

Neues aus der Beton-Technologie: Hinweis auf den österreichischen Betontag 1970 und Buchbesprechungen

Autor(en): **Voellmy, Adolf**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **88 (1970)**

Heft 49

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84699>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Wirklichkeit entfernt. Ein Ingenieur, der seine Aufmerksamkeit ausschliesslich oder vorwiegend auf Algorithmen richtet, macht seinem Stande keine Ehre. Denn sein Verhältnis zur Wirklichkeit ist höchst ungenügend. Ohne schöpferisches Entwerfen, ohne kritisches Bilden von Modellen sowie ohne sorgfältiges Konstruieren und ohne Bauen kann keine echte, keine lebendige Beziehung zur Wirklichkeit entstehen. Diese Beziehung aber ist es, welche die Arbeit des Ingenieurs erst zum Erfolg führen kann.

Untersucht man eingetretene Schäden, Einstürze usw., so stellt man nur selten fest, dass deren Ursache eine mangelhafte statische Berechnung war. Im Gegenteil: oft wurde gerade diese mit ausgeklügelter Raffinertheit durchgeführt. Doch vor lauter Freude am Algorithmus wurden beispielsweise elementare konstruktive Belange vernachlässigt. Es fehlte die Sicht für das Ganze!

Ein Ausspruch von *Eugen Freyssinet*, der entscheidende Beiträge zur Entwicklung des Stahlbetons und Spannbetons geleistet hat, lautet in leichter Abwandlung wie folgt: «Bekanntlich ist es viel angenehmer, ein Programm zu schreiben und mit dem Computer zu spielen, als sich das Gehirn zu zermartern, wie man die Bauwerke mit der komplexen Realität in Einklang bringen kann.» Damit sei nichts gegen die Dienste gesagt, welche uns heute der Computer leistet. Dieser nimmt dem Ingenieur nicht nur geisttötende Routinearbeit ab. Der Computer hat auch Möglichkeiten zur Berechnung von Tragwerken geschaffen, die man sonst nicht zu bauen wagte. Doch Computer führen immer nur Algorithmen durch. Modelle können sie keine bilden. Konstruieren können sie auch nicht. Und zu ideenreichem Entwerfen sind sie schon gar nicht fähig. Das aber sind die wesentlichen Tätigkeiten des Ingenieurs. Sie prägen das Gesicht dieses Berufes.

Hatten diese kritischen Bemerkungen vorwiegend den wirklichkeitsfernen «Theoretiker» im Auge, so muss gleich beigefügt werden, dass es auch theorieferne «Praktiker» gibt. Beispielsweise darf der Ingenieur seine Tätigkeit nicht auf das Konstruieren beschränken. Ein Konstrukteur muss in der Lage sein, die Berechnungsergebnisse souverän zu interpretieren. Das aber ist nur möglich, wenn er das der Berechnung zugrunde liegende Modell kennt, wenn er sich also der

verschiedenen Annahmen und Voraussetzungen voll bewusst ist. Achten wir also beim Konstruieren stets auf das Modell. Vergleichen wir es kritisch mit der Wirklichkeit. Modellbewusstsein schafft Wirklichkeitsbewusstsein!

Die Notwendigkeiten

Was benötigen wir also, um Ingenieure zu sein? Wir müssen die Sicht für das Ganze haben. Die einzelnen Arbeitsphasen sind sinnvoll einzuordnen. Das Entwerfen ist als schöpferische Arbeit aufzufassen. Wenn wir Versuche planen und durchführen, wollen wir dies unabhängig, mit grösstmöglicher innerer Freiheit tun. Und wir wollen bewusst Modelle bilden. Die Modelle sollen der komplexen Wirklichkeit angepasst sein, sie sollen aber auch zu vernünftigen Algorithmen führen. Beim Konstruieren haben wir auf das Modell zu achten, doch wollen wir uns auf die Wirklichkeit, auf das Bauwerk hin orientieren. Und beim Bauen schliesslich wollen wir unsere Erfahrungen vermehren.

