

# DIE BAUTECHNIK

18. Jahrgang

BERLIN, 15. November 1940

Heft 49

Alle Rechte vorbehalten.

## Grundsätze für die Prüfung der Zersetzung (Korrosion) von Metallen.

Von Dr. Gerhard Schikorr, Staatliches Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem.

(Vortrag auf der Tagung des Deutschen Verbandes für Materialprüfungen in der Technik in München am 13. Juni 1940.)

### A. Einleitung.

Die Zersetzung (Korrosion)<sup>\*)</sup> oder Verrottung der Metalle ist wesentlich dadurch gekennzeichnet, daß sie auf chemischen oder elektrochemischen Vorgängen beruht. Diese Vorgänge haben zwei gegensätzliche Eigenarten. Sie sind, wenn man sie auf die Molekularevorgänge zurückführt, sehr verwickelt und können in dieser Beziehung nur von einem ausgeprägten Fachmann beurteilt werden. Andererseits aber sind sie in ihren großen Abhängigkeiten so einfach, daß sie jeder Techniker ohne besondere Schwierigkeiten verstehen kann.

Merkwürdigerweise sind nun diese großen Abhängigkeiten bei der Verrottung der Metalle in vielen Kreisen, die darunter leiden, viel weniger bekannt, als erforderlich ist. Im besonderen Maße trifft das für die Prüfung der Zersetzungserscheinungen zu, die vielfach in einer Weise ausgeführt wird, die den einfachsten Erkenntnissen auf diesem Gebiete widerspricht. Die Ergebnisse dieser Prüfung stimmen denn auch häufig genug gar nicht mit der Bewährung in der Praxis überein. Der vielfach zu hörende Vorwurf, daß die Zersetzungsprüfung keine praktisch verwertbaren Ergebnisse habe, ist dementsprechend meistens unberechtigt und auf eine fehlerhafte Prüfung zurückzuführen.

Im folgenden sollen in großen Zügen die Grundsätze, die bei der Prüfung der Zersetzung der Metalle zu beachten sind, behandelt werden. Wegen vieler Einzelheiten sei auf die Normblätter DIN 4850 und 4851 verwiesen<sup>1)</sup>.

Dabei werde ich im ersten Teil über die Grundsätze der allgemeinen Werkstoffprüfung berichten, die für die Prüfung der Zerstörungserscheinungen Geltung haben. Auf die besonderen Grundsätze dieser Prüfung werde ich im zweiten Teil eingehen; in diesem werde ich auch kurz die wissenschaftlichen Grundlagen schildern, soweit sie erforderlich sind. Die Ausführungen beschränken sich auf die Verrottung der Metalle, und zwar einmal, weil keine Einigkeit darüber besteht, wieweit die Zerstörungserscheinungen an nichtmetallischen Werkstoffen als Verrottung zu bezeichnen sind, dann aber auch, weil in den Fällen, in denen bei den anderen Werkstoffen zweifellos Verrottung vorliegt, die wissenschaftlichen Grundlagen zur Zeit so wenig zusammenhängend geklärt sind, daß sie sich schlecht gemeinsam darstellen lassen. Grundsätzlich gilt aber auch für die Prüfung von Nichtmetallen Ähnliches wie für die von Metallen.

### B. Für die Zersetzungsprüfung wichtige Grundsätze der allgemeinen Werkstoffprüfung.

#### 1. Untersuchungen im Prüfraum.

Im Prüfraum ist sowohl der Werkstoff als auch die Beanspruchung weitgehend bekannt, meßbar und willkürlich veränderlich. Die Untersuchungen haben vor den später beschriebenen Prüfungen folgende Vorteile:

1. sie liefern auf einfache Weise Zahlenwerte;
2. die Zahlenwerte sind verhältnismäßig gut wiederholbar;
3. die Versuche führen verhältnismäßig rasch zu Ergebnissen.

Demgegenüber steht mitunter der Nachteil mangelnder Übereinstimmung von Prüfkörper und Beanspruchung mit der Praxis. Das hat zur Folge, daß die Untersuchungen im Prüfraum in diesen Fällen nur erste Anhaltspunkte für die Eignung in der Praxis ergeben.

<sup>\*)</sup> Um dem Bestreben nach möglichst fremdartfreier Sprache nachzukommen, ist im folgenden statt „Korrosion“ „Zersetzung“ gesagt. Die Frage der Verdeutschung des Wortes „Korrosion“ soll noch näher beim VDM erörtert werden.

<sup>1)</sup> Über weitere Einzelheiten und grundsätzliche Betrachtungen siehe z. B. P. Brenner, Forschungs- und Prüfungsmethoden der Korrosion in O. Bauer, O. Kröhnke, G. Masling, Die Korrosion metallischer Werkstoffe, 2. Bd. Leipzig 1938; — A. Fry, Korrosionsprüfung, in E. Siebel, Die Prüfung metallischer Werkstoffe. Berlin 1939, J. Springer. — U. R. Evans, Metallic Corrosion, Passivity and Protection, London 1937, Edward Arnold. Ins Deutsche übersetzt von E. Pietsch, Berlin 1939, J. Springer; — G. Schikorr, Die Bestimmung der Korrosionsbeständigkeit der Metalle. Berlin 1938, NEM-Verlag; — ferner den Sammelband der American Society for Testing Materials: Symposium on Corrosion Testing Procedures, Philadelphia, Pa. 1937.

Völlig falsche Ergebnisse erhält man jedoch, wenn man im Prüfraumversuch den Probekörper grundsätzlich anders beansprucht als in der Praxis. Bei Prüfungen der Verrottung wird dieser Fehler immer noch sehr viel häufiger gemacht, als man annehmen sollte. Als eines der bekanntesten fehlerhaften Prüfverfahren sei die Prüfung der Witterungsbeständigkeit von Stählen mit Hilfe von Schwefelsäure genannt, die völlig falsche Werte liefert<sup>2)</sup>. Ich werde hierauf später zurückkommen. Das gleiche gilt für die Beurteilung der Witterungsbeständigkeit der Metalle im Landklima nach den Meerwassersprühversuchen (Abb. 1)<sup>3)</sup>. Es ist daher einer der wichtigsten Grundsätze der Untersuchungen im Prüfraum, daß man sie den praktischen Verhältnissen möglichst angleicht. Wie weit die Angleichung gehen kann, hängt einerseits ganz äußerlich von den Einrichtungen der Prüfanstalt ab, andererseits aber von wissenschaftlichen Überlegungen, auf die ich später eingehen werde.

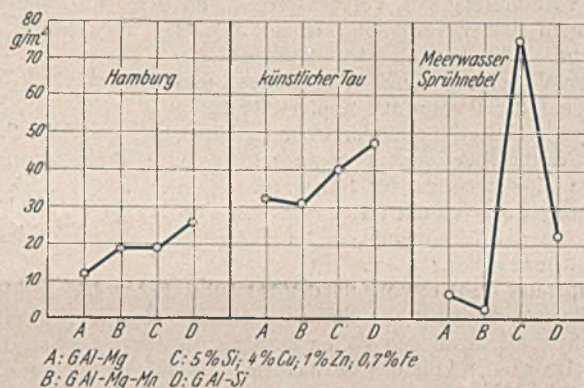


Abb. 1.

Zersetzung von Aluminium-Legierungen an der Luft.

Wenn Veränderungen der Versuchsverhältnisse für die Prüfung wesentlich sind (wie z. B. Einwirkung von abwechselnd kaltem und warmem Wasser bei Verrottungsversuchen, die den Verhältnissen im Badeofen entsprechen sollen), so müssen diese Veränderungen in regelmäßiger Folge vorgenommen werden.

Wenn man den Einfluß der Veränderungen der äußeren Umstände auf die Verrottung feststellen will, so ist es meistens zweckmäßig, nur einen Umstand zu verändern (in dem genannten Fall der Badeofenzerstörung z. B. entweder die Folge des Wasserwechsels oder den Wärmergrad des warmen Wassers); denn bei Veränderung beider Umstände weiß man bei Auftreten einer Wirkung nie, welche der beiden Veränderungen die Wirkung hervorgerufen hat. Tritt aber keine Wirkung ein, so ist es durchaus möglich, daß die eine Veränderung die Wirkung der anderen aufgehoben hat. Für eine einwandfreie Prüfung werden hierdurch zwar häufig viele Einzelversuche erforderlich, ohne diese ist die Prüfung aber mitunter völlig wertlos. So naheliegend diese Forderungen sind, so wird doch immer wieder gegen sie verstoßen.

Aber auch bei an sich völlig einwandfreiem Versuchsverfahren gelangt man bei der Prüfung der Zerstörungserscheinungen nie zu so sicheren Werkstoffwerten, wie es z. B. die Dichte eines Metalles ist. Bei Zersetzungsprüfungen — wie bei vielen anderen Werkstoffprüfungen — besteht vielmehr fast immer eine Abhängigkeit der Werte vom Prüfgerät. So hängen z. B. die im Sprühgerät erhaltenen Werte von der Gestalt des Geräts, der Feinheit des Sprühnebels und der Häufigkeit des Sprühens ab. Ferner hängen die Ergebnisse häufig von der Probengröße und der Probengestalt ab. Die Abhängigkeit von der Probengröße fällt besonders dann ins Gewicht, wenn man als Maß der Zerstörung die Veränderung der mechanischen Eigenschaften anwendet. Wenn man etwa Zugversuche an zersetzten Proben macht, so ist es leicht verständlich, daß man bei Verwendung dicker Proben einen langsameren Abfall

<sup>2)</sup> R. Walzel u. F. Neuwirth, Arch. Eisenhüttenwes. 9 (1935), S. 451; — K. Daeves u. F. Eisenstecken, St. u. E. 56 (1936), S. 417.

<sup>3)</sup> G. Schikorr, Metallwirtschaft 17 (1938), S. 593.

der Festigkeitseigenschaften infolge der Zersetzung findet als bei dünnen Proben, da bei diesen die Abtragung von z. B.  $\frac{1}{10}$  mm durch die Verrottung eine verhältnismäßig stärkere Veränderung des Querschnitts ergibt als bei jenen<sup>4)</sup>.

Eine weitere Beeinflussung der Verrottungswerte ergibt sich aus dem Platz der Versuchsproben im Prüfgerät. Es ist sehr häufig, daß in einem Prüfgerät die Beanspruchung der Proben an den einzelnen Stellen nicht gleich stark ist. Im besonderen ist das der Fall bei den meisten Geräten, bei denen das angreifende Mittel bewegt ist. Es ist in all diesen Fällen unerlässlich, daß man Doppelproben nicht nebeneinander hängt, sondern im Gegenteil an Stellen des Geräts mit möglichst verschiedener Beanspruchung. Hängt man nämlich Doppelproben nebeneinander und Proben aus einem anderen zu prüfenden Werkstoff ebenfalls nebeneinander an eine andere Stelle des Prüfgeräts, so kann es sehr wohl sein, daß die Doppelproben untereinander sehr gut übereinstimmende Werte ergeben, daß aber die beiden Werkstoffe verschiedenes Verhalten zeigen. Durch die gute Übereinstimmung der Doppelproben sicher gemacht, ist man dann leicht geneigt, die Unterschiede im Verhalten der beiden Werkstoffe auf verschiedene Beständigkeit der Werkstoffe zurückzuführen. In Wirklichkeit handelt es sich jedoch nur um die Folgen verschiedener Beanspruchung an den einzelnen Stellen im Prüfgerät. Eine Anordnung von Versuchsproben, die den genannten Fehler vermeidet, ist in Abb. 2 wiedergegeben. Es handelt sich dabei um die Prüfung der Verrottung durch Treibstoffverbrennungsgase, bei der Proben aus Kupfer und Eisen sich an einem Gestell in einem Rohr befinden, durch das Treibstoffverbrennungsgase strömen<sup>5)</sup>.

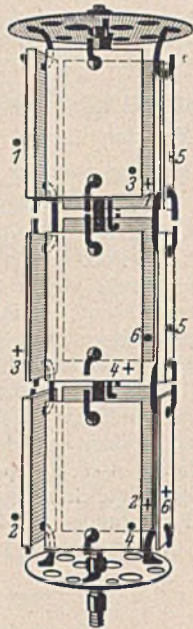


Abb. 2. Probenanordnung zur Prüfung der Zerstörung durch Auspuffgase.

Weitere Möglichkeiten für Schwankungen der Verrottungswerte ergeben sich aus den Veränderungen der Prüfbedingungen im Prüfgerät infolge äußerer Einflüsse. Bei steigender Zimmertemperatur erhält man in den meisten Fällen verstärkte Verrottung. Einen sehr deutlichen Einfluß kann auch der Feuchtigkeitsgrad des Versuchsraums in all den Fällen ausüben, in denen Proben dauernd oder zeitweise an der Luft des Versuchsraums der Zerstörung ausgesetzt sind (Abb. 3<sup>6)</sup>). Es ist also nicht zulässig, die Beständigkeit zweier Metalle gegen Verrottung nach Versuchen zu vergleichen, die zu verschiedener Zeit ausgeführt wurden, es sei denn, man hat sich darüber vergewissert, daß in der betreffenden Versuchsanordnung keine Abhängigkeit von den Zeitpunkten der Versuche besteht.

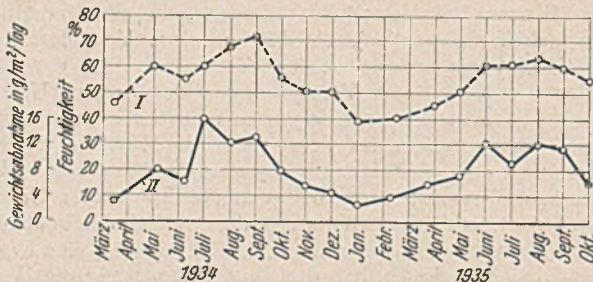


Abb. 3. Rosten von Stahl St 37 bei Wechseltauchversuchen.

2. Feldprüfungen.

Als Feldprüfungen werden Prüfungen bezeichnet, bei denen genau bekannte einzelne Versuchsproben unmittelbar den praktischen Bedingungen ausgesetzt werden. Vor den Versuchen im Prüfraum haben diese Versuche den Vorteil der größeren Nähe zur Praxis. Der Nachteil der Feldprüfungen liegt darin, daß die Schwankungen des angreifenden Mittels größer sind als bei den Versuchen im Prüfraum und sich willkürlich viel schwerer beeinflussen lassen. Am Beispiel des Rostens an der Außenluft seien diese Schwierigkeiten näher ausgeführt.

Das Rosten an der Außenluft hängt zunächst stark von dem betreffenden Versuchsort ab (Abb. 4<sup>7)</sup>). Außer den örtlichen Verschiedenheiten be-

stehen weiterhin starke jahreszeitliche Schwankungen des Rostens an der Außenluft, und zwar sind diese ebenfalls wieder von Ort zu Ort verschieden. In Wohnstädten ist das Rosten im Winter wegen der Heizungsabgase mehrfach so stark wie im Sommer. Im Gegensatz hierzu findet man in Gegenden, die einen besonders strengen Winter haben, im Winter verringertes Rosten, da Eisen bei Wärmegraden unter 0° praktisch nicht rostet.

Es bestehen zwei Möglichkeiten, den Veränderungen des angreifenden Mittels bei Feldprüfungen Rechnung zu tragen. Das eine Mittel ist z. B. für das Rosten an der Luft die Überwachung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit mit Hilfe meteorologischer Geräte. Wenn man außerdem nach einem bestimmten Verfahren den monatlichen Durchschnittsgehalt der Luft an Schwefelverbindungen feststellt, kann man die Angriffsfähigkeit der Luft verhältnismäßig gut beurteilen (Abb. 5<sup>7)</sup>).

Eine zweite Möglichkeit zur Überwachung des angreifenden Mittels besteht darin, daß man dem Mittel in ständigem, regelmäßigem Wechsel immer wieder neue Versuchsproben aussetzt. An der Verschiedenheit der Zersetzung dieser Proben kann man die Veränderung des angreifenden Mittels erkennen. Am besten wählt man für diese Proben ein Metall von bekanntem Verhalten, für das Rosten an der Luft z. B. Reineisen.

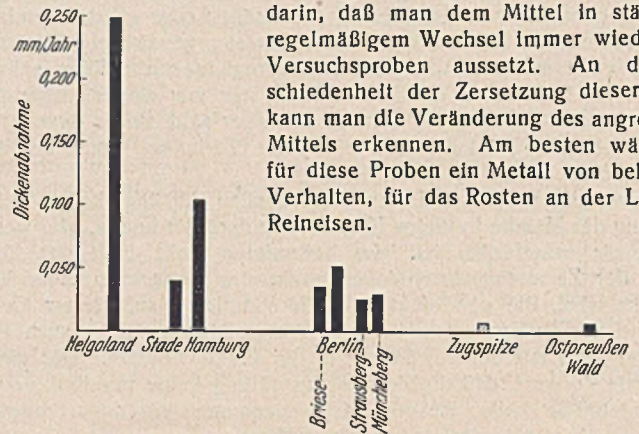


Abb. 4. Rosten an der Außenluft.

