

Im Hohlraum  $c$  befindet sich Öl von  $300\text{ C}^\circ$ . Die Legierung erstarrt zwischen  $366$  und  $238\text{ C}^\circ$ ; bei  $366\text{ C}^\circ$  scheiden sich aus der Legierung geringe Mengen von kupferreichen Kristallnadeln aus; bei  $263,5\text{ C}^\circ$  beginnt die Ausscheidung von antimonreichen Würfeln, und bei  $238\text{ C}^\circ$  erstarrt die Hauptmenge der Legierung. Die Temperatur zwischen der eingegossenen flüssigen Legierung und der vorgewärmten

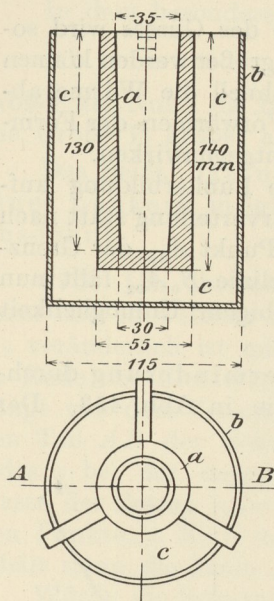


Abb. 454.

Gußform gleicht sich aus; hierbei scheiden sich zwar bei  $366\text{ C}^\circ$  die kupferreichen Nadeln ab; ihre Menge ist aber zu gering, als daß sie eine erstarrte Außenkruste bilden könnten; sie schwimmen vielmehr gleichmäßig verteilt in der flüssigen Legierung herum. Inzwischen hat sich die Temperatur der Gußform und die der Legierung ausgeglichen. Beide kühlen sehr langsam ab, da die Wärmeabgabe nach außen durch das die Wärme schlecht leitende Öl hindurch geschehen muß. Bei  $263,5\text{ C}^\circ$  scheiden sich deshalb die würfelförmigen antimonreichen Mischkristalle nicht an der Formwand, sondern innerhalb der Legierung an beliebigen Stellen ab und steigen in dem flüssigen Legierungsrest nach oben. Der Spiegel der Flüssigkeit sinkt in dem Maße, als die Volumverminderung durch Erstarrung der Kristalle eintritt. Schließlich erstarrt der flüssige Rest bei  $238\text{ C}^\circ$  an allen Stellen nahezu zu gleicher Zeit, so daß wiederum keine

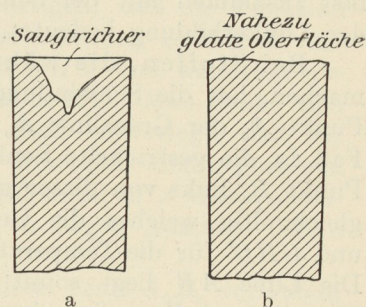


Abb. 455.

erstarrte Außenkruste entstehen kann. Der Guß ist lunkerfrei, wie Abb. 455 b zeigt.

Füllt man dagegen vor dem Guß den Hohlraum  $c$  mit einem Gemisch von Wasser und Eis, so wird die in die Gußform  $a$  (Abb. 454) eingegossene Legierung von den Formwandungen her stark gekühlt. Es bildet sich an den Formwänden sofort eine erstarrte Kruste, und es muß nun, ähnlich wie in Abb. 441, Lunkerbildung eintreten. Da aber hier die Wärmezuhziehung von der mit der Luft in Berührung stehenden Oberfläche der Legierung her viel langsamer ist, als von den Gußwandungen her, so rückt nach früherem der Lunker nach oben und bildet am Kopf des Blockchens einen Saugtrichter, wie in Abb. 455 a. Ähnliche Beobachtungen kann man auch an Legierungen von Blei, Antimon und Zinn anstellen (E. Heyn und O. Bauer, *L<sub>6</sub> 10*).

## C. Ermittlung der Schwindungslinien und des Schwindmaßes.

**376.** Wie aus dem obigen hervorgeht, bietet die Kenntnis des Verlaufs der Schwindungslinie  $t, \epsilon$  eines metallischen Stoffes wesentlichen Anhalt zur Beurteilung seines Verhaltens gegenüber dem Lunkern. Man hat deswegen mehrfach versucht, den Verlauf dieser Linien festzustellen. Besonders wichtig für die Frage des Lunkerns ist die möglichst fehlerfreie Feststellung des Teils der Kurve vor, während und unmittelbar nach der Erstarrung<sup>1)</sup>. Zum mindesten muß die Schwindlinie mit Sicherheit erkennen lassen, ob während der Erstarrung Volumvermehrung

<sup>1)</sup> Das Gesamtschwindmaß, also die Gesamtschwindung von Beginn der Erstarrung bis zu gewöhnlicher Temperatur ist kein Maßstab für die Lunkerung.

oder -verminderung eintritt. Eine Schaulinie, auf die in dieser Beziehung kein Verlaß ist, kann zu Trugschlüssen führen. Es ist deswegen erforderlich, die bisher verwendeten Vorrichtungen zur Aufnahme der Schwindungslinien nach dieser Richtung hin kritisch zu beleuchten.

Aufsicht auf den Unterkasten.