Und was benötigen unsere Ingenieurstudenten hier an der Hochschule? Im propädeutischen Studium und auch am Anfang des technisch-wissenschaftlichen Unterrichts geht es vor allem um Algorithmen. Die Modelle sind gegeben. Die Algorithmen sind logisch aufgebaut, mit mathematischer Begabung zu erlernen. Sie bilden das Handwerkszeug des Ingenieurs. Dann aber wird es schwieriger, auch für den Lehrer: Die Fähigkeit, eine komplizierte technische Wirklichkeit in entsprechende Modelle abzubilden, kann nur beschränkt vermittelt werden. Sie muss vom Studenten durch eigene intensive Arbeit, durch selbständige Auseinandersetzung mit den Gegebenheiten entwickelt werden. Was wir Lehrer aber müssen und auch können, ist, im Studenten das Modellbewusstsein schaffen. Und das Verständnis, das Interesse für das Entwerfen, das Konstruieren und das Bauen wecken. Denn nur damit kann die für den Ingenieur so notwendige kritische Haltung gegenüber jeglichem Rezept und Verfahren entstehen. Diese kritische Haltung aber scheint mir entscheidend zu sein: Sie öffnet die Sicht für das Ganze.

Adresse des Verfassers: Dr. *Hugo Bachmann*, Assistenz-Professor für Massivbau an der ETH, 8006 Zürich, Leonhardstrasse 33.

Neues aus der Beton-Technologie

DK 666.97.002

Hinweis auf den österreichischen Betontag 1970 und Buchbesprechungen

Von Dr. sc. techn. **Adolf Voellmy**, dipl. Bauing., Zürich

Wie der Charakter des Menschen zunächst von seiner Erbmasse abhängt, aber dann in frühester Jugend durch seine Umgebung entscheidend geprägt wird, sind auch die Eigenschaften des Betons hauptsächlich von seinem Aufbau und seiner Herstellung abhängig, werden aber dann von dem Milieu seiner ersten Lebenszeit entscheidend beeinflusst.

Zur Meisterung dieser Verhältnisse möchten die folgenden Ausführungen mit Hinweis auf einige allgemeine Unterlagen auf neuere Forschungs-Ergebnisse aufmerksam machen.

A. Österreichischer Betontag 1970

Dass die neue Bautechnik für den Beton wie auch für dessen Hersteller bekömmlich ist, bekräftigte am österreichischen Betontag¹⁾ auch eine Ansprache des 100jährigen Unternehmungsleiters und Betonfachmanns Oberbaurat h.c. Dr. Ing. eh. *Kurt Innerebner*, der in Jugendfrische sein Glas auf das Wohl der Tagungs-Teilnehmer leerte. Es war ihm nichts von biologisch nachteiligen Auswirkungen des Betons anzumerken, auf deren kürzliche Ausschlichtung in der deutschen Presse

unter anderem der Präsident des ÖBV, Direktor Dipl.-Ing. *Hubert Hraštnik*, humorvoll hinwies²⁾.

Bei Eröffnung des Betontags wurde für das Jahr 2000 eine Verdoppelung des Bauvolumens in Betracht gezogen. Dementsprechend stand die Tagung im Zeichen des nur durch Planung, technologische Sicherheit und mit mechanisierten Ausführungen zu bewältigenden, rapiden Wachstums der Bautätigkeit.

Grösstes Interesse fanden die Vorträge bekannter Fachleute aus verschiedenen Ländern, welche Musterbeispiele städtebaulicher Planungen und rationeller Bauausführungen zeigten. Weitere Vorträge behandelten Fragen der Beton-Technologie und des Strassenbaues.

Die letzten Vorträge dienten zugleich als Einführung zu Besichtigungen an den nächsten Tagen, die zu gewaltigen Leistungen des österreichischen Bauwesens führten, nämlich

²⁾ Über die diesbezügliche, von anderweitig interessierten Kreisen in Gang gesetzte Pressekampagne orientiert:

Der Mensch im Nullfeld. Klima und Baustoff. Von *H. A. Erb*. 121 S. Format C5. Düsseldorf 1969, Betonverlag.

¹⁾ Ausführliches Tagungsprogramm siehe SBZ 1970, H. 15, S. 358.

zu den *Kraftwerksanlagen* der Tauernkraftwerke AG im Zillertal (kurz besprochen in der SBZ 1967, H. 7, S. 106: Die Zemmkraftwerke in den Zillertaler-Alpen) und zu Bauausführungen der neuen *Brenner-Autobahn*³⁾.

Es ist an dieser Stelle nicht möglich, auf Einzelheiten der hochinteressanten, von Frau Direktor Erika Köhrer ausgezeichnet organisierten Tagung einzutreten. Es ist nur zu hoffen, dass die vielen, aufschlussreichen Vorträge bald durch Fachzeitschriften allgemein zugänglich werden. Vorläufig ist eine kurze Berichterstattung von Frau Dr. Edith Knüpfner, Redaktorin der «Österreichischen Bauzeitung», in Nr. 23 dieser Zeitschrift verfügbar (Wien, Juni 1970).

Angeregt durch die Vorträge und Gespräche an der österreichischen Betontagung, sollen im nächsten Abschnitt einige allgemein interessierende, technologische Fragen besprochen und zugleich auf anderweitig bekannt gewordene Beiträge zur Lösung dieser Probleme hingewiesen werden.

Auf die *betontechnischen Probleme beim Bau der Zemmkraftwerke*, die nach Ausführungen von Dipl.-Ing. H. Huber wegen hohem Glimmergehalt der verfügbaren Zuschlagstoffe schwer zu meistern waren, wird hier nicht eingetreten, da die angewandte Technik ähnlich ist wie beim Bau von neueren Schweizer Gebirgskraftwerken und über Projektierung und Ausführung der Zemmkraftwerke nach deren Vollendung eine Gesamtpublikation in Aussicht steht.

B. Beiträge zur Beton-Technologie

I. Untersuchungsmethoden

Die schweizerischen Prüfnormen und Untersuchungs-Richtlinien werden als bekannt vorausgesetzt und hier nicht aufgeführt. Zu den bekannten Standardwerken⁴⁾ tritt nun noch das wertvolle, neue Werk von Papadakis und Venuat⁵⁾, das sich durch kurze und klare Darstellung auszeichnet. Die Literaturangaben erfassen unter anderem die wichtigsten Veröffentlichungen aus Frankreich und England, deren Ver-

³⁾ Vergleiche hierzu folgende Literatur:

Tiroler Autobahn Kufstein-Innsbruck-Brenner. Sonderdruck der «Tiroler Nachrichten», Innsbruck.

Der Bau des Tunnels durch den Berg Isel. Von Universale-Bau und Schafir & Mugglin. Wien 1967, Universale.

Brenner-Autobahn. Herausgeber: Bundesstrassenverwaltung und Brenner-Autobahn AG. Innsbruck 1967.

Tirol. Sonderheft zum 50. Jahrestag der Gründung der Republik Österreich. Herausgeber: Der Landeshauptmann von Tirol, Eduard Wallnöfer. Innsbruck 1968.

«Österreichische Ingenieur-Zeitschrift», Wien, Sonderheft Januar 1970, mit 16 ausführlichen Abhandlungen über Planung, Baudurchführung und verschiedene Kunstbauten der Brenner-Autobahn.

Brenner-Autobahn. Herausgegeben von Dr. Donato Turrini, Präsident der Brenner-Autobahngesellschaft AG, Trient 1969. Diese einzigartige, schön illustrierte Übersicht von 47 Seiten A4 des italienischen Teils der Brenner-Autobahn und ihrer Anschlüsse enthält auch einen interessanten geschichtlichen Artikel von Georg Innerebner.

Sika-Plastiment-Ges., Wien: Bericht 17 (1964): *Der Beton der Europabrücke* (mit Quellen-Angaben), dem Andenken des, während dem Bau tödlich verunglückten Ingenieurs H. Gaidoschik gewidmet, und Bericht 50 (1967): *Der Bau der Paschbergbrücke*.

⁴⁾ ASTM Standards, p. e. Pt. 9: Cement, Lime, Gypsum; Pt. 10: Concrete and Mineral Aggregates. Philadelphia, American Society of Testing Materials. Last editions.

Handbuch der Werkstoffprüfung, Band II. Berlin 1957, Springer-Verlag.

Baustoffprüfungen. Von Hummel-Charisius. Düsseldorf 1957, Werner-Verlag.

Deutsche Industrie-Normen, zum Beispiel DIN 1164-67, 4210 betr. Zementprüfung; Richtlinien für die Prüfung von Betonzusatzmitteln DIN 4226 betr. Zuschlagstoffe; 1048 betr. Betonprüfungen; 4240 betr. Kugelschlagprüfungen; 4164 betr. Gas- und Schaumbeton; 4030 betr. betonschädliche Wasser und Böden usw. Letzte Auflagen.

⁵⁾ *Manuel du Laboratoire d'Essais des Ciments, Mortiers, Bétons*. Par M. Papadakis et M. Venuat. 324 p. avec 129 fig., un dépliant hors texte, 29 tableaux et 8 planches de photographies hors texte. Paris 1969, Editions Eyrolles. Prix 70 F.

mittlung dem deutschsprachigen Leser sehr willkommen ist. Neben den üblichen Prüfungen werden auch die modernsten physikalischen und chemischen Untersuchungsmethoden kurz besprochen. Auch das am Schluss beigefügte Kapitel über statistische Analysen von Prüfergebnissen ist für die Praxis überaus wertvoll (vergl. auch A. Voellmy: Übereinstimmung und Reproduzierbarkeit der Bindemittel-Normenprüfungen. Jahresbericht 1954 des Vereins Schweiz. Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten).

Mit der Anwendung statistischer Methoden beim Auswerten von Zement-Festigkeitsprüfungen befasst sich auch eine Abhandlung von A. Meyer⁶⁾.

II. Junger Beton

Für Qualität und Beständigkeit des Betons sind Beschaffenheit und Zusammensetzung der Roh-Materialien, seine Verdichtung und die in der ersten Zeit nach seiner Herstellung einwirkenden äusseren Einflüsse von ausschlaggebender Bedeutung.

Und manches, was dem Kind bekömmlich erscheint, zeitigt später unerwünschte Folgen; weshalb sich auch die Bauforschung in den letzten Jahren immer intensiver mit solchen Problemen⁷⁾ befasst. Das mit genialer Meisterung der physikalischen Gesetze, bei gleichzeitiger gründlicher Kenntnis der praktischen Möglichkeiten und Bedürfnisse, verfasste Buch von T. C. Powers⁸⁾ mit zahlreichen, die Überlegungen des Verfassers trefflich erläuternden Abbildungen wird ein Meilenstein der Betontechnologie bleiben. Es ist damit ein guter Teil der Lebensarbeit des weltberühmten, nun emeritierten Verfassers in allgemein verständlicher, einfacher Art zusammengefasst.

Besonders wird jeder Betonfachmann froh sein, dank diesem Buch endlich die Wirkungsweise der «Air Entrainer» durchschauen zu können. Es warten dem Leser noch viele andere Entdecker-Freuden, und es wäre schade, diese mit einer notdürftigen Vorbesprechung vorwegzunehmen.

a. Frischbeton

So wird der Beton vor Abbindebeginn des darin enthaltenen Zementes genannt. Im amerikanischen Sprachgebrauch wird er mit «green concrete» bezeichnet, entsprechend dem «greenhorn», einem Neuankömmling in den USA. In möglicher Nachahmung der Amerikaner wird denn auch hier der Frischbeton neuerdings als «grüner» Beton bezeichnet (obschon er ja gar nicht grün ist). Von seinen Eigenschaften sind für den Praktiker hauptsächlich die *minimalen Ausschal-*

⁶⁾ *Untersuchungen an Beton*, Sammelheft aus den Arbeiten des Zement- und Betonlaboratoriums Beckum, 1967; mit den weiteren Berichten:

a) A. Meyer: Prüfverfahren zur Vorausbestimmung der 28-Tage-Zement-Festigkeitsprüfungen in 5 Stunden. (Vergl. auch E. Brandenberger: Ein beschleunigtes Verfahren zur Prüfung der Portlandzemente auf ihre Festigkeitsentwicklung, EMPA-Bericht 188, Zürich 1957.)

b) E. Neubarth: Güteüberwachung von Transportbeton.

c) A. Meyer: Beton mit hoher Frühfestigkeit.

d) H. J. Wierig: Die Wasserdampfdurchlässigkeit von Zementmörtel und Beton.

e) A. Meyer, H. J. Wierig und K. Husmann: Karbonatisierung von Schwerbeton.

f) W. Steinbach: Über die Einwirkung von Mineralölen auf die Festigkeit von Zementmörtel.

g) H. J. Wierig: Eigenschaften von «grünem jungen» Beton. Der letztere Untersuchungsbericht wurde am österreichischen Betontag 1970 von seinem Verfasser durch den Vortrag «Junger Beton» rekapituliert und ergänzt, worauf wir im nächsten Abschnitt zurückkommen.

⁷⁾ *Le premier age du béton*. Par L. Vironnaud et M. Mamillan. Paris 1960, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

⁸⁾ *Junger Beton*. Berichte an die Studienkommission für Betonstrassen. Von A. Voellmy. Teil I 1964, Teil II 1965. Zürich, Talstrasse 83.

⁹⁾ *The Properties of Fresh Concrete*. By T. C. Powers. 664 S. Format 15 × 23 cm. New York 1968, J. Wiley & Sons.

fristen interessant, die in der Betonwarenindustrie, im Gleitschalungsbau und bei der Vorfabrikation von grösster wirtschaftlicher Bedeutung sind. Die minimalen Ausschallfristen sind von der unmittelbar nach Verdichtung des Frischbetons erzielten Kohäsion desselben abhängig, der neuerdings sogenannten «Grün»-Druckfestigkeit.

1. «Grün»-Druckfestigkeit

Hierüber orientierte Direktor H.J. Wierig am österreichischen Betontag 1970; von dessen Vortrag «Junger Beton» der in Bild 1 skizzierte, ungefähre Zusammenhang der Frischbeton-Eigenschaften unter anderem wohl jedem Hörer im Gedächtnis blieb. Eine Verringerung von 100 kg/m³ des Zementgehaltes bewirkt eine Abnahme der maximalen Frischbeton-Festigkeit von 1 bis 2 kp/cm². Letztere steigt mit zunehmender Verdichtungsarbeit und abnehmendem Luftporen-Gehalt.

Für sandreichere Zuschläge wird der günstigste Wassergehalt etwa umgekehrt proportional dem Feinheits-Modul des Trockengemenges erhöht, mit gleichzeitiger Reduktion des Maximalwertes der Frischbeton-Festigkeit, etwa entsprechend dem in Bild 1 schematisch skizzierten Verlauf. Der Feinheitsmodul (nach Abrams) ist gleich der Summe der relativen Rückstände (z.B. in kg pro kg Mischgut) auf den Prüfsieben, wenn das feinste Sieb einer Lochweite von 0,125 mm entspricht und jedes weitere Sieb die doppelte Lochweite des nächst feineren Siebes aufweist (Geringe Abweichungen der effektiv verwendeten Prüfsiebe sind von geringem Einfluss).

Zusätze von Kalk oder von Bentonit ergaben keine wesentliche Verbesserung der Frischbeton-Standfestigkeit. Diese wird durch Verflüssiger verringert, was darauf hinweist, dass die anfängliche Beton-Kohäsion durch Oberflächen-Spannungen des Anmachwassers entsteht, worauf im nächsten Abschnitt ein orientierender Blick geworfen wird:

2. Physikalische Wirkungen des Anmachwassers

Zunächst wird ein Teil des Anmachwassers für die sukzessive Wassersättigung des Korngemenges aufgewendet. Dieser Anteil liegt bei normalen Zuschlagstoffen zwischen 1/20 und 1/2 % des Gewichts derselben (einschl. Naturfeuchtigkeit) und kann bei porösen Leichtbeton-Zuschlägen bis gegen 1/3 von deren Gewicht erreichen. Dieser Feuchtigkeitsanteil ist ohne Einfluss auf die scheinbare Kohäsion des Frischbetons; diese entsteht erst bei Bildung von Kapillar-Menisken, deren Wirkungsart am Beispiel von Bild 2 qualitativ erläutert wird: Das in einem Korngemenge verteilte Wasser lagert sich infolge seiner Oberflächenspannung zwischen den Körnern derart, dass jeweils die kleinste, mit den physikalischen und geometrischen Bedingungen vereinbare freie Wasseroberfläche entsteht. Zum Beispiel wird zwischen den in Bild 2 dar-

gestellten beiden Mineral-Körnern das Wasser durch Menisken begrenzt, die bei guter Benetzbarkeit des Minerals tangential an die Körner anschliessen. In der Luft, welche die in Bild 2 dargestellte Wasserscheibe umgibt, herrsche der Druck p_0 . Nach Kapillargesetzen entsteht dann in der Wasserscheibe der Druck

$$(1) \quad p = p_0 + \omega \left(\frac{1}{\varrho r} - \frac{1}{\varrho t} \right)$$

Die Oberflächenspannung des Wassers beträgt etwa $\omega =$

7,7 · 10⁻³ kp/m bei 0 °C

7,4 · 10⁻³ kp/m bei 20 °C

6,4 · 10⁻³ kp/m bei 80 °C

Nach Gleichung (1) wird $p = p_0$, das heisst, die Kapillarspannungen verschwinden für $\varphi = 0$ (kein Kapillarwasser) und $\cos \varphi = 0,6$, $\varphi_0 \sim 53^\circ$ (keine scheinbare Kohäsion).

Wenn mehr Wasser zugesetzt wird, als diesem Grenzwinkel entspricht, entsteht in ersterem ein Überdruck, das Material wird giessfähig. Wenn weniger Wasser zugegeben wird, entsteht in demselben zunächst ein Unterdruck. Die Luftporen sind vor Verdichtung noch kommunizierend und stehen unter Atmosphärendruck. Wenn $1/\varrho t - 1/\varrho r = p_0/\omega$ wird, wird im Kapillarwasser der Atmosphärendruck ganz aufgehoben, es steht «unter Vakuum». Der diesem Zustand entsprechende Winkel φ_0 ist um so grösser, je grösser die Korndurchmesser sind, da nach Bild 2 für einen bestimmten Winkel φ die Menisken der Wasseroberflächen proportional φ sind.

Bei weiter abnehmendem Füllungswinkel φ entstehen im kapillar festgehaltenen Wasser Zugspannungen, die schliesslich erstaunlich hohe Werte $p(-)$ erreichen können. Hierbei tritt zunächst die im Wasser gelöste Luft in Form kleiner Bläschen aus, deren Radius $r_0 = 2\omega/p(-)$ sich dem Gleichgewicht der Kapillarspannungen anpassen muss. Die kapillaren Zugspannungen ziehen die Körner zusammen und ergeben, auf deren Querschnitt bezogen, bei gleichem Benetzungswinkel φ einen um so grösseren inneren Reibungswiderstand, je kleiner die Korndurchmesser sind (scheinbare Kohäsion). Nach einiger Zeit werden sich im Korngemenge die Benetzungswinkel φ verschieden grosser Körner infolge Kapillarkondensation derart einstellen, dass eine mittlere Spannung im kapillar festgehaltenen Wasser entsteht, die sich für verschiedene Körnungen abschätzen lässt, und hiermit auch der «Null-Reibungswiderstand» c bei fehlendem Normdruck und hieraus schliesslich mit Hilfe des Böschungswinkels des trockenen Materials die Druckfestigkeit des feuchten Materials (vergl. z.B. A. Voellmy: Eingebettete Rohre, Kap. I, Zürich 1937. Nach dieser Arbeit lässt sich die scheinbare Kohäsion c

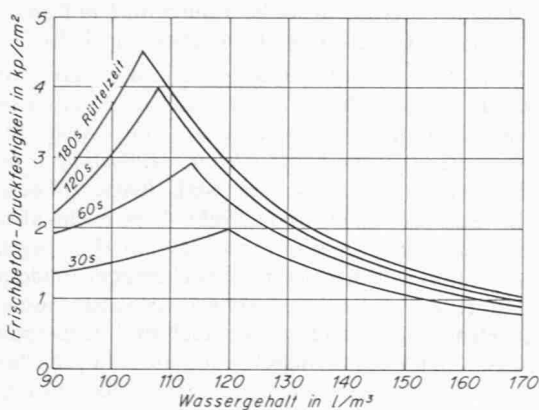


Bild 1. Schematisch skizzierte Abhängigkeit der Frischbeton-Druckfestigkeit von Wassergehalt und Rüttelzeit (2800 Schwingungen 1,9 mm pro Minute). Zementgehalt 300 bis 400 kg/m³. Gute Zuschlagskornung DIN A/B 15.

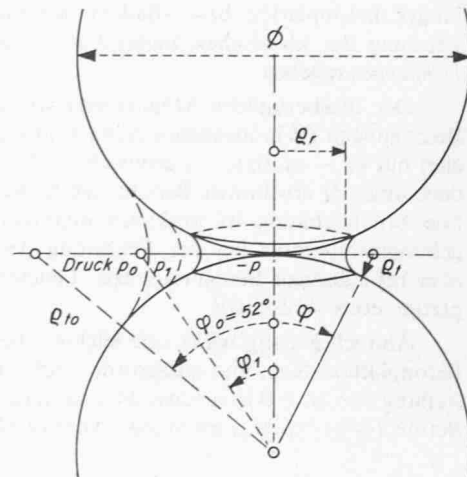


Bild 2. Zwischen Kieskörnern kapillar festgehaltenes Wasser.

auch aus der Höhe abschätzen, bis zu welcher das feuchte Material standfest bleibt).

Wenn das Material verdichtet wird, so vermehren sich die Berührungsstellen verschiedener Körner, und grössere Luftblasen werden sukzessive ausgetrieben, womit auch die mittlere scheinbare Kohäsion ansteigt (Bild 1). Bei genügendem Wassergehalt kommunizieren schliesslich die wassergefüllten Hohlräume, und die Porenwasserspannungen sind ohne andere Einflüsse nur noch von den Kapillarmenischen an der Oberfläche des Körpers abhängig. Mit abnehmender Porenwasserspannung entsteht in den inneren Luftblasen ein wachsender Druck zur Erhaltung des Gleichgewichts der Kapillarkräfte. Diese Verhältnisse erklären den in Bild 1 schematisch dargestellten Abfall der Früh-Festigkeit des Frischbetons nach Überschreiten eines kritischen Wassergehaltes. Die oben ange-deuteten Gedanken des Verfassers möchten lediglich Interesse für deren Überprüfung wecken.

3. Schnellhärtung

Da die Grössenordnung der durch Mischung und Verdichtung erzielbaren Frühfestigkeit des Frischbetons bescheiden ist und bis jetzt erhärtungsbeschleunigende Zusätze mit unerwünschten Nebenwirkungen verbunden waren, wird in der Betonwaