß die Impulse von den Verfor-

mungsvorgängen herrühren. Als höchste Geschwindigkeit konnte bei den vorliegenden Versuchen die Schlittenbewegung von 664 mm/s angesetzt werden, bei der aber schon an weichen Stählen das Auftreten leichter Schwingungen zu beobachten war. Die niedrigste Geschwindigkeit des Schlittens betrug 0,2 mm/s.

Dem Bereich der Schlittengeschwindigkeit entspricht eine Rollgeschwindigkeit der Kugel von 0,1 bis 332 mm/s. Als Maß für die

Verformungsgeschwindigkeit wurde die Einsenkgeschwindigkeit  $G_E$  der Kugel aus Rollgeschwindigkeit  $V_K$ , Spurbreite  $S$  und Spurtiefe  $t$  nach der Formel

$$G_E = V_K \cdot \frac{2t}{S}$$

ermittelt. Die errechnete Einsenkgeschwindigkeit der Kugel ist nach den geometrischen Verhältnissen beim Rollen eine mittlere Höchstgeschwindigkeit und gilt

nur für die Ebene des größten in der Kugelbahn abrollenden Kugelkreises. Auch in Berücksichtigung dieser Zusammenhänge ist es zweckmäßig, die Einsenkstärke der Kugel gering zu halten. Entsprechend dem Geschwindigkeitsbereich des Schlittens und der rollenden Kugel ergibt sich die mittlere Einsenkgeschwindigkeit der Kugel zu 0,0150 bis 49,96 mm/s. Die einheitlich zugrunde gelegte Ausgangsverformung war 0,735 mm Spurbreite bei der Einsenkgeschwindigkeit von 0,015 mm/s. Die Meßgrößen der Ausgangsverformung werden in der Folge mit dem Index  $o$ , die bei erhöhter Verformungsgeschwindigkeit mit dem Index  $g$  bezeichnet.

Bei den Vorversuchen hat sich gezeigt, daß zur Ermittlung des Geschwindigkeitseinflusses am zweckmäßigsten aus der Spurbreitenänderung das Verhältnis  $F_o/F_g$  festgestellt wird.  $F_o$  ist die Halbkreisfläche für den Durchmesser  $S_o$  und  $F_g$  die entsprechende aus der veränderten Spurbreite  $S_g$  ermittelte Fläche für höhere Einsenkgeschwindigkeiten bei unveränderter Kugelbelastung  $P_o$ . Aus dem Verhältnis  $F_o/F_g$  ergibt sich die Veränderung des Flächendruckes oder Verformungswiderstandes  $\sigma_{DG} = \sigma_{Do} \cdot F_o/F_g$  und der geschwindigkeitsabhängigen Rollhärte  $H_{rg} = H_{ro} \cdot F_o/F_g$  bei erhöhter Verformungsgeschwindigkeit. Weiter hat sich ergeben, daß aus dem Verhältnis  $F_o/F_g$  und  $P_o$  die geschwindigkeitsabhängige Kugelbelastung  $P_g$  errechnet werden kann, die bei höherer Einsenkgeschwindigkeit die Ausgangsverformung  $S_o = 0,735$  mm ergibt. Aus  $\sigma_{DG} = P_o/F_g = P_g/F_o$  folgt  $P_g = P_o \cdot F_o/F_g$ . Die Kugelbelastung  $P_o$

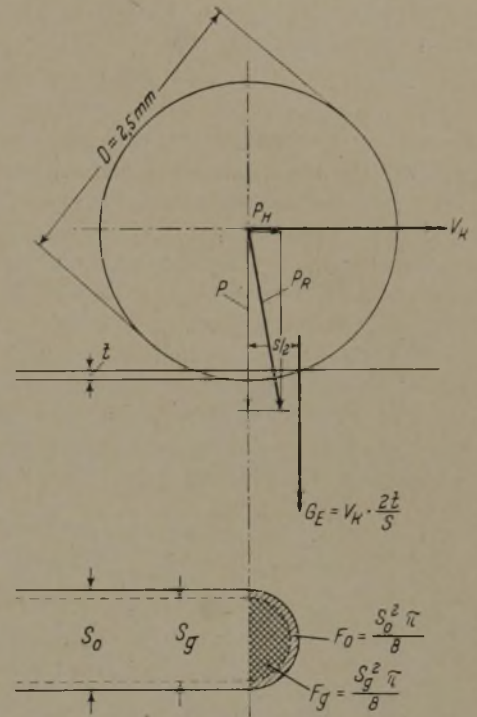


Bild 6. Meßstellen des Kugelrollversuchs.

- $V_K$  = Rollgeschwindigkeit der Kugel.
- $G_E$  = mittlere Einsenkgeschwindigkeit der Kugel.
- $S$  = Spurbreite der Kugelrollbahn.
- $S_o$  = Spurbreite der für alle Stähle gleichen Ausgangsverformung.
- $S_g$  = geschwindigkeitsabhängige Spurbreite.
- $P_R$  = resultierende Kraft.
- $P_H$  = Horizontalkomponente.
- $t$  = Spurtiefe der Kugelrollbahn.
- $P$  = Gewichtsbelastung der rollenden Kugel, Vertikal-komponente.

steht in Beziehung zur Brinellhärte; unter den gewählten Versuchsbedingungen ist

$$P_o = \frac{H_n}{3,25}$$

Die Versuchsstähle, im ganzen 34, wurden aus gebräuchlichen unberuhigten, beruhigten, alterungsbeständigen Tiefziehstählen mit bis 0,20 % C, unlegierten Stählen mit bis 0,60 % C, niedrig mit Molybdän, Silizium und Mangan legierten Stählen St 52 sowie aus unberuhigten und mit Silizium und Aluminium beruhigten Thomasstählen ausgewählt. Für sämtliche Stähle wurden zwei Gefügestände vorgesehen, normalgeglüht (feinkörnig) und bei 1100° geglüht (grobkörnig, überhitzt), für einige auch noch andere Behandlungszustände (abgeschreckt und angelassen, weichgeglüht, nach 10prozentigem Recken bei 550 und 720° rekristallisierend geglüht).

Die Proben für die Rollhärteversuche wurden so entnommen, daß die Rollbahn der Kugel senkrecht zur Walzrichtung verlief. Auf diese Weise wurde eine Beeinflussung der Meßergebnisse durch die „Walzfaser“, Randblasen, Seigerungen, Einschlüsse u. dgl. soweit wie möglich ver-

worden, die eine Spurbreite  $S_o$  von 0,735 mm ergibt. Zur Prüfung der gleichmäßigen Härte der Proben wurde an drei verschiedenen Stellen unter der Belastung  $P_o$  und der Rollgeschwindigkeit von 0,1 mm/s eine Spur gezogen. Abweichungen der Spurbreite von  $\pm 0,002$  mm bei den normal- oder weichgeglühten und  $\pm 0,005$  mm bei den anders behandelten Stählen vom Sollwert 0,735 mm wurden zugelassen. Mit der Kugelbelastung  $P_o$  wurden in den einzelnen Geschwindigkeitsstufen Rollbahnen in Abständen von 3 mm — um gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden — über die Prüfflächen gezogen und dann in der beschriebenen Weise ausgemessen. Zu den festgestellten, geschwindigkeitsbeeinflussten Spurbreiten wurde das Verhältnis  $F_o/F_g$  ermittelt.

An einzelnen Versuchsstählen ist für einige Geschwindigkeitsstufen nachgewiesen, daß die aus der Beziehung  $F_o/F_g = P_g/P_o$  zu errechnende Kugelbelastung  $P_g$  für die Erzielung der Ausgangsverformung von 0,735 mm Spurbreite bei höherer Verformungsgeschwindigkeit mit der im Versuch ermittelten Kugelbelastung übereinstimmt.

**Versuchsergebnisse**

Mit der Kugelbelastung  $P_o$  wurden in dem angegebenen Geschwindigkeitsbereich Rollbahnen gezogen und die mit zunehmender Rollgeschwindigkeit eintretende Abnahme der Spurbreite festgestellt. Eine schaubildliche Darstellung der Abhängigkeit der Spurbreitenabnahme  $S_o - S_g$  von der Rollgeschwindigkeit für den weichsten und härtesten Versuchsstahl ist in Bild 7 wiedergegeben. Sie zeigt, daß die Spurbreite mit steigender Rollgeschwindigkeit zunächst stark, dann immer weniger abnimmt und daß bei dem Stahl mit 0,6 % C der Einfluß der Rollgeschwindigkeit auf die Spurbreitenabnahme ganz erheblich kleiner ist als bei dem Stahl mit 0,03 % C. Die an den 34 Versuchsstählen ermittelten Spurbreitenabnahmen werden bei den einzelnen Geschwindigkeitsstufen mit steigender Härte geringer.

Über die Gesetzmäßigkeit, nach der die Geschwindigkeit auf die Verformung Einfluß nimmt, liefert die Auswertung der aus den Spurbreitenabnahmen ermittelten Werte für das Verhältnis  $F_o/F_g$  ein klares Bild. Im halblogarithmischen Koordinatensystem steigt die Größe  $F_o/F_g$  linear mit dem Logarithmus der Verformungsgeschwindigkeit an. Da es nicht möglich ist, in diesem Auszug alle Einzel-

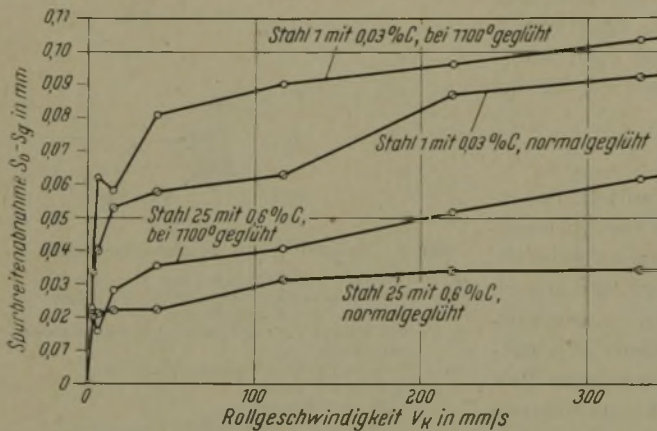


Bild 7. Abhängigkeit der Spurbreite von der Rollgeschwindigkeit der Kugel bei der Belastung  $P_o$ . (Kugeldurchmesser 2,5 mm, Spurbreite  $S_o$  0,735 mm.)

mieden. Nach der Wärmebehandlung wurde die Seite mit der Walzoberfläche 1 mm tief abgehobelt, vorsichtig geschliffen und poliert.

Für jede Probe ist bei der niedrigsten Kugelrollgeschwindigkeit von 0,1 mm/s diejenige Kugelbelastung ermittelt

Zahlentafel 1. Festigkeitseigenschaften der Versuchsstähle der Bilder 8 bis 11 (Probenahme in Walzrichtung)

Stahl Nr.	Behandlungszustand	Elastizitäts-(0,01)-Grenze kg/mm <sup>2</sup>	Streckgrenze kg/mm <sup>2</sup>	Zugfestigkeit kg/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung (L = 5 d) %	Einschnürung %	Kerbschlagzähigkeit <sup>1)</sup> in mkg/cm <sup>2</sup>	
							ungealtert	gealtert <sup>2)</sup>
1	Normalgeglüht .....	23,9	23,9	32,4	45	81	14,6	1,2
	Bei 1100° geglüht .....	21,1	21,1	30,4	50	82	1,3	1,0
	920°/Wasser, 1 h 550°/Luft ..	26,6	26,8	36,1	41,5	75	20,3	16,0
	10 % gereckt, 3 h 550° .....	30,9	32,3	38,4	35,8	72	11,4	1,8
16	Normalgeglüht .....	31,8	31,8	44,8	41,3	70	21,1	5,6
	Bei 1100° geglüht .....	19,9	21,1	41,0	41,3	65	13,8	1,4
	900°/Wasser, 1 h 550°/Luft ..	43,5	43,5	55,1	30,0	76	26,5	21,8
	10 % gereckt, 3 h 550° .....	38,1	40,7	50,0	30,0	67	19,8	6,8
22	Normalgeglüht .....	34,8	34,8	60,3	27,5	54	6,7	1,3
	Bei 1100° geglüht .....	24,4	25,8	53,1	26,2	42	1,4	0,8
	850°/Öl, 1 h 550°/Luft .....	46,5	47,1	72,2	25,0	58	8,2	4,5
	Weichgeglüht .....	38,1	38,1	53,3	27,5	62	8,4	1,8
24	Normalgeglüht .....	41,2	48,8	74,8	25,0	45	4,7	1,6
	Bei 1100° geglüht .....	30,3	31,7	65,0	25,0	28	1,6	0,9
	840°/Öl, 1 h 350° .....	61,7	69,9	95,0	16,2	44	3,7	2,0
	Weichgeglüht .....	35,4	35,4	57,2	30,0	61	4,6	1,3

1) Proben von 10×10×55 mm<sup>3</sup> mit 3 mm tiefem Kerb von 2 mm Dmr.  
2) 10 % gestaucht und 45 min bei 250° angelassen.

Bild 8. Stahl 7 mit 0,03% C, Spur Si, 0,77% Mn, 0,008% P, 0,018% S und 0,004% N<sub>2</sub>

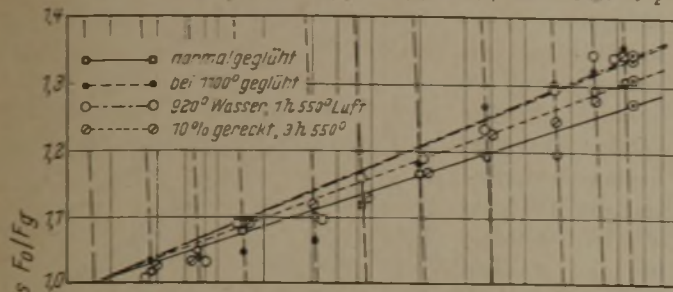


Bild 9. Stahl 76 mit 0,15% C, 0,27% Si, 0,44% Mn, 0,009% P, 0,011% S und 0,008% N<sub>2</sub>

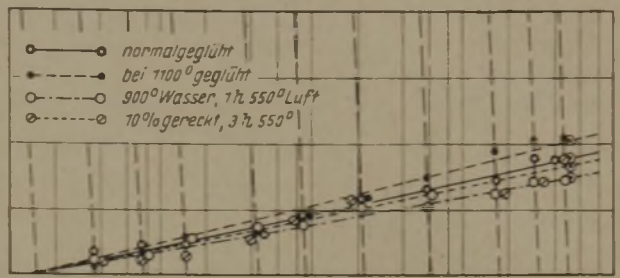


Bild 10. Stahl 22 mit 0,41% C, 0,15% Si, 0,57% Mn, 0,017% P, 0,032% S und 0,007% N<sub>2</sub>

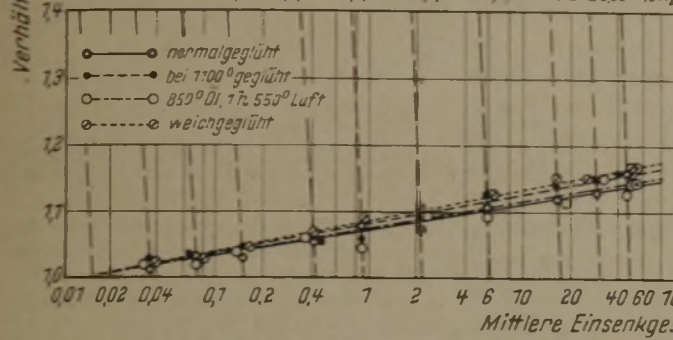
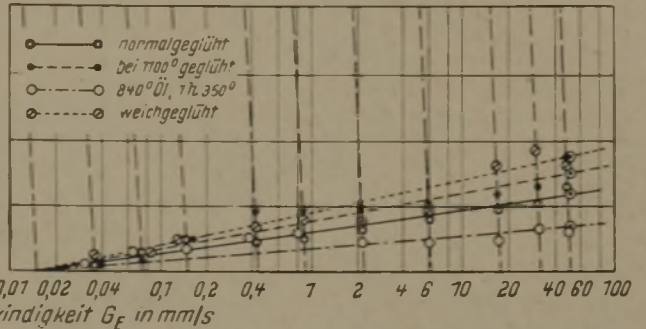


Bild 11. Stahl 24 mit 0,50% C, 0,26% Si, 0,62% Mn, 0,036% P, 0,027% S und 0,006% N<sub>2</sub>



Bilder 8 bis 11. Einfluß der Geschwindigkeit auf die Verformung bei der Rollhärteprüfung mit der 2,5-mm-Kugel.

heiten zu bringen, sind in den Bildern 8 bis 11 einige Beispiele aus der Reihe der verschieden behandelten Versuchsstähle wiedergegeben. Die zugehörigen Festigkeitseigenschaften sind in *Zahlentafel 1* zusammengestellt. Als Verformungsgeschwindigkeit ist in die Bilder 8 bis 11 die Einsenkgeschwindigkeit der Kugel eingetragen; ihre Abhängigkeit von der Spurbreite oder von dem Verhältnis  $F_0/F_g$  ist durch schräge y-Achsen berücksichtigt. Die Meßpunkte liegen bei glatten Spurbreiten feinkörniger Stähle naturgemäß wesentlich besser in der Geraden als bei grobkörnigen, wo die Spurränder etwas gestört sind. Bei manchen Stählen, namentlich weichen, waren infolge Wellenbildungen in der Kugelspur bei den höchsten Geschwindigkeiten Abweichungen zu beobachten, die auf Schwingungen zurückzuführen sind, deren Impulse offenbar von Vorgängen bei der Verformung herrühren, die allem Anschein nach mit einer stark ausgeprägten Streckgrenze zusammenhängen. Diese Abweichungen blieben bei der Einzeichnung der Geraden unberücksichtigt.

Aus dem Verhältnis  $F_0/F_g$  ist, wie schon angegeben, die Änderung des Verformungswiderstandes, der Kugelbelastung

zur Gleichhaltung der Verformung  $S_0$  bei höheren Geschwindigkeiten und die Rollhärte zu ermitteln. Da sie verhältnismäßig mit der Größe  $F_0/F_g$  ansteigende Rollhärte in gerader Beziehung zur Zugfestigkeit steht, für die ein linearer Anstieg mit dem Logarithmus der Verformungsgeschwindigkeit bereits festgestellt wurde, ist die Brücke zu den Ergebnissen der Zugversuche von Ludwik<sup>2)</sup>, Fettweis<sup>1)</sup> und Deutler<sup>4)</sup> geschlagen.

An einigen Versuchsstählen wurde nachgeprüft, ob zwischen der gemessenen und berechneten Kugelbelastung  $P_g$  Übereinstimmung besteht. Die zur Gleichhaltung der Ausgangsspurbreite von 0,735 mm bei höheren Verformungsgeschwindigkeiten nötige Kugelbelastung  $P_g$  wurde bei den Einsenkgeschwindigkeiten der Kugel von 2,25, 17,6 und 50,0 mm/s durch Eingabeln ermittelt. Zur Berechnung von  $P_g$  wurden die  $F_0/F_g$ -Werte aus den Schaubildern der einzelnen Stähle bei den gewählten Geschwindigkeitsstufen entnommen. Wie aus *Zahlentafel 2*, dem Vergleich der gemessenen und errechneten  $P_g$ -Werte, hervorgeht, ist die Übereinstimmung im Rahmen unvermeidlicher Meßfehler bestätigt.

Zahlentafel 2. Vergleich der gemessenen und aus der Kugelbelastung  $P_0$  errechneten Kugelbelastung  $P_g$  bei verschiedener Einsenkgeschwindigkeit  $G_g$  für eine Spurbreite  $S_0$  von 0,735 mm (Kugel von 2,5 mm Dmr.).

Stahl Nr.	% C	Glühbehandlung	Einsenkgeschwindigkeit $G_g$ mm/s												
			Kugelbelastung $P_0$ kg	2,26			Verhältnis $P_0/F_g$	17,6			Verhältnis $P_0/F_g$	50			Verhältnis $P_0/F_g$
				gemessen	errechnet <sup>1)</sup>	Abweichung %		gemessen	errechnet <sup>1)</sup>	Abweichung %		gemessen	errechnet <sup>1)</sup>	Abweichung %	
1	0,03	Normalgeglüht	30,5	35,0	35,5	+ 1,4	1,165	37,6	37,6	0,0	1,233	38,5	38,6	+ 0,3	1,265
12	0,12	Bei 1100° geglüht	28	33,8	33,9	+ 0,3	1,210	36,2	36,2	0,0	1,295	38,4	37,5	- 2,3	1,340
13	0,11	Normalgeglüht	32	36,5	36,6	+ 0,3	1,145	38,4	38,5	+ 0,3	1,203	39,6	39,5	- 0,3	1,233
16	0,15	Bei 1100° geglüht	28	32,9	33,1	+ 0,6	1,183	35,1	35,2	+ 0,2	1,258	36,6	36,2	- 1,2	1,295
18	0,18	Normalgeglüht	35,5	37,9	39,5	+ 4,2	1,113	40,0	41,2	+ 3,0	1,160	41,5	42,0	+ 1,2	1,183
22	0,43	Bei 1100° geglüht	34	37,5	38,4	+ 2,4	1,130	40,4	40,2	- 0,5	1,183	42,1	41,1	- 2,4	1,210
24	0,50	Normalgeglüht	37,5	40,3	41,6	+ 3,2	1,110	42,1	43,2	+ 2,6	1,153	43,8	44,1	+ 0,7	1,175
25	0,60	Bei 1100° geglüht	35	39,7	39,5	- 0,5	1,128	41,6	41,3	- 0,7	1,180	43,3	42,2	- 2,5	1,205
30	0,17	Normalgeglüht	34,5	38,8	39,4	+ 1,5	1,143	41,0	41,4	+ 1,0	1,200	43,0	42,4	- 1,4	1,228
34	0,24	Bei 1100° geglüht	30	35,7	35,3	- 1,1	1,175	37,8	37,4	- 1,1	1,248	39,5	38,5	- 2,6	1,285
		Normalgeglüht	47,5	51,0	51,5	+ 1,0	1,085	52,9	53,2	+ 0,6	1,120	54,6	54,2	- 0,7	1,140
		Bei 1100° geglüht	40	43,3	43,9	+ 1,4	1,098	44,6	45,5	+ 2,2	1,138	46,7	46,2	- 1,1	1,155
		Normalgeglüht	58	61,8	62,3	+ 0,8	1,075	62,7	64,0	+ 2,7	1,105	64,3	65,0	+ 1,1	1,120
		Bei 1100° geglüht	48	54,2	52,6	- 3,0	1,095	55,5	54,3	- 2,2	1,133	56,0	55,2	- 1,4	1,150
		Normalgeglüht	63	66,3	67,0	+ 1,1	1,063	67,0	68,7	+ 2,5	1,090	68,6	69,7	+ 1,6	1,105
		Bei 1100° geglüht	54	57,5	59,1	+ 2,8	1,095	59,0	61,5	+ 4,2	1,138	60,5	62,3	+ 3,0	1,155
		Normalgeglüht	47	50,0	50,6	+ 2,2	1,078	52,0	52,1	+ 0,2	1,110	53,5	53,0	- 1,0	1,128
		Bei 1100° geglüht	42	44,9	45,9	+ 2,2	1,093	47,0	47,4	+ 0,9	1,130	48,7	48,3	- 0,8	1,150
		Normalgeglüht	43,5	46,2	47,4	+ 2,5	1,090	47,8	49,1	+ 2,8	1,130	49,0	50,0	+ 2,0	1,150
		Bei 1100° geglüht	37	42,0	41,0	- 2,4	1,108	43,9	42,7	- 2,7	1,153	44,7	43,5	- 3,0	1,175

<sup>1)</sup>  $P_g = P_0 \cdot \frac{F_0}{F_g}$

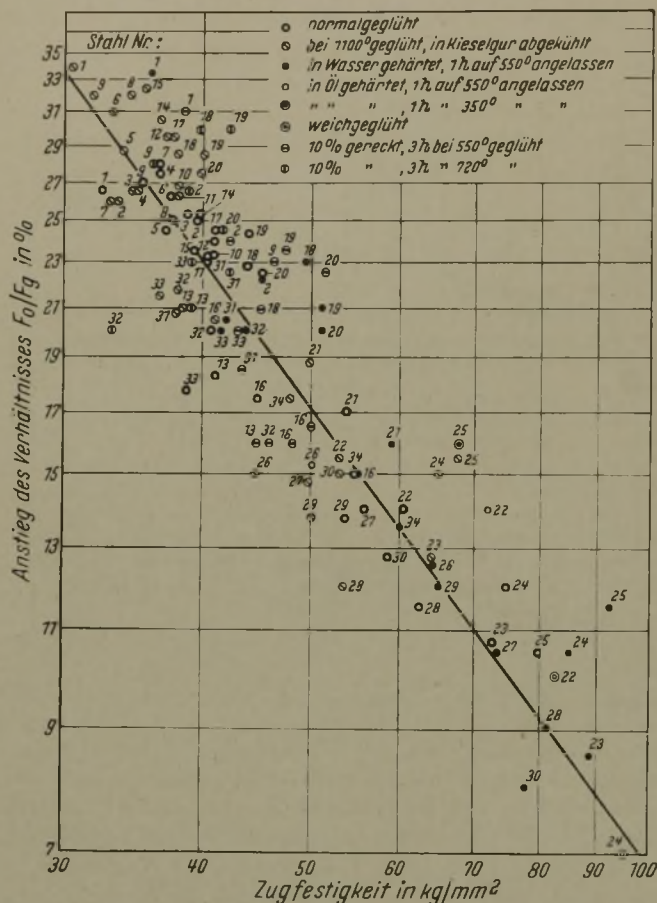


Bild 12. Abhängigkeit des prozentualen Anstieges des Verformungswiderstandes bei Erhöhung der Einsenkgeschwindigkeit von 0,015 auf 50 mm/s von der Zugfestigkeit bei der Rollhärteprüfung. (Kugeldurchmesser = 2,5 mm, Spurbreite  $S_0 = 0,735$  mm.)

Für die Abhängigkeit des Geschwindigkeitseinflusses auf die Verformung von der Stahlhärte ergeben sich klare Beziehungen, wenn im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem der prozentuale Anstieg der Größe  $F_0/F_g$  in Abhängigkeit von der Zugfestigkeit (oder Härte) eingetragen wird (Bild 12). Die Meßpunkte für das Verhältnis  $F_0/F_g$  bei einer Steigerung der Einsenkgeschwindigkeit von 0,015 auf 0,50 mm/s liegen bei den Versuchsstählen praktisch unbeeinflusst von Stahlart, Legierung und Behandlungszustand gut in einer Geraden. Es hat sich kein erheblicher Einfluß anderer Festigkeitseigenschaften wie Elastizitätsgrenze, Streckgrenze, Kerbschlagzähigkeit im ungealterten und gealterten Zustand innerhalb einer Gruppe gleicher Festigkeit beobachten lassen. Eine höhere Bruchdehnung und Einschnürung verringern das Verhältnis  $F_0/F_g$  etwas.

Aus Bild 12 und den Beziehungen zwischen der Einsenkgeschwindigkeit und dem Verhältnis  $F_0/F_g$  ergibt sich die in Bild 13 wiedergegebene Abhängigkeit des Einflusses der Geschwindigkeit auf die Verformung von der Zugfestigkeit. Bei einer bestimmten Zunahme der Verformungsgeschwindigkeit fällt der Logarithmus des prozentualen Anstieges von  $F_0/F_g$  und damit des Verformungswiderstandes, der Kugelbelastung für gleichbleibende Verformung und der Rollhärte mit dem Logarithmus der steigenden Zugfestigkeit ab.

Es ist überraschend, daß der Verformungswiderstand (desgleichen Kugelbelastung für gleichbleibende Verformung und Rollhärte) bei den weichen Stählen von der Geschwindigkeit mehr beeinflußt wird als bei den harten. Es ergibt sich z. B. bei der Ermittlung von der Kugelbelastung  $P_g$  nicht nur verhältnismäßig, sondern auch zahlenmäßig ein größerer Anstieg der Kugelbelastung bei

einem Stahl mit 35 kg/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit als bei einem mit 90 kg/mm<sup>2</sup>. Die Erhöhung der Einsenkgeschwindigkeit von 0,015 auf 50 mm/s erfordert für den weichen Stahl eine um 8 kg höhere Kugelbelastung  $P_g$ , wogegen beim harten Stahl die Kugelbelastung  $P_g$  nur 6,0 kg höher zu sein braucht, um die Verformung gleichzuhalten.

Der aus dem höheren Kraftzuwachs sich ergebende, durch die Geschwindigkeitserhöhung bedingte Mehraufwand an Arbeit zur Überwindung der inneren Reibung ist zweifellos nach R. Walzel<sup>8)</sup> auf die Gleitflächenblockierung zurückzuführen, die bei dem größeren Ferritanteil der weichen Stähle stärker ins Gewicht fällt als bei den härteren.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, daß sich das Rollhärteprüfgerät für Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Verformungsgeschwindigkeit eignet. Die Möglichkeit der Durchführung von Versuchen bei niedrigen und hohen Temperaturen, aus denen wertvolle Ergebnisse zu erwarten sind, ist gegeben.

**Zusammenfassung**

Das Rollhärteprüfgerät in üblicher Ausführung und besonderer Ausgestaltung für Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Geschwindigkeit bei der Verformung von Stahl wird beschrieben.

Der Einfluß der Verformungsgeschwindigkeit wurde in der Weise ermittelt, daß zunächst bei der niedrigsten Rollgeschwindigkeit von 0,1 mm/s einer Kugel von 2,5 mm Dmr. eine Rollspur von 0,735 mm Breite unter der dazu erforderlichen Kugelbelastung über die Prüffläche gezogen wurde. Mit dieser für jedes Versuchsstück ermittelten Kugelbelastung wurden hierauf Rollbahnen mit höheren Geschwindigkeiten bis 332 mm/s gerollt, deren Spurbreitenabnahme gegenüber der Ausgangsspurbreite festgestellt wurde. Aus der Spurbreitenabnahme wurde ein Verhältniswert ermittelt, der die geschwindigkeitsabhängige Veränderung des Verformungswiderstandes und der Kugelbelastung, die zur Gleichhaltung der Ausgangsverformung bei höheren Geschwindigkeiten notwendig ist, angibt und die Ermittlung der geschwindigkeitsabhängigen Veränderung der Rollhärte erlaubt.

Untersuchungen an 34 Versuchsstählen — alterungsbeständige Stähle und gewöhnliche Tiefziehstähle mit bis 0,20 % C, unlegierte Stähle mit bis 0,60 % C, molybdänhaltige Stähle St 52, unberuhigte und mit Silizium und Aluminium beruhigte Thomasstähle im normalgeglühten und bei 1100° geglühten Zustand, teils auch im vergüteten, weichgeglühten und rekristallisierten Zustand — ergaben,

<sup>8)</sup> Stahl u. Eisen 54 (1934) S. 954/57. Arch. Eisenhüttenw. 10 (1936/37) S. 577/80.

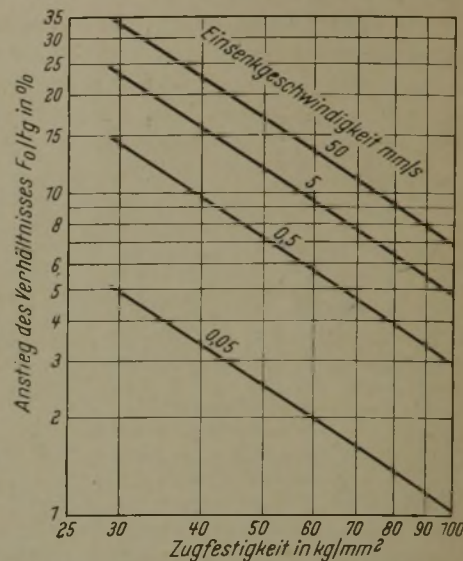


Bild 13. Abhängigkeit des prozentualen Anstieges des Verformungswiderstandes bei der Rollhärteprüfung. (Kugeldurchmesser = 2,5 mm, Spurbreite  $S_0 = 0,735$  mm.)

daß im Bereich der angewendeten Rollgeschwindigkeiten der Verformungswiderstand und die Härte linear mit dem Logarithmus der Verformungsgeschwindigkeit ansteigen. Es hat sich weiter gezeigt, daß der Einfluß der Verformungsgeschwindigkeit unabhängig von der Legierung und Behandlung vor allem von der Zugfestigkeit (Härte) der Stähle

abhängt, und zwar fällt bei erhöhten Verformungsgeschwindigkeiten der Logarithmus des prozentualen Anstieges des Verformungswiderstandes und der Härte mit dem ansteigenden Logarithmus der Zugfestigkeit geradlinig ab. Eine höhere Bruchdehnung und Einschnürung verringert den Geschwindigkeitseinfluß etwas.

## Umschau

### Rückschau und Ausblick<sup>1)</sup>

Die Bevölkerung Europas in seiner heutigen Gebiets-erstreckung hat vom Beginn unserer Zeitrechnung bis 1800 von 50 Mill. auf 187 Mill., d. i. um  $0,7\%$  im Jahre, von 1800 bis heute aber auf 530 Mill. oder um  $8,2\%$ , d. h. in dieser Zeit jährlich um das etwa 12fache gegenüber der ersten zugenommen. Dieser große Unterschied ist zum Teil auf die neuzeitliche Hygiene, die Seuchenbekämpfung und die Fortschritte der Chirurgie und Bakteriologie, sowie auf die vielen bis zum Jahre 1800 aus Religions- und Hausmachtsgründen geführten Kriege, die auch verhältnismäßig mehr Opfer forderten als die unserer Tage, zurückzuführen. Im 30jährigen Kriege sank die Bevölkerung Deutschlands von 12 Mill. auf 3 bis 4 Mill.

Vom Jahre 1885 bis heute sank die Zahl der jährlich auf 1000 Bewohner Verstorbenen im Deutschen Reich von 25,7 auf 11,8. Wohl ist die Geburtenzahl in dieser Zeit zurückgegangen, doch wird sie sich nach siegreich beendetem Kriege und nach Eintritt eines neuen Wohlstandes aller Voraussicht nach wieder auf den früheren Stand heben, womit auch die Bedürfnisse an den wichtigsten Versorgungsgütern, besonders auch an Eisen und Stahl, eine fortgesetzte auf die Dauer nicht zu befriedigende Erhöhung erfahren werden, wenn es nicht gelingt, durcheisensparende Maßnahmen den Bedarf zu drosseln.