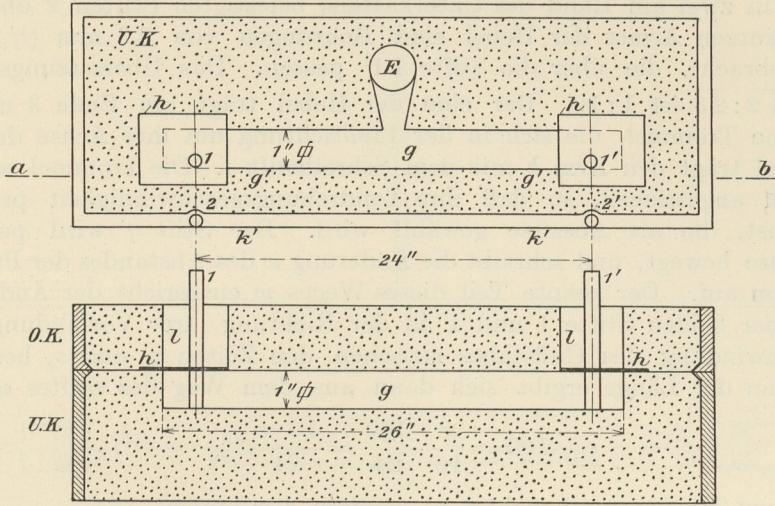


Abb. 456. Schnitt *ab*.

Ansicht auf den Oberkasten.

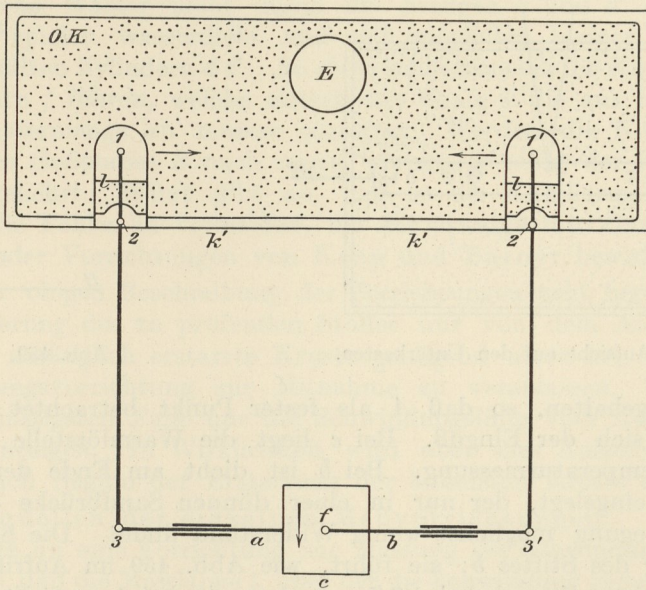


Abb. 457.

a) Die Vorrichtung von Keep ( $L_6 11$ ,  $L_4 105$ ) ist namentlich zur Ermittlung der Schwindungslinien von Gußeisen bestimmt (vgl. Abb. 456 und 457). Im Unterkasten *UK* befindet sich die Sandform *g* für einen Stab von 25,4 mm quadratischer Seitenkante bei 720 mm Länge. An den beiden Enden wird die Form abgedeckt durch zwei Stücke verzinnertes Eisenblech *h*, die je ein rundes

Loch von 6,3 mm ( $\frac{1}{4}$ " ) besitzen. Durch jedes dieser Löcher wird gut passend ein Stift 11' aus Eisen gesteckt, und zwar möglichst nahe der vorderen Fläche  $g'g'$  der Form, damit die Stifte bereits durch die erste dünne Erstarrungskruste bei ihrer Schwindung mitgenommen werden. Die Entfernung der Mitten der beiden Stifte beträgt 610 mm. Die Form wird dann durch einen Oberkasten  $OK$  zugedeckt, der Aussparungen  $ll$  besitzt. Zwei doppelarmige Hebel 123 und 1'2'3' haben ihren Drehpunkt in zwei am Rand des Unterkastens befestigten Stiften 2 und 2'. Am Ende des kurzen Armes der Hebel sind Bohrungen von 6,3 mm ( $\frac{1}{4}$ " ) Durchmesser angebracht, die über die Stifte 11' passen. Das Übersetzungsverhältnis der Hebel 12:23 ist 1:10. Der eine der Hebel trägt am Ende 3 mittels des Armes  $a$  eine Trommel, die sich in der Pfeilrichtung um ihre Achse dreht. Der andere Hebel trägt den Arm  $b$  mit dem Schreibstift  $f$ . Die Trommel wird durch ein Uhrwerk angetrieben, so daß ihre Umdrehungsgeschwindigkeit proportional der Zeit  $z$  ist, die als Abszisse gewählt wird. Der Stift  $f$  wird parallel zur Trommelachse bewegt, und schreibt die Änderung  $w$  des Abstandes der Punkte 3 3' als Ordinaten auf. Der zehnte Teil dieses Weges  $w$  entspricht der Änderung des Abstandes der beiden Stifte 1 und 1' in der Richtung ihrer Verbindungslinie.

Die Schwindung des Gußstabes zwischen den Zeiten  $z_1$  und  $z_2$  bezogen auf 100 Einheiten der Länge ergibt sich dann aus dem Weg des Stiftes  $w$  (in Zoll)

$$\varepsilon_{1.2} \cdot 100 = \frac{w}{10} \cdot \frac{100}{24} = \frac{10 \cdot w}{24} \text{ ‰}.$$

Die erhaltenen Kurven sind nicht  $t, \varepsilon$ -, sondern  $z, w$ -Linien.

b) Turners Vorrichtung (Thomas Turner,  $L_6 12$ ; Murray,  $L_4 50$ ). Eingeformt wird ein T-förmiger Stab wie in Abb. 458. Ein Stahlbolzen  $A$  ist im

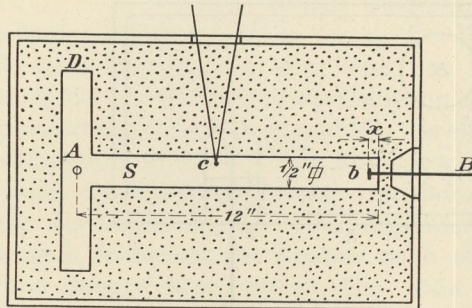


Abb. 458. Aufsicht auf den Unterkasten.

