Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 125/126 (1945)
Heft: 7

Artikel: Grundlagen zur Betonprüfung auf der Baustelle
Autor: Bolomey, J.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83604

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

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

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

Download PDF: 02.07.2025

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

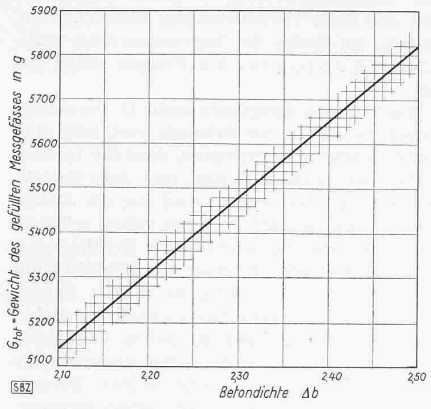

Abb. 1. Bestimung der Betondichte aus dem Gewicht des gefüllten Messgefässes. Sonderfall für: Rauminhalt des Messgefässes $V_m = 2052$ m³
Gewicht „ „ $G_m = 1202$ g
Gewicht des zusätzlichen Wassers $W_z = 320$ g

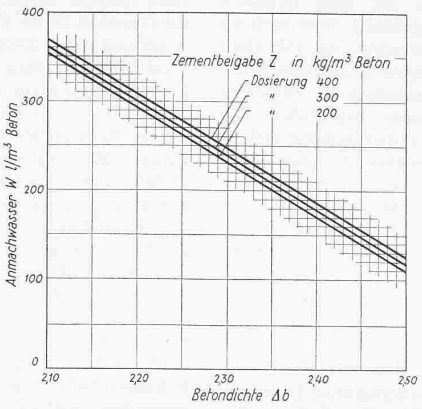

Abb. 2. Beziehung zwischen Anmachwassermenge, Zementbeigabe und Dichte des Betons mit $\Delta Z = 3{,}05$
$\Delta s = 2{,}65$

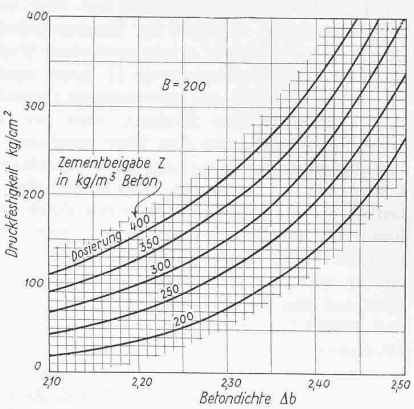

Abb. 3. Wahrscheinliche Druckfestigkeit in Funktion der Zementbeigabe und der Dichte des Betons

Ingenieur über diese vom Geologen möglichst genau und gründlich orientieren lassen muss. Diesen Einfluss muss er aber selber kennen. Baufortschritt, Bauzeit und Kosten hängen aber auch von der Entwicklung der Bohrgeräte und der Sprengtechnik ab und nicht nur von diesen, sondern in erheblichem Masse auch von der Organisation sowohl der Abbauvorgänge und Schutterung, wie namentlich auch — das wird gelegentlich übersehen — der Förderung. Schlussendlich ist erst noch der Wirkungsgrad aller Einrichtungen und jeder Organisation von der Qualität der verfügbaren Arbeiter und von der Energie und Präzision beeinflusst, mit der die Organisation durchgeführt wird, also von der Persönlichkeit des leitenden, verantwortlichen Ingenieurs. Kurzum, es spielen da so viele Faktoren mit, die sich dem Urteil und dem Einfluss des Geologen entziehen, dass sich dieser nicht in die Verantwortung teilen kann und es auch nicht soll, nicht zuletzt im Interesse der Geologie, die sonst Gefahr läuft, zu Unrecht, aber durch eigene Schuld, zum Sündenbock gemacht zu werden.

Es ist verdienstlich, wenn immer und immer wieder auf die Notwendigkeit der Zusammenarbeit von Ingenieur und Geologe im Tunnelbau hingewiesen und dabei auch die zu gehenden Wege gezeichnet werden, obschon sich in dieser Hinsicht die Verhältnisse gegenüber früher sehr gebessert haben. Es müssen aber dabei die Erfahrungen aus der Zeit der grossen Tunnelbauten beherzigt werden, um zu vermeiden, dass allmählich wieder Zustände entstehen, die seither überwunden waren. Die Absichten von Dr. Bendel verdienen Anerkennung, die durch die obigen Ausführungen nicht geschmälert werden sollen. Ein solcher Austausch von Erfahrungen gehört ja gerade zur erstrebten Zusammenarbeit.