Die für die Steigerung der Bevölkerungszunahme angeführten Gründe können aber noch keine vollkommene Erklärung für den gewaltigen Umschwung sein. Der Aufschwung der Völker und ihre Kulturen ist, sofern die ersten überhaupt rassenmäßig lebensfähig sind, in den meisten Fällen der Tätigkeit einzelner gottbegnadeter Menschen zu danken, ihr Vergehen aber einer fortgesetzt falschen oder schwächlichen Führung. Demokratien können deshalb auf lange Dauer nicht bestehen, ohne daß der Staat dadurch schweren Schaden erleidet. Und wie die Kulturen ihre Entstehung und ihren Bestand in der Hauptsache der Weisheit und der Führungskraft einzelner Menschen verdanken, ist es auch mit dem Fortschritt in der Erkenntnis der Naturvorgänge. So haben Galilei zu Beginn des 17. Jahrhunderts durch die Entdeckung der planetarischen Bewegung der Trabanten des Jupiter und durch seine Fallgesetze, Newton durch sein Gravitationsgesetz und Kepler durch seine Ermittlung der Planetenbewegung die Grundlagen der neuen Physik geschaffen. James Watt verdanken wir die Erfindung der Dampfmaschine, Stephenson die der Lokomotive, Werner Siemens die des dynamoelektrischen Prinzips, Oskar von Miller die Fernübertragung des elektrischen Stromes, alles Voraussetzungen für das Werden des technischen Zeitalters, das aber zu seiner Verwirklichung der mächtigen Entwicklung der Eisenindustrie durch die Erfindung neuer metallurgischer Verfahren und der Großerzeugung von Eisen und Stahl bedurfte, und durch gegenseitige Befruchtung aller Zweige des Schaffens die Möglichkeit zu der Freizügigkeit des Verkehrs und die Schaffung großer Wirtschaftsräume eröffnete.

Während die Wasserkraft, die Förderung der Kohle und aller sonstigen Massenrohstoffe, die Herstellung von Eisen und Stahl ortsgebunden sind, ist deren Verwendung örtlich unbeschränkt. In diesen Satz kleidet sich die Entwicklung der letzten 150 Jahre, der vollkommene Umbruch von einer alten auf eine neue Welt mit allen seinen Auswirkungen nicht nur auf materiellem, sondern auch auf ideellem Gebiete, zuletzt auch die soziale und weltanschauliche Entwicklung sowie die Staats- und Gemeinschaftsidee, deren Vollendung das nationalsozialistische Programm ist.

### Entwicklung der Eisen- und Stahlindustrie

Die Erzeugung des Eisens liegt wahrscheinlich weiter zurück als jene der Bronze. Über den Stück- und den Rennofen, die schmiedbares Eisen erzeugten, ging die Entwicklung über den Holzkohlen- und später den Kokshochofen, der durch die reich-

lichen Anthrazitvorkommen und die benachbarte Lage von Kohle und Erz erstmalig in England zur Einführung gelangte und dort bis zum Jahre 1888 die Vorherrschaft behielt. Erst in diesem Jahre erhob sich die viel jüngere amerikanische Roheisenindustrie über die englische, im Jahre 1901 auch die deutsche, die dann schon im Jahre 1912 auf das Doppelte der englischen stieg. Die Verarbeitung des Roheisens zu schmiedbarem Eisen erfolgte zuerst im Frischfeuer, das aber wegen seiner geringen Leistungsfähigkeit nur die Erzeugung kleiner Mengen erlaubte. Voraussetzung für die mächtige Steigerung der Roheisenerzeugung und deren wirtschaftlicher Betrieb war u. a. der Übergang der Koks-herstellung vom Meiler- und Bienenkorb-Ofen zu den kunstvollen Regenerativbatterien, die auch die Gewinnung der kostbaren Nebenerzeugnisse gestatten. Auch die Hochöfen wurden durch den Übergang zur geschlossenen Bauart, die Einführung der Lürmannschen Schlackenform und die Verwendung der Gichtgase zur Wärmegewinnung vervollkommen und ihr Betrieb dadurch günstiger gestaltet.

Mit der Einführung des Puddelofens gegen Ende des 18. Jahrhunderts, der dann durch 60 Jahre die Alleinherrschaft auf dem Gebiete der Stahlerzeugung behielt und auch erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts durch die Flußstahlherstellung verdrängt wurde, war die Voraussetzung für die Erzeugung großer Mengen von schmiedbarem Eisen geschaffen. Ein gewaltiger Fortschritt war die im Jahre 1858 erfolgte geniale Erfindung des Windfrischverfahrens durch Bessemer und der dadurch begründete Übergang von der schmiedbaren Luppe zum Flußstahl. Während aber das Bessemerverfahren die Verwendung phosphorarmer Erze zur Voraussetzung hatte und dadurch ein beschränktes Anwendungsgebiet fand, verlangte die um 20 Jahre spätere Erfindung des Thomasverfahrens die Verarbeitung phosphorhaltiger Erze, die gerade im Deutschen Reich in größeren Mengen zur Verfügung standen. Man könnte sagen, daß dieses Verfahren im besonderen für Deutschland erfunden wurde, das vor dem ersten Weltkrieg nahe an 60% des in seinem Zollgebiet erzeugten Stahles danach herstellte, während im Lande der Erfinder der Höchstanteil  $13\frac{1}{2}\%$  der gesamten Stahlerzeugung nicht überschritt. Nie hätte das Deutsche Reich ohne dieses Verfahren seine hohe Stahlerzeugung erreichen können.

Unter den in der Welt vorhandenen Erzen gibt es einen Großteil, der weder im sauren noch im basischen Konverter zu Flußstahl verarbeitet werden kann. Erst das in den 1860er Jahren auf Grund des Siemensschen Regenerativverfahrens durch Friedrich Siemens und Pierre Martin erfundene Herdfrischverfahren hat die Möglichkeit geschaffen, und erlaubt überdies große Mengen von Abfällen und Schrott zur Flußstahlerzeugung heranzuziehen, ein Vorteil, dessen Bedeutung nicht hoch genug eingeschätzt werden kann. Erst nach der Einführung dieses Verfahrens erhob sich die Stahlerzeugung über jene des Roheisens. Besonders hohe Stahlgüten wurden erst im Tiegel, später im Elektroofen erzeugt.

An Stelle der früher allein angewandten meist durch Wasserkraft bewegten Hämmer erfolgte die Formgebung des Stahles später durch Walzwerke, die erst als Zweiwalzen-, dann als Drei- und Mehrwalzenstraßen und schließlich als Umkehr- und kontinuierliche Straßen ausgeführt wurden.

Während früher bei der Durchführung der hüttenmännischen Prozesse Handarbeit vorherrschte, die den damit Befassten schwerste Bürde auferlegte, trat allmählich, besonders nach der Fernübertragung des elektrischen Stromes, eine immer weitergehende Mechanisierung, die heute den Arbeitern den Großteil der anstrengenden und ermüdenden Verrichtungen abgenommen hat. Neben der Mechanisierung der Betriebe wurde der Wärmewirtschaft die größte Aufmerksamkeit geschenkt. Während ein großes Hüttenwerk, das den Koks auf der Hütte erzeugte, früher zur Herstellung von 1 t fertiger Walzware je nach dem Koksbedarf der Hochöfen 2,1 bis 2,4 t Rohkohle benötigte, verbraucht es heute nur noch die zur Koks-herzeugung erforderliche Kohle und kann bei guter Einrichtung noch Energie an Fremde abgeben. Die Heizung der Koksöfen mit Hochofengas erlaubt die Verwendung der Koks-herzeugung allein oder mit Hochofengas gemischt für andere Zwecke. Bei richtiger Mischung lassen sich die Siemens-

<sup>1)</sup> Vortrag von Präsident Dr. mont. Dr. techn. h. c. Georg Günther, Wien, vor der Arbeitssitzung der Eisenhütte Südost in Leoben am 5. Juni 1943.

Martin-Öfen ohne Gaserzeuger und ohne Karburierung betreiben. Eine wesentliche Wärmesparung erzielte man durch die gegen Ende des vorigen Jahrhunderts zur Einführung gelangten Hochofengasmaschinen, durch die Beheizung der Winderhitzer mit gereinigtem Gas und besserer Anordnung der steinernen Einbauten, durch andere Bauart der Wärmöfen und eine fortgesetzte Erhöhung der Dampfspannung.

Um den Betrieb der Hochöfen, die lange Zeit zu den ungebärdigsten Apparaten gehörten, regelmäßiger zu gestalten, verwendete man besondere Sorgfalt auf die Vorbereitung des Möllers, hauptsächlich durch Sinterung der Feinerze, und auf die zweckentsprechende Gestaltung des Hochofenprofils, besonders durch Erweiterung der Gestelldurchmesser und Erhöhung des Rastwinkels.

Im allgemeinen bemühte man sich, den immer größeren Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Werke durch Vergrößerung der Betriebseinheiten zu genügen. Während der erste im Jahre 1796 auf der königlichen Hütte in Gleiwitz errichtete Kokshochofen nur 50 m<sup>3</sup> Ofenraum hatte, werden heute Öfen bis zu 1300 m<sup>3</sup> Inhalt und Tagesleistungen über 1000 t gebaut. Das Schmelzengewicht der Konverter erhöhte sich im Laufe der Zeit von 3 t bis auf 60 t, und die feststehenden oder kippbaren Siemens-Martin-Öfen werden für einen Einsatz von 200 t und mehr gebaut. Für Talbotöfen ist ein so großer Fassungsraum verständlich, bei feststehenden Öfen ermittelt sich das Verhältnis zwischen Schmelzgewicht und Stundenleistung nach der Formel  $y = 0,73 \cdot x^{0,6}$ , worin  $y$  die Stundenleistung und  $x$  das Schmelzgewicht bedeutet.

Auch die Walzwerke werden auf größere Leistungen gebracht, was wegen Verwendung immer schwererer Blöcke bei den Blockstraßen zu einer fortgesetzten Erhöhung der Walzendurchmesser führt. Die dadurch verursachten größeren Massenbeschleunigungen, die größeren Drehmomente und das geringe Streckvermögen wirken sich in jedem Belange nachteilig aus. Man sollte die Walzenlängen und damit die Durchmesser der Walzen kleiner halten und lieber beim Walzen großer Breiten, z. B. von Brammen, die Walzen wechseln.

Um die Nachteile großer Walzendurchmesser zu vermeiden, geht man zur Anwendung von Vierwalzengerüsten über, die besonders bei den kontinuierlichen Breitbandstraßen und Kaltblechstrecken vorteilhaft Anwendung finden. Nach A. Nöll<sup>1)</sup> soll der Tatsache größere Aufmerksamkeit geschenkt werden, daß Dreivalzen-Walzwerke eine genaue Profileinhaltung erschweren und daß deshalb der Übergang zu kontinuierlich angeordneten Zweivalzen-Walzwerken zu erstreben ist, was natürlich eine strengere Rationalisierung der Walzprogramme erfordert.

Am besten ist der Fortschritt in der Technik der Eisen- und Stahlherstellung aus dem Vergleich der je Arbeiter erzielten Jahreserzeugung an Roheisen, Stahl und Walzware zu erkennen. Im Jahre 1890 waren in der Eisenindustrie des Deutschen Reiches bei einer Stahlerzeugung von 4,2 Mill. t 132 000 Arbeiter beschäftigt, im Jahre 1936 bei einer solchen von 19,2 Mill. t 192 000 Arbeiter. Ein Arbeiter hat also im Jahre 1890 32 t, im Jahre 1936 100 t Rohstahl oder die entsprechenden Mengen an Roheisen, Stahl und Walzware hergestellt, also im Jahre 1936 mehr als das Dreifache von 1890, trotz der zwischenzeitlichen Verkürzung der Schichtdauer von 12 auf 8 Stunden. Der Anteil der Eisenarbeiter an der Gesamtbevölkerung aber hat sich in dieser Zeit trotz der Steigerung der Erzeugung auf das 4 $\frac{1}{2}$ -fache vermindert.