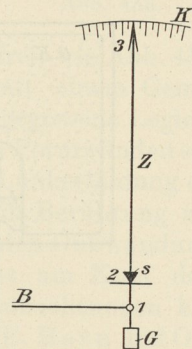


Abb. 459. Aufriß.

Formkasten festgehalten, so daß  $A$  als fester Punkt betrachtet werden kann. Bei  $D$  befindet sich der Einguß. Bei  $c$  liegt die Warmlötstelle eines Thermoelementes zur Temperaturmessung. Bei  $b$  ist dicht am Ende der Stabform ein verzinnter Stift eingelegt, der nur in einer dünnen Sandbrücke gehalten wird, damit seine Bewegung möglichst wenig Widerstand findet. Die Stange  $B$  bildet die Verlängerung des Stiftes  $b$ ; sie führt, wie Abb. 459 im Aufriß erläutert, zu einem doppelarmigen Zeigerhebel 123, an dem sie bei 1 angreift, und der bei 2 auf einer Schneide  $s$  gelagert ist. Die Übersetzung 12:23 ist 1:40. Das Ende 3 des Zeigers gleitet über der Skala  $K$ . Ein kleines Gegengewicht  $G$  bringt den Zeiger in die Nulllage, wenn bei 1 keine Kraft angreift.

Der Stift  $b$  muß sehr nahe an der Endfläche der Stabform liegen, die Strecke  $x$  muß also sehr klein sein, weil sonst die Meßlänge von 12'' abweicht und unsicher wird.

c) Wüsts Vorrichtung (Wüst, *L<sub>6</sub> 13*). Das Schema der Anordnung ist in Abb. 460 enthalten. In die Gußform *S* des Stabes werden Eisenstäbe *a* und *a'*, die an ihren Enden korkzieherartig aufgewickelt sind, eingelegt, so daß die Enden *C* und *D* um 500 mm voneinander abstehen. Die ganze Länge des Stabes *AB* beträgt 550 mm. Die korkzieherartigen Enden *C* und *D* sollen möglichst baldiges Festhaften der erstarrten Kruste und infolgedessen Mitnahme der Anzeige-

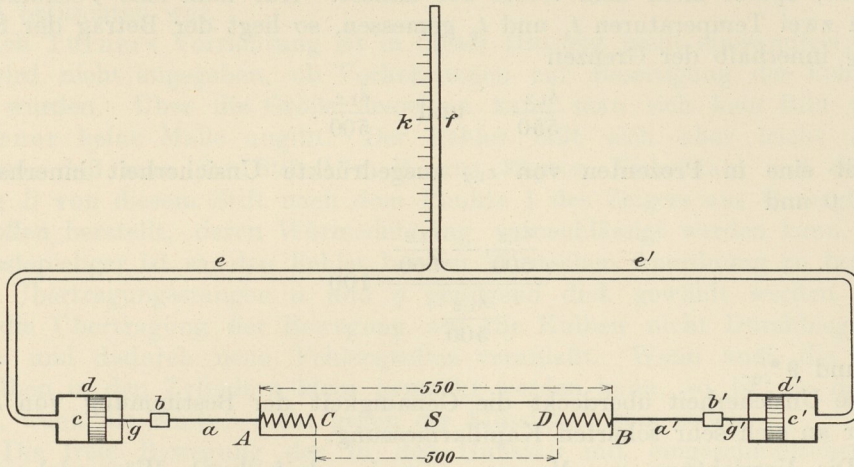


Abb. 460.

mechanismen bewirken. Bei *b* und *b'* verbinden Hartgummimuffen die Eisenstangen *a* und *a'* mit den Stangen *g* und *g'*, damit die Kolben *c* und das hinter diesen befindliche Wasser nicht durch die Stangen *a* und *a'* erwärmt werden. Die Kolben *c* spielen wasserdicht und mit möglichst kleiner Reibung in den mit Wasser gefüllten Zylindern *d d'*. An diese schließen sich die Kapillarrohre *e e'* an, die zur Kapillare *f* führen, welche mittels der Skala *k* die aus den Zylindern *d d'* verdrängte Wassermenge zu messen gestattet. Werden die Kolben infolge der Schwindung des Gußstabes *S* nach innen bewegt, so sinkt der Flüssigkeitsspiegel in *f*, und umgekehrt. Wüst gibt an, daß er die Kapillarmessvorrichtung anwendete, um die Fehler zu vermeiden, die der etwaige tote Gang in den Hebelübertragungen der Vorrichtungen von Keep und Turner bewirken soll.

d) Aus der obigen Beschreibung der Vorrichtungen geht hervor, daß sie alle die Längenänderung des zu prüfenden Stoffes nur von dem Augenblick ab anzeigen, wo die anfänglich erstarrte Kruste genügend stark ist, um die eingegossene Übertragungsvorrichtung zur Mitnahme zu veranlassen. Sie können also sämtlich im günstigsten Falle nur die Schwindungslinie vom Augenblick der Erstarrung ab anzeigen. In Wirklichkeit wird aber ihre Aufzeichnung erst eine gewisse Zeit nach Beginn der Erstarrung der äußersten Kruste einsetzen.

e) Fehlerquellen der einzelnen Meßvorrichtungen.

α) Die erste an eine Vorrichtung zur Messung der Schwindung  $\varepsilon$  zu stellende Anforderung ist, daß die Messlänge *l*, über der die Schwindung gemessen werden soll, möglichst eindeutig festgelegt ist. (Die Schwindung ergibt sich ja aus der Beziehung  $\varepsilon = \frac{\lambda}{l}$ , wobei  $\lambda$  die Verkürzung ist, die ein Stab von der Länge *l* erfährt).