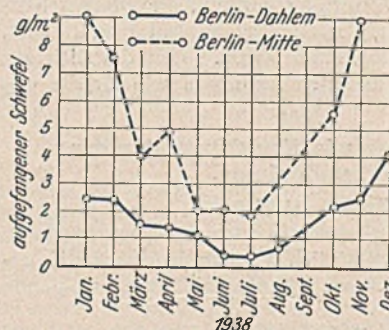
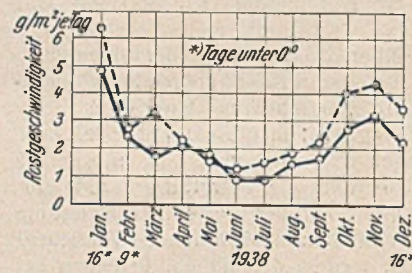


Abb. 5. Monatsverrostung und Schwefelwerte Berlin.

Für die Anordnung von Doppelproben gilt in verstärktem Maße das, was bei den Prüfraumversuchen hierüber gesagt wurde. Es sollten also Doppelproben möglichst nicht nebeneinander angebracht werden. Bei im Erdboden vergrabenen Proben (vgl. DIN 4860/61) könnte es sonst z. B. vorkommen, daß die Proben der einen Art sich gerade unterhalb, die Proben der anderen Art sich gerade oberhalb des Grundwasserspiegels befinden, was natürlich eine verschiedene Beanspruchung zur Folge hätte. Unterschiede in den Versuchsergebnissen sind dann aber nicht auf den verschiedenen Werkstoff, sondern auf die verschiedene Beanspruchung zurückzuführen.

Es sei noch kurz einiges über den Einfluß der Probengröße auf die Ergebnisse der Feldversuche gesagt. Es kommt mitunter vor, daß die Zersetzung an einigen Stellen besonders stark

auftritt. Da diese Stellen bei Feldversuchen (z. B. besonders im Boden<sup>8)</sup> und im Wasser) beträchtliche Größe aufweisen, ist es zweckmäßig, unter diesen Verhältnissen nicht zu kleine Proben zu wählen. Sonst kann die eine Probe gerade die ganze Schärfe des Angriffs erhalten, während die andere Probe nur wenig angegriffen wird. Die Ergebnisse solcher Versuche lassen sich aber nur schwer auswerten.

3. Praktische Erprobung.

Bei der praktischen Erprobung wird unmittelbar die Bewährung des Werkstoffs in der Praxis festgestellt. Es werden hier also keine besonderen Versuchsproben hergestellt, sondern es wird untersucht, wie sich ein Werkstoff verhält, wenn er für die Zwecke der Anlage unmittelbar verwendet wird, also z. B. Zinklegierungen als Beschläge, gekupfelter Stahl für Bauten im Industriegebiet usw. Der große Vorteil der praktischen Erprobung ist die völlige Übereinstimmung mit den

<sup>8)</sup> Vgl. K. F. Mewes, St. u. E. 59 (1939), S. 1383. — Zu der noch nicht geklärten Bedeutung der Probengröße auf die Prüfung des atmosphärischen Rostens vgl. G. Schikorr, Korrosion und Metallschutz, Oktoberheft 1940.

<sup>4)</sup> P. Brenner, Korrosion I, S. 61. Berlin 1932, VDI-Verlag.  
<sup>5)</sup> Nach einer Arbeit von G. Schikorr u. K. Alex, die in „Kraftfahrtforschung im Auftrage des Reichsverkehrsministeriums“ erscheinen soll.  
<sup>6)</sup> F. Eisenstecken u. E. Kesting, Korrosion V. S. 48. Berlin 1936, VDI-Verlag; — G. Schikorr, Ztschr. f. Elektrochem. 42 (1936), S. 107.  
<sup>7)</sup> G. Schikorr, Ztschr. f. Elektrochem. 43 (1937), S. 697. Weitere Versuchsergebnisse werden demnächst in derselben Zeitschrift veröffentlicht werden.

praktischen Verhältnissen. Aber auch die Nachteile dieser Prüfungsart sind beträchtlich. Wenn man die Zerstörung von metallischen Werkstoffen aus irgendwelchen Anlagen nachträglich untersucht, ist meistens vieles bei der Beanspruchung und beim Werkstoff unbekannt, so daß die Beständigkeit derartiger Gegenstände schwer zu beurteilen ist.

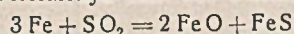
Die Hauptschwierigkeit der Beurteilung bei der praktischen Erprobung sind die Meßverfahren. In sehr vielen Fällen kann man zu gar keinen Zahlenwerten gelangen. Die Nachprüfbarkeit der Ergebnisse ist dementsprechend häufig nur gering. Überhaupt hängt das Ergebnis der Beurteilung nach der praktischen Erprobung häufig stark von dem Beurteiler ab. So kann es leicht vorkommen, daß dem Beurteiler irgendwelche auffälligen starken Zerstörungserscheinungen besonders im Gedächtnis haften bleiben, während Fälle, bei denen das Metall sich gut verhalten hat, als selbstverständlich betrachtet und vergessen werden.

Eine weitere Schwierigkeit der Beurteilung besteht bei sehr alten Metallteilen. Diejenigen Metallteile früherer Zeiten, die sich nicht bewährt haben, sind längst verfallen und vergessen. Diejenigen hingegen, die sich durch Auslese erhalten haben, werden beachtet und läuschen eine große allgemeine Beständigkeit des betreffenden Metalls vor. Es sei hier an die bekannte Säule von Delhi erinnert, die mehr als 1000 Jahre alt und immer noch wenig verrostet ist. Man hat hieraus gefolgert, daß die alten Inder ein besonderes „Rezept“ für die Herstellung nichtrostenden Eisens besaßen. In Wirklichkeit jedoch beruht das Nichtrostend der Säule von Delhi auf besonders günstigen Witterungsbedingungen; Teile, die ihr entnommen wurden, rosteten in England mit etwa der gleichen Stärke wie anderes Eisen<sup>9)</sup>. Ähnliches gilt für einen Anker des Ösebergsschiffes, dessen große Rostbeständigkeit wahrscheinlich darauf beruht, daß er die Jahrhunderte über unter völligem Luftabschluß im Boden gelegen hat. Es kann kaum eine Frage sein, daß unter ähnlichen Bedingungen sich heutzutage hergestelltes Eisen ebenso verhalten würde wie jenes alte Eisen.

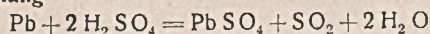
### C. Grundsätze, die der Zersetzungsprüfung an Metallen eigentümlich sind.

#### 1. Wissenschaftliche Grundlagen der Zersetzungsprüfung.

Wenn ein Metall verrottet, geht es immer zu mehr oder minder großen Anteilen in ein Oxyd oder ein Salz über. Die Zersetzung läßt sich also stets durch eine chemische Umsetzung wiedergeben. Bei jeder Prüfung sollte sich der Prüfende zur leichteren Beurteilung der Ergebnisse und zur Vermeidung von Fehlschlüssen über den betreffenden chemischen Vorgang im klaren sein. Im besonderen ist es wichtig zu wissen, ob die betreffende Zersetzung unter Wasserstoffentwicklung, Sauerstoffverbrauch oder anderen Umsetzungen vonstatten geht. Ob nun ein auf dem Papier aufgestellter chemischer Zersetzungsvorgang auch wirklich praktisch möglich ist, läßt sich nach wissenschaftlichen Überlegungen oder nach praktischen Versuchen entscheiden. Für die wissenschaftlichen Überlegungen sind thermodynamische Kenntnisse erforderlich, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Es sei nur der einfachste aus ihnen folgende Satz genannt, der aussagt, daß wäßrige Lösungen nicht oxydierender Säuren im allgemeinen nur mit solchen Metallen Wasserstoff entwickeln, die in der elektrochemischen Spannungsreihe unedler als Wasserstoff sind. Die Erkenntnis der Möglichkeit eines Zersetzungsvorgangs durch den Versuch ist häufig sehr einfach. So kann man Wasserstoffentwicklung unmittelbar beobachten. Weitere einfache Möglichkeiten zur Erkennung von Umsetzungen sind Farb- und Geruchserscheinungen. Beispielsweise erkennt man die Möglichkeit der Oxydation von Eisen durch Schwefeldioxyd nach der Gleichung

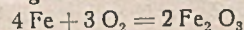


an der Schwarzfärbung des Eisens durch die Eisensulfidbildung, die Möglichkeit der Oxydation des Bleis durch gesättigte Schwefelsäure nach der Gleichung



an dem Auftreten des Geruchs des Schwefeldioxyds.

Die Möglichkeit der Verrottung ist sehr oft gegeben. Daß dennoch die Beständigkeit auch der unedlen Metalle häufig ausgezeichnet ist, beruht auf der in diesen Fällen nur sehr geringen Zersetzungsgeschwindigkeit. Es sei nur an Eisen, das sich bei Abwesenheit von flüssigem Wasser an der Luft befindet, erinnert. Die Möglichkeit des Rostens nach der Gleichung



ist durchaus gegeben und bei höheren Wärmegraden kann Rost auch in starkem Maße auftreten. Bei Zimmerwärme hingegen geht das Rosten in trockener reiner Luft so langsam vor sich, daß es nur sehr schwierig festgestellt werden kann.

Einer der wichtigsten Umstände für die Langsamkeit von Zersetzungen ist die Bildung von schützenden Schichten aus den Zersetzungsstoffen auf dem Metall. So entsteht in dem genannten Fall des an der

Luft befindlichen Eisens auf dem Eisen eine sehr dünne dichte Schicht von Eisenoxyd oder -hydroxyd<sup>10)</sup>, die den weiteren Zutritt von Luft zu dem Eisen verhindert. In anderen Fällen hat die Schicht eine beträchtliche Dicke; ihre Entstehung geht dann unter deutlicher Rostbildung vonstatten. Abb. 6 zeigt den Verlauf des Verrostens von Gußeisen in gerührtem, etwa 65° warmem Berliner Leitungswasser<sup>5)</sup>. Die Verrostung in der ersten Woche ist stark, in der zweiten nimmt sie noch etwas zu, aber nach drei Wochen läßt sich schon kein höherer Angriff mehr feststellen als nach zwei Wochen. Auf dem Eisen hat sich eine auch äußerlich erkennbare Schicht gebildet, die aus Rost und Wasserstein besteht.

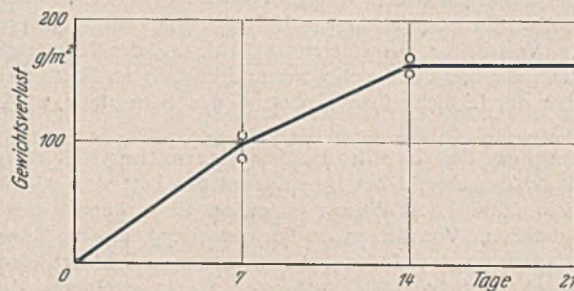


Abb. 6. Verrostung von Gußeisen in heißem Leitungswasser.

Die Möglichkeit der Entstehung von Schutzschichten macht es erforderlich, mehrere Versuchszeiten bei der Prüfung vorzusehen, und zwar sollten im allgemeinen mindestens drei Versuchszeiten angewendet werden. Bei Feldversuchen kann man auch bei drei Versuchszeiten häufig nicht ohne weiteres erkennen, ob sich Schutzschichten bilden. Denn wenn z. B. in der dritten Versuchszeit eine Verlangsamung der Zersetzung festgestellt wird, weiß man nicht, ob diese auf Schutzschichtbildung oder auf Abschwächung der Angriffsbedingungen beruht. Man kann sich hier damit helfen, daß man nicht nur zu Beginn der Versuche, sondern auch zwischendurch ununterbrochen immer neue Versuche ansetzt und die Summe der Zersetzungsweite bei diesen Versuchen mit der Zersetzung bei durchgehend einem Angriff unterworfenen Proben vergleicht.

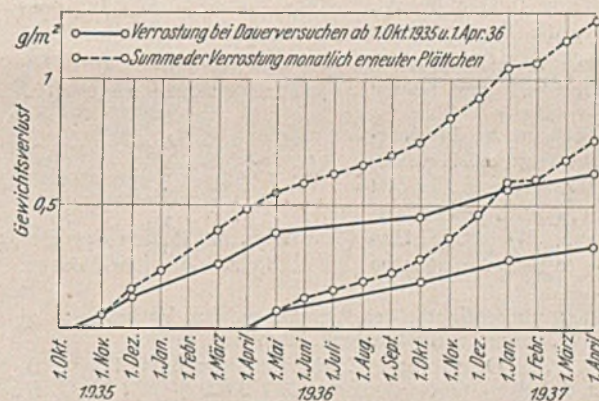


Abb. 7. Verrostung von Elektrolyteisen an der Luft in Berlin-Dahlem.

Abb. 7 zeigt, wie man auf diese Weise eindeutig erkennen kann, daß beim Rosten an der Außenluft entstehender Rost das Weiterrostern nicht begünstigt, wie man häufig annimmt, sondern im Gegenteil hemmt, daß der Rost also eine Schutzschicht bildet<sup>7)</sup>. Wenn keine Schutzschichten entstehen, sind häufig Diffusionsvorgänge für die Zersetzung maßgebend, so etwa bei unter stehendem Wasser rostendem Eisen. Hier wird die Geschwindigkeit der Zersetzung praktisch nur von dem durch das Wasser an das Eisen dringenden Luftsauerstoff bestimmt. Sehr lehrreich ist für diese Verhältnisse das Rosten von Eisenproben, die ganz in Natriumchloridlösungen verschiedener Sättigung eintauchen. Abb. 8 zeigt nach alten Versuchen von Heyn und Bauer<sup>11)</sup> die Abhängigkeit der Verrostung vom Sättigungsgrade der Natriumchloridlösung bei Standversuchen. Man sieht, daß hierbei schwache Natriumchloridlösungen die Stärke des Rostens überhaupt nicht beeinflussen. Erst bei höherer Sättigung tritt eine Einwirkung des Natriumchloridgehalts auf. Die Verrostung verstärkt sich jetzt aber nicht, wie man vielleicht zunächst erwarten sollte, sondern im Gegenteil: bei hoher Sättigung mit Natriumchlorid nimmt die Stärke der Verrostung beträchtlich ab. Die Erklärung ist sehr einfach; maßgebend für die Verrostung ist der an das Eisen gelangende Luftsauerstoff; bei geringem Sättigungsgrade der Natriumchloridlösung wird der Sauerstoffzutritt zum Eisen garnicht beeinflusst und dementsprechend bleibt auch die Verrostung gleich.

<sup>10)</sup> Vgl. hierzu besonders die sehr wichtigen Arbeiten von U. R. Evans in dem unter <sup>1)</sup> genannten Buch.

<sup>11)</sup> E. Heyn u. O. Bauer, Mittell. Mat.-Prüf.-Amt 26 (1908), S. 1.

<sup>9)</sup> Vgl. z. B. S. C. Britton, Nature 134 (1934), S. 238.

Bei höherer Sättigung hingegen wird die Löslichkeit des Sauerstoffs herabgesetzt; es gelangt also weniger Sauerstoff an das Eisen, und das Rosten wird geringer. Wie vereinbart sich nun dieser Befund mit der praktischen Erfahrung, daß Meerwasser stärker angreift als Regenwasser? Sehr einfach: das Meerwasser befindet sich ständig in so starker Bewegung, daß der in ihm gelöste Sauerstoff durch die Verrostung praktisch nicht verringert wird. Unter solchen Verhältnissen ist aber der Sauerstoffzutritt zum Eisen nicht geschwindigkeitsbestimmend. Man kann das an einer ganz einfachen Erweiterung des alten Versuchs von Heyn und Bauer erkennen, indem man unter sonst den gleichen Bedingungen Luft durch die Lösungen leitet. Die sich dann ergebende Rostlinie, die gleichfalls in Abb. 8 wiedergegeben ist<sup>12)</sup>, zeigt eine sehr ausgesprochene Erhöhung der Verrostung mit steigender Sättigung der Natriumchloridlösung, die dann allerdings bei noch weiterer Erhöhung des Natriumchloridgehalts infolge der Löslichkeitsverringerung des Sauerstoffs wieder geringer wird.

Die Ursachen der Erhöhung der Verrostung mit steigender Sättigung mit Natriumchlorid bei Durchblasen von Luft sind wieder sehr einfach. Bei in destilliertem Wasser rostendem Eisen können nur Eisenhydroxyde entstehen. Von diesen ist Ferrohydroxyd, das bei Sauerstoffmangel unmittelbar an dem Eisen entsteht, etwas in Wasser löslich und dementsprechend zu Schutzschichtbildungen wenig geeignet. Ist hingegen viel Sauerstoff in der Lösung vorhanden, so entsteht unmittelbar auf dem Eisen das praktisch unlösliche Ferrihydroxyd, das Schutzwirkungen hervorrufen kann.

Rostet Eisen nun nicht in destilliertem Wasser, sondern in Natriumchloridlösung, so kann infolge elektrochemischer Vorgänge das leicht lösliche Salz Ferrochlorid entstehen, wodurch Schutzschichtbildungen weitgehend gestört werden. Bei Wechseltauchversuchen wird, wie ebenfalls Abb. 8 zeigt<sup>13)</sup>, der Einfluß der steigenden Sättigung mit Natriumchlorid noch ausgeprägter, was darauf beruht, daß hierbei die Salzgegenwart das Trocknen der Proben verzögert und damit das Rosten begünstigt.

Das eben näher beschriebene Beispiel zeigt, daß Natriumchlorid die Zersetzung sowohl hemmen als auch beschleunigen kann. Derartige Umstände, die je nach den näheren

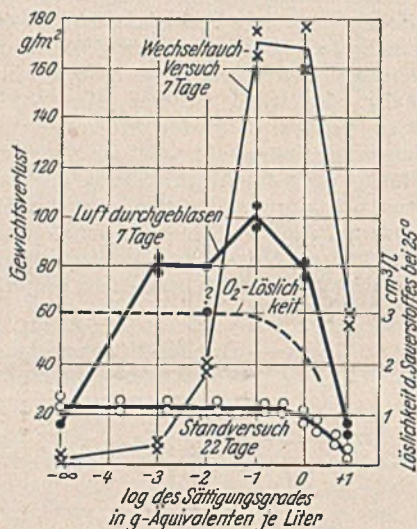


Abb. 8. Rosten des Eisens in Natriumchloridlösung.

<sup>12)</sup> Nach unveröffentlichten Versuchen des Verfassers; vgl. auch G. Schikorr, Ztschr. f. Elektrochem. 39 (1933), S. 409.

<sup>13)</sup> Vgl. z. B. O. Sackur, Ztschr. f. Elektrochem. 10 (1904), S. 841; Arbeiten a. d. kaiserl. Gesundheitsamt 22 (1904), S. 205; W. G. Whitman u. R. P. Russell, Ind. Engg. Chem. 17 (1925), S. 348.

Übersicht 1.

Umstände, die je nach den näheren Verhältnissen die Zersetzung der Metalle beschleunigen oder hemmen können.

Erhöhung	Kann die Zersetzung beschleunigen infolge	Kann die Zersetzung hemmen infolge
der Temperatur	Erhöhung der Geschwindigkeit der Umsetzung	Austreiben von Sauerstoff aus der Lösung
der Sauerstoffzufuhr (z. B. durch Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, des Luftdrucks, der Flüssigkeitsmenge, der Flüssigkeitsoberfläche)	Erhöhung der Menge des angreifenden Mittels	Begünstigung der Schutzschichtbildung (Passivierung)
des Säuregehalts der Lösung	Erhöhung der Menge des angreifenden Mittels; Bildung löslicher Metallsalze	Begünstigung der Schutzschichtbildung; Verringerung der Dichte der Wasserstoffionen
des Salzgehalts der Lösung	Bildung löslicher Metallsalze	Verringerung der Sauerstofflöslichkeit; Begünstigung der Schutzschichtbildung

Verhältnissen bald die eine und bald die andere Wirkung haben, sind bei der Zersetzung der Metalle ziemlich häufig. Einige von ihnen sind in Übersicht 1 zusammengestellt.

Umstände, deren Veränderung die Geschwindigkeit der Zersetzung beeinflussen, werden als maßgebende Umstände bezeichnet. Ihre Kenntnis ist eines der wichtigsten Erfordernisse für die Beurteilung der Zersetzung.

Als Beispiele für maßgebende Umstände bei einzelnen Zersetzungsercheinungen seien aufgeführt: die Sauerstoffzufuhr bei unter ruhendem Wasser rostendem Eisen; die Gegenwart von Feuchtigkeit und angreifenden Gasen beim Rosten an der Luft; der Kohlensäuregehalt des Wassers bei der Zersetzung von Blei und Zink unter Wasser; der Magnesiumchloridgehalt des Magnesiums bei der Zersetzung des Magnesiums; die Erneuerung der Lösung bei der Zersetzung von Kupfer in lufthaltiger Salzsäure.

Die Entscheidung, welche der möglichen Umstände für die Zerstörung maßgebend sind, ist mitunter schwierig; mitunter können die maßgebenden Umstände erst durch eingehende wissenschaftliche Arbeit erkannt werden. Zur Zeit noch unbekannt sind z. B. die maßgebenden Umstände für die Zerstörung von Warmwasserleitungsrohren.

Der Zersetzung der Metalle in wäßriger Lösung liegen meistens — möglicherweise sogar immer — elektrochemische Vorgänge zugrunde<sup>14)</sup>. Diese Anschauung wird seit mehr als etwa zehn Jahren wohl kaum mehr ernsthaft bezweifelt und Erklärungsversuche wie die „Kohlensäuretheorie“, die „Wasserstoffsperoxydtheorie“ und die „Kolloidtheorie“ finden heutzutage kaum mehr Anhänger. Andersseits aber stehen der Anwendung der elektrochemischen Erkenntnisse auf die Praxis zwei Schwierigkeiten entgegen. Und zwar sind erstens nur wenige Zersetzungsercheinungen vom elektrochemischen Standpunkt aus befriedigend erforscht und diese noch dazu unter so besonderen Bedingungen, daß sie den viel verwickelteren Verhältnissen der Praxis kaum mehr entsprechen. Zweitens aber werden bei den in der Praxis auftretenden Zerstörungen die elektrochemischen Vorgänge von anderen Erscheinungen, die nicht elektrochemischer Art sind, wie die Bildung unlöslicher Zersetzungstoffe, häufig völlig überdeckt. Es ist für den Praktiker daher z. B. wichtiger, zu wissen, daß das Rosten von Eisen in Gebrauchswässern auf dem Gehalt an gelöstem Sauerstoff beruht und die Folgerungen daraus zu ziehen, als sich Vermutungen darüber hinzugeben, wie das Rosten im einzelnen sich in elektrochemische Teilvorgänge zerlegt, so wichtig diese an sich auch sind.

2. Verfahren zur Erzeugung der Zersetzungsercheinungen.

Für die Wahl oder Ausarbeitung eines im Prüfraum durchzuführenden Verfahrens zur Erzeugung einer bestimmten Zersetzung müssen die beiden im vorhergehenden näher beschriebenen Hauptpunkte beachtet werden, nämlich: 1. die chemischen Umsetzungen und 2. die maßgebenden Umstände.

Es ist erforderlich, daß bei der Untersuchung im Prüfraum die gleiche Umsetzung stattfindet wie in der Praxis, und daß im besonderen die Prüfung nicht unter Wasserstoffentwicklung vonstatten geht, wenn in der Praxis Sauerstoff verbraucht wird und umgekehrt. Als fehlerhaftes Beispiel zu 1. sei die bereits erwähnte unbrauchbare Prüfung genannt, bei der zur Feststellung der Witterungsbeständigkeit von Stählen, also einer sauerstoffverbrauchenden Zersetzung, die Auflösung der Stähle in Schwefelsäure, also ein wasserstoffentwickelnder Vorgang, untersucht wird. Der umgekehrte Fall falscher Prüfung kommt besonders oft dann vor, wenn man die Einwirkung von Säuren auf verhältnismäßig edle Metalle wie Zinn, Blei und Nickel oder die Einwirkung sehr schwacher Säuren auf Eisen prüfen will. Man muß in solchen Fällen darauf achten, daß nur dann Luft Zutritt zu den Lösungen hat, wenn die nachzunehmende praktische Zersetzung ebenfalls unter Luftzutritt vonstatten geht. Wenn hingegen z. B. festgestellt werden soll, wie ein bestimmtes Stahlblech sich als Werkstoff für Konservendosen eignet, so muß man bei der Prüfung der Beständigkeit gegen Fruchtsäure den Luftzutritt verhindern.

Zu 2, der Beachtung der maßgebenden Umstände für die Wahl des Prüfverfahrens, ist das folgende zu sagen. Die maßgebenden Umstände der Prüfung sollen denen in der Praxis möglichst angeglichen sein, im besonderen ist darauf zu achten, daß bei der Prüfung der Luftzutritt und die Schutzschichtbildung gleichartig sind wie bei dem betreffenden praktischen Fall. Es führt z. B. leicht zu falschen Ergebnissen, wenn man das Rosten von Eisen gegen fließendes Leitungswasser feststellen will und dafür Prüfraumversuche in stehendem Wasser ausführt, weil in diesem Fall nur die geringe, zu dem Eisen vordringende Sauerstoffmenge für die Zersetzung maßgebend ist, während in fließendem Wasser fast immer ein Überschuß von Sauerstoff besteht. Ebenso genügt es in dem genannten Fall nicht, zur Erhöhung des Sauerstoffgehalts des Wassers das Wasser einfach zu rühren, ohne es häufig zu erneuern. Denn in diesem Fall ist die Härte des Wassers sehr bald erschöpft und reicht zu der Bildung einer wassersteinhaltigen Schutzschicht nicht aus, während ja in der Praxis das Wasser dauernd erneuert wird und an seiner Härte praktisch nichts einbüßt.

Ein besonders lehrreiches Beispiel für die Abhängigkeit der gefundenen Werte von dem maßgebenden Umstand ist in Abb. 9 wieder gegeben, das die Zersetzung von Blei in destilliertem Wasser in Abhängigkeit von der Wasseroberfläche behandelt<sup>14)</sup>. Maßgebender Umstand ist der Luftzutritt. Man sieht, daß eine Vergrößerung der Wasseroberfläche von 16 auf 39 cm<sup>2</sup> auch die Zersetzung erhöht, daß aber bei weiterer Vergrößerung der Wasseroberfläche die Zersetzung geringer wird. Diese zunächst sicherlich überraschende Abhängigkeit läßt sich ganz einfach erklären: bei erhöhtem Luftzutritt gelangt nicht nur mehr Sauerstoff, sondern auch mehr Kohlensäure an das Blei, und bei sehr großer Wasseroberfläche ist der Kohlensäurezutritt zu dem Blei groß genug, um auf diesem eine Schutzschicht aus basischem Bleikarbonat zu erzeugen.

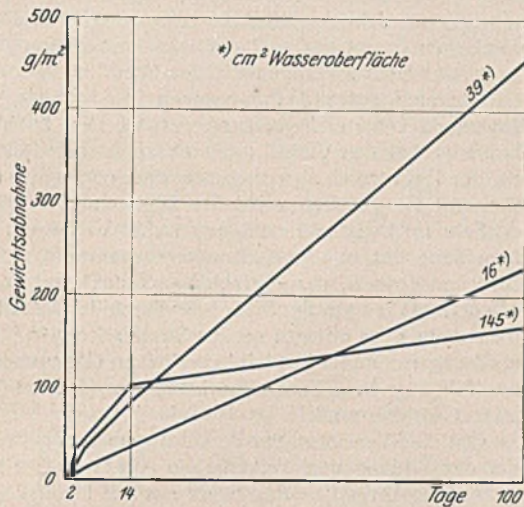


Abb. 9. Abhängigkeit der Verrottung des Bleies in destilliertem Wasser von der Wasseroberfläche.

Sehr wichtig ist es, darauf zu achten, daß die maßgebenden Umstände während der Prüfung nicht unbemerkt schwanken. Das Ergebnis können sonst unübersichtliche und nicht wiederholbare Werte sein. Hier gilt im besonderen, was früher über die allgemeine Abhängigkeit der Ergebnisse von Werkstoffprüfungen von dem Prüfgerät gesagt wurde.

Oft sind beschleunigte Prüfungen der Zersetzung erforderlich, und es fragt sich, welche Beschleunigungen grundsätzlich ratsam sind, ohne daß man falsche Ergebnisse befürchten muß. Im wesentlichen gilt der Grundsatz, daß die Beschleunigungen nicht Umsetzungen hervorrufen dürfen, die der Praxis nicht entsprechen. Man darf einem Mittel, daß in der Praxis unter Sauerstoffverbrauch angreift, zur Beschleunigung der Zersetzung also keine Säure zufügen.

Erlaubt zur Erzielung beschleunigter Ergebnisse sind hingegen Änderung im Wärmegrad und in der Stärke der Lösungen und Säuren, solange sich an den betreffenden Umsetzungen nichts Wesentliches ändert. Nicht zulässig ist also z. B. für die beschleunigte Feststellung des Angriffs von verdünnter lufthaltiger Schwefelsäure auf eine Kupferlegierung die Prüfung mit heißer wasserfreier Säure. Denn diese greift unter Entwicklung von Schwefeldioxyd an, was bei verdünnter Schwefelsäure nicht der Fall ist.

Andererseits ist zu beachten, was im vorigen Abschnitt über die Umstände gesagt wurde, die die Zersetzung sowohl beschleunigen als auch hemmen können. Im besonderen muß man sich vor dem sehr häufigen Irrtum hüten, daß eine Erhöhung des Wärmegrades und der Stärke der Lösungen immer eine Beschleunigung der Zersetzung bewirkt. So wurden in der letzten Zeit mehrfach Frostschutzmittel für Kraftwagenkühler angeboten, von denen die Hersteller versicherten, daß sie keinen Angriff in der Praxis bewirken könnten, denn bei Versuchen im Prüfraum griffen nicht einmal die kochenden gesättigten Lösungen an; da in der Praxis verdünnte Lösungen von etwa nur 80° verwendet würden, wäre hier die Gefahr des Angriffs also noch viel geringer. In Wirklichkeit griffen die Mittel in der Praxis erheblich an; das Fehlergebnis ist darauf zurückzuführen, daß in starker Lösung weniger Sauerstoff löslich ist als in verdünnter, und daß durch Kochen auch noch diese Reste ausgetrieben werden.

Zur beschleunigten Erzielung von Verrottungswerten muß man sich also vergewissern, bei welcher Temperatur, Lösungsstärke und Sauerstoffzufuhr die stärkste Zersetzung auftritt, ohne daß sie grundsätzlich nach einer anderen Umsetzung als in der Praxis vonstatten geht und ohne daß die maßgebenden Umstände (z. B. durch Verhinderung einer in der Praxis auftretenden Schutzschichtbildung) grundsätzlich verändert werden.

Bei Versuchen im Prüfraum sind ferner fast immer Vereinfachungen gegenüber den praktischen Verhältnissen erforderlich. Wieweit die Vereinfachungen getrieben werden können, ist mitunter schwer zu entscheiden. An dem Beispiel der Zersetzung durch Meerwasser sei näher erörtert, was dabei zu beachten ist. Meerwasser enthält bekanntlich eine Reihe von Einzelbestandteilen, wie Natrium-, Magnesium-, Kalzium-, Chlor-, Sulfat-, Brom-, Jod- und Karbonat-Ionen,

außerdem organische Bestandteile. Es fragt sich nun, ob man, wenn man die Beständigkeit gegen Meerwasser im Prüfraum untersuchen will, dem Wasser alle diese Bestandteile zufügen muß. Normblatt 4852 E, das die Zersetzung von Aluminium-Legierungen unter Meerwasser-Einflüssen behandelt, begnügt sich damit, eine Lösung von 3% Natriumchlorid vorzuschreiben, der in einigen Fällen Wasserstoffsuperoxyd als Beschleuniger zugefügt wird. Reine Natriumchloridlösung greift Aluminium-Legierungen stärker an als Meerwasser. Man gelangt also nach DIN 4852 E rascher zu Ergebnissen, als wenn man Meerwasser verwenden würde. Fremdartige Umsetzungen finden bei dieser Vereinfachung nicht statt. Von diesem Standpunkt ist also nichts gegen das Verfahren einzuwenden, und es läßt sich mit weitgehender Sicherheit sagen, daß, wenn eine Legierung gegen Natriumchloridlösung beständig ist, sie auch gegen Meerwasser beständig sein wird.

Ganz einwandfrei ist diese Vereinfachung jedoch nicht immer. Denn Magnesium- und Kalzium-Salze im angreifenden Mittel können sehr ausgeprägte Schutzwirkungen haben, und die Schutzschichtbildung in Meerwasser wird dementsprechend bei Verwendung von reiner Natriumchloridlösung nicht erfaßt, wodurch erhebliche Beurteilungsschwierigkeiten entstehen können. So wird z. B. Zink bei Wechseltauchversuchen von Natriumchloridlösung etwa halb so stark, von Meerwasser hingegen nur 1/10 bis 1/100 so stark angegriffen wie Stahl<sup>15)</sup>. Völlig fehlerhaft aber kann die Verwendung von Natriumchloridlösung werden, wenn es sich um die Prüfung von Verbundstücken aus zwei verschiedenen Legierungen handelt, denn eine Legierung mit großer Neigung zur Schutzschichtbildung in Meerwasser kann in diesem auch ihr Potential veredeln. Das aber kann zur Folge haben, daß in Meerwasser die eine, in Natriumchloridlösung die andere Legierung edler ist, und daß dementsprechend in Meerwasser die eine und in Natriumchloridlösung die andere Legierung elektrochemisch geschützt wird. Die praktischen Verhältnisse werden also in ihr Gegenteil verkehrt. Abb. 10 zeigt das Verhalten von Verbundstücken aus Silumin und Gußeisen in Meerwasser und in Natriumchloridlösung<sup>16)</sup>, für das das vorher Gesagte in vollem Umfange zutrifft. Aber auch für Aluminium-Legierungen unter sich können derartige Umkehrungen eintreten, was besonders verhängnisvoll für plattierte Gegenstände aus Aluminium-Legierungen werden kann. Aber auch hier ist, wie man sieht, nicht die Untersuchung im Prüfraum an sich, sondern nur ihre fehlerhafte Ausführung an Mißerfolgen schuld. Die Gefahr ähnlicher Fehler besteht natürlich immer, wenn man ein neues Prüfverfahren entwickelt. Denn völlige Angleichung an die Praxis ist fast nie möglich, und ob die Vereinfachungen zulässig sind oder nicht, läßt sich mit einiger Sicherheit selten von vornherein sagen. Hier ist die merkwürdige Feststellung zu machen, daß für die bekannteste Verrottung, ja vielleicht die bekannteste chemische Umsetzung überhaupt, nämlich das Rosten des Eisens an der Luft, für den Prüfraum noch kein befriedigendes Untersuchungsverfahren besteht, bei dem die gleichen Gesetzmäßigkeiten Geltung haben wie in der Praxis.

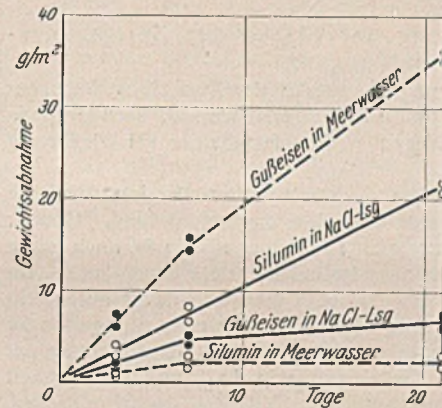


Abb. 10. Zersetzung von leitend verbundenen Proben aus Gußeisen und Silumin in Meerwasser und 3%iger NaCl-Lösung.

In den letzten Jahren haben die Prüfverfahren besondere Beachtung gefunden, bei denen neben der chemischen Beanspruchung noch gleichzeitig eine mechanische stattfindet, und zwar sowohl Dauerstandsbeanspruchung<sup>17)</sup> als auch Dauerwechselbeanspruchung<sup>18)</sup>. Die Dauerstandsbeanspruchung hat besonders zur Feststellung von Aluminium-Legierungen geführt, die spannungsempfindlich gegen die Zersetzung sind. Auf Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden. Unbefriedigend bei den Dauerstandsprüfungen in der derzeitigen Form ist es, daß man sich meistens mit nur einem angreifenden Mittel — bei Aluminium-Legierungen

<sup>15)</sup> G. Schikorr, Ztschr. f. Metallk. 32 (1940), S. 314.

<sup>16)</sup> G. Schikorr, Metallwirtschaft 19 (1940), S. 777.

<sup>17)</sup> Vgl. hierzu z. B. die Vorträge von A. Fry und von P. Brenner auf der Korrosionstagung 1938 in Paris (erschienen in dem Sonderband „Journées de la Lutte contre la Corrosion“ der Zeitschrift „Chimie et Industrie“); — ferner: E. W. Müller u. H. Buchholz, Arch. f. d. Eisenhüttenwesen 9 (1935), S. 41.

<sup>18)</sup> Hierzu besonders die zahlreichen Arbeiten von D. J. Mc Adam in Proc. Amer. Soc. Test. Mat. z. B. 31 II (1931), S. 258 und von H. J. Gough in Journ. Iron a. Steel Inst. und Journ. Inst. Mat. z. B. 56 (1935), S. 55; — Zusammenfassung bei A. Thum u. H. Ochs, Korrosion und Dauerfestigkeit. Berlin 1937, VDI-Verlag.

<sup>14)</sup> G. Schikorr, Korr. u. Metallsch. 16 (1940), S. 181.

mit Natriumchloridlösung, bei Stählen mit Kalziumnitratlösungen — begnügt, ohne daß ausreichend geprüft ist, ob dieses Mittel den praktischen Bedingungen entspricht. Die Möglichkeit von Fehlbeurteilungen liegt daher auf der Hand.

Zum Schluß dieses Abschnitts sei noch kurz auf die Umstände eingegangen, die beachtet werden müssen, wenn nicht die Beständigkeit eines Metalls, sondern die Angriffswirkung eines Mittels festgestellt werden soll. Hierbei ist scharf zu unterscheiden zwischen der Angriffswirkung des Mittels an sich und seiner Wirkung als Rostbeschleuniger. Soll die Angriffswirkung des Mittels an sich beurteilt werden, so muß daß Mittel gegebenenfalls so oft erneuert werden, daß es sich nicht erschöpft und dadurch eine Verlangsamung der Zerstörung vortäuscht. Handelt es sich um die Prüfung der rostbeschleunigenden Wirkung, so muß Sauerstoff im Überschuß vorhanden sein, da sonst — wie bei dem „Standversuch“ von Abb. 8 — die Verrottung nur von der Sauerstoffzufuhr abhängt und die rostbeschleunigende Wirkung des Mittels nicht erfaßt.

Ferner ist darauf zu achten, ob in dem Mittel Verunreinigungen vorhanden sind, die die Zerstörung beschleunigen. Ein bekanntes Beispiel dafür ist technische Soda. Reine Soda greift von einer gewissen Lösungsstärke ab Eisen nicht nur nicht an, sondern wirkt sogar ausgesprochen schützend. Bei technischer Soda kann sich der Schutz jedoch in dem besonders gefährdeten lochartigen Angriff verkehren. Diese Erscheinung beruht auf dem Chloridgehalt der technischen Soda<sup>19)</sup>, der, ohne selbst angreifend zu wirken, das Rosten des Eisens, das durch die Soda verhindert war, wieder ermöglicht.

Sehr häufig greift nicht das Mittel selbst, sondern ein in ihm enthaltener Stoff Metalle an. Das bekannteste Beispiel ist der auch im vorhergehenden oft erwähnte Gehalt von Wasser und wäßrigen Lösungen an gelöstem Sauerstoff, dem überhaupt bei fast allen Zersetzungserscheinungen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden muß.

### 3. Verfahren zur Beurteilung der Stärke der Zersetzungserscheinungen.

Die Verfahren zur Beurteilung der Stärke der Zersetzung sind sehr zahlreich. Sie sollen an dieser Stelle nur grundsätzlich und nach Gruppen geordnet behandelt werden. Wegen vieler Einzelheiten sei wieder auf Normblatt DIN 4850 verwiesen.

Das einfachste, meistens aber auch schlechteste Verfahren ist die Beurteilung der Beschaffenheit rein nach dem äußeren Befund. Gewiß: wenn ein Gegenstand völlig zersetzt ist, kann man das auch ohne Messung erkennen. Im übrigen aber ist bei der Beurteilung nach dem Aussehen Vorsicht geboten. Besonders sollte man sich davor hüten, ein Metall, daß nach dem Angriff völlig blank ist, als wenig angegriffen zu bezeichnen, wie es häufig geschieht. Das Gegenteil ist oft genug der Fall. Wenn etwa Kupfer bei Gegenwart von Luft und Feuchtigkeit blank bleibt, kann man mit beträchtlicher Sicherheit darauf schließen, daß sich keine Schutzhaut auf ihm befindet und daß es angegriffen wird.

Die eigentlichen Verfahren zum Messen der Zersetzung lassen sich in drei Gruppen einteilen, und zwar in chemische, physikalische und statistische Verfahren.

Die chemischen Verfahren beruhen darauf, daß das Verschwinden oder Entstehen eines der Teilnehmer an der Zerstörung verfolgt wird. Von diesen ist das grundsätzlich einfachste die Bestimmung der Menge des zersetzten Metalls, im besonderen die Bestimmung des Gewichtsverlustes des Metalls. Wenn diesem Verfahren auch beträchtliche Mängel anhaften, so ist es doch am meisten anwendbar und gibt am besten auswertbare Ergebnisse, da es ein unmittelbares Maß für die Zerstörung ist. Von anderen chemischen Verfahren ist (für die Zersetzung unter Wasserstoffentwicklung) die Messung des entstandenen Wasserstoffs zu nennen, die auf sehr einfache Weise viele Zahlenwerte über die Verrottung vermittelt.

Die elektrochemischen Meßverfahren sind zwar für die Forschung äußerst aufschlußreich, für die Prüfung aber zur Zeit nur in Einzelfällen brauchbar<sup>20)</sup>.

Von den physikalischen Meßverfahren ist zweifellos der Zugversuch das wichtigste, und zwar aus zwei Gründen:

1. gibt er dem Ingenieur unmittelbar die Werte, die er besonders häufig braucht, nämlich die Abnahmen von Festigkeit und Dehnung infolge der Zerstörung, und

2. erfaßt dieses Verfahren auch Ungleichmäßigkeiten der Zerstörung, wie interkristalline Zersetzung, örtliche Zersetzung und auswählende Zersetzung, über die z. B. die Gewichtsverluste gar nichts aussagen.

<sup>19)</sup> Vgl. E. Heyn u. O. Bauer, Mittell. Mater.-Prüf.-Amt 28 (1910), S. 82.

<sup>20)</sup> Vgl. z. B. F. Tödt, Korros. u. Metallsch. 5 (1929), S. 169; — V. Duffek, Korros. u. Metallsch. 4 (1928), S. 252; — W. J. Müller, Die Bedeckungstheorie der Passivität der Metalle. Berlin 1933, Verlag Chemie; — M. Th. Michailoff, Korros. u. Metallsch. 8 (1932), S. 85; — F. Müller, Korros. u. Metallsch. 14 (1938), S. 193.

Ein starker Mangel des Verfahrens besteht darin, daß es von der Probenform abhängig ist, und daß es häufig erst nach erheblich längerer Zeit Werte ergibt als die chemischen Verfahren.

Ein weiteres wichtiges Verfahren ist das der Dickenmessung der Proben und der Tiefenmessung der Einfressungen. Es gibt zwar meistens erst nach mehr als ein Jahr Angriffsdauer Werte, erlaubt aber besonders bei der praktischen Erprobung, bei der man häufig genug nur die Anfangsdicke der verwendeten Metallgegenstände kennt, weitgehend sichere Schlüsse<sup>21)</sup>.

Recht befriedigende Folgerungen kann man häufig aus dem elektrischen Widerstand von der Zersetzung ausgesetzten Drähten ziehen<sup>22)</sup>. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß es zerstörungsfrei arbeitet, und daß es wie der Zugversuch den ungleichförmigen Angriff mit erfaßt. Die Nachteile sind die gleichen wie beim Zugversuch.

Sehr schön ist ein radiographisches Verfahren, bei dem sich auf der einen Seite des zu untersuchenden Gegenstandes eine Kapsel mit einem Stückchen Radium, das  $\gamma$ -Strahlen aussendet, auf der anderen ein Zählrohr befindet, das je nach der Stärke der durch das Metall dringenden Strahlung einen mehr oder weniger großen Strom anzeigt<sup>23)</sup>. Das Verfahren erlaubt, zerstörungsfrei an im Betrieb befindlichen Gegenständen Dickenmessungen auszuführen, z. B. an Zellstoffkochern, ohne daß bei ihnen die Ausmauerung entfernt werden muß.

Optische Verfahren der Zerstörungsmessung beruhen auf der Trübung oder der Bildung von Anlauffarben auf metallisch blanken Oberflächen während des Angriffs. Besonders aus der Untersuchung der Anlauffarben hat man wissenschaftlich sehr wichtige Schlüsse ziehen können<sup>19) 24)</sup>. In der eigentlichen Zersetzungsprüfung haben sich diese Verfahren jedoch bisher kaum eingeführt.

Auch akustische Verfahren finden Anwendung, und zwar gibt die Messung der Dämpfung ein Maß für interkristalline und für rißartige Zerstörung<sup>25)</sup>. Das Verfahren arbeitet ebenfalls zerstörungsfrei. Seine Grunderscheinung läßt sich sehr einfach bei verformtem Messing zeigen. In nicht angegriffenem Zustande gibt verformtes Messing, wie Messing überhaupt, beim Anschlagen einen hellen Klang. Setzt man jedoch unter mechanischen Spannungen stehendes Messing einen Tag dem Angriff feuchter Ammoniakluft aus, so klingt es infolge der eingetretenen rißartigen Zerstörung beim Anschlagen dumpf wie ein Stück Blei.

Neben den chemischen und den physikalischen Verfahren sind als 3. Gruppe die statistischen Verfahren zu nennen. Sie wurden in Amerika sorgfältig bearbeitet<sup>26)</sup>, haben aber, da sie ziemlich langwierig und auch zunächst unübersichtlich sind, in anderen Ländern nur wenig Anwendung gefunden. Man kann jedoch auch mit statistischen Verfahren auf einfache Weise aufschlußreiche Ergebnisse erzielen, wie Abb. 11 zeigt<sup>27)</sup>.

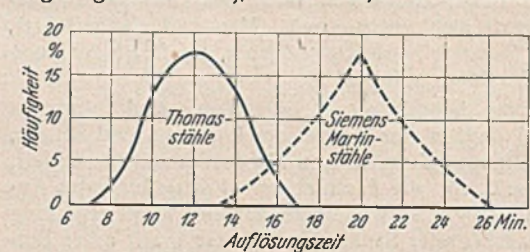


Abb. 11. Statistische Verteilung der Auflösungs-geschwindigkeit von Stahlsorten.

### D. Schluß.

Meine Ausführungen konnten eine nur sehr gedrängte Darstellung der Grundsätze der Prüfung der Zersetzungserscheinungen geben. Ich hoffe aber, daß zwei Punkte deutlich hervorgetreten sind und zwar, daß 1. die bei der Prüfung zu beachtenden Abhängigkeiten an sich ziemlich einfach sind, daß aber 2. die Zahl der zu beachtenden Abhängigkeiten groß ist. Einzelheiten wurden bewußt nur als veranschaulichende Beispiele gebracht, damit die große Mannigfaltigkeit der Prüfverfahren um so deutlicher hervorträte. Die Beachtung dieser Mannigfaltigkeit aber ist erforderlich. Denn die Prüfung der Zersetzung der Metalle hat zwei Seiten, eine negative und eine positive. Die eine soll feststellen, welchen Zersetzungsbeanspruchungen ein Metall nicht gewachsen ist. Die andere aber soll nicht mit der Unbeständigkeit, sondern mit der Beständigkeit der Werkstoffe vertraut machen. Und nur bei Beachtung beider Seiten wird die Zersetzungsprüfung ihrer Aufgabe voll gerecht, nämlich mit-zuwirken an der Arbeit, geeignete Werkstoffe für die mannigfachen Aufgaben der Technik zu erkennen und zu empfehlen.

<sup>21)</sup> Vgl. z. B. G. Schikorr u. K. Alex, Stahlbau 12 (1939), S. 129.

<sup>22)</sup> Vgl. z. B. J. C. Hudson, Trans. Farad. Soc. 25 (1929), S. 177.

<sup>23)</sup> Verfahren der Reichsröntgenstelle beim Staatl. Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem.

<sup>24)</sup> G. Tammann u. W. Köster, Ztschr. f. anorgan. allgem. Chem. 123 (1922), S. 196.

<sup>25)</sup> Verfahren des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Metallforschung, Stuttgart.

<sup>26)</sup> Vgl. z. B. R. F. Passano, Proc. Amer. Soc. Test. Mat. 32 II (1932), S. 468.

<sup>27)</sup> K. Daeves, E. H. Schulz u. W. Stenkhoff, St. u. E. 51 (1931), S. 1397.

Alle Rechte vorbehalten.

## Der Neubearbeitung der DIN 1054, „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen“, zum Geleit.<sup>1) 2)</sup>

Von Professor Dr.-Ing. Casagrande, Berlin.