Ganz wesentlich hat die wissenschaftliche Forschung in den letzten 50 Jahren zur Entwicklung der Metallurgie und zur Kenntnis des inneren Gefüges des Eisens beigetragen.

#### Einfluß politischer und wirtschaftlicher Ursachen auf die Entwicklung der Eisenindustrie

Die Entwicklung der deutschen Eisenindustrie war im 19. Jahrhundert ganz wesentlich durch die mißlichen politischen Umstände behindert, besonders durch die Kleinstaaterei, die Deutschland in 60 kleine Zollgebiete teilte. Nach Aufhebung der Kontinental Sperre und Beendigung der Freiheitskämpfe hatte sich der englische Wettbewerb besonders fühlbar gemacht und zur Bildung des im Jahre 1834 in Kraft getretenen deutschen Zollvereins geführt, dem sich bis zum Jahre 1854 sämtliche deutschen Staaten anschlossen. Während dieser bis zum Jahre 1853 die Stahl- und Walzwerke durch Schutzzölle unterstützte, ließ er das Roheisen zollfrei einführen. Die Verweigerung des Roheisenzolls war offenbar auf die Rückständigkeit der damals sehr zersplitterten deutschen Roheisenindustrie zurückzuführen. Erst als im Jahre 1844 die deutsche Roheisenindustrie, dem englischen Wettbewerb fast

schutzlos preisgegeben, fast völlig zum Erliegen kam, führte der Zollverein einen Roheisenschutzzoll von 20 RM je Tonne ein und erhöhte auch die Zölle für Walzware, so daß das Jahrzehnt vor 1853 eine fortschreitende Entwicklung brachte. Im Jahre 1853 schloß Preußen mit Österreich einen Handelsvertrag, der sämtliche Zölle auf die Hälfte und mehr herabsetzte. Das war der Beginn der freihändlerischen und liberalistischen Handels- und Wirtschaftspolitik, der der deutschen Eisenindustrie schwersten Schaden zufügte. Die freihändlerischen Bestrebungen des Zollvereins wurden immer drängender und führten im Jahre 1877 zur gänzlichen Aufhebung der Eisenzölle durch den deutschen Bundesrat. Während sich die Erzeugung an Roheisen von 1867 bis 1873 bei günstiger Wirtschaftslage beinahe verdoppelt hatte, sanken die Preise infolge der großen Wirtschaftskrise des Jahres 1873 auf die Hälfte. Die durch die Einverleibung Elsaß-Lothringens auf 3 250 000 t gestiegene Roheisenerzeugung ging zu einem Drittel ans Ausland verloren. Erst die drückende Not veranlaßte über Drängen Bismarcks den Deutschen Reichstag im Jahre 1877 zur Wiedereinführung mäßiger Zölle. Glücklicherweise traf die Wiedereinführung der Zölle mit der Erfindung des Thomasverfahrens zusammen und löste damit eine Zeit fast ununterbrochenen Aufschwungs der deutschen Roheisen- und Stahlgewinnung aus. So stieg die deutsche Roheisenerzeugung vom Jahre 1879 bis 1913 von 2 230 000 t ziemlich regelmäßig um 6 $\frac{1}{2}$ % jährlich auf 19,3 Mill. t. Wieder hatte hier ein Mensch durch seine Politik den Aufschwung der Wirtschaft und das Anwachsen der staatlichen Macht verursacht. Die nach der Entlassung Bismarcks geführte fehlerhafte Politik und der in der Folge ausgebrochene erste Weltkrieg haben aber mit einem Schlage alles zunichte gemacht, was dieser große Staatsmann geschaffen hatte. Der unglückliche Kriegsausgang führte zur Katastrophe, die nicht nur die Wirtschaft Deutschlands, sondern die der ganzen Welt in ihren Bann zog. Die sozialen Aufgaben wurden immer schwieriger. Die Roheisenerzeugung Deutschlands senkte sich nach vorübergehendem flüchtigen Anstieg im Jahre 1932 auf 3,9 Mill. t. Die Zahl der Arbeitslosen stieg in diesem Jahre bis auf 7 Mill. und jene der Kurzarbeiter auf die gleiche Zahl. Erst die am 30. Januar 1933 erfolgte Machtergreifung durch Adolf Hitler brachte den Umschwung. Die Roheisenerzeugung stieg bis zum Jahre 1938, also in fünf Jahren, auf 18,6 Mill. t und unter Einbeziehung der im Weltkrieg verlorengegangenen Gebiete auf 21,5 Mill. t, also über die vor dem ersten Weltkrieg erreichte, und überschritt in diesem Jahre sogar jene der Vereinigten Staaten.

#### Zunahme der Gütererzeugung

Der Güterverbrauch ist abhängig vom Geburtenüberschuß sowie vom Kultur- und Wohlstand der Völker. Die Roheisenerzeugung der Welt ist von 12,2 Mill. t im Jahre 1870 auf 93 Mill. t im Durchschnitt der Jahre 1936, 1937 und 1938 gestiegen, d. i. um 3,1% im Jahre. Dagegen erhöhte sich die Weltbevölkerung in der gleichen Zeit von 1240 auf 2140 Mill., d. i. um 0,82% im Jahre, so daß der Rest von 2,28% als Kulturfaktor zu bezeichnen ist. In der gleichen Zeit stieg die Weltgewinnung an Stahl von 8 080 000 t auf 123 Mill. t, d. i. um 4,2% im Jahre.

In diese Zeit fällt insbesondere der Ausbau der Eisenbahnen von ungefähr 400 000 km Betriebslänge im Jahre 1875 auf rd. 1 300 000 km, also auf das 33fache des Äquators, im Jahre 1936 sowie der ungeahnte Aufstieg der erst zu Beginn des Jahrhunderts in Schwung gekommenen Automobilindustrie, die im Jahre 1936 fast 6 Mill. Wagen mit einem geschätzten Eisenaufwand von 6 Mill. t herausbrachte.

Besonders beachtenswert ist auch der Anstieg des Eisenverbrauchs je Kopf der Bevölkerung und Jahr. Er stieg im Deutschen Reich von 49,5 kg im Jahre 1870 auf 256 kg im Jahre 1937, nachdem er im Katastrophenjahr 1932 auf 59 kg, also fast auf die Höhe von 1870, gefallen war.

#### Ausblick in die Zukunft

Der Blick in die Zukunft ist natürlich schwieriger als die Betrachtung der Erscheinung einer vergangenen Zeit. Nach der siegreichen Beendigung dieses größten aller Kriege, der unvermeidlich war, wird unser Festland voraussichtlich durch gemeinsam vergossenes Blut und die notwendige Einfügung auch der am Kriege nicht unmittelbar beteiligten Staaten ein festgefügt großes Wirtschaftsgebiet bilden, das sich in der Hauptsache selbst versorgen und besonders selbst ernähren und etwa notwendige Rohstoffe anderer Kontinente leicht im Tausche gegen hochwertige Erzeugnisse beschaffen kann. Durch die solcherart erreichte Autarkie, die allein wahre Unabhängigkeit verbürgt, wird Europa erst blockadefest werden. Das große geschlossene Wirtschaftsgebiet wird es zu Wohlstand und zu seelischer sowie geistiger Erhebung bringen. Es wird dann für die deutsche Eisenindustrie

<sup>1)</sup> Stahl u. Eisen 63 (1943) S. 332/37 (Walzw.-Aussch. 168).



Pflicht und Bedürfnis sein, unter Zurückdrängung aller Sonderbelange und im Sinne der Gemeinschaftsidee das Ihrige zur Befriedigung der voraussichtlich großen Anforderungen beizutragen. Die großen Aufgaben der Zukunft werden aber ohne Lenkung der Wirtschaft durch den Staat nicht zu erfüllen sein, da nur diese die notwendige Koordination ermöglicht und an Stelle der Sonderwünsche einzelner das Wohl der Allgemeinheit setzen kann, das in letzter Linie wieder dem einzelnen zugute kommt. Besonders aber wird die Verteilung der Rohstoffe ohne die Lenkung der Staatsgewalt nicht in zweckmäßiger Weise erfolgen können. Doch soll diese Führung durch den Staat mit Weisheit und unter Ausschaltung bürokratischer Bevormundung geschehen und nach Möglichkeit Selbstverwaltungskörpern der Industriegruppen übertragen werden, die nach den vom Staate gegebenen Richtlinien zu verfahren haben. Erst wenn die von diesen Organisationen gefaßten Beschlüsse dem Nutzen der Allgemeinheit zuwiderlaufen, soll der Staat entsprechend einschreiten. Im Lenkungsmandat des Staates ist keineswegs eine Bevormundung, sondern ein Mittel zur Gleichschaltung der Belange von Industrie und Gemeinschaft zu sehen. Die Lenkung der Wirtschaft durch den Staat wird die Industrie auch krisenfest machen.

Nach Bildung des großen europäischen Wirtschaftsraumes werden das Deutsche Reich, Frankreich, Belgien, Luxemburg, Lothringen und Ungarn, soweit die Stahlerzeugung in Betracht kommt, ein geschlossenes Erzeugungsgebiet bilden. Im Jahre 1937 wurden in diesem Gebiete etwa die Hälfte des Stahles im basischen Konverter, die andere im Siemens-Martin- und Elektrofen erzeugt, wobei der Schwerpunkt der Herstellung im Westen und Nordwesten auf das Windfrischverfahren entfiel, während im Osten und Südosten nur Siemens-Martin- und Elektrostahtwerke bestehen, so daß ganz gewaltige Mengen an Schrott vom Westen nach dem Südosten versandt werden müssen, ein Zustand, der gebieterisch für jede Erzeugungserweiterung bis zur Schaffung eines Gleichgewichtszustandes die Anlage von Windfrischwerken im Osten und Südosten verlangt. Bei dem Verhältnis von Windfrisch- und Herdfrischstahl von 50:50%, einer Rücklaufzeit des Schrottes von 30 Jahren, einem 30%igen Schwund und einer Jahreszunahme der Stahlerzeugung von 3,5% können die Siemens-Martin-Öfen mit dem sehr günstigen Verhältnis von 35% Roh-eisen und 65% Abfällen und Schrott arbeiten.

Mit Rücksicht auf die Erzdeckung des Reiches drängt sich gebieterisch die Verwendung von mit Sauerstoff angereicherter Luft im Konverter und möglichst auch im Hochofenbetrieb auf. Dadurch wird die Beschaffung der für das Windfrischverfahren geeigneten Erze erleichtert und durch Verminderung des Stickstoffballastes auch im Hochofen ein vorteilhafterer und sparsamerer Betrieb erzielt werden.

#### Erschöpfung der Kohlen- und Erzvorräte der Welt

Nach dem „Statistischen Jahrbuch für die Eisen- und Stahlindustrie“ beträgt der Eisengehalt der sicheren, vermehrt um die Hälfte der wahrscheinlichen Erzvorräte der Welt etwa 82 Milliarden t, was einer Roheisenmenge von rd. 87 Milliarden t entspricht. Bleibt der Roheisenverbrauch der Welt dem des Durchschnitts der Jahre 1936, 1937 und 1938 mit 93 Mill. gleich, dann würden diese Vorräte in 935 Jahren erschöpft sein, bei Weiterbestand der in den letzten 67 Jahren bestandenen Jahreszunahme von 3,1% nach der Summenformel der geometrischen Progression jedoch schon in 111 Jahren. Daraus folgt, daß es eine heilige Pflicht am Staate und an unseren Nachfahren ist, überall an Eisen zu sparen, sei es durch Verbesserung der Güte, sei es durch leichtere Bauarten, sei es durch Ersatz des Eisens durch Eisenbeton oder schließlich durch die Verwendung von Leichtmetallen. Stets aber sollen wir uns die Auswirkung der geometrischen Progression auf die Steigerung der Bedarfsmengen aller Güter so vor Augen halten, daß der Gedanke an alle Möglichkeiten der Ersparung verwirklicht wird. Ich will hier nur anführen, daß bei einer jährlichen Steigerung von 5% der Mehrverbrauch innerhalb des achten Jahrzehnts das 15fache des Anfangsverbrauches ist.