Dieser Anforderung entspricht die Vorrichtung von Keep am besten; wenigstens kann man bei genügender Geschicklichkeit in ihrer Handhabung die Meßlänge *l* genügend sicher festlegen. Weniger sicher ist dies bereits bei der Vorrichtung von Turner, weil hier der Abstand *x* (Abb. 458) des Kopfes des Stiftes *b* vom

Ende der Gußform eine kleine Unsicherheit bezüglich der Meßlänge gibt. Man kann sie dadurch vermindern, daß man  $x$  möglichst klein wählt.

Die Wüstsche Anordnung wird der obigen Anforderung gar nicht gerecht. Man kann weder den Abstand  $CD = 500$  mm, noch die Strecke  $AB = 550$  mm als Meßlänge betrachten (Abb. 460). Die Meßlänge  $l$  entspricht irgendeinem Zwischenwert zwischen beiden, der zu Beginn der Abkühlung sich mehr dem Werte 550, später mehr dem Werte 500 nähert. Hat man eine Verkürzung  $\lambda_{1,2}$  zwischen zwei Temperaturen  $t_1$  und  $t_2$  gemessen, so liegt der Betrag der Schwindung  $\epsilon_{1,2}$  innerhalb der Grenzen

$$\frac{\lambda_{1,2}}{550} \quad \text{und} \quad \frac{\lambda_{1,2}}{500}.$$

Dies gibt eine in Prozenten von  $\epsilon_{1,2}$  ausgedrückte Unsicherheit innerhalb der Grenzen 0 und

$$\frac{\frac{\lambda_{1,2}}{500} - \frac{\lambda_{1,2}}{550}}{\frac{\lambda_{1,2}}{500}} \cdot 100$$

oder 0 und 9%.

Diese Unsicherheit überdeckt die Genauigkeit der Bestimmung von  $\lambda_{1,2}$  mit Hilfe der an sich sehr scharfen Kapillarmessung.

$\beta$ ) Die Vorrichtung zur Messung von  $\lambda_{1,2}$  darf durch Wärmedehnung der Zwischenverbindungen nicht oder nur möglichst wenig beeinflusst werden. In dieser Hinsicht ist die Keepsche Vorrichtung am vollkommensten. Es soll angenommen werden, daß der Hebel 12 (Abb. 457) durch Wärmestrahlung und Leitung auf durchschnittlich  $t$  C° erhitzt würde, während der Hebel 23 keine Erwärmung erfährt. Dies ist der ungünstigste Fall. Das Übersetzungsverhältnis der Hebel wird durch die ungleiche Erwärmung von ursprünglich 1:10 auf  $(1 + \alpha t) : 10$  geändert, wenn  $\alpha$  die mittlere Wärmedehnungszahl des Metalls der Hebel ist. Setzt man z. B.  $t = 300$  C° und  $\alpha$  für Eisen 0,000011, so ergibt sich das Übersetzungsverhältnis 1,0033:10. Dadurch erscheint der Weg  $w$  des Stiftes auf der Trommel kleiner, woraus man auf eine kleinere Schwindung schließt. Der Fehler, der entsteht, ergibt sich aus der Beziehung

$$\frac{w}{10} : \left( \frac{w \cdot 1,0033}{10} - \frac{w}{10} \right) = 100 : \Delta$$

$$\Delta = 0,33 \%$$

Der Fehler beträgt also in dem angenommenen ungünstigen Falle nur 0,33% des gefundenen Wertes  $\epsilon$  der Schwindung. Man würde z. B. bei Gußeisen statt 1% Schwindung eine solche von 0,997% erhalten. Dieser geringe Fehler spielt keine Rolle.

Die Vorrichtung von Wüst ist mit Hinsicht auf die Anforderung  $\beta$  am unvollkommensten. Nimmt man beispielsweise eine durchschnittliche Erwärmung der Stangen  $a$  und  $a'$  (Abb. 460) um 300 C° an, wie sie bei der Prüfung hochschmelzender Metalle (Kupfer) leicht denkbar ist, und setzt man die Länge der Stangen  $a$  und  $a'$  zusammen gleich 300 mm (abgegriffen aus den Skizzen in der Quelle), so würde die Dehnung dieser Stangen dem Auseinanderrücken der Kolben  $cc'$  um den Betrag  $300 \cdot 300 \cdot 0,000011 = 0,99$  mm entsprechen. Dieser Weg der Kolben, der mit der Längenveränderung des Probestabes nichts zu tun hat, würde fehlerhafterweise als Dehnung des Stabes  $S$  in die Erscheinung treten, und zwar um einen Betrag von  $\frac{0,99 \cdot 100}{500} = 0,2$  mm auf 100 mm Länge. Das ist ein

Betrag, der die Ergebnisse gänzlich unbrauchbar machen müßte. So beträgt z. B. die von Wüst für Kupfer gefundene angebliche Ausdehnung des Metalls bei der Erstarrung 0,05 mm auf 100 mm. Der Fehler der Beobachtung kann sonach größer als der Wert der zu messenden Größe werden. Daß kräftige Erwärmung der Stangen  $a$  und  $a'$  stattfindet, geht aus den Angaben Wüsts hervor, wonach zwischen den Stangen  $a$  und  $g$  die Hartgummimuffe  $b$  eingeschaltet werden mußte, weil Erwärmung der Kolben  $c$  und damit des Wassers in  $d$  zu befürchten war.

Auch Turners Vorrichtung ist in dieser Hinsicht nicht einwandfrei; wenigstens wird nicht angegeben, ob Vorkehrungen zur Beseitigung des Fehlers getroffen wurden. Über die Größe desselben kann man sich kein Bild machen, da Turner keine Maße angibt. Der Fehler läßt sich aber leicht dadurch beseitigen, daß man den Stift  $b$  z. B. aus 36 proz. Nickelstahl und die Übertragung  $B$  von diesem Stift nach dem Punkte 1 des Zeigers aus Quarzglas, also aus Stoffen herstellt, deren Wärmedehnung vernachlässigt werden kann.