Die im Jahre 1934 vom Deutschen Normenausschuß herausgegebenen „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes im Hochbau“ sollten ein erstmaliger Versuch sein, wichtige Hinweise für eine ausgerichtete Behandlung von Gründungsfragen zu geben. Im wesentlichen enthielten sie Angaben über die zulässige Belastung der Hauptbodenarten sowie Anhaltspunkte für die Beurteilung der Tragfähigkeit von Pfahlgründungen. Der „Ausschuß für einheitliche technische Baupollzeibestimmungen“ war sich bewußt, daß die von ihm geschaffenen Richtlinien nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erheben konnten und über kurz oder lang eine Umarbeitung oder Ergänzungen notwendig machen würden. Trotzdem wurden diese Unterlagen im Laufe der folgenden Jahre über den reinen Hochbau hinaus vom gesamten Gründungswesen in wachsendem Maße zur Richtschnur gewählt.

Nach jahrelanger mühevoller Arbeit hat nunmehr der Deutsche Normenausschuß die DIN 1054 neubearbeitet und ihren Gültigkeitsbereich unter Berücksichtigung der neuen erdbaumechanischen Erkenntnisse über den Rahmen des reinen Hochbaues hinaus erweitert. Wenn diese Neufassung nicht allen Forderungen gerecht wird, so liegt dies vor allem darin begründet, daß einer Normung von zulässigen Belastungen, gleichgültig welcher Gründungsart, die Vielfältigkeit der Bodenarten, der Einfluß der Flächengröße, der Gründungstiefe und nicht zuletzt der zulässigen Setzungen entgegenstehen. In den neuen „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen“ ist somit ein Mittelweg gewählt zwischen den wohlbegründeten Wünschen nach Normung der zulässigen Belastungen, möglichst ohne Untersuchungen und Berechnungen, sowie der wissenschaftlichen Behandlung, die infolge der Vielfältigkeit der Einflüsse eine Normung außerordentlich schwierig macht. Ohne näheres Eingehen auf die wohlberechtigten und guten Gründe beider Seiten darf wohl angenommen werden, daß die gefundene Zwischenlösung gegenüber der früheren Fassung einen wesentlichen Fortschritt darstellt und neben größerer Sicherheit auch größere Wirtschaftlichkeit gewährleistet. Darüber hinaus steht schon heute fest, daß die „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen“ auch die Entwicklung der Erdbaumechanik befruchtend beeinflussen wird.

Zu den beiden in der DIN 1054 hauptsächlich behandelten Fragen der zulässigen Bodenbelastung und der zulässigen Belastung von Pfahlgründungen ist im einzelnen folgendes zu bemerken:

### 1. Zulässige Belastung des Baugrundes.

Allen bisherigen Versuchen, den einzelnen Bodenarten oder Bodenruppen eine zulässige Belastung zuzuerkennen, haftet — wie schon oben bemerkt — der grundsätzliche Mangel an, daß in solchen Zahlenwerten weder der wesentliche Einfluß der Gründungsabmessungen noch die jeweilige zulässige Setzung des Bauwerks in irgendeiner Form in Erscheinung tritt. Die Folge davon ist, daß immer wieder zu den überlieferten Erfahrungswerten gegriffen wird, die noch dazu vielfach ohne nähere Prüfung von einem Handbuch ins andere übernommen werden. Diese sogenannten Erfahrungswerte schwanken überdies für die gleichen Bodenarten in weiten Grenzen. In Tafel 1 sind die Grenzwerte für eine Anzahl der gebräuchlichsten in- und ausländischen Zahlenwerte über die zulässige Bodenbelastung aufgeführt.

Tafel 1. Grenzwerte der in Deutschland und anderen Ländern gebräuchlichsten, zulässigen Bodenbelastungen.

Bodenart	kg/cm <sup>2</sup>
Ton (Lehm) weich . . . . .	1,0 bis 2,5
Ton (Lehm) mittelsteif . . . . .	1,75 „ 3,0
Ton (Lehm) steif . . . . .	4,0 „ 6,0
Mergel . . . . .	2,0 „ 8,7
Schwimmsand (Triebssand) . . . . .	0 „ 5,0
Feinsand . . . . .	1,5 „ 2,5
Mittel- und Grobsand . . . . .	2,5 „ 4,0
Kies . . . . .	3,0 „ 8,0

<sup>1)</sup> Vgl. „Neue Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen“ von Oberregierungs- und -baurat Wedler (Sonderdruck aus dem Zentralblatt der Bauverwaltung). Berlin 1940, Wilh. Ernst & Sohn.

<sup>2)</sup> Die bei der Neubearbeitung auftretenden sachlichen Schwierigkeiten und berechtigten Bedenken waren derart groß und zahlreich, daß sie zeitweise unüberwindlich schienen. Wenn die Neufassung dennoch gelang, so gebührt der Dank dafür neben den einzelnen Mitarbeitern des Normenausschusses vor allem Herrn Ministerialrat Busch, der als Vorsitzender unermüdet und mit zäher Entschlossenheit für die Verwirklichung der neuen DIN 1054 eintrat.

Die DIN 1054 des Jahres 1934 faßt einzelne ihr gleichwertig erscheinende Bodenarten in Gruppen zusammen und gibt für diese bei Gründung in frostfreier Tiefe die in Tafel 2 angeführten Werte.

Tafel 2. Zulässige Bodenbelastungen der Erstfassung (1934) der DIN 1054.

Bodenart	kg/cm <sup>2</sup>
A. Nicht gewachsener Boden, je nach seiner Beschaffenheit	0,2 bis 1,5
B. Gewachsener (offensichtlich unberührter) Boden	
a) Feinsand . . . . .	1,5
b) Mittelsand, festgelagerter trockener Ton, Lehm sowie Kies mit Schichten von geringem Sandgehalt	3,0
c) Grobsand, Kies, fester trockener Mergel . . . . .	4,5

Zur Erläuterung eines der hauptsächlichsten Bedenken, die der Aufstellung von Tafeln über die zulässige Bodenbelastung in obiger Form entgegenstehen, sei der einfache Fall einer Plattengründung größerer Abmessung auf Tonuntergrund angenommen. Das Setzungsmaß dieses Bauwerks hängt infolge der großen Einflußtiefe von der Dicke der Tonschicht ab und schwankt auch bei Annahme der geringen Belastung von nur 1 kg/cm<sup>2</sup> je nach den Verhältnissen in der Größenordnung zwischen wenigen Millimetern und vielen Zentimetern. Da weiterhin auf Erzielung einer vollkommen gleichmäßigen Setzung nur in Ausnahmefällen Rücksicht genommen wird oder werden kann, wird ein gegen ungleichmäßige Setzungen empfindliches Gebäude möglicherweise schweren Schaden nehmen. Ganz abgesehen von ungleichmäßigen Bewegungen wird der Bauherr in den meisten Fällen auch bei gewährleistet gleichmäßigen Setzungen Bedenken haben, sobald die Voraussage die Größenordnung von wenigen Zentimetern überschreitet. In der Neufassung der DIN 1054 wurden daher für „zweifelsfreie Fälle“ für bindige Böden nur die Belastungen der Tafel 3 zugelassen und weiterhin an die Bedingung geknüpft, daß

- a) „unter der Gründungssohle überall tragfähige gleichmäßige Bodenschichten liegen“ und
- b) „die zu erwartenden Setzungen das für das Bauwerk zulässige Maß nicht überschreiten, was im Zweifelsfall durch eine Setzungsberechnung nachzuweisen ist“.

Tafel 3. Zulässige Belastung bindiger Böden für „zweifelsfreie Fälle“ entsprechend der Neufassung der DIN 1054.

Bodenart	kg/cm <sup>2</sup>
1. Bindige Böden (Lehm, Ton und Mergel)	
a) breilig . . . . .	0
b) weich (leicht knetbar) . . . . .	0,4
c) steif (schwer knetbar) . . . . .	0,8
d) halbfest . . . . .	1,5
e) hart . . . . .	3,0

Um die Aufstellung einer Tafel für Regelfälle, die keine besonderen Untersuchungen notwendig machen, überhaupt zu ermöglichen, ohne der Gefahr von übermäßigen Setzungen oder Grundbruch ausgesetzt zu sein, sind die Zahlenwerte der Tafel 3 gegenüber den früher üblichen Werten bedeutend herabgesetzt worden. Wird durch bodenphysikalische Untersuchungen nachgewiesen, daß die zulässigen Belastungen der Tafel 3 bei Einhaltung genügender Sicherheit überschritten werden dürfen, so steht auch einer wesentlichen Überschreitung obiger Werte nichts entgegen. Es ist somit zu erwarten, daß insbesondere bei Bauwerken auf bindigen Böden durch rechtzeitige Bodenuntersuchungen von der Möglichkeit einer Gründung mit größerer Wirtschaftlichkeit und höherer Sicherheit Gebrauch gemacht wird.

Während die Belastungswerte bindiger Bodenschichten früher oft zu hoch lagen, ist für nichtbindige Böden, zumindest für Bauwerke größerer Gründungsabmessungen, vielfach das Umgekehrte der Fall gewesen. Da Bauwerke auf Sand oder Kies nur geringfügige Setzungen erfahren und diese außerdem gleichzeitig mit zunehmender Laststeigerung eintreten, sind die zulässigen Belastungen in der Hauptsache abhängig von der Bruchlast dieser Bodenschichten. Die Bruchlast von Sand und Kies wächst aber mit zunehmender Gründungsfläche in einem Ausmaß, daß sie schon für eine gewöhnliche Flachgründung bei einem Grundflächendurchmesser von 5 m mehr als das Zehnfache der bisher üblichen zulässigen Werte beträgt. Der Normenausschuß entschloß sich daher, in die Neufassung der DIN 1054 neben den für „zweifelsfreie Fälle“ in Tafel 4 enthaltenen zulässigen Belastungen für Sand und Kies „Sondervorschriften für nichtbindige Böden“ aufzunehmen (Tafel 5). Durch diese ist die Möglichkeit gegeben, bei größeren Grundflächendurchmessern auf nichtbindigen Böden wesentlich höhere Belastungen zuzulassen.

Tafel 4. Zulässige Belastung nichtbindiger Böden für „zweifelsfreie Fälle“ entsprechend der Neufassung der DIN 1054.

Bodenart	kg/cm <sup>2</sup>
2. Nichtbindige festgelagerte Böden	
a) Fein- und Mittelsand bis zu 1 mm Korngröße	2
b) Grobsand, Körnung 1 bis 3 mm	3
c) Kiessand mit mindestens 1/3 Rtl. Kies und Kies bis 70 mm Korngröße	4

Tafel 5. „Sondervorschriften“ für nichtbindige Böden entsprechend der Neufassung der DIN 1054.

Bodenart	Breite der Gründungsfläche	
	2 m	10 m
a) Fein- und Mittelsand bis zu 1 mm Korngröße	2 kg/cm <sup>2</sup>	5 kg/cm <sup>2</sup>
b) Grobsand, Korngröße 1 bis 3 mm	3	8
c) Kiessand mit mindestens 1/3 Rtl. Kies und Kies bis 70 mm Korngröße	4	10

Obwohl auch diese Werte wesentlich unter den zulässigen Belastungen von Sand und Kies liegen, ermöglichen sie für Gründungsabmessungen, die über das Maß gewöhnlicher Wohnungsbauten hinausgehen, eine wesentlich größere Wirtschaftlichkeit. Damit ist erstmalig der Versuch unternommen, die zulässigen Bodenbelastungen von den Abmessungen der Gründung abhängig zu machen. Die Weiterentwicklung dieser Tafel in der ange deuteten Richtung ist einer späteren Neubearbeitung vorbehalten.

Wie die alte DIN 1054 verzichtet auch die Neufassung auf eine besondere Berücksichtigung des sogenannten Schwimm-, Trieb- oder Fließsand. Fließerscheinungen in Baugruben oder Bohrlöchern mögen zeitweise für den Bau als solchen unangenehme Folgeerscheinungen bringen, für die Tragfähigkeit von Gründungen sind sie in den meisten Fällen ohne nennenswerte Bedeutung. Wie ungleich die Auffassung über die zulässige Belastung eines Sandbodens ist, der Fließsandercheinungen aufweist, geht aus der Auffassung der verschiedenen bestehenden Belastungstafeln hervor, die Werte zwischen 0 und 5 kg/m<sup>2</sup> als zulässig erachten (s. Tafel 1).

2. Zulässige Belastung von Pfahlgründungen.

Der in der ersten Fassung (1934) der DIN 1054 enthaltene Abschnitt über Pfahlgründungen war nur allgemein gehalten und hatte folgenden Wortlaut:

„Bei Pfahlgründungen ist stets die Tragfähigkeit der Pfähle an Hand von Erfahrungswerten für den anstehenden Baugrund (Fußwiderstand, Mantelfreibung) oder, wenn solche nicht vorliegen, durch Probelastungen nachzuprüfen.“

Es entspricht der Bedeutung dieses Abschnitts, wenn er in der Neufassung der DIN 1054 auf mehrere Druckseiten erweitert wurde. Während die Beurteilung der Tragfähigkeit von Pfählen in den einzelnen Teilen des Reiches durch die Baupolizei entsprechend den örtlichen Erfahrungen bisher verschieden gehandhabt wurde, erwies sich auch hier eine einheitliche Regelung als dringend erwünscht. Für klare und einfache Fälle empfiehlt die neue DIN 1054 die Einhaltung folgender Richtlinien:

„Bei einwandfrei festgestellten Bodenverhältnissen können folgende Erfahrungswerte für die zulässige Belastung eines Rammpfahles von 5 m Mindestlänge zugrunde gelegt werden, wenn der Pfahl genügend tief in eine tragfähige Bodenschicht reicht und keine nennenswerten Erschütterungen auftreten:

- für runde Holzpfähle
  - von 30 cm mittlerem Durchmesser 30 t
  - „ 35 „ „ „ 35 t
  - „ 40 „ „ „ 40 t
- für quadratische Eisenbetonpfähle
  - von 30 cm voller Seitenlänge 35 t
  - „ 35 „ „ „ 43 t
  - „ 40 „ „ „ 50 t

Für diese Tragfähigkeit ist vorausgesetzt

- a) bei Holzpfählen, daß das Gewicht des Rammbären ungefähr gleich dem zweifachen Gewicht des Rammpfahles ist, und daß der Pfahl unter der Schlagarbeit von 1,5 tm für jeden Schlag einer langsam schlagenden Ramme nicht mehr als 40 mm in der letzten Hütze von zehn Schlägen zieht,
- b) bei Eisenbetonpfählen, daß das Gewicht des Rammbären ungefähr gleich dem Gewicht des Rammpfahles ist, und daß der Pfahl unter der Schlagarbeit von 2 tm für jeden Schlag einer langsam schlagenden Ramme nicht mehr als 30 mm in der letzten Hütze von zehn Schlägen zieht.“

Im übrigen wird den einzelnen Pfahlbauweisen bei Nachweis der Tragfähigkeit durch Probelastungen weitgehende Freiheit gegeben. Die Art der Probelastung ist naturgemäß genau vorgeschrieben, so daß in Zukunft auch eine bessere Vergleichsmöglichkeit der verschiedenen Belastungsversuche bestehen wird.

Von besonderer Bedeutung ist schließlich die einheitliche Festlegung der zulässigen Tragfähigkeit von Pfählen mit 2/5 der bei der Probelastung gefundenen Bruchlast. In Zukunft wird somit die mit Recht viel umstrittene Ermittlung der Proportionalitätsgrenze zur Beurteilung der Tragfähigkeit überflüssig gemacht.

Alle Rechte vorbehalten.

Zur Frage der Berechnung der Baugrubenaussteifungen.

Von Rudolf Kerger, technischem Reichsbahn-Oberinspektor, Berlin.

Baugruben, die so breit sind, daß die Steifen der Baugrubenwände nicht mehr in einem Stück durchgeführt werden können, sondern durch besondere Zwischenverbände gehalten werden müssen (Abb. 1), z. B. Baugruben für städtische Untergrundbahnen, werden meist nach der sogenannten Berliner Bauweise hergestellt. Die Bohlenwände, Außenrammträger und Steifen müssen stets für die waagerechten Kräfte aus Erd- und Häuserdruck und anderen Auflasten berechnet werden. Die Mittelrammträger werden nur bei geschlossenen Baugruben für die Fahrbahn- und Verkehrslasten berechnet. Für die Bemessung der Bohlen, Außenrammträger und Steifen wurde bisher der waagerecht angreifend gedachte Erddruck nach der Formel

$$E_a = \gamma \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\rho}{2} \right)$$

ermittelt. Da der Erddruck danach mit zunehmender Baugrubentiefe immer größer wird, mußten auch die Bohlen und Steifen nach unten zu immer stärkere Abmessungen erhalten.