Eine besondere Bedeutung kommt im Deutschen Reiche auch der Verwendung armer Erze zu, die der einzelne bei freier Wirtschaft nicht verarbeiten kann, die auch keinen weiteren Transport vertragen und deshalb nicht gleichmäßig auf alle Erzeuger verteilt werden können. Da aber die Verhüttung dieser Erze unbedingt notwendig ist, müssen mit Staatshilfe solche Erze verarbeitende Werke errichtet werden.

#### Schonung der Kohlenvorkommen

Auch die Kohlenvorräte der Welt, die für Steinkohle mit 4600 Milliarden t, für Braunkohle mit 2900 Milliarden t geschätzt werden, während die sicheren Vorkommen viel geringer sind, würden bei Fortbestand der derzeitigen Jahreszunahme um  $3\frac{1}{2}\%$  wohl nicht einer so raschen Erschöpfung entgehen wie die

der Erze, aber mit Rücksicht auf fördertechnische Gründe nicht über ein gewisses Höchstmaß hinaus gewonnen werden können. Besonders offensichtlich ist die Verknappung der Rohlvorräte, deren derzeit bekannte Höhe in der Welt  $3\frac{1}{2}$  Milliarden t beträgt, während die Gewinnung im Jahre 1937 280 Mill. t betrug.

Dagegen sind in der ganzen Welt 472 Mill. PS Wasserkräfte vorhanden, von denen erst 55 Mill. PS ausgebaut sind. Rechnet man von den noch nicht ausgebauten nur zwei Drittel als ausbaufähig, so würden damit bei 5000 Benutzungsstunden je Jahr 1 Billion kWh gewonnen werden können, was einer Jahresmenge von 600 Mill. t Kohle mit 6500 kcal/kg entspricht. Auf diese Wasserkräfte wird sich vermutlich in näherer oder fernerer Zukunft die Erzeugung der Leichtmetalle aufbauen.

#### Das Ziehen zäher Werkstoffe

Mit der Behauptung, daß die bisher für die Verfolgung der Vorgänge auf dem Gebiete der bildsamen Verformung benutzten Ansätze infolge der ihnen zugrunde gelegten Annahmen zu stark von der Wirklichkeit abweichenden Ergebnissen geführt hätten und daher nicht brauchbar seien, begründet Th. Pöschl<sup>1)</sup> die Notwendigkeit einer neuen Behandlung des Ziehvorganges auf theoretischer Grundlage. Dieser Behauptung muß zunächst entgegengehalten werden, daß die Annahme der Unveränderlichkeit des Rauminhaltes des Werkstoffes bei der Verarbeitung im bildsamen Zustand nachgewiesenermaßen durchaus zu Recht besteht, und daß vielmehr er selbst bei den angeblich von ihm in gezogenem Draht beobachteten zahlreichen „Längsrissen“ — aus denen er dann auf eine unter Umständen erhebliche Volumenzunahme des Ziehgutes schließt — offensichtlich einem Trugschluß zum Opfer gefallen ist. Auflockerungen des Werkstoffzusammenhangs und regelrechte Werkstofftrennungen treten bekanntlich nur in „überzogenem“ Draht auf, und zwar in einer Form, die keinesfalls als Längsrisse bezeichnet werden kann<sup>2)</sup>. Weiter trifft auch der Vorwurf, die Verfestigung nicht berücksichtigt zu haben, nicht für die Ansätze von F. Körber und A. Eichinger<sup>3)</sup> zu, in denen mit einer mittleren Formänderungsfestigkeit zwischen den Zuständen vor und nach der Verformung gerechnet wird und die sich überdies nicht nur für den Ziehvorgang, sondern auch für die Beschreibung aller anderen Verfahren der bildsamen Verformung bestens bewährt haben und durchaus den Ergebnissen praktischer Versuche entsprechen.

Pöschl faßt den Vorgang beim Ziehen eines Runddrahtes durch eine Ziehöse als Kegelproblem auf, für das er im ersten Teil seiner Abhandlung den Spannungsverlauf bei rein elastischer Beanspruchung des Ziehgutes ermittelt. Sind schon die Ergebnisse dieser Betrachtung von fragwürdiger Bedeutung, da sie sich nicht mit der bildsamen Verformung in Verbindung bringen lassen, so stehen die des zweiten Teiles sogar in offenem Widerspruch zu allen bisher gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnissen. Dort wird nämlich unterstellt, daß für das plastische Problem die Hypothese der größten Normalspannung gültig sei. Diese Hypothese ist aber für die Vorgänge bei der bildsamen Verformung nicht anwendbar, weil bei ihr nur die Spannung in einer Achse eines räumlichen Spannungszustandes festgelegt wird, während in Richtung der beiden übrigen Achsen unabhängig davon Druck- oder Zugkräfte beliebiger Größe auftreten können. Infolgedessen ergibt sich in einem Zahlenbeispiel eine Spannungsverteilung im Ziehkanal, bei der die Druckspannung an der Düsenwandung im Widerspruch zu der vorher angenommenen Fließbedingung beim Eintritt des Ziehgutes in die Verformungszone oberhalb und an ihrem Ende unterhalb der Längsspannung liegt. Warum übrigens als Fließbedingung am Anfang des Ziehkanals das Erreichen der Streckgrenze des Ziehgutes in der Längsrichtung zugrunde gelegt wird und nicht das in der Querrichtung, was im Sinne der von der Düsenwandung ausgeübten Druckspannung doch viel näher liegt, bleibt unerfindlich. Die Unbrauchbarkeit der Betrachtungsweise geht schließlich noch daraus hervor, daß sich bereits für den Eintrittsquerschnitt der Ziehöse ein der Ziehrichtung entgegengesetzter äußerer Längszug von erheblicher Größe ergibt, der also im Sinne eines an sich aber nicht vorhandenen Bremszuges wirken würde. Auch dieses Ergebnis steht nicht mit den Verhältnissen beim wirklichen Ziehvorgang im Einklang, weil es gegen die Bedingung des Gleichgewichts der Kräfte ver-

<sup>1)</sup> Ing.-Arch. 13 (1942/43) S. 175/84 u. 342/54.

<sup>2)</sup> Pomp, A.: Stahldraht, seine Herstellung und Eigenschaften. Düsseldorf 1941. (Stahleisen-Bücher, Bd. 1.)

<sup>3)</sup> Mitt. K.-Wilh.-Inst. Eisenforsch. 22 (1940) S. 57/80; Stahl u. Eisen 60 (1940) S. 829/32, 854/62 u. 882/87 (Walzw.-Aussch. 160).

stößt. Vor einer Anwendung der vom Verfasser entwickelten neuen Theorie auf die Vorgänge beim Ziehen im besonderen und bei der bildsamen Verformung im allgemeinen kann nur gewarnt werden.  
Werner Lueg.

**Verfahren zur Festlegung von Mittellinien durch ein Streufeld.**

Die Auswertung von Versuchsergebnissen aller Art ergibt bei der schaubildlichen Darstellung häufig ein sogenanntes Streufeld, d. h. die als Funktion einer Einflußgröße dargestellten Endwerte schwanken mehr oder minder stark.

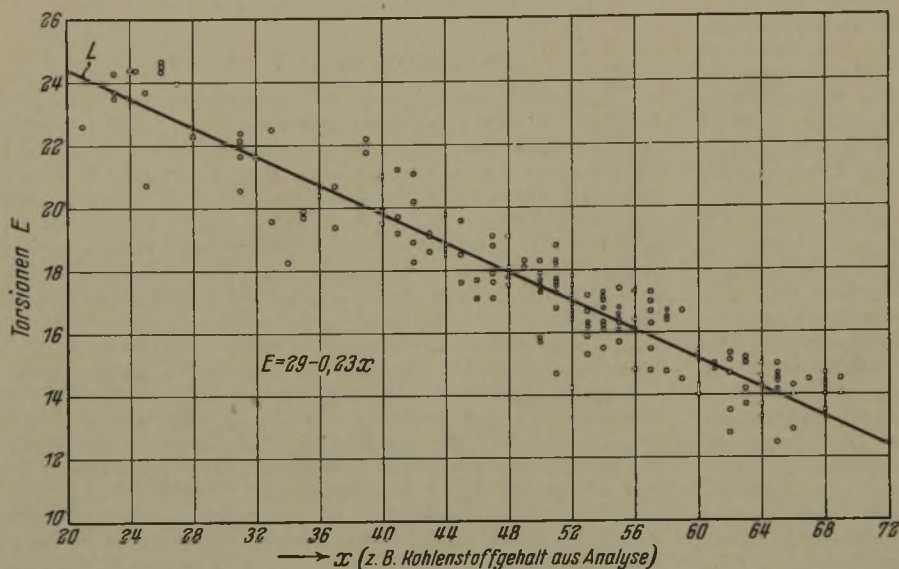


Bild 1. Torsionswerte, abhängig vom Kohlenstoffgehalt, und zugehörige Mittellinie.

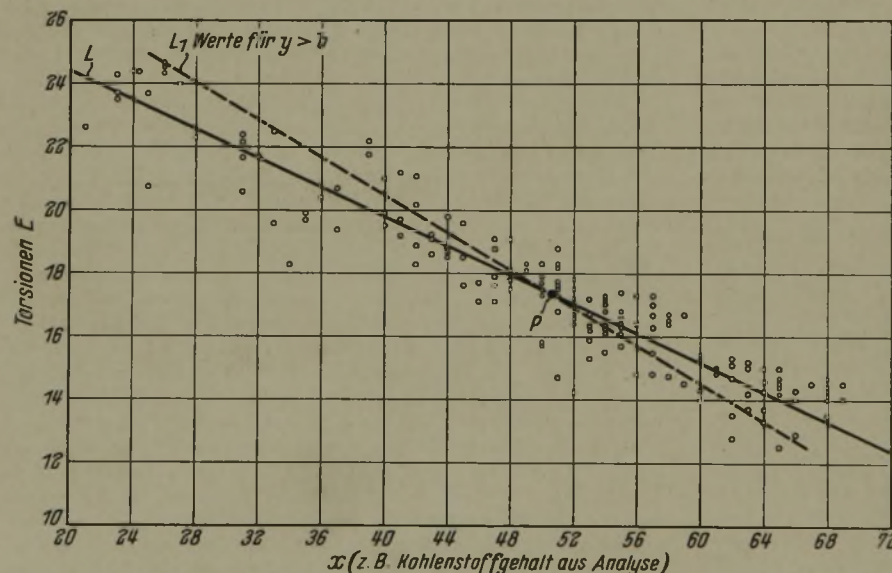


Bild 2. Einfluß von y auf die Torsionswerte.

In manchen Fällen ist es nun erwünscht oder erforderlich, durch dieses Streufeld eine möglichst genaue Mittellinie zu legen. Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten, die entweder zu ungenau (z. B. Augenmaß) oder zu umständlich (z. B. Verfahren der kleinsten Quadrate) sind. Im folgenden wird ein Weg beschrieben, der die Vorteile der praktischen Handhabung mit denen der Genauigkeit verbindet. Voraussetzung hierfür ist natürlich, daß das Streufeld eine ausgesprochene Tendenz erkennen läßt, die der Einfachheit halber zunächst einmal als linear angenommen wird.