Kostspieliger ist es, den Fehler bei der Wüstschen Anordnung zu beseitigen, da die Übertragungsstangen  $a$  und  $g$  genügend dick gewählt werden müssen, damit die Übertragung der Bewegung auf die Kolben nicht Durchbiegung der Stangen und dadurch neue Fehlerquellen veranlaßt. Wenn auch die Reibung der Kolben in den Zylindern klein gemacht werden kann, so ist sie doch vorhanden, wenn die Kolben dicht gegen die Flüssigkeit sein sollen.

γ) Die freie Bewegung der in den Gußstab mit eingeschmolzenen Stifte (11' bei Keep,  $b$  bei Turner und  $aa'$  bei Wüst) darf durch Widerstand nur möglichst wenig gehindert werden. Hier entsteht die Frage, inwieweit bei der Keepschen Vorrichtung die beiden Weißblecheinlagen  $h$ , in denen die Stifte 1 und 1' stecken, durch den Sand an der Bewegung gehindert werden, und wie groß die dadurch entstehenden Fehlerquellen werden können.

Ferner können Fehler dadurch bedingt werden, daß der Gußstab bei seiner Ausdehnung in der Längsrichtung Widerstand durch das Formmaterial findet und dadurch plastisch gestaucht oder durchgebogen werden kann. Die Widerstände genannter Art sind in den beiden Vorrichtungen von Keep und Wüst wohl am größten. Bei der Vorrichtung von Turner stellt sich der freien Ausdehnung des Stabes nur die dünne Sandbrücke bei  $b$  entgegen, deren Widerstand kaum wesentliche Fehler erwarten läßt.

377. Zur Erläuterung des Verlaufs der Schwindung metallischer Stoffe von der Temperatur des Beginns der Erstarrung abwärts möchte ich in Abb. 461 nur einige wenige Beispiele anführen, die von Turner ( $L_6 12$ ) stammen und sich auf die Schwindung von Roheisen beziehen. Da diese Eisenarten nur wenig voneinander verschiedene Erstarrungstemperaturen haben, so werden etwaige Fehler wegen der Wärmedehnung der Übertragungsvorrichtungen vom Gußstab zum Zeiger (376 e,  $\beta$ ) in allen Fällen nahezu gleich sein, so daß die erhaltenen Schwindungslinien untereinander vergleichbar bleiben. Angegeben sind die  $z, \varepsilon$ -Linien, mit den Zeiten in Sekunden als Abszissen und der beobachteten Schwindung bzw. Ausdehnung  $\varepsilon \cdot 100$  in Prozenten als Ordinaten. Linie 0 entspricht einer Schwindungslinie von Kupfer, 1 bis 4 den Schwindungslinien von Roheisensorten, deren chemische Zusammensetzung der Abbildung beigeschrieben ist.

Das Kupfer und das ganz reine weiße Roheisen erstarren ohne Ausdehnung; die grauen Eisensorten 2 bis 4 dagegen vermehren bei der Erstarrung ihr Volumen, und zwar am schwächsten Eisen 2 und am stärksten Eisen 4. Übrigens zeigt auch das gewöhnliche weiße Roheisen abweichend von dem sehr reinen weißen Eisen 1 bei der Erstarrung Ausdehnung, wenn sie auch geringer ist, als die der grauen Eisensorten (vgl. Hague und Turner,  $L_6 14$ ; Coe,  $L_6 15$ ).

Die Eisensorten zeigten bei den einzelnen Schwindungslinien beigeschriebenen Temperaturen Wärmetönungen, die teilweise der Erstarrung, teilweise Umwandlungen entsprechen.

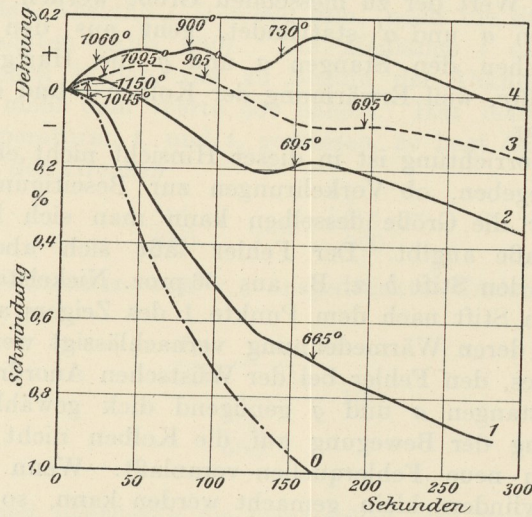


Abb. 461. Schwindungslinien (nach Thomas Turner).

0: Kupfer.

1: Sehr reines weißes Roheisen:

2: Graues Hämatit-Roheisen:

3: Grauguß (aus einem Gußstück):

4: Graues Roheisen:

	Gesamtkohlenstoff	Graphit	Si	Mn	P	S
0: Kupfer.	—	—	—	—	—	—
1: Sehr reines weißes Roheisen:	2,73	0	0,01	Spur	0,01	Spur
2: Graues Hämatit-Roheisen:	3,39	2,53	3,47	0,55	0,04	0,03
3: Grauguß (aus einem Gußstück):	3,42	2,73	1,41	0,43	0,96	0,07
4: Graues Roheisen:	2,75	2,60	3,98	0,50	1,25	0,03

Gußstäbe  $12,7 \times 12,7 \text{ mm} \times 305 \text{ mm}$ . Sandguß. Die den Schaulinien beigeschriebenen Temperaturen geben die ungefähre Lage der Haltepunkte in der Abkühlungskurve  $z, t$  an.