C. Andreae

Grundlagen zur Betonprüfung auf der Baustelle

Von Ing. J. BOLOMEY, Professor an der Ingenieurschule der Universität Lausanne

[*Vorwort.* Vom Verfasser, dem verdienstvollen Betonforscher[1]), Chef der Abteilung für Steinmaterialien des Materialprüfungs-Laboratoriums an der Ingenieurschule Lausanne, ist im «Bulletin Technique de la Suisse Romande» vom 22. Januar 1944 ein Aufsatz erschienen «Choix des caractéristiques et contrôle du béton sur le chantier» (auch als Sonderabzug erhältlich). Von dieser gründlichen und ausführlichen Arbeit hat Bolomey für seine Studenten einen nicht veröffentlichten Auszug geschrieben «Points essentiels du contrôle du béton sur le chantier» und unsern gelegentlichen Mitarbeiter Dipl. Ing. Kurt Seidel in Bern ermächtigt, diesen Auszug für die Leser unserer Zeitschrift ins Deutsche zu übertragen. Wir lassen die frei übersetzte, leicht gekürzte Seidel'sche Uebersetzung folgen. Red.]

*

Die Betonfestigkeit hängt von der Art des Zementes, der Zementbeigabe, der Anmachwassermenge und der Erhärtungsdauer ab. Kennt man das Zement-Wasserverhältnis Z/W, d. h. die Zement- und die Anmachwassermenge, sowie den Gütebeiwert B des Zementes im betrachteten Alter, so lässt sich die voraussichtliche Druckfestigkeit K auf einfachste Weise mit unserer Formel

$$K = (Z/W - 0{,}50)\, B$$

bestimmen. Der Beiwert B kann auf 10 % genau aus den Druck-Festigkeiten K_n der schweizerischen Normenprüfung abgeleitet werden, die im allgemeinen für alle Zemente bekannt sind

$$B = K_n : 1{,}35$$

Er kann aber auch direkt aus den Druckfestigkeiten einiger Betonproben mit bekannten Zement- und Wassermengen ermittelt werden. Die Grösse des Beiwertes B der gebräuchlichen Schweizer-Zemente liegt in den folgenden Grenzen:

Alter	Normalzement	Spezialzement
3 Tage	70 bis 100 kg/cm²	130 bis 160 kg/cm²
7 Tage	140 bis 170 kg/cm²	200 bis 260 kg/cm²
28 Tage	180 bis 250 kg/cm²	280 bis 350 kg/cm²

Bestimmung der genauen Zementbeigabe auf den m³ Beton

Die gebräuchlichsten Verfahren stützen sich auf das *scheinbare* Volumen des Zuschlagstoffes Sand-Kies. Wenn sie auch in einer grossen Zahl besonderer Fälle befriedigende Ergebnisse liefern, so sind sie doch ungenau und können zu Schätzungs-Fehlern von 10 und sogar 20 % der Zementbeigabe auf den m³ Beton führen. Tatsächlich ändert sich das scheinbare Volumen des Sandkieses in einem m³ Beton mit der Körnung (Granulometrie), der Setzung und der Feuchtigkeit, wie auch mit der Zementbeigabe und der Konsistenz des Betons. Wenn auch die Zementbeigabe in kg auf eine bestimmte Sand-Kiesmenge zulässig ist als erste Annäherung oder für Bauwerke, bei denen ein Beigabefehler keine ernstlichen Folgen hat, so ist sie doch nicht genügend genau bei grossen Betonmassen, wo ein kleiner Fehler bedeutende finanzielle Folgen haben kann, und sie ist jedenfalls nicht genügend genau, um zur Zeit der Mischung die zu erwartende Festigkeit des Betons zu bestimmen.

Um zu prüfen, ob die vorgeschriebene Zementbeigabe eingehalten sei, sind eine oder mehrere Wirksamkeitsproben vorzunehmen. Diese Probe lässt sich unverzüglich ausführen durch Zählen der verbrauchten Säcke Zement für einen Bauteil von leicht zu bestimmendem Inhalt (Balken, Mauer usw.) oder indem das Volumen einer Betonmischung mit bekannter Zementbeigabe in einer Kiste ohne Boden oder in einem Betonsilo gemessen wird. Die ersten Mischungen werden in erster Annäherung in kg oder Liter Zement auf eine bestimmte Sandkiesmenge dosiert; je nach dem Ergebnis der Probe lassen sich die nötigen Berichtigungen festlegen.