Der mathematische Ansatz der geraden Linie lautet:

$$E = A + a \cdot x \tag{1}$$

Hierbei ist E = das bekannte Endergebnis, der sogenannte Endwert, A = die unbekannte Konstante, a = die gesuchte Neigung (Richtungsfaktor), x = die ebenfalls bekannte Einflußgröße. Nimmt man aus dem oberen Bereich des 59 Werte umfassenden Streufeldes eine bestimmte Anzahl von E- und x-Werten, z. B. die ersten 10, und aus dem unteren Bereich des Streufeldes

die gleiche Zahl von E- und x-Werten heraus, so lassen sich diese mathematisch wie folgt verwenden.

Für den unteren Bereich gilt:

$$E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_{10} = 10 A + a \cdot (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{10}) \tag{2}$$

Für den oberen Bereich gilt:

$$E_{50} + E_{51} + E_{52} + \dots + E_{59} = 10 A + a \cdot (x_{50} + x_{51} + x_{52} + \dots + x_{59}) \tag{3}$$

Faßt man die einzelnen E-Werte in  $E_I$  und  $E_{II}$  zusammen und in gleicher Weise die x-Werte, so läßt sich die Gleichung (2) und (3) wie folgt schreiben:

$$E_I = 10 A + a \cdot x_I \tag{4}$$

$$E_{II} = 10 A + a \cdot x_{II} \tag{5}$$

Hieraus folgt:

$$\frac{E_I - E_{II}}{x_I - x_{II}} = a \tag{6}$$

Damit läßt sich die gesuchte Neigung der Geraden errechnen. Bei der Anwendung hat man also weiter nichts zu tun, als die bekannten Werte  $E_1$  bis  $E_{10}$  z. B. mit einer Additionsmaschine aufzuaddieren und von ihnen die Summe der  $E_{50}$ - bis  $E_{59}$ -Werte abzuziehen. Das gleiche geschieht mit den x-Werten; die beiden Unterschiede werden auf dem Rechenchieber durcheinander geteilt, und damit ist die Neigung der Geraden a ermittelt.

A läßt sich dann rechnerisch aus Gleichung (4) oder (5) feststellen.

Durch die Zuordnung der E-Werte zu den x-Werten arbeitet dieses Verfahren mit dem gewogenen Mittel. Es unterscheidet sich dadurch von der einfachen Mittelwertbildung, die aus einer Anzahl von Werten des unteren Bereichs und des oberen Bereichs des Streufeldes einfache Mittelwerte bildet und die so gefundenen Punkte verbindet<sup>1)</sup>. Die geschilderten gewogenen Mittel sind wesentlich genauer als die üblichen einfachen Mittelwerte.

Durch eine abschnittsweise Ermittlung des Richtungsfaktors a läßt sich ferner prüfen, ob tatsächlich die Annahme eines linearen Verlaufs gerechtfertigt ist. Weichen die für die einzelnen Teilabschnitte ermittelten Richtungsfaktoren voneinander ab, so ist dies das Kennzeichen dafür, daß keine einfache lineare Verknüpfung vorliegt. In solchen Fällen ist es aber bei genügender Anzahl der vorhandenen Einzelwerte durchaus möglich, eine kurvenförmige Mittellinie festzustellen, indem man nämlich das Streufeld in Teilabschnitte unterteilt und abschnittsweise die vorgenannte Rechnungsweise durchführt. Damit ermittelt man je Abschnitt eine Mittellinie, die miteinander zum Schnitt gebracht den kurvenförmigen Verlauf der Mittellinie ergeben. Will man nun aus der kurvenförmigen Mittellinie die zugehörige Gleichung ableiten, so benutzt man hierzu zweckmäßig die Schnittpunkte der Teillinien, wobei der mathematische Ansatz verschieden sein kann<sup>2)</sup>.

Anwendungsbeispiel: Gegeben seien 100 physikalische Werte, z. B. Verdrehungswerte E bei Draht und die zugehörigen Analysenwerte. Es soll der qualitative Einfluß der wichtigsten

Anwendungsbeispiel: Gegeben seien 100 physikalische Werte, z. B. Verdrehungswerte E bei Draht und die zugehörigen Analysenwerte. Es soll der qualitative Einfluß der wichtigsten

<sup>1)</sup> Daeves, K.: Praktische Großzahl-Forschung. Düsseldorf 1933.

<sup>2)</sup> Einzelheiten hierüber siehe Stevens, H.: Einflußgrößen-Rechnung. Düsseldorf 1939.

Analysenwerte  $x$ ,  $y$  und  $z$  auf die Verdrehung untersucht werden; bekannt sei, daß  $x$  den Haupteinfluß ausübe. Trägt man  $E$  über  $x$  auf, so erhält man ein Streufeld (Bild 1). Nach dem oben geschilderten Verfahren wird eine Mittellinie mit der Gleichung  $E = 29 - 0,23 x$  bestimmt. Die Gerade  $L$  stellt diese Linie dar.

In diesem Streufeld soll nun der Einfluß der zweiten Einflußgröße  $y$  ermittelt werden. Zu diesem Zweck unterteilt man alle Werte in zwei Gruppen,  $y > b$  und  $y < b$ . Hierbei ist  $b$  ein zu wählender Zwischenwert.

Für die Wertgruppen  $y > b$  bestimmt man wiederum, wie oben geschildert, die Gleichung ihrer Mittelgeraden  $L_1$  (Bild 2). Diese Gerade schneidet  $L$  im Punkte  $P$ . Man erkennt aus der Lage von  $L$  zu  $L_1$ , daß alle Werte für  $y > b$  links vom Schnittpunkt  $P$  höhere  $E$ -Werte und rechts von  $P$  niedrigere  $E$ -Werte ergeben. Der Einfluß des untersuchten Analysenwertes  $y$  läßt sich daraus folgendermaßen deuten: Bei Analysenwerten von  $x$  links vom Schnittpunkt ist ein hoher  $y$ -Gehalt günstig, rechts vom Schnittpunkt ist er ungünstig.

In gleicher Weise könnte man die Werte  $y < b$  und die Werte für  $z$  oder auch die Wertpaare  $y > b$ ,  $z_1$  und  $y < b$ ,  $z_2$  untersuchen. Durch dieses Verfahren erhält man in einfacher Weise Aufschluß über die qualitative Größe des Einflusses der Werte  $x$ ,  $y$  und  $z$ .

Will man darüber hinaus die Höhe der quantitativen Beeinflussung ermitteln, so kann dies mit Hilfe der Einflußgrößen-Rechnung<sup>2)</sup> geschehen.

Das Verfahren der Errechnung und Verwertung von Mittellinien läßt sich auf alle Gebiete anwenden: es hat den Vorteil, daß es einfach ist und nur lineare Funktionen verwendet.

Hans Stevens, Witten.

### Zehn Fragen zur Preßluftwirtschaft



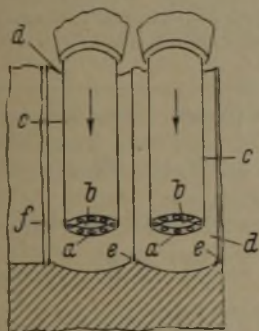
1. Wer kümmert sich um den Preßluftverbrauch?
2. Besteht ein Plan der Preßluftleitungen und ihrer oft unübersichtlichen Verzweigungen? Besteht ein Verzeichnis der Anschlußstellen und sämtlicher Preßluftwerkzeuge?
3. Wird der Verbrauch an Preßluft gemessen? Wird wenigstens gelegentlich an Sonntagen ein Leerlaufversuch oder eine Druckabfallmessung vorgenommen?
4. Wird die Dichtheit der Leitungen, Schieber und Hähne laufend überwacht? Zischt es nirgends?
5. Sind alle toten Stränge abgeflanscht?
6. Sind die Kupplungen und Schläuche in Ordnung?
7. Sind die Preßluftwerkzeuge in Ordnung?
8. Werden sie laufend in bestimmten Fristen aus dem Betrieb gezogen? Sind besondere Kräfte durch entsprechende Werkstatteinrichtungen mit der Instandhaltung und der Ausgabe der Preßluftwerkzeuge betraut?
9. Wird über die Werkzeuge, ihre Instandsetzung, ihre Fehler und die Ausgabe laufend Buch geführt?
10. Wird nirgends kostbare Preßluft zu minderwertigen Zwecken, z. B. als Ersatz für Ventilatorwind, oder zu irgendwelchen Kühlzwecken verschwendet?

## Patentbericht

### Deutsche Reichspatente

Kl. 49 h, Gr. 37, Nr. 733 111, vom 16. Januar 1940; ausgegeben am 19. März 1943. USA.-Priorität vom 14. Januar 1939. The Linde Air Products Company in New York, V. St. A. (Erfinder: James Harold Bucknam in Cranford, New Jersey, V. St. A.) *Verfahren und Vorrichtung zum Brennschälen von Metallkörpern.*

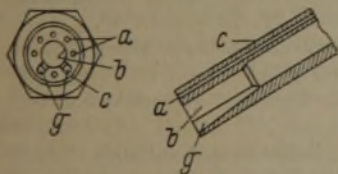
Bild 1



Beim Schälen von Blöcken mit Sauerstoffstrahlen, die aus den von Heizgasöffnungen  $a$  umgebenen Austrittsöffnungen  $b$  der im spitzen Winkel zur Blockoberfläche geführten Brenner  $c$  austreten, entstehen (Bild 1) zwischen den von benachbarten Brennern erzeugten Rillen  $d$  die Grate  $e$ , auf denen sich störende Ansätze ablagern; ferner entstehen Ablagerungen  $f$  an den Außenseiten der geschälten Fläche. Zur Beseitigung der Ansätze und zur Abflachung der Grate erhalten die Brenner zusätzliche Sauerstoffaustrittsöffnungen (Bild 2 und 3), die vom Hauptstrahl  $b$  abgezweigt sind und je nach

Bild 2

Bild 3

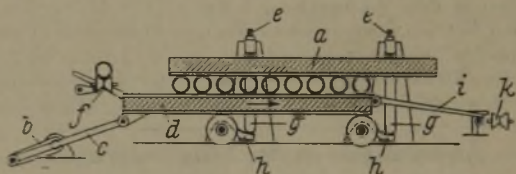


der beabsichtigten Wirkung in einer vom Hauptstrahl mehr oder weniger abweichenden Richtung gelenkt werden.

Kl. 49 h, Gr. 24, Nr. 733 198, vom 31. August 1938; ausgegeben am 20. März 1943. Mannesmannröhren-Werke in Düsseldorf. (Erfinder: Dipl.-Ing. Karl Bungeroth in Düsseldorf.) *Verfahren und Vorrichtung zum Richten und Kühlen großer Rohre.*

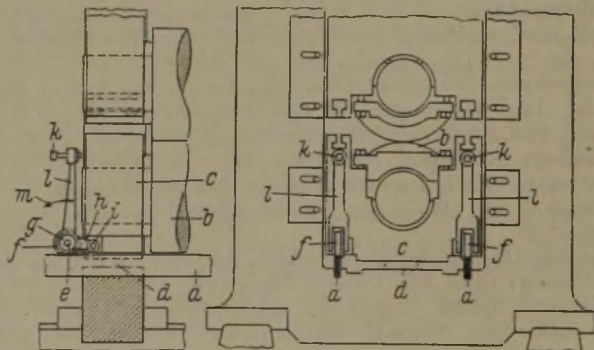
Rohre großen Durchmessers, die durch Aufweitung auf dünne Wandstärke gebracht sind, werden, unmittelbar von der Aufziehvorrichtung kommend, in noch warmem Zustand zwischen die feststehende obere Richtplatte  $a$  und die mittels Kurbeltrieb  $b$ ,  $c$  hin- und herbewegte untere Richtplatte  $d$  gebracht, wobei das vom Aufweitevorgang stammende, im Durchmesser größere Einspannende der Rohre über die Ränder der Richtplatten hinausragt. Die Anpassung der Richtvorrichtung an wechselnde Rohr-

durchmesser erfolgt durch mit den Schrauben  $e$  bewirkte Höhenverstellung der Richtplatte  $a$ . Beim Einbringen eines auf dem Rollgang  $f$  zugeführten weiteren Rohres zwischen die Richtplatten wird die Platte  $a$ , die vom Gestänge  $g$  getragen wird, durch



Schwenken der Hebel  $h$  angehoben. Die gerichteten Rohre rollen über den Rost  $i$  dem Abfuhrrollgang  $k$  zu.