**378.** Bei der Überlegung in Abs. 374 und in der Abb. 451b war eine ideale Schwindungslinie  $ABCD$  zugrunde gelegt. Sie gibt diejenige Längenänderung an, die 100 Längeneinheiten bei der Änderung der Temperatur erfahren, vorausgesetzt, daß gegenseitige Behinderung der einzelnen Schichten des erstarrenden Stoffes in ihrer Längenänderung nicht eintritt. Diese Voraussetzung wird aber praktisch schwer oder gar nicht zu erfüllen sein. Jedenfalls geben die in Abs. 376 beschriebenen Vorrichtungen keine solchen idealen Schwindungslinien. Bei der Erstarrung und Abkühlung werden sich die einzelnen nacheinander erstarrenden und abkühlenden Teile des Gusses gegenseitig stets in ihrer Schwindung beeinflussen, und zwar unter bleibender Formänderung, solange die Temperatur noch im Bereich der vorwiegend plastischen Formänderungen liegt (331 bis 338), unter Entstehung elastischer Formänderungen und damit auch von Spannungen, wenn die Temperatur unterhalb dieses Bereiches gesunken ist. Selbst im günstigsten Falle, wenn alle in Abs. 376 angegebenen Fehlerquellen bei der Messung ausgeschaltet werden könnten, würden die erhaltenen Schwindungslinien immer nur die Resultierende aus einer Reihe nacheinanderfolgender Längenänderungen innerhalb des Gusses angeben. Sie wird je nach Gießhitze, Masse und Form des Stabes, Beschaffenheit des Formmaterials usw. verschieden ausfallen. Dies gilt nicht etwa nur für solche Stoffe, die wie das Gußeisen (graues Roheisen) je nach Schnelligkeit der Abkühlung verschiedene chemische Zusammensetzung erhalten (je nachdem scheidet sich mehr oder weniger Graphit aus), sondern auch von allen übrigen Stoffen, die solche Änderung der chemischen Zusammensetzung nicht erleiden.

Man muß deswegen bei Schlußfolgerungen, die man aus dem Verlaufe der Schwindungslinien auf etwaige Umwandlungen oder sonstige Vorgänge innerhalb des erkaltenden Stoffes zieht, sehr vorsichtig sein und sich immer vergewissern, inwieweit sie durch die soeben besprochenen Umstände beeinflußt werden können.

In Abb. 461 sind von Turner diejenigen Temperaturen, bei denen sich aus dem Verlauf des Temperaturabfalls des Thermoelementes bei  $c$  (Abb. 458) Wärmetönungen ergeben, den Schwindungslinien beigeschrieben. Auch hier ist Vorsicht in der Schlußfolgerung geboten. Die Temperaturangaben des Thermoelementes bei  $c$  und die Zeit, zu welcher sie beobachtet wurden, brauchen nicht notwendigerweise mit dem Verlauf der Schwindungslinie übereinzustimmen. Je nachdem ob die Warmlötstelle des Thermoelementes  $c$  mehr nach der Mittellinie des Stabes zu oder weiter von dieser weg nach der Formwandung hin liegt, wird der betreffende, mit der Wärmetönung verbundene Vorgang zu einer späteren oder früheren Zeit beobachtet. Die Schwindungslinie gibt aber nicht notwendigerweise die zu derselben Zeit gehörige Längenänderung an.

**379.** Für den Gießer ist die Kenntnis des Gesamtschwindmaßes des zu vergießenden Stoffes von Bedeutung. Es ist dies die Längenänderung  $\epsilon$ , die 100 Längeneinheiten bei der Abkühlung von dem Beginn der Erstarrung  $t_0$  bis zu gewöhnlicher Temperatur erfahren. Der Gießer muß die Längenabmessungen des Modelles um dieses Gesamtschwindmaß größer machen, um im fertigen Guß die geforderten Abmessungen zu erhalten. Er gibt dem Modell eine „Zugabe“ für die Schwindung.

Zur Ermittlung dieses Gesamtschwindmaßes sind nun so verwickelte Einrichtungen, wie sie in Abs. 376 beschrieben wurden, nicht erforderlich. Man kommt einfacher auf folgende Weise zum Ziel.

a) Man befestigt in der Form zwei Stifte in bekanntem Abstand und gießt sie in den zu gießenden Stab ein. Die Befestigung der Stifte muß so sein, daß sie die Schwindung des Gußstückes nicht verhindern. Nach der Erkaltung des gegossenen Stabes wird dann der Abstand der Stifte zurückgemessen.

b) Man gießt nach Keep den in Abb. 462 punktiert gezeichneten Stab gegen die beiden Flächen  $A$  und  $B$  eines metallenen Joches; im übrigen wird die Gußform in Sand hergestellt. Die beiden Jochflächen  $A$  und  $B$  sollen möglichst glatte Endflächen des Gußstabes bewirken. Nach dem Erkalten wird der Stab in die in Abb. 462 punktierte Lage in das Joch zurückgebracht, so daß er z. B. dicht an  $A$  anliegt. Man mißt nun den Abstand der anderen Endfläche des Stabes von der Fläche  $B$  mittels eines Keilmaßstabes.

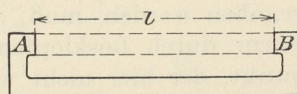


Abb. 462.

c) Man gießt den Stab ähnlich, wie unter b, in Sand, aber mit den Endflächen gegen Metallflächen, deren Abstand vorher genau festgelegt ist. Die Länge des erkalteten Stabes wird sodann mit einer Lehre gemessen, die ähnlich aussieht wie das Joch in Abb. 462, aber an der einen Seite eine Mikrometerschraube zur Messung der Stablänge besitzt. (Vgl. Treuheit,  $L_6$  16.)