Bestimmung der Anmachwassermenge auf den m³ Beton vermittelst der Dichte des Betons

Ist die Betondichte (spezifisches Gewicht) Δb des *porenfreien* Betons und die genaue Zementbeigabe bekannt, so lässt sich die verwendete Anmachwassermenge auf Grund der folgenden Beziehungen berechnen.

$Z + S + W =$ Gewicht des Betons $= 1000\, \Delta b$

$Z : \Delta z + S : \Delta s + W : 1{,}0 =$ Rauminhalt des Betons $= 1000$ l,

und daraus

$$W = \frac{(1000 - Z : \Delta z)\, \Delta s - (1000\, \Delta b - Z)}{\Delta s - 1{,}0}$$

Hierin bedeuten Z, S und W die Gewichte des Zementes, des Sandkieses und des Wassers in 1 m³ Beton, Δz und Δs die *absoluten* Dichten des Zementes und des Sandkieses; diese letzten

[1]) Vgl. seine Veröffentlichungen in der SBZ: Baukontrolle im Beton- und Eisenbetonbau. 1931, Bd. 98, S. 105* und 118*, sowie Contrôle de la qualité d'un béton au moyen de la densité de celui-ci, 1937, Bd. 109, S. 137*.

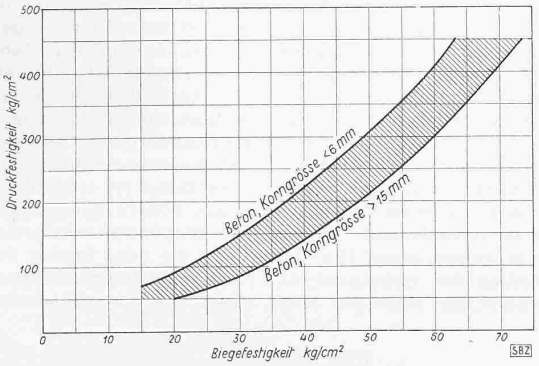

Abb. 4. Druckfestigkeit von Betonwürfeln 16 cm in Funktion der Biegefestigkeit von Mörtelprismen 2 × 2 × 12 cm

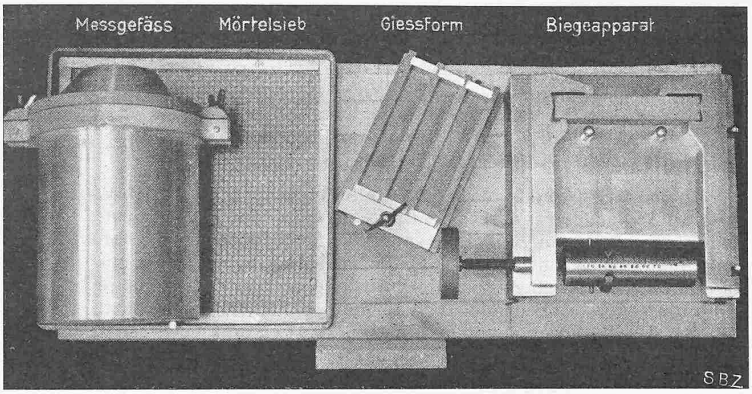

Abb. 5. Geräte für die Betonprüfung auf der Baustelle

weichen wenig von 3,05 und 2,65 ab. Die Formel kann graphisch durch eine Geradenschar dargestellt werden, die direkt die Anmachwassermenge als Funktion der Dichte Δb und der Zementbeigabe liefern (Abb. 2). Dieses grundsätzlich sehr einfache Verfahren erfordert in der Anwendung einige Vorsichtsmassnahmen. Vor allem müssen die Poren im Beton vollständig ausgeschieden werden; zu diesem Zwecke wird der Beton durch Beigabe einer bestimmten Wassermenge flüssig gemacht, sodass die die Porosität bedingenden Luftblasen entweichen können. Sodann sind zur genauen Ermittlung der Betondichte Gewicht und Volumen des Betons sorgfältig zu bestimmen. Dies geschieht mit Hilfe eines geeichten Messgefässes mit oben enger Oeffnung, das bis zum Rande mit dem Gemisch von Beton und zusätzlichem Wasser gefüllt wird. Inhalt und Gewicht des Messgefässes sind auf 1 bis 2 cm³ und g genau zu messen. Man hat dann