Zahlreiche Beobachtungen beim Herstellen, während des Umsteifens und während des Abbaues der Baugrubenaussteifungen haben aber gezeigt, daß die wirklichen Belastungen stets erheblich geringer als die so errechneten waren. Da nun aber eine genauere Anpassung der Bohlen-, Steifen- und Rammträgerabmessungen an die wirklichen Belastungen zu ganz erheblichen Einsparungen an Holz und Eisen führen muß, er-



Abb. 1. Querschnitt durch eine nach der Berliner Bauweise ausgesteifte Baugrube.

scheint es angebracht, Aufklärung über die wirklichen Belastungen zu schaffen. Dabei wird von der Tatsache ausgegangen, daß eine Aussteifung, die von oben nach unten fortschreitend in eine aus dem gewachsenen Boden ausgehobene Baugrube eingebracht wird, grundsätzlich anders zu berechnen ist als etwa eine Futtermauer, die von der Sohle aus nach oben hergestellt und dann erst mit Boden hinterfüllt wird.

Bei der Futtermauer werden Größe und Verteilung des Erddrucks etwa den nach der vorstehenden Erddruckformel berechneten Werten entsprechen. Bei der Baugrubenaussteifung werden dagegen bei ordnungsmäßiger Herstellung die Bohlen schon vor dem Auftreten des Erddrucks fest gegen den Boden gepreßt, so daß sie Erdwiderstand erzeugen.

Die Grundlagen für eine der Wirklichkeit mehr entsprechende Berechnungsweise können demnach nur durch genaue Untersuchung der Arbeitsvorgänge beim Einbringen der Aussteifungen gefunden werden. Diese Untersuchung beginnt mit dem Zeitpunkt, wo die Außen- und Mittelrammträger fertig eingerammt sind und die Ausschachtungstiefe etwa 0,8 m beträgt. Bevor weiter ausgeschachtet werden kann, müssen die Aussteifungsbohlen hinter oder zwischen die Flanschen der Außenrammträger eingebracht werden. Meist wird bei oben offenen Baugruben dabei so verfahren, daß hinter die äußeren Trägerflanschen der Außenrammträger oben Kantholzstücke gestellt und dann etwa vier Bohlen übereinander dazwischengelagert werden (Abb. 2). Hinter diese Bohlen wird wieder Boden eingestampft und dann der Pfasteranschluß wiederher-

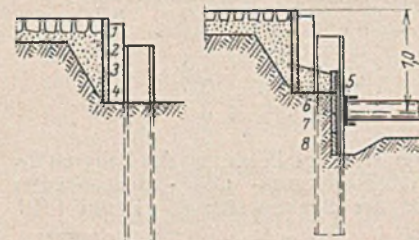


Abb. 2. Anordnung der Bohlen 1 bis 4 mit Pfasteranschluß beim Beginn des Ausschachtens.

Abb. 3. Einbringen der Bohlen 5 bis 8 und der obersten Steifenanlage bei fortgeschrittener Ausschachtung.

gestellter Pfasteranschluß wiederher-



gestellt. Nun wird der Boden zwischen den benachbarten Außenrammträgern so weit ausgeschachtet und lotrecht abgestochen, daß nach und nach die Bohlen 5 bis 8 (Abb. 3) eingelegt und mit Holzkellen fest gegen den Erdboden angepreßt werden können. Mit jeder neuen Bohle, die so eingelegt wird, erhält der Rammträger eine zusätzliche Belastung von der Größe des Keildrucks. Die Bohle kann aber nur dann den erwünschten Druck auf den Boden zwischen den benachbarten Außenrammträgern ausüben, wenn sie nach dem Verkeilen eine der zulässigen Spannung entsprechende Durchbiegung aufweist. Der Einschaler darf also den Boden nicht gerade abstechen, wie es in Abb. 4, rechte Hälfte, angegeben ist, weil bei dieser Art der Ausführung beim Antreiben der Keile offensichtlich nur der Boden zwischen der Bohlenrückseite und dem im Boden steckenden hinteren Trägerflansch zusammengepreßt werden würde, während nach der Mitte zu die Bohlen kaum eine Spannung aufweisen würden. Dabei kann es auch vorkommen, daß die Bohlen über größere Strecken hohl liegen, so daß der Boden nachrieselt. Zur Vermeidung dieser Fehler muß die Ausschachtung für die Bohlen nach Abb. 4, linke Hälfte, mit einem Stich ausgeführt werden, der der Durchbiegung der Bohlen bei voller Beanspruchung entspricht.

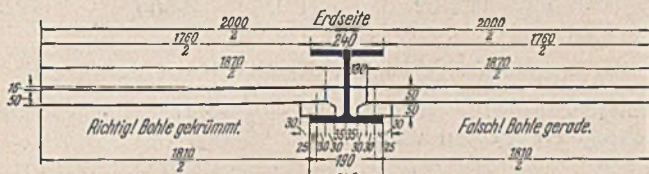


Abb. 4.

Waagerechter Schnitt durch Außenrammträger und Bohlenwand.

Ist nach dem Einziehen der achten Bohle (Abb. 3) der übrige Boden genügend tief ausgeschachtet, so werden die U-Eisen an den Außen- und Mittelrammträgern befestigt, die Steifen zwischen die Flanschen der U-Eisen eingelegt und mit flachen Hartholzkellen fest eingespannt. Durch das Antreiben der Kelle erhalten die Steifen erfahrungsgemäß nur eine Vorspannung von 1,5 bis 3,0 t. Nach dem Einziehen der obersten Steifenlage werden, der übrigen Ausschachtung etwas vorausgehend, in derselben Weise die weiteren Bohlen zwischen die Außenrammträger eingelegt und verkeilt. Mit jeder richtig eingelegten neuen Bohle erhalten die Außenrammträger wieder neue zusätzliche Belastungen, die sie auf die obere Steifenlage und unten auf den Boden übertragen. In dieser Weise werden nach und nach alle Bohlen und Steifenlagen bis zur Baugrubensohle eingebracht.

Der beschriebene Arbeitsvorgang zeigt deutlich, daß Bohlen, Außenrammträger und Steifen bei ordnungsmäßiger Ausführung keine anderen Kräfte aufzunehmen haben, als die durch das Antreiben der Kelle auftretenden Keildrücke. Die Größe dieser Kräfte hängt also nur von der Art der Ausführung ab. Die Richtigkeit dieser Überlegung konnte Verfasser immer wieder feststellen. Wo die Bohlen nur wenig oder gar nicht durchgebogen waren, hatten die Steifen nur wenig Spannung und ließen sich verhältnismäßig leicht ausschlagen. Das traf besonders für die in größerer Tiefe eingebauten Bohlen zu, die wegen ihrer größeren Abmessungen nicht bis zu voller Durchbiegung verkeilt werden konnten. Dagegen wiesen Steifen der oberen Lagen oft sehr erhebliche Spannungen auf, wenn die schwächeren Bohlen mit richtiger Durchbiegung eingebracht worden waren. Wenn die Baugrubenaussteifung ihren Zweck voll erfüllen soll, so müssen eben die Bohlen mit genügender Vorspannung eingelegt werden. Die hierzu erforderlichen Durchbiegungen der Bohlen sind für die verschiedenen Bohlendicken  $h$  für eine mittlere Stützweite von 1,81 m bei 2,0 m Außenrammträgerabstand in der Tafel 1 berechnet. Bei gleichmäßiger Belastung erhält man mit  $E = 100\,000 \text{ kg/cm}^2$  und  $\sigma_{zul} = 120 \text{ kg/cm}^2$  die größte Durchbiegung

$$\max f = \frac{5}{48} \cdot \frac{M l^2}{E J} = \frac{5}{24} \cdot \frac{\sigma l^2}{E h} = \frac{8,19}{h}$$

worin  $f$  und  $h$  in cm einzusetzen sind. Zur Klärung der Frage, welche Bohlendicken gewählt und über welche Tiefen sie eingebaut werden müssen, damit die Baugrube auf jeden Fall sicher ausgesteift ist, ist davon auszugehen, wie erfahrungsgemäß der Einsturz einer senkrecht abgeschachteten, frei stehenden Erdwand vor sich geht. Bei gleichmäßig festgelagertem, naturfeuchtem Sand oder Kies haben die Beobachtungen des Verfassers gezeigt, daß niemals die Erdwände über die ganze Höhe einstürzten, sondern daß etwa die oberen zwei Drittel der Wand ein-

stürzten, während etwa das untere Drittel stehenblieb (Abb. 5). Sind im Sand oder Kies auch feste Ton- oder Mergelschichten von größerer Mächtigkeit vorhanden, so werden die Einstürze ähnlich der Abb. 5 von den oberen Kanten der festen Erdschichten ausgehen. Eine Baugrube wird dann als sicher ausgesteift gelten können, wenn die Steifen in den oberen zwei Dritteln der Baugrube den über diese Tiefe möglichen, waagrecht angreifend gedachten Erddruck aufnehmen können. Für die Berechnung der waagerechten Seitenkraft des Erddrucks kann wegen der großen Rauigkeit der Bohlen der Reibungswinkel  $\delta = \rho$  angenommen werden. Da derartige Erddruckkräfte nur bei Einsturz der Baugrube entstehen können, erscheint es zulässig, dabei die Spannungen für Holz und Eisen bis zur mittleren Proportionalitätsgrenze ansteigen zu lassen, d. h. für Holz  $\sigma_p = 175 \text{ kg/cm}^2$  und für Eisen  $\sigma_p = 2050 \text{ kg/cm}^2$  zu setzen.

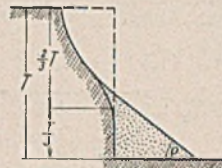


Abb. 5. Einsturzbild einer frei stehenden, lotrechten Erdwand.

Damit sind die für die Berechnung der Baugrubenaussteifung maßgebenden Verhältnisse klargestellt. Die Berechnung selbst hat Verfasser für den in Abb. 1 dargestellten Querschnitt mit den Werten:  $\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$ ,  $\delta = \rho = 37,5^\circ$  nach Krey<sup>1)</sup> durchgeführt. Dabei wurde für die Berechnung der Bohlen, Außenrammträger und Steifen nur die waagerechte Seitenkraft des Erddrucks in Rechnung gestellt, wobei angenommen wurde,

daß die lotrechte Seitenkraft durch die Reibung zwischen Erde, Bohlen, Kelle und Träger unmittelbar in den Boden geleitet wird. Der im Einsturzfalle von der Bohlenwand bei 2 m Abstand der Außenrammträger aufzunehmende waagerechte Erddruck ist in Abb. 6 gestrichelt eingetragen. Im unteren Drittel der Baugrube nimmt nach den vorstehenden Ausführungen der Erddruck bis zur Sohle auf 0 ab.

Der Erddruck, den eine 1 m hohe Bohlenwand bei der Stützweite  $l$  aufnehmen kann, ist

$$E_a' = e_a l \cdot 1 = \frac{8 M}{l} = \frac{8 \sigma h^2}{6 l}$$

oder im Einsturzfalle bei  $\sigma_p = 175 \text{ kg/cm}^2$ , bei der Stützweite  $l = 1,81 \text{ m}$  und für die 1,74 m betragende freie Spannweite der Bohlen  $E_a' = 124 h^2$ , worin  $h$  in cm einzusetzen ist. Dieser Wert ist in Tafel 2 für die verschiedenen Bohlendicken berechnet.

Mit den Werten der Tafel 2 sind dann die Tiefen berechnet, bis zu denen die einzelnen Bohlendicken verwendet werden können (Abb. 6).

Für die weitere Berechnung der Außenrammträger und Steifen sind dann noch die Erdwiderstände berechnet worden, die der Boden gegen 20 cm hohe, durch Kelle angepreßte Bohlen bei voller Vorspannung von  $\sigma_{zul} = 120 \text{ kg/cm}^2$  leisten würde. Für die Stützweite von  $l = 1,81 \text{ m}$  ergeben sich diese Widerstände zu

$$E_p = e_p \cdot 20 \cdot 181 = \frac{8 \cdot 120 h^2 \cdot 20}{6 \cdot 181} = 17,7 h^2.$$

Sie sind in Tafel 3 zusammengestellt.

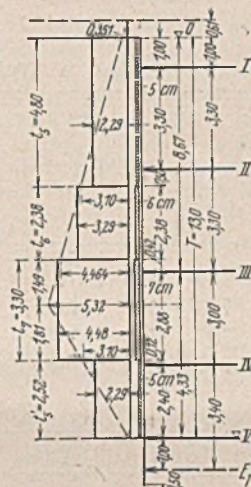


Abb. 6. Einsturz-Erddruck und Erdwiderstände für die verschiedenen Bohlendicken bei 2,0 m Rammträgerabstand nach der hier vorgeschlagenen Berechnungsart.

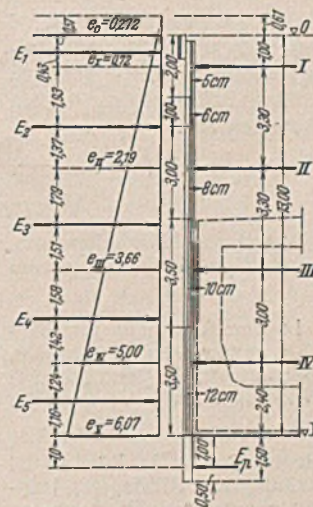


Abb. 7. Erddruckbelastung für 1,0 m Baugrubenlänge und Bohlenabmessungen für 2,0 m Rammträgerabstand nach der bisherigen Berechnungsart.

In Abb. 6 sind die von den verschiedenen Bohlendicken nach Tafel 3 übertragenen Erdwiderstände eingezeichnet. Danach ist der gesamte bei

<sup>1)</sup> Krey-Ehrenberg, Erddruck, Erdwiderstand usw., 5. Aufl., S. 312, Tafel 54. Berlin 1936, Wilh. Ernst & Sohn.

Tafel 1.

Bohlendicke $h$ cm	$\max f = \frac{8,19}{h}$ cm
5	$\frac{8,19}{5} = 1,63$
6	$\frac{8,19}{6} = 1,37$
7	$\frac{8,19}{7} = 1,17$
8	$\frac{8,19}{8} = 1,02$
9	$\frac{8,19}{9} = 0,91$
10	$\frac{8,19}{10} = 0,82$
11	$\frac{8,19}{11} = 0,74$
12	$\frac{8,19}{12} = 0,68$

Tafel 2.

Bohlendicke $h$ cm	$E_a' = h^2 \cdot 124$ kg/cm
5	$25 \cdot 124 = 3\,100$
6	$36 \cdot 124 = 4\,464$
7	$49 \cdot 124 = 6\,076$
8	$64 \cdot 124 = 7\,936$
9	$81 \cdot 124 = 10\,044$
10	$100 \cdot 124 = 12\,400$

2 m Außenrammträgerabstand und 13 m Wandhöhe übertragene Erdwiderstand:

$$\Sigma E_p = 2,29(4,8 + 2,52) + 3,29 \cdot 2,38 + 4,48 \cdot 3,3 = 16,77 + 7,83 + 14,8 = 39,4 \text{ t}$$

Der gesamte angreifende Erddruck wäre dagegen nach Abb. 6:

$$\Sigma E_a = \frac{5,32 + 0,351}{2} \cdot 8,67 + \frac{5,32}{2} \cdot 4,33 = 24,6 + 11,5 = 36,1 \text{ t}$$

Mithin ist  $\Sigma E_p$  größer als  $\Sigma E_a$  um 3,3 t.

Tafel 3.

Bohlen- dicke h cm	Eine Bohle erzeugt auf 1,81 m Stützweite $E_p = h^2 \cdot 17,7$ kg	Eine Bohle überträgt bei einer Gesamtlänge von $L = 1,87$ m $E_p' = E_p \cdot \frac{1,87}{1,81}$ $= E_p \cdot 1,033$ kg	Bei 2 m Feldweite über- tragen die Bohlen auf 1 m Bohlenwandhöhe $\max E_p = E_p' \cdot 5$ kg
5	$25 \cdot 17,7 = 443$	$443 \cdot 1,033 = 458$	$458 \cdot 5 = 2\ 290$
6	$36 \cdot 17,7 = 637$	$637 \cdot 1,033 = 658$	$658 \cdot 5 = 3\ 290$
7	$49 \cdot 17,7 = 867$	$867 \cdot 1,033 = 896$	$896 \cdot 5 = 4\ 480$
8	$64 \cdot 17,7 = 1133$	$1133 \cdot 1,033 = 1170$	$1170 \cdot 5 = 5\ 850$
9	$81 \cdot 17,7 = 1434$	$1434 \cdot 1,033 = 1480$	$1480 \cdot 5 = 7\ 400$
10	$100 \cdot 17,7 = 1770$	$1770 \cdot 1,033 = 1830$	$1830 \cdot 5 = 9\ 150$
11	$121 \cdot 17,7 = 2142$	$2142 \cdot 1,033 = 2212$	$2212 \cdot 5 = 11\ 060$
12	$144 \cdot 17,7 = 2549$	$2549 \cdot 1,033 = 2630$	$2630 \cdot 5 = 13\ 150$

Nach der Ermittlung der Bohlendicken kann die weitere Berechnung der Außenrammträger und Steifen mit den in Tafel 3 ermittelten Erdwiderständen vorgenommen werden. Die sich danach aus der Berechnung der Steifen ergebenden Stabkräfte sind in Tafel 4 für die Bemessung der Steifen benutzt worden.