Das Gesamtschwindmaß ist nun nicht nur von der Art des vergossenen Stoffes abhängig, sondern auch von der Masse des Gusses. Dies ergibt sich aus der Betrachtung in Abs. 374. Bei Beginn der Erstarrung des Metalls längs der Formwandung wird die Temperatur im Innern des Gusses um so höher über der Erstarrungstemperatur liegen, je größer die Masse des Gusses ist und je schneller die Formwände dem Metall die Wärme entziehen. Damit wächst das Maß der Lunkerung. Je größer aber der Lunkerhohlraum in der Mitte des Gusses, um so geringer erscheint das Schwindmaß, das doch nur der Längenänderung des Gusses in seiner äußeren Kruste entspricht. Bei langgestreckten Gußstücken, wie z. B.



dem Stab in Abb. 463, wird bei Vorhandensein des gezeichneten Lunkers (oder einer porösen Stelle) die Schwindung in der Richtung  $qq$  durch den Lunker stark vermindert, während sie auf die Schwindung in der Längsrichtung wenig oder gar keinen Einfluß ausübt.

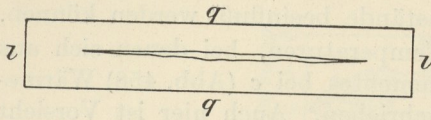


Abb. 463.

Aus diesem Grunde gibt man bei schweren Gußstücken oft nur Zugabe für die Schwindung in der Längsrichtung, nicht aber für die in der Querrichtung.

Unter Umständen kann der Guß sogar größere Abmessungen annehmen, als das Modell. Ein solcher Fall tritt ein, wenn ein dickwandiger Zylinder (z. B. ein Pumpenkörper) über einen Kern gegossen wird, der verhältnismäßig widerstandsfähig ist. Durch Erwärmung dehnt sich der Kern und übt auf das schwindende Metall einen Druck nach außen aus. Die erstarrende Masse steht somit unter Zugbeanspruchung und es kann der Fall Abs. 368 b eintreten (Thomas D. West, *L<sub>6</sub> 17*). Ähnliches ist möglich bei Gußstücken, die an der freien Schwindung durch Rippen verhindert sind, die in die Formmasse hineinragen. Auch hier wird die Schwindung kleiner ausfallen.

Können sich verschiedene Teile des Gusses in ihrer Schwindung gegenseitig behindern, so werden sie innerhalb der Zone vorwiegend plastischer Formänderungen ihre Längenabmessungen bleibend ändern, wobei der eine Teil bleibend verkürzt, der andere bleibend verlängert wird. Die Folge davon ist dann, daß die Schwindung des gestreckten Teiles kleiner, die des verkürzten größer ausfällt. S. Abs. 368.

Wenn der Zufluß des flüssigen Stoffes nach dem Eingießen in die Gußform abgeschnitten wird, ehe die Erstarrung oberflächlich begonnen hat, so kommt für die Schwindung nicht nur der Betrag der Längenänderung zwischen Erstarrungsbeginn und gewöhnlicher Temperatur in Betracht, sondern auch die Schwindung des flüssigen Materials. Dadurch kann das Gesamtschwindmaß größer erscheinen.

Daß auch das Formmaterial unter Umständen dem Schwinden Widerstand entgegensetzt, und das Gesamtschwindmaß auch hierdurch beeinflusst werden kann, ist einleuchtend.

Die Zugabe, die zu den Abmessungen des Modells wegen der Schwindung gegeben werden muß, richtet sich auch nach dem Grade der Erweiterung der Form durch Losklopfen des Modells. Das ist ein rein technologischer Gesichtspunkt, der hier nicht weiter erörtert werden soll.

Bei Grauguß (grauem Roheisen) wird die Schwindung noch wesentlich beeinflusst durch die Menge des ausgeschiedenen Graphits. Im allgemeinen wird das Gesamtschwindmaß unter sonst gleichen Umständen um so geringer, je größer die Menge des Graphits in dem erstarrten Guß ist. Dies zeigt Abb. 464. Als Abszissen sind die Graphitgehalte, als Ordinaten die entsprechenden Schwindmaße in Prozenten eingezeichnet (Neufang, *L<sub>6</sub> 18*). Die 15 verschiedenen Gußeisensorten entsprechenden Punkte liegen innerhalb des schraffierten Flächenstreifens, der mit abnehmendem Graphitgehalt ansteigt. Da die Zusammensetzung der verschiedenen untersuchten Gußeisensorten innerhalb weiter Grenzen schwankt, wie die der Abbildung beige-schriebenen Analysenzahlen angeben, und da das Schwindmaß außer vom Graphitgehalt auch noch durch die Gegenwart der anderen Stoffe im Eisen beeinflusst wird, so ist es nicht zu verwundern, daß die Punkte der Abbildung nicht alle auf einer Kurve, sondern innerhalb eines verhältnismäßig breiten Flächenstreifens liegen.

Alle Umstände, die bei der Erkaltung des Gusses auf Vermehrung der Graphitbildung hinwirken, werden nach obigem das Gesamtschwindmaß mittelbar ver-

Tabelle XXXV.  
Gesamtschwindmaß verschiedener Stoffe.