Gewicht des Betons G_b = Gewicht des gefüllten Messgefässes G_{tot}, abzüglich Gewicht des Gefässes G_m und des zusätzlichen Wassers W_z

Volumen des Betons V_b = Inhalt des Messgefässes V_m, abzüglich zusätzliche Wassermenge W_z

$$\text{also } \Delta b = G_b : V_b = \frac{G_{tot} - G_m - W_z}{V_m - W_z}$$

damit lässt sich auch nach der vorhergehenden Formel die Anmachwassermenge W bestimmen.

Sind Gewicht und Inhalt des Messgefässes, das Gewicht des zusätzlichen Wassers (immer gleichviel, z. B. eine bis zum Rande gefüllte Flasche) und die Konstanten Δz und Δs bekannt, so beschränkt sich die Arbeit auf der Baustelle auf:

1. Sorgfältige Einfüllung des Messgefässes, zuerst Zusatzwasser, dann Beton, unter Vermeidung des Herausspritzens von Wasser; Rühren des flüssigen Betons zum Austreiben der Luftblasen; Abstreichen des sich bildenden Schaumes zwecks Feststellung der Füllung bis zum Rande.
2. Genaue Wägung des mit Beton und Zusatzwasser gefüllten Messgefässes.

Eine für die verwendeten Messgefässe ein für allemal aufgezeichnete graphische Darstellung liefert direkt die Betondichte Δb als Funktion des Gewichtes des gefüllten Messgefässes (Abb. 1). Auf der graphischen Darstellung Abb. 2 kann sodann ohne weiteres die Anmachwassermenge als Funktion der Zementbeigabe Z und der Dichte Δb abgelesen werden. Sind Z und W, also auch $Z : W$ und die Dichte Δb eines Betons bekannt, so lässt sich die voraussichtliche Druckfestigkeit in irgend einem Alter mit der einen oder andern Festigkeitsformel leicht berechnen; sie kann graphisch als Funktion der Zementbeigabe und der Dichte erhalten werden (Abb. 3).

Das erläuterte Verfahren ist einfach, erfordert keine kostspieligen Apparate und liefert zuverlässige Ergebnisse, wenn es von gewissenhaftem Personal ausgeführt wird. Der wesentliche Vorteil dieses allen andern überlegenen Prüfverfahrens besteht darin, dass es unmittelbar nach dem Anmachen des Betons zuverlässigen Aufschluss gibt, also bevor der Beton eingebracht ist und noch die Möglichkeit besteht, allfällige Fehler zu berichtigen. So können alle Streitigkeiten über die Körnung des Zuschlagstoffes und die Konsistenz des Betons vermieden werden, indem es genügt, wenn der Beton die im Pflichtenheft vorzuschreibende Mindestdichte aufweist.

Die Dichte des wassergetränkten, also porenfreien Betons erlaubt auch, die vermutliche Zementbeigabe von altem Beton nachzuprüfen, sobald dessen Druckfestigkeit K, die Erhärtungsdauer und die Zementmarke (Beiwert B) bekannt sind. Daraus leitet man Z/W ab, und, da die Anmachwassermenge durch die Betondichte gegeben ist, kann die vermutliche Zementbeigabe berechnet werden.

Prüfung der wirklichen Druckfestigkeit des Betons

Das vorstehend dargelegte Verfahren liefert die *wahrscheinliche* Druckfestigkeit auf Grund eines gewissen Wertes von B; es wird also vorausgesetzt, dass die Güte des Zementes bekannt sei, wie auch der Einfluss der besonderen Erhärtungsbedingungen. Es ist jedoch ratsam, zu prüfen, ob die allein massgebende wirkliche Festigkeit den gestellten Bedingungen genüge. Deshalb sollen die üblichen Betonproben (Würfel oder Prismen) nach mehr oder weniger langer Erhärtungsdauer in einem Laboratorium vorgenommen werden. Diese im allgemeinen allein gebräuchlichen Proben sind vortrefflich, aber ziemlich kostspielig, und die Ergebnisse werden zu spät bekannt, um allfällige Herstellungsmängel beheben zu können. Die Ergebnisse selbst sind oft wegen mangelhafter Entnahme der Probekörper, die dem Beton im Bauwerk nicht entsprechen, verfälscht. Um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, sollten immer mindestens drei gleichzeitig entnommene Probekörper im gleichen Alter geprüft werden; bei richtiger Herstellung weichen die Festigkeiten wenig voneinander ab. Da aber die Einhaltung dieser Bedingungen auch die Kosten erhöht, wird ihnen häufig nicht nachgelebt. Sehr oft erhält das Laboratorium nur eine oder zwei Proben gleichen Alters zur Prüfung, sodass eine Nachprüfung der richtigen Entnahme nicht möglich ist.