Kl. 7 a, Gr. 22<sub>03</sub>, Nr. 733 234, vom 30. Dezember 1939; ausgegeben am 22. März 1943. Fried. Krupp Grusonwerk AG. in Magdeburg-Buckau. (Erfinder: Wilhelm Faß in Magdeburg.) *Vorrichtung zum Ausfahren der Walzen von Walzwerken.*



Das Walzgerüst besitzt ortsfest eingebaute Schienen  $a$  zum Ausfahren der Unterwalze  $b$  mit den zugehörigen Einbaustücken  $c$ , welche auf den Druckstücken  $d$  ruhen. Auf die Achsen  $e$  der Laufrollen  $f$  sind Winkelhebel  $g$  aufgesetzt, deren Hebelarme  $h$  bei  $i$  drehbar am Einbaustück befestigt sind. Durch die Stellschrauben  $k$  lassen sich die aufrecht gerichteten Hebelarme  $l$  der Winkelhebel in Richtung des Pfeiles  $m$  vom Einbaustück fortbewegen, wodurch dieses vom Druckstück abgehoben und auf die Laufrollen gestellt wird.

## Vereinsnachrichten

### Josef Meiser †

Unerwartet und viel zu früh für die Fachwelt ist am 3. Juni 1943 der langjährige Betriebsdirektor der Walzwerke des Dortmund-Hoerder Hüttenvereins Josef Meiser in Baden-Baden, wo er nach schwerer Krankheit Erholung suchte, aus dem Leben geschieden.

Josef Meiser wurde am 7. September 1882 in Dillingen an der Saar geboren und besuchte in der Nachbarstadt Saarlouis das humanistische Gymnasium. Nach der Reifeprüfung widmete er sich dem Hochschulstudium für Bergbau- und Hüttenkunde sowie für Chemie und Elektrochemie an der Technischen Hochschule Aachen. Im Jahre 1907 legte er dort die Diplomprüfung mit „Auszeichnung“ ab. Auf Grund dieses Abschlußexamens wurde ihm von der Technischen Hochschule Aachen die von Oskar Erckens gestiftete silberne Medaille verliehen.

Seine erste Stelle bekleidete Josef Meiser bei der Wirtschaftlichen Forschungsgesellschaft in Frankfurt. Er hatte hier gleichzeitig Gelegenheit, sich noch an der Akademie für Sozial- und Handelswissenschaften fortzubilden. Im Jahre 1909 wandte er sich seinem ureigensten Fachgebiet zu: Meiser wurde Walzwerker bei der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hütten-AG. in Differdingen. Ende des Jahres 1910 wechselte er als Betriebsingenieur zu den Rombacher Hüttenwerken, wo er bis zu seinem Ausscheiden im Jahre 1913 Gelegenheit fand, seine Kenntnisse zu erweitern. Im Frühjahr 1913 wurde Meiser als Betriebsingenieur zum Dortmund-Hoerder Hüttenverein berufen, der damaligen Dortmunder Union. Über 30 Jahre lang war Meiser dort im Walzwerk tätig. Auf Grund seiner Fachkenntnisse vertraute ihm das Werk bald die Gesamtleitung der Walzwerke und ihren weiteren Ausbau an. Bei seinem ausgeprägten technischen Geschick und seinen großen Erfahrungen widmete er sich mit Eifer der Entwicklung der Anlagen und der Ausbildung von Verfeinerungen und Neuerungen in den Walzwerken, wobei er mit kritischem Blick das für den Betrieb Geeignete von weniger Brauchbarem zu scheiden vermochte. Es entstanden unter seiner Leitung und seinem persönlichen Einsatz eine Reihe neuzeitlicher Walzenstraßen mit vielen Verbesserungen, die das Walzprogramm der Hütte erheblich

erweiterten und auch wirtschaftliche Fortschritte mit sich brachten. Ganz besonders widmete er sich der Entwicklung von Spundwandprofilen, wobei er solche Erfolge erzielte, daß eine ganze Reihe von Werken ihm auf diesem Wege folgte.

In Fachkreisen genoß Meiser einen anerkannten Ruf, so daß er oft auf Grund seiner Kenntnisse zu Begutachtungen herangezogen wurde. Über 30 Jahre war er Mitglied des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und mehr als 20 Jahre gehörte er dem Arbeitsausschuß des Walzwerksausschusses an. Hier und im Technischen Ausschuß des Stahlwerksverbandes gab er durch Berichte und Ausführung von Sonderaufträgen seinen Fachgenossen manche ersprißliche und wertvolle Anregung.

Meiser war mit Leib und Seele Ingenieur und Eisenhüttenmann, arbeitsam und pflichttreu in seiner Berufsauffassung; hilfsbereit und gerecht gegenüber seiner Gefolgschaft, wurde er vielen ein Lehrmeister und ein wohlwollender väterlicher Führer sowie ein Vorbild für alle. Auch unter seinen kaufmännischen Kollegen und Mitarbeitern hatte er auf Grund seiner vorzüglichen menschlichen Eigenschaften und seines Geschickes in kaufmännischen Fragen in gleicher Weise viele Freunde. Bei all seinen Erfolgen und in seiner Stellung blieb Meiser der einfache und natürliche Mensch.

Nach den Mühen und Sorgen des Alltags fand er Ruhe und Entspannung an der Seite seiner Gattin und seiner Kinder, die er gefestigt ins Leben treten und sich ihren eignen Familienkreis gründen sah. In seiner ererbten Liebe für Jagd und Natur fand er als waidgerechter Jäger seine Erholung, um sich erfrischt seinem Wirkungskreis wieder widmen zu können.

Mit seiner Familie und seinen vielen persönlichen und fachlichen Freunden trauert auch der Verein Deutscher Eisenhüttenleute um den allzu frühen Heimgang dieses hervorragenden Fachmannes, von dem wir alle noch die Vollendung einer ganzen Reihe von Plänen erhofften, deren Ausführung die Jetztzeit nicht zuließ. Ein ehrendes Andenken ist Josef Meiser in den Kreisen der Hüttenleute gewiß.



*Josef Meiser*

#### Änderungen in der Mitgliederliste

*Biernath, Albert*, Betriebsingenieur, Völklingen (Saar); Wohnung: Louis-Röchling-Str. 9. 42 106  
*Bödeker, Wilhelm*, Dipl.-Ing., Oberingenieur u. Geschäftsführer, Magdeburg; Wohnung: Humboldtstr. 14. 29 017  
*Froh, Walter*, Dipl.-Ing., Oberingenieur, Gebweiler (Els.); Wohnung: Friedrich-Lienhard-Str. 1. 25 031  
*Gasch, Gregor*, Werkstoffingenieur, Löcknitz (Pom.), Schmidtstraße 1. 42 004  
*Geil, Georg*, Dipl.-Ing., Fabrikdirektor i. R., Frankenthal (Pfalz), Folzring 15a. 04 013  
*Grauel, Karl*, Ingenieur, Schwabach; Wohnung: Weingäßchen 19. 40 040  
*Hölscher-Spiess, Friedrich*, Dipl.-Ing., Linz (Oberdonau); Wohnung: Linz (Oberdonau) 10, Spallerhofsiedlung 401. 19 044  
*Höpker, Carl*, Dipl.-Ing., Oberingenieur, Betriebschef, Duisburg-Hamborn; Wohnung: Siemensstr. 11. 25 049  
*Hurschmann, Kurt*, Ingenieur, Berlin-Charlottenburg 2, Knesebeckstr. 99; Wohnung: Berlin-Zehlendorf, Stubenrauchstraße 21. 37 200  
*Jungwirth, Otto*, Werkstättendirektor, Kapfenberg-Deuchendorf; Wohnung: Graz NO, Unterer Plattenweg 11. 28 078  
*Kauermann, Ulrich*, Ingenieur, Betriebsführer, Ferndorf über Kreuztal (Kr. Siegen), Wittgensteiner Str. 80; Wohnung: Austr. 40. 36 204  
*Kirsten, Robert*, Fabrikdirektor, Zivilingenieur, Meerer Busch (Post Büderich/b. Düsseldorf), Hindenburgstr. 30. 10 063  
*Kröner, Wilhelm*, Oberingenieur i. R., Hohenlimburg, Reherweg 6. 04 031  
*Lacker, Kuno*, Dr.-Ing., Direktor-Stellvertreter, Mähr.-Ostrau; Wohnung: Mähr.-Ostrau 1, Dietrich-Eckart-Gasse 14. 36 246  
*Langenfeld, Kurt*, Dipl.-Ing., Betriebsingenieur, Watenstedt über Braunschweig; Wohnung: Lebenstedt II über Braunschweig, Saldersche Str. 30. 35 308

*Lausen, Peter*, Oberingenieur, Enger (Westf.); Wohnung: Kirchplatz 71. 22 224  
*Mai, Bernhard*, Walzwerkschef i. R., Kamp (Rhein), Adolf-Hitler-Str. 3 (Haus Lydia). 14 057  
*Mathesius, Hans*, Dr.-Ing., Oberstleutnant, Dortmund; Wohnung: Matthias-Grünwald-Str. 37. 23 113  
*Meuthen, Jakob*, Ingenieur, Bad Grund (Harz); Wohnung: Braunschweig, Hopfengarten 5. 43 111  
*Moeger, Adolf*, Oberingenieur a. D., Gut Walldorf (b. Weiffenburg/Kr. Gnesen). 97 012  
*Nassauer, Eugen*, Dipl.-Ing., Direktor, Düsseldorf 1, Königsberger Straße 60; Wohnung: Düsseldorf 10, Taubenstr. 13. 35 393  
*Niezold, Werner*, Dipl.-Ing., Betriebsassistent, Essen-Borbeck; Wohnung: Essen, Dreilindenstr. 67. 40 069  
*Radoux, Anton*, Stahlwerkschef, Trzynietz (Oberschles.); Wohnung: Werkstr. 37. 36 343  
*Schmidthuysen, Peter*, Dipl.-Ing., Beneschau über Ratibor. 32 070  
*Schmitges, Max*, Dipl.-Ing., M.-Gladbach, Waldhausener Str. 216. 37 399  
*Schulz, Hans*, Dipl.-Ing., Geschäftsführer, stellv. Betriebsführer, Wuppertal-Elberfeld; Wohnung: Moltkestr. 9. 32 072  
*Spahl, Emil*, Ingenieur, Bad Grund (Harz), Markt 176; Wohnung: Dinklagestr. 250. 39 063  
*Stanka, Hans*, Dipl.-Ing., Prokurist, Düren; Wohnung: Gartenstraße 6. 23 162  
*Ströhlein, Fritz*, Dr.-Ing., Fabrikant, Düsseldorf 1, Goethestr. 81; Wohnung: Düsseldorf-Oberkassel, Weddigenstr. 33. 27 278  
*Tebensky, Ferdinand*, Dipl.-Ing., Abteilungsleiter, Rothau (bei Graslitz/Sudetenland); Wohnung: Neudek (Egerland), Asseburgstr. 703. 33 136  
*Trecker, Wilhelm*, Oberingenieur und Handlungsbevollmächtigter, Brunn (Protoktorat), Giskrastr. 68; Wohnung: Falkensteiner Gasse 60. 24 103