Metallischer Stoff	Lineares Schwindmaß $\epsilon$ in %	Quelle
Grauguß: bei leichten Güssen . . . . .	1,0—1,1	} Treuheit ( $L_6 16$ )
bei schweren Güssen . . . . .	0,7—0,8	
bei großen Zylinder- und Kastengüssen . . . . .	0,8 längs 0,4 quer	
Stahlformguß . . . . .	0,8—2,0	}
„ für große Walzen . . . . .	1,2—1,4	
Schmiedbarer Guß . . . . .	1,5	} Wüst ( $L_6 13$ ) <sup>2)</sup> Ledebur( $L_1 25$ ) <sup>3)</sup>
Blei: (mit 1,27% Zinn) . . . . .	[0,8] <sup>1)</sup> 1,1	
Zink: (2,67% Eisen) . . . . .	1,4	} W. L.
— . . . . .	0,7	
Zinn: (Bankazinn) . . . . .	0,44	} W.
Aluminium: (99,16% Al, 0,33% Fe) . . . . .	1,8 1,8	
Kupfer: (99,16% Cu, 0,35% Fe. Elektolytkupfer) . . . . .	1,4 1,25	} W. L.
— . . . . .	0,29	
Wismut: (99,8% Bi, 0,12% Pb) . . . . .	0,29	} W.
Antimon: (97,9% Sb, 0,34% Sn, 1,3% Fe, 0,56% Cu) . . . . .	(0,29—0,66) schwankend	
Blei-Zinn-Legierungen: Sn: 18% . . . . .	0,56	} W.
70% . . . . .	0,44	
81% . . . . .	0,50	
Blei-Antimon-Legierungen: Sb: 19% . . . . .	0,54	} W.
15% . . . . .	0,56	
Zinn-Zink-Legierungen: Zn: 49% . . . . .	0,50	} W.
14,5% . . . . .	0,46	
5% . . . . .	0,49	
Kupfer-Zink-Legierungen: Zn: 16% . . . . .	2,17	} W. L. W.
33% . . . . .	1,97	
33% . . . . .	1,62	
36% . . . . .	1,97	
Kupfer-Zinn-Legierungen: Sn: 5% . . . . .	1,7	} W. L. L. u. W.
10% . . . . .	1,4	
10% . . . . .	0,8	
19% . . . . .	1,5	
Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen: Ni: 16% Zn: 22% . . . . .	2,02	} W.
20%     23% . . . . .	2,05	
26%     22% . . . . .	2,03	
36%     18% . . . . .	1,93	
Kupfer-Zinn-Zink-Blei-Leg.: Sn: 3% Zn: 8% Pb: 2% . . . . .	1,76	} W. L.
17,5%     1,5%     — . . . . .	1,50	
9,5%     1,5%     — . . . . .	1,47	
9,8%     2%     1,4% . . . . .	1,47	
6%     12%     — . . . . .	1,30	
—     —     — . . . . .	1,30	
Zinn-Zinn-Kupfer-Leg.: Sn: 14,5% Cu: 4,3% Pb: 1,7% . . . . .	1,02	} W.
46%     2%     1% . . . . .	0,73	
Weißmetalle: Sn: — Pb: 79% Sb: 12,5% Cu: 8,5% . . . . .	0,55	} W.
20%     59%     21%     — . . . . .	0,49	
85,5%     —     9,5%     5% . . . . .	0,51	
90%     —     8%     2% . . . . .	0,55	
71%     9%     15%     5% . . . . .	0,42	
Aluminiumbronze . . . . .	1,65	L.

1) Unsicher, Stab gelunkert. 2) Abgekürzt: W. 3) Abgekürzt: L.

kleinern. Wie wir später (II B) sehen werden, sind dies namentlich langsame Abkühlung innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs und höherer Siliziumgehalt. Die Abkühlung ist nun bei größeren Massen auch bei gleichem Form- und Gußmaterial langsamer als bei kleinen; infolgedessen wird auch das Schwindmaß bei größeren Güssen kleiner ausfallen als bei kleineren.

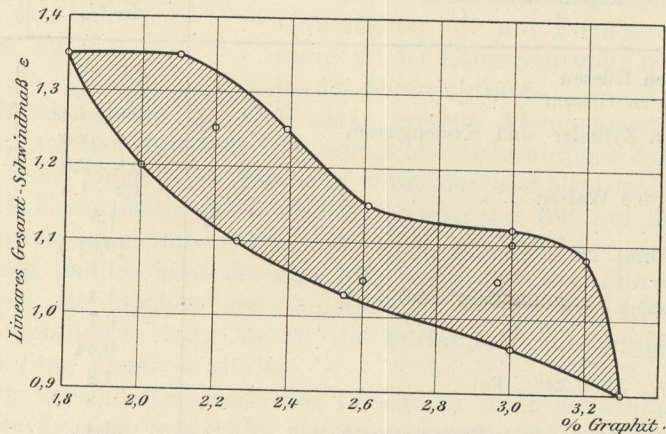


Abb. 464. Einfluß des Graphitgehaltes auf das Gesamt-Schwindmaß von Gußeisen.

Gußeisen: Stabdurchmesser 20—80 mm.  
 Gesamtkohlenstoff 2,9—3,6 Proz.  
 Silizium . . . . . 1,0—2,3 „  
 Mangan . . . . . 0,5—0,9 „  
 Phosphor . . . . . 0,1—0,8 „  
 Schwefel . . . . . 0,08—0,10 „

**380.** Die Angaben über Gesamtschwindmaß und Zugabe für Schwindung gehen zum größeren Teil weit auseinander. In der Tabelle XXXV auf Seite 459 ist eine Übersicht über die in der Literatur enthaltenen Zahlen gegeben. Es sind hierbei vorwiegend die Wüstschen Zahlen benutzt, die mit der in Abs. 376 c beschriebenen Vorrichtung ermittelt sind. Wenn auch die Erwärmung der Übertragungsstangen bei der Aufzeichnung der Schwindkurve wesentliche Fehler bewirken kann, so fallen diese Fehler bei der Messung der Gesamtschwindung wieder heraus, da sich hierbei die Übertragungsstangen wieder abkühlen, und so ihre anfängliche Verlängerung wieder rückgängig gemacht wird. Dagegen bleibt die in Abs. 376 e c erwähnte Unsicherheit wegen der Unbestimmtheit der Meßlänge bestehen.