Das vom Verfasser geleitete Laboratorium Lausanne hat nun ein Verfahren zur vereinfachten Betonprüfung auf der Baustelle selbst entwickelt. Es stützt sich darauf, dass die Festigkeit eines Betons die selbe ist wie diejenige des in ihm enthaltenen Mörtels. Es ist das Verdienst von Feret, nachgewiesen zu haben, dass die Betonfestigkeit nur vom Zementgehalt des Mörtels, nicht aber vom Zuschlagstoff abhängt, der nur die Rolle eines, die Menge des erforderlichen Zementleimes vermindernden Füllmateriales spielt. Es ist demnach nicht nötig, grosse Probekörper aus Beton zu prüfen; gleichwertige Ergebnisse können mit kleineren, dem Beton entnommenen Mörtelprobekörpern erzielt werden. Im weiteren kann die Druckfestigkeit aus der Biegefestigkeit abgeleitet werden, die ihrerseits mit sehr einfachen, leicht transportabeln und billigen Geräten (Abb. 5) bestimmt werden kann. Das entwickelte Verfahren besteht in folgendem:

1. Ausscheiden des Betonmörtels mit einem Maschensieb von 4 mm Weite.
2. Herstellung von Prismen 2 × 2 × 12 cm aus dem ausgesiebten Mörtel durch Einrütteln, ohne Stampfen, wodurch eine grosse Gleichmässigkeit der Probekörper erreicht wird.
3. Erhärtung der Prismen im Wasser von 15° bis zur Erprobung.
4. Biegeprobe unter konstantem Moment in einem vom Laboratorium Lausanne aus der Zange von Feret entwickelten Apparat; die Ablesung am Dynamometer gibt direkt die Biegefestigkeit in kg/cm².
5. Auf einer mit zahlreichen Erfahrungsergebnissen aufgezeichneten graphischen Darstellung lässt sich die Druckfestigkeit grosser Würfel in Funktion der Biegefestigkeit der Prismen ablesen (Abb. 4).

Die Einfachheit und Billigkeit dieses Verfahrens ermöglicht neben einer Vervielfachung der Proben die Verfolgung der Festigkeitszunahme mit der Erhärtungsdauer, die Bestimmung des Einflusses der Temperatur oder der Feuchtigkeit auf den Verlauf der Erhärtung usw. Seine Wirksamkeit wird erhöht, wenn man parallel mit zahlreichen Prismenproben von Zeit zu Zeit auch grössere Betonprobestücke entnimmt, deren Erprobung

nützliche Vergleiche liefert oder zur allfälligen Berichtigung der graphischen Darstellung der Beziehung Biege-Druckfestigkeit dient. Anderseits lässt sich der Gütebeiwert B des Zementes bestimmen, wenn neben der Druckfestigkeit K die Dichte γb und die Zementbeigabe Z (hieraus das Verhältnis Z/W) bekannt sind.

Aktuelle Fragen des Transformatorenbaues

In den Nr. 22 und 23 des «SEV-Bulletin» vom 1. und 15. Nov. 1944 sind die Vorträge veröffentlicht, die an der Diskussionstagung des SEV am 13. Juli 1944 von verschiedenen Fachleuten gehalten worden sind. Nachfolgend wird eine kurze Zusammenfassung davon gegeben und anschliessend werden noch einige weitere Fragen des heutigen Transformatorenbaues kurz berührt.

Mit dem Wachsen der Spannung und der Leistung der Transformatoren erreicht man allmählich die Grenzen der Ausführbarkeit der üblichen Bauweise. Zunächst seien zwei wichtige Neuerungen im Bau von *Grosstransformatoren* beschrieben, die sich bereits praktisch bewährt haben und von der Firma Brown Boveri entwickelt worden sind.

Die eine wesentliche Verbesserung für Grosstransformatoren mit über 50 kV Oberspannung hat man erzielt durch das Abgehen von der bisher üblichen Ausführung der Isolation zwischen der Ober- und Unterspannungswicklung. Diese Isolation bestand bei der bisher allgemein üblichen Bauart aus einer Anzahl von Hartpapierhülsen, zwischen denen sich Zonen von Isolieröl befanden. Die neue Bauart verwendet eine *kabelähnliche Isolation* aus ölgetränktem Papier, das den ganzen Zwischenraum zwischen der Unter- und Oberspannungswicklung ausfüllt. Infolge der besonderen konstruktiven Ausbildung dieser Isolation an den Enden hat sie den Namen «Isolation mit Spreizflanschwickel» erhalten. Diese neue Bauweise ermöglicht es, den Abstand zwischen Unter- und Oberspannungswicklung auf die Hälfte des bei dem bisherigen Verfahren notwendigen Wertes zu vermindern und damit eine wesentliche Verkleinerung der gesamten Transformatorenabmessungen zu erreichen, sodass allein durch diese konstruktive Verbesserung ohne Erhöhung der spezifischen Beanspruchung des Materials bei ungefähr gleichem Gesamtgewicht des betriebsbereiten Transformators die Leistung bei

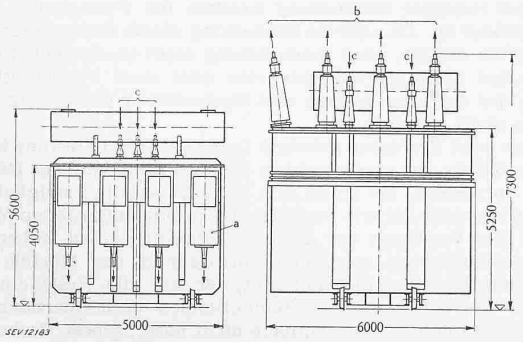

Abb. 1. Links Transformator von 1942 mit fast doppelter Leistung des viel grösseren Transformators von 1926 (rechts)

der neuen Isolierweise rund doppelt so gross ist. Als Beispiel sind in Abb. 1 die Transformatoren der Kraftwerke Oberhasli dargestellt. Rechts sieht man die alte Bauweise aus dem Jahre 1928 mit einer Leistung von 26 000 kVA und links im gleichen Masstabe die im Jahre 1942 gelieferten neuen Transformatoren mit neuer Isolierbauart und einer Leistung von 47 500 kVA. Da die neuen Transformatoren in einer Kaverne des Kraftwerkes Innertkirchen aufgestellt sind, wurden die Hochspannungskabel für 150 kV direkt am Transformator angeschlossen.

Die zweite Verbesserung betrifft eine Aenderung im Aufbau des Kerns der Transformatoren. In Europa hat sich für Drehstromgrosstransformatoren allgemein der dreischenklige Typ mit stehenden Säulen eingeführt. Es war aber nicht möglich, bei grösseren Leistungen den betriebsbereiten Transformator auf der Bahn zu befördern. Vielmehr musste der Transformator in der Fabrik fertig zusammengebaut und geprüft werden, dann für den Bahntransport teilweise zerlegt und am Aufstellungsort in oft wochenlanger Arbeit wieder zusammengesetzt werden. Für die nochmalige vollständige Austrocknung und Entgasung am Montageort sind umfangreiche und kostspielige Einrichtungen erforderlich. Die Bauhöhe für den Bahntransport ist durch das Bahnprofil auf 4,5 m beschränkt. Durch den Uebergang vom drei- zum fünfschenkligen Kern gelang es dann, die Jochhöhe des Transformators und damit die Gesamthöhe so zu vermindern, dass sog. Wandertransformatoren für Spannungen von 220 000 Volt und Leistungen bis zu max. 140 000 kVA praktisch betriebsfertig mit Hilfe von Spezialfahrzeugen auf der Bahn transportiert werden konnten. Der Transformator ist dabei als Verbindungsstück zwischen den beiden Laufgestellen des Spezialwagens ausgebildet worden (Abb. 2). Die bisherigen Erfahrungen zeigen aber, dass für einen Dreiphasentransformator bei einer Leistung von rd. 150 000 kVA auch bei Spezialausführung des Bahnfahrzeuges die Grenze der Transportfähigkeit erreicht ist und dass für noch grössere Leistungen und höhere Spannungen der Dreiphasentransformator durch drei Einphasentransformatoren ersetzt werden muss. Hier bietet nun die neue Bauart des Kerns, nämlich der *radialgeblechte Kern* mit Ringrückschluss die Möglichkeit, die Höhe der Joche wesentlich zu verkleinern.

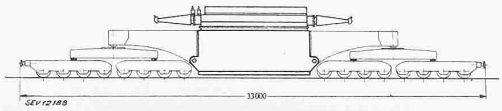

Abb. 2. Wandertransformator mit einer Typenleistung von > 140 MVA und 220 kV Oberspannung als Verbindungsbrücke zwischen den Laufgestellen des Transportwagens

Der Gedanke, einen radialgeblechten Kern mit magnetischem Rückschluss an der Mantelfläche herzustellen, ist nicht neu, aber erst die Entwicklung der Elektroschweissung ermöglichte seine praktische Ausführung. In Abb. 3 ist schematisch die alte und die neue Bauweise für einen Einphasentransformator dargestellt. Der Oelkasten erhält bei der Ausführung mit radialgeblechtem Kern zylindrische Form. Schwere Versteifungen wie bei einem viereckigen Kasten sind nicht mehr notwendig und der Oelinhalt des Transformators ist wegen des Wegfalls von nicht vollständig ausgenützten Zwischenräumen wesentlich kleiner. Genaue Berechnungen zeigen, dass für sehr hohe Spannungen und sehr grosse Leistungen drei betriebsfertig auf der Bahn transportierbare Einphasentransformatoren nur sehr wenig teurer kommen, als eine nur zerlegt transportierbare Dreiphaseneinheit gleicher Leistung. Für Freiluftaufstellung kann die neue Konstruktion nicht nur für Mammutanlagen, sondern bereits bei Einheiten von 30 000 kVA an gewisse Vorteile bieten. Bis jetzt wurde die neue Bauart hauptsächlich verwendet für Einphasentransformatoren für Lokomotiven, Triebwagen und ferner für regulierbare Löschdrosselspulen.

Transformatoren mit Aluminiumwicklung (nachstehend Al-Transformatoren genannt) wurden infolge der schwierigen Beschaffung von Kupfer erstmals in der Zeit von 1914/18 und dann seit 1939 in grösserer Anzahl gebaut. Eine umfassende Umfrage bei mehreren Elektrizitätswerken, Konstruktions- und Reparaturfirmen erfasste rund 2600 Al-Transformatoren, die während des jetzigen Krieges gebaut und abgeliefert wurden, und ferner noch etwa 100 Al-Transformatoren, die aus der Zeit des Weltkrieges 1914/18 stammen. Mit Ausnahme einiger Lokomotivtransformatoren handelt es sich ausschliesslich um Drehstrom-Transformatoren, 50 Hz, vorwiegend in Oel, mit Leistungen zwischen 8 und 22 000 kVA, Oberspannungen von 9 bis 73 kV und Unterspannungen von 220 V bis 10 kV. Die Beobachtungszeit beträgt wohl für die aus dem ersten Weltkrieg stammenden Transformatoren bis 25 Jahre, wogegen aber die Grosszahl der Lieferungen aus der gegenwärtigen Kriegszeit nur eine Betriebszeit von einigen Monaten bis höchstens vier Jahren hinter sich hat, was nach allgemeiner Ansicht für ein abschliessendes Urteil als zu kurz bezeichnet wird. Immerhin ist sehr bemerkenswert, dass bis jetzt keine der

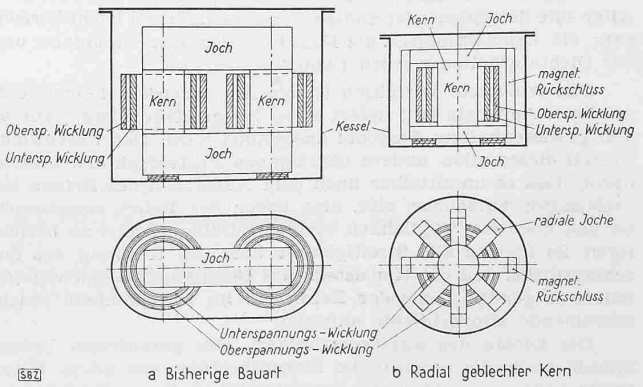

Abb. 3. Schematische Darstellung eines Einphasen-Transformators in bisheriger Bauart (a) und mit radial geblechtem Kern (b)