Zur Ermittlung der Abmessungen der Bohlen und Steifen, die bei der bisherigen Berechnungsweise verwendet werden müßten, ist eine Vergleichsberechnung durchgeführt worden, die die in Abb. 7 und Tafel 5 dargestellten Ergebnisse hatte.

Die Gegenüberstellung des Holzverbrauchs für 2 m Baugrubenlänge hatte folgendes Ergebnis:

Bauteil	Bisherige Berechnung	Neue Berechnung	Ersparnis	
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%
Bohlen . . . . .	4,3758	2,7668	1,6090	36,7
Steifen . . . . .	6,8394	5,1762	1,6632	24,3
zusammen	11,2152	7,9430	3,2722	29,2

Auf 1000 m Baugrubenlänge können demnach bei Anwendung der hier vorgeschlagenen neuen Berechnungsweise  $\frac{3,2722}{2} \cdot 1000 = 1636 \text{ m}^3$  Bohlen- und Steifenholz eingespart werden.

Tafel 4.

Steifen- lage	Größter Steifen- druck S t	Steifen der Endfelder								Steifen der Mittelfelder							
		D	F	i	s <sub>k</sub>	$\lambda = \frac{s_k}{i}$	$\omega$	$\frac{\sigma = \omega S}{F}$	$\sigma_{zul}$	D	F	i	s <sub>k</sub>	$\lambda = \frac{s_k}{i}$	$\omega$	$\frac{\sigma = \omega S}{F}$	$\sigma_{zul}$
		cm	cm <sup>2</sup>	cm	cm			kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	cm	cm			kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
I	6,42	24	452	6,0	750	125	5,88	84	96	20	314	5,0	550	110	4,43	91	96
II	10,3	26	531	6,5	750	115	4,89	95	96	24	452	6,0	550	92	3,08	70	96
III	14,5	30	707	7,5	750	100	3,60	74	96	26	531	6,5	550	85	2,72	74	96
IV	10,0	26	531	6,5	750	115	4,89	92	96	22	380	5,5	550	100	3,60	95	96

Tafel 5.

Steifen- lage	Größter Steifen- druck max S t	Steifen der Endfelder								Steifen der Mittelfelder							
		D	F	i	s <sub>k</sub>	$\lambda = \frac{s_k}{i}$	$\omega$	$\frac{\sigma = \omega S}{F}$	$\sigma_{zul}$	D	F	i	s <sub>k</sub>	$\lambda = \frac{s_k}{i}$	$\omega$	$\frac{\sigma = \omega S}{F}$	$\sigma_{zul}$
		cm	cm <sup>2</sup>	cm	cm			kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	cm	cm			kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
I	5,11	22	380	5,5	750	137	7,18	96	96	20	314	5,0	550	110	4,43	72	96
II	17,7	30	707	7,5	750	100	3,60	90	96	26	531	6,5	550	85	2,72	91	96
III	27,5	34	908	8,5	750	88,2	2,87	87	96	30	707	7,5	550	73,3	2,26	88	96
IV	30,5	34	908	8,5	750	88,2	2,87	96	96	30	707	7,5	550	73,3	2,26	96	96

Nach dieser Gegenüberstellung ist also der gesamte Erdwiderstand gegen die Bohlen bei richtiger Vorspannung noch um 3,3 t größer, als der gesamte im Einsturzfall mögliche angreifende Erddruck betragen würde. Die nach diesem Verfahren gewählten Bohlendicken reichen demnach für alle vorkommenden Fälle vollkommen aus.

Erhebliche Ersparnisse an Stahl werden dadurch erzielt, daß die Außenrammträger ebenfalls für die sich aus der neuen Berechnungsweise ergebenden waagerechten Kräfte berechnet werden, und daß nur in Ausnahmefällen etwa aus rammtechnischen Gründen bei besonders schwierigen Bodenverhältnissen, schwerere Träger als die errechneten zur Verwendung kommen.

### Vermischtes.

**Technische Hochschule Brünn.** Der Dozent für Eisenbahnwesen, Dr. techn. Robert Hanker, ist zum außerplanmäßigen Professor ernannt worden.

**Technische Hochschule Darmstadt.** In der Abteilung für Bauingenieurwesen ist Bibliotheksrat Dr.-Ing. W. Sbrzesny beauftragt worden, Gewässerkunde und Landwirtschaftlichen Wasserbau, Regierungsbaurat Sigurd Hlorth Angewandte Hydraulik und Wasserstraßen in Vorlesungen und Übungen zu vertreten.

**Technische Hochschule Dresden.** Regierungsrat Dr. Rösler ist beauftragt worden, in der Baulingenieurabteilung die „Umliegung landwirtschaftlicher Grundstücke und Baulandumlegungen“ in Vorlesungen und Übungen zu vertreten.

**Technische Hochschule Stuttgart.** Dr.-Ing. habil. Kurt Walz wurde zum Dozenten für das Fach „Technologie und Prüfung der anorganischen nichtmetallischen Baustoffe und der zugehörigen Arbeitsverfahren“ ernannt.

**Tagungen.** Die für den 25. Oktober vorgesehene Tagung des Reichsverbandes der Deutschen Wasserwirtschaft und die für den 20. November in Aussicht genommene Hauptversammlung der Hafentechnischen Gesellschaft sind auf unbestimmte Zeit verschoben worden.

**Verkehrsplanung in den neuen Ostgebieten.** Um beim kommenden Siedlungsaufbau der Ostgebiete auf dem Gebiet der Verkehrsplanung ein enges Zusammenarbeiten aller beteiligten Behörden herbeizuführen, hatte der Reichsführer SS. als Reichskommissar für die Festigung deutschen Volkstums die zuständigen Dienststellen des Reiches und der östlichen Gauen zu einer Aussprache in Posen eingeladen. Dabei wurde über den geplanten Ausbau der Eisenbahnlinien, des Reichsautobahn- und Straßennetzes und über die Pläne zur Regelung von Weichsel, Warthe und Netze und die damit zusammenhängenden Kanalpläne berichtet. Im Anschluß an die Tagung fand eine Verkehrsberatsung der Ostgebiete statt, die von Posen über Litzmannstadt, Warschau, Thorn und Bromberg nach Danzig führte.

**Der Fergansker Kanal in Turkestan.** Ein Bau, der in Rußland zur Zeit viel von sich reden macht, ist der große Fergansker Bewässerungskanal in Usbekistan (Turkestan), der im Jahre 1939 in Angriff genommen worden ist. Der Kanal hat einstweilen eine Länge von 271 km. In seinem Narynsker Teil hat er eine Sohlenbreite von 25 m bei 4,5 bis 12 m Einschnitttiefe. Der Bau greift auf einen alten Entwurf zurück, dessen Ausführung schon 1868 begonnen, aber damals nicht vollendet wurde. Der Kanal soll dem Baumwollbau Usbekistans dienen, das sich zu einer großen Baumwollkammer der Sowjetunion entwickelt hat. Der

Baumwollanbau ist dort seit 1924 auf das 7,7fache angewachsen, der Anteil der Usbeksker Baumwolle an der gesamten Baumwollernte der Sowjetunion betrug 1938 schon 57,4%. Führend in Usbekistan ist dabei der Fergansker Bezirk, der allein 31% der Baumwollernte der UdSSR liefert und der Höchstleistungen bis zu 7500 kg/ha erzielt. 1939 wurde der Naryn-Sochsker Kanal in Angriff genommen, der jetzt unter dem Namen „Fergansker Kanal“ viel genannt ist. Er beendet den Wassermangel auf 150000 ha schon bewässerte Fläche und bewässert 67000 ha weitere Bodenflächen, die bisher zum Teil Brachfeld waren. Damit sichert er das wirtschaftliche und kulturelle Gedeihen des Fergansker Tales.

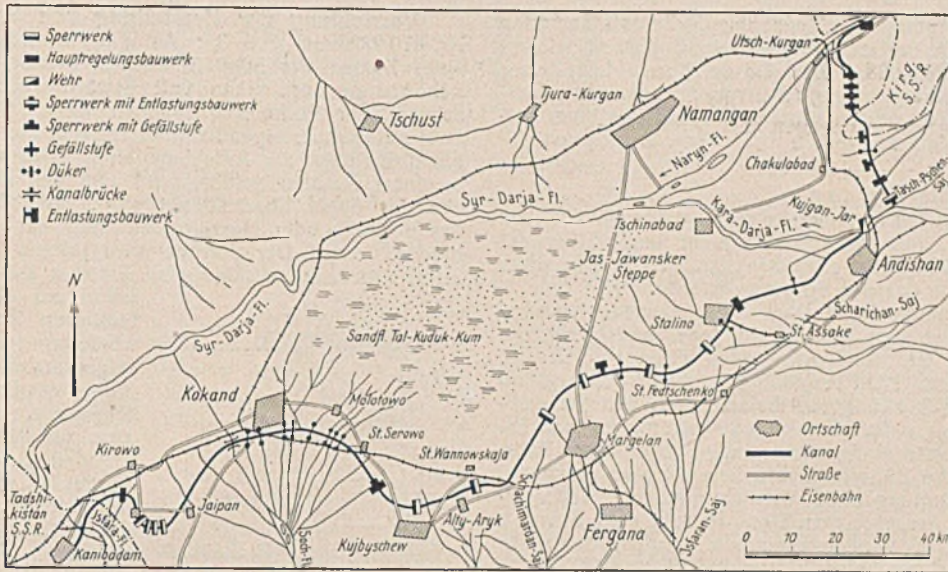
Der Kanal wird gespeist aus den Flüssen Naryn und Kara-Darja. Der Zubringer ist vom Einlaufbauwerk bei Utsch-Kurgan am Naryn bis zum Kara-Darja 45 km lang und verläuft in gebirgigem Gelände. Im Sommer wird durch ihn auch der Kara-Darja gespeist, der dann nicht genügend Wasser hat. Auf dieser Strecke war eine Reihe von Kunstbauten, darunter 14 Brücken, erforderlich. 4,3 Millionen m<sup>3</sup> Bodenmassen mußten, häufig unter Anwendung von Sprengungen, gefördert werden.

Der zweite Teil des Kanals beginnt beim Kujgan-Jarsker Wehr am linken Ufer des Kara-Darja und erstreckt sich bis zu der Stadt Kanibadam in Tadshikistan auf etwa 226 km Länge. Im Jahre 1940 wird der Kanal in Tadshikistan bis Leninabad fortgesetzt werden, und die Gesamtlänge wird dann 350 km betragen. Die Leistungsfähigkeit des zweiten Kanalteils geht von 98 m<sup>3</sup>/sec beim Kujgan-Jarsker Wehr bis auf 10 bis 12 m<sup>3</sup>/sec in der Endstrecke des Kanals bei Kanibadam herunter. Im ganzen sind beim Kanalbau 18 Millionen m<sup>3</sup> Boden gefördert, 46 große und 275 kleine Wasserbauten, 6 Eisenbahnbrücken und 40 Autostraßenbrücken hergestellt worden. Der Kanal schneidet das Fergansker Tal in zwei Teile. Um eine zu starke Überflutung des Geländes auf dem linken Kanalufer auszuschließen, sind Düker eingebaut, die das Wasser von links nach rechts mittels besonderer Sammler hinüberleiten.

Der Bau des Fergansker Kanals ist weniger bautechnisch von Bedeutung als bemerkenswert durch seine Ausführung in Form einer neuartigen Verwendung gesellschaftlicher Arbeit, wobei die Kolchose, das sind die Bauerngenossenschaften, unter Mithilfe des Staates als Bauausführende auftreten. Die Kanalstrecke war in 39 Baulose geteilt. An der Spitze eines jeden Loses stand ein Ingenieur mit zwei Hilfskräften, der einen für Partelzwecke, der anderen für das Ansetzen der Arbeitskräfte. Das Los war geteilt in mehrere Arbeiterschaften von je 1000 bis 1200 Mann, deren jede möglichst aus ein oder zwei ganzen Dorfsowjets gebildet wurden. An der Spitze jeder Arbeiterschaft stand ein Techniker. Die Arbeiterschaften waren wieder in Brigaden geteilt, die aus ganzen Kolchosen bestanden. Unter den Kolchosenbauern befanden sich auch viele Frauen. Die Werkzeuge brachten die Bauern selbst mit: 63 100 Schaufeln, 62 300 Tragen, dann Hacken, Belle, Elmer, Fässer, Samoware, Kochkessel für das Nationalgericht, den Pilaw, Teppiche u. a. Weiter stellten sie 13 000 Pferde, 4000 Ochsen, 300 Kamele, 11 000 Arben (einsachsige, großrädige Karren), 832 Kraftwagen. Sie bauten sich selbst Hütten aus Schilf oder anderem leichten Baustoff, sie errichteten sich Leinenzelte, gruben Brunnen und Wasserbehälter, sie stellten Köche und Teezurichter. Die in den Kolchosen zurückgebliebenen Greise und Kinder sorgten für die Zufuhr von frischem Gemüse, Früchten, Milch usw. Der Staat ersparte auf diese Weise 60 Millionen Rubel. Er lieferte seinerseits Holz, Kraftwagen, Kraftschlepper, bewegliche und ortsfeste elektrische Stromerzeuger, Eisen, Zement und andere Baustoffe, Bagger, Sprengstoffe. 42 Krankenzimmer mit 100 Betten, Zahnarztzimmern, Apotheken, Untersuchungsräume waren vorhanden, 118 Ärzte, 54 Feldschere, 154 Krankenschwestern waren tätig.

Am 1. August 1939 begannen nach eingehender Vorbereitung 160 000 Bauern pünktlich die Arbeit und leisteten in 1 1/2 Monaten 18 Millionen m<sup>3</sup> Bodenbewegung. In 6 Monaten war die ganze Arbeit fertig. Eine Bauzeitung erschien, die täglich in 24 000 Stücken von 11 Flugplätzen aus durch Kraftwagen verteilt wurde. Rundfunkstellen, Bücherelern, Teestuben waren eingerichtet. 1528 Wandzeitungen erschienen. Künstler, Sänger, Musikanten, Erzähler, Humoristen boten vielbesuchte Konzerte und Schaustellungen. Am 31. Dezember 1939 wurde der Kanal feierlich eröffnet und vom Naryn bis Kanibadam unter Wasser gesetzt. In großem Umfange erhielten Ingenieure und Kolchosenbauern Orden und Auszeichnungen. Sorewnowanje (Wettbewerbe zur Arbeitsförderung) wurden in möglichst großem Umfange veranstaltet.

Die gewonnenen Erfahrungen werden als günstig bezeichnet, das gleiche Verfahren soll deshalb jetzt überall in der Sowjetunion für die verschiedensten Arbeiten Anwendung finden. Offenbar ist infolge der starken Mechanisierung der Landwirtschaft der Bauernstand übersetzt, und



Plan des Fergansker Kanals in Usbekistan (Turkestan).

man sucht die Bauern außer durch Beiziehung zur Industrie auch auf diese Weise in Bewegung zu bringen und ihre natürliche Trägheit zu überwinden. Im allgemeinen scheint man anzustreben, daß sich die Kosten derartiger Arbeiten zwischen Staat und Kolchosen halb und halb verteilen. In Usbekistan sollen nach diesem Verfahren in den nächsten sechs Jahren 430 000 ha Baumwollflächen geschaffen werden. Außer zu Bewässerungszwecken eignet sich das Verfahren zu öffentlichen Arbeiten verschiedener Art, wie z. B. zu Wegebauten. Man scheint auf weitgehende Verbreitung des Verfahrens bedacht zu sein.

Dr. Saller, München.

Vorschriften für geschweißte Stahlhochbauten (DIN 4100). Der Reichsarbeitsminister hatte am 6. Februar d. J.) festgesetzt, welche Werkstoffe für geschweißte Stahlhochbauten verwendet werden dürfen (St 37.12, St 37.21 und St 52). Ergänzend bestimmt er jetzt durch Erlaß vom 15. Juli d. J. — IV 2 Nr. 9603/67/40 —, daß die in § 5 der DIN 4100 festgesetzten zulässigen Spannungen der Schweißnähte für diese Werkstoffe, nicht für die bisher dort angegebenen gelten. Ziff. 2 des § 5 lautet nunmehr: „Diese Werte gelten für die nach § 2, Ziff. 1, zulässigen Werkstoffe St 37.12, St 37.21 und St 52“.

### Zuschriften an die Schriftleitung.

(Ohne Verantwortung der Schriftleitung.)

In der Abhandlung von Dr.-Ing. habil. A. Scheidig über eine Speichergründung auf Rüttelfußpfählen, Bautechn. 1940, Heft 25, heißt es auf S. 278 am Schluß des 2. Abschnitts, in dem die Vorzüge des Rütteldruckverfahrens zusammengefaßt werden, daß die Anwendung des Rütteldruckverfahrens in Verbindung mit der Herstellung der Bohrpfähle (Rüttelfußpfähle) den wesentlichen Vorteil habe, daß auftretende Setzungen und vor allem Setzungsunterschiede sehr gering gehalten werden könnten, ja praktisch sogar ausgeschlossen worden seien, wie die Belastungsversuche gezeigt hätten. Das Rütteldruckverfahren bedeute eine Vorwegnahme der Setzungen vor Errichtung des Gebäudes, was den weiteren Vorteil habe, daß die schweren und empfindlichen Maschinen des Neubaus von vornherein genau gesetzt werden könnten, ohne daß es notwendig sei, sie später auszurichten. Gerade dieser Tatsache käme besondere Bedeutung zu, weil das neue Gebäude an das schon bestehende angebaut wird und die alte und die neue Maschinenanlage miteinander in Verbindung stehen. Hier wird offenbar aus dem Verhalten des Einzelpfahles der falsche Schluß gezogen, daß auch die Gesamtpfahlgründung die gleichen Setzungen zeige wie der Einzelpfahl.

Bei der Beurteilung der Setzung des fertigen Gebäudes muß aber von der Gesamtpfahlgründung ausgegangen werden. Der Sitz der Setzung liegt für sie in einem Bereich, der sich ungefähr bis zu einer Tiefe erstreckt, die der 1/2fachen Gebäudebreite gleich ist, d. h. also in einem Bereich von der Unterkante der Pfähle bis etwa 35 m darunter. Innerhalb dieser sehr mächtigen Bodenschicht ist nur der oberste Teil in einer Tiefe von 4,50 m durch Rütteln so verdichtet, daß er voraussichtlich keine Setzungen mehr zeigt.

Ein sehr anschauliches Beispiel haben Oberbaurat Dipl.-Ing. H. Schulze und Dr.-Ing. H. Cantz in der Abhandlung Der neue Getreidespeicher im Stettiner Hafen<sup>1)</sup> beschrieben. In Abb. 14 (S. 255) ist das Ergebnis einer Probelastung eines Frankpfahls aufgetragen, aus der hervorgeht, daß bei einer Belastung von 165 t die Einsenkung des Pfahles kaum zu erkennen war und daß sie bei 200 t erst 1,7 mm betrug. In Abb. 27 u. 28 (S. 264) sind dagegen die Setzungen des gesamten Bauwerks nach Fertigstellung der Hochbauten und Füllung der Zellen aufgezeichnet. Hiernach hat sich das Gebäude im Mittel um 3,5 cm gesetzt, und zwar bei einer Belastung von rd. 100 t auf den Einzelpfahl. Danach war bei der Herstellung des einzelnen Frankpfahls durch das Verdrängen des Bodens unmittelbar unter dem Pfahlfuß die Setzung des Einzelpfahls vollkommen vorweggenommen, die Setzung der Gesamtgründung betrug jedoch 3,5 cm.

Bei der Gründung, die in dem vorliegenden Aufsatz beschrieben ist, werden die Verhältnisse ähnlich liegen, nur daß von der Setzung der Gesamtgründung durch das Einrütteln der 4,5 m hohen Schicht schätzungsweise 20% vorweggenommen sind.

Es werden sich hier voraussichtlich also doch noch Setzungen zeigen, die etwa in der Größenordnung von 25 bis 30 mm liegen werden; die Setzung des Gebäudes ist also durchaus nicht vorweggenommen, sondern

<sup>1)</sup> Bautechn. 1940, Heft 13/14, S. 167.

<sup>2)</sup> Jahrb. d. Hafenbautechn. Gesellsch. 1937, Bd. 16, S. 248. Berlin 1938, Jul. Springer.

nur schwach gemildert. Die neue Maschinenanlage, die mit der alten in Verbindung steht, muß nach der endgültigen Belastung der Speichergründung auf alle Fälle ausgerichtet werden. Da der Vermeidung dieses Ausrichtens „besondere Bedeutung“ beigemessen war, scheinen die Vorzüge des an sich sehr bemerkenswerten Rüttelverfahrens von dem Verfasser der Abhandlung überschätzt zu werden. Dr.-Ing. E. Paproth.

**Erwiderung.**

Der Verfasser der Zuschrift hat vollkommen recht, daß man aus dem Ergebnis der Probelastung eines Einzelfahles nicht unmittelbar auf die Setzung des gesamten Bauwerks schließen kann<sup>3)</sup>. Es gibt sogar noch viel krassere Beispiele als das des Speichers Stettin.

Meine Bemerkung, daß durch Rütteldruck die Setzungen vorweggenommen werden, bezieht sich natürlich nur auf jene Sandschicht, die durch Rütteldruck<sup>4)</sup> verdichtet ist. Im vorliegenden Falle handelte es sich darum, Bohrpfähle von 80 bis 120 t Tragfähigkeit, die den Untergrund auf kleiner Fläche mit etwa 30 bis 40 kg/cm<sup>2</sup> belasten, auf den Sand abzustellen und vorher den Sand dafür hinreichend tragfähig zu machen. Wie der Vergleich mit den ohne Bodenverdichtung ausgeführten Bohrpfählen zeigt, ist das durch die Rüttelfußpfähle hervorragend gelungen. Eine gewöhnliche Bohrpfahlgründung ohne Verdichtung hätte sicher erhebliche Setzungen erwarten lassen. Durch das Rütteln sind von den Setzungen auf jeden Fall 96% vorweggenommen worden, denn die Setzung betrug bei 80 t Belastung beim Rüttelfußpfahl nur 0,75 mm, beim gewöhnlichen Bohrpfahl aber 18,3 mm.

In seinen Betrachtungen über die Gesamtsetzung des Bauwerks, die sich aus der Zusammendrückung der tieferen, hier nicht verdichteten Schichten ergibt, bei denen die Setzungen also nicht durch Rütteldruck vorweggenommen worden sind, übersieht der Verfasser der Zuschrift aber außerdem folgendes. Erstens ist die Setzung des Bauwerks aus Eigengewicht, also die Hälfte der Setzungen, beim Beginn des Einbaues der Maschinen bereits vorüber, zweitens ist es ein Irrtum zu glauben, daß der alte Speicher gänzlich unbeeinflusst stehenbleibt und nur der neue heruntergeht. Vielmehr wird das alte Bauwerk infolge der Drucküberschneidung in dem Baugrundraum unter den Pfahlspitzen ebenfalls etwas mit heruntergehen. Der Setzungsunterschied aus Nutzlast, auf den es allein ankommt, wird nach der Vorausberechnung höchstens 5 mm betragen, ein Maß, um das sich die Speicher beim Füllen und Entleeren sowieso zu heben und zu senken pflegen und das unvermeidbar ist. Gegen solche geringen Bewegungen ist aber die Maschinenanlage unempfindlich.

Das inzwischen im Rohbau teilweise bis zum Dach hochgeführte Bauwerk ist übrigens von einem vereidigten Landmesser eingemessen worden; die Setzungen aus Eigengewicht betragen im Durchschnitt der sechs Meßpunkte 5 mm. Mit der Füllung ist noch nicht begonnen. Eine Mittellung über die Gesamtsetzungen ist für später sowieso vorgesehen. Es wird sich noch herausstellen, ob eine Ausrichtung der Maschinenanlage notwendig werden wird, wie Herr Dr. Paproth meint, und ob die Vorzüge des auch von ihm als „an sich sehr bemerkenswert“ anerkannten Rüttelverfahrens von mir überschätzt worden sind. Dr. Scheidig.

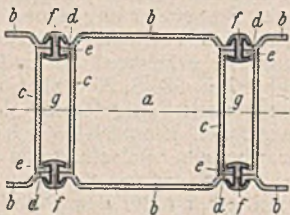
Wir schließen hiermit die Aussprache. Die Schriftleitung.

Zum Aufsatz A. Schroeter, Der Coulombsche Erddruck aus Hinterfüllung und bei Auflasten, insbesondere Kurzstreckenlasten, Bautechn. 1940, Heft 44/45, S. 505.

Zu den Ausführungen zu meinen Abhandlungen möchte ich vorerst nicht Stellung nehmen. Auf Anregung von Herrn Dr.-Ing. e. h. r. Georg Ernst habe ich mit Herrn Ingenieur Ohde einen unmittelbaren Gedankenaustausch vereinbart, dessen Ergebnisse ich abwarten möchte. Mund.

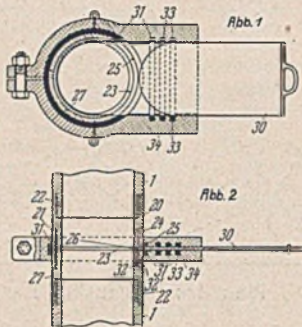
**Patentschau.**

Hohlpfahl für Spundwände. (Kl. 84c, Nr. 668 484 vom 19. 1. 36; Dipl.-Ing. Arthur Mauterer in Dortmund und Willem Coenraad Köhler in Amsterdam.) Um Doppelwände von beliebiger Stärke herzustellen, in denen das Verhältnis zwischen Widerstandsmoment und Gewicht des neuen Hohlpfahles je Quadratmeter Wand sehr günstig ist, ferner um leicht durch Walzen herstellbare Einzelteile zu schaffen, sind die Flansche der den Hohlpfahl bildenden Eisen derart umgebogen oder keilförmig verdickt, daß die aneinanderliegenden Flansche zusammenstoßender Eisen einen gemeinsamen Wulst bilden, der von den Klauen eines I-förmigen Schloßriegels umfaßt wird. Der Hohlpfahl *a* besteht aus den beiden rinnenförmigen Eisen *b* und den beiden, die Stege bildenden U-förmigen Eisen *c*. Die Flansche der Eisen *b* laufen in hakenförmige Fortsetzungen *d* aus, während die Flansche *e* der Eisen *c* keilförmig verdickt sind. Zur Verbindung mit den Nachbarpfählen dienen I-förmige Schloßriegel; die Eisen *b*, *b* und *c*, *c* sind innen oder außen durch Schweißnähte zu einem für sich rambaren Kasten zusammengefügt. Der Raum *g* zwischen benachbarten Hohlpfählen und ebenso der Raum *a* wird mit Beton u. dgl. ausgefüllt.



<sup>3)</sup> Vgl. Kögler-Scheidig, Baugrund und Bauwerk, 2. Aufl., Kap. 15, Das Verhalten von Pfahlgründungen, S. 237, Berlin 1939, Wih. Ernst & Sohn.  
<sup>4)</sup> Hier darf eingeschaltet werden, daß es neuerdings gelungen ist, die Verdichtung bis zu 35 m Tiefe auszuführen.

Vorrichtung zur Herstellung von Preßbetonpfählen. (Kl. 84c, Nr. 670 232 vom 4. 5. 35; Antonio Balduzzi in Mailand, Italien.) Um beim Ziehen der Mantelrohre von Preßbetonpfählen den Luftdruck im Rohrinne auch dann voll aufrechtzuerhalten, wenn die einzelnen Schüsse der Rohre abgenommen werden, wird zur Verbindung von je zwei aufeinanderfolgenden Rohrschüssen ein Gewindering mit verschließbaren Schlitten zur Aufnahme eines Abschlussschiebers angeordnet, der in einem Gehäuse geführt wird und den unteren Rohrschub abschließt, ehe der obere abgeschraubt wird. Von den gleichartigen Schüssen / des Vortreib- oder Mantelrohres trägt der jeweils oberste Schub eine Betonschleuse. Der Vortrieb wird jeweils so lange fortgeführt, bis ein Schub / nahezu vollständig im Erdreich steckt, worauf ein neuer Rohrschub auf den bereits im Erdreich befindlichen Rohrschub mittels eines Gewinderinges mit verschließbarem Schlitz aufgeschraubt wird. Nach dem Niederreiben des Bohrrohres wird der Betonpfahl hergestellt. Beim Ziehen der Rohre wird dann zur Aufrechterhaltung des Druckes auf den Beton auch während des Abschraubens eines Rohrschusses bei jedem Gewindering ein von Hand zu verstellender Abschlussschieber eingebaut. Der Gewindering 27 hat in der Mitte Außengewinde 21, an den Enden Innengewinde 22 und etwa in der Mitte einen Schlitz 23. Dieser ist während des Niederbringens der Rohre und während des Betonierens



durch einen verstellbaren Ring 24 abgeschlossen, der einen Schlitz 25 aufweist, der genau auf die Öffnung 26 des Schlitzes 23 paßt. Der Schlitz ist geschlossen, so lange der Ring 24 so steht, daß die beiden Schlitz 23 und 25 nicht übereinander liegen. Beim Abschrauben eines Rohrschusses wird die Schieberführung 34 mit herausgezogenem Schieber 30 angebracht und mit dem Ring 24 so lange gedreht, bis die beiden Schlitz 23 und 25 aufeinander passen; dann wird der Schieber 30 eingestoßen, so daß er das Rohr nach unten dicht abschließt. Die Öffnung 32 des Gewinderinges 27 kann über einen Anschlußstutzen 32' gebracht werden; sie ermöglicht das Einführen von Gas oder Luft in den abgeschlossenen Teil des Mantelrohres, um den Druck im Rohr / auf der gewünschten Höhe zu erhalten. Zum Abdichten des Schiebers 30 sind Dichtungen 31, 33 vorgesehen, die in Rinnen des Führunggehäuses 34 liegen.

**Personalmeldungen.**

Deutsches Reich. Straßenwesen. Ernann: zum Regierungsbaussessor die Bauassessoren Johann Gantner beim Straßen- und Flußbauamt Nürnberg unter Berufung in das Beamtenverhältnis, Ludwig Heil beim Reichskommissar für die Saarpfalz in Saarbrücken, vormals Dienststelle in Speyer, unter Berufung in das Beamtenverhältnis, Josef Meixner im Bayerischen Staatsministerium des Innern in München, zur Zeit im Wehrdienst, unter Berufung in das Beamtenverhältnis, Alfred Hugel im Bayerischen Staatsministerium des Innern in München unter Berufung in das Beamtenverhältnis.

Versetzt: Regierungsbaurat Hermann Hock vom Straßen- und Flußbauamt Kaiserslautern an das Straßen- und Flußbauamt Weilheim.

Gauamtsleiter Dipl.-Ing. Schmöller, kommissarischer Leiter der Abteilung V (Bauwesen) der Behörde des Reichsstatthalters in Oberdonau, wurde vom Führer und Reichskanzler unter Berufung in das Beamtenverhältnis zum Regierungsdirektor ernannt.

Deutsches Reich. Wasserwirtschaftsverwaltung. Ernann: Regierungs- und Baurat Gohlke in Danzig zum Oberbaurat; — Regierungsbaussessor Teget in Berlin-Charlottenburg zum Regierungsbaurat.

Übernommen in den Staatsdienst: Die Bauassessoren Hentschel in Trier und Rogge in Gumbinnen als Regierungsbauassessoren.

Versetzt: Regierungsbauassessor Wagner von Potsdam nach Zichenau, die Regierungsbauräte Maempel von Stade nach Kattowitz, Ohletz von Münster nach Blankenburg (Harz), Herbst von Fulda nach Zichenau und Regierungs- und Baurat Wittmer von Neuruppin nach Kattowitz.

**Berichtigung.**

In dem Aufsatz „Der Coulombsche Erddruck aus Hinterfüllung und bei Auflasten usw.“ in Heft 44/45 muß es auf S. 508, linke Spalte Mitte, heißen: Dreiecksfläche  $A_1 B C_1$ ,  $A_2 B C_2$  anstatt Dreiecksfläche  $A B C_1$ ,  $A B C_2$ . In der Formel auf S. 511, rechte Spalte unten, sind Nenner und Zähler zu vertauschen; es muß heißen:

$$E\delta = E_0 \cdot \frac{\sin(R - \vartheta + \rho)}{\sin(R - \delta + \vartheta - \rho)}$$

INHALT: Grundsätze für die Zersetzung (Korrosion) von Metallen. — Der Neubearbeitung der DIN 1054, „Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen“, zum Geleit. — Zur Frage der Berechnung der Baugrubenausstellungen. — Vermischtes: Technische Hochschule Brünn. — Technische Hochschule Darmstadt. — Technische Hochschule Dresden. — Technische Hochschule Stuttgart. — Tagungen. — Verkehrsplanung in den neuen Ostgebieten. — Der Perganser Kanal in Turkestan. — Vorschriften für geschweißte Stahlhochbauten (DIN 4100). — Zuschriften an die Schriftleitung. — Patentschau. — Personalmeldungen. — Berichtigung.

Verantwortlich für den Inhalt: Dr.-Ing. Erich Lohmeyer, Oberbaudirektor a. D., Berlin-Steglitz, Am Stadtpark 2. — Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin W 9. — Druck: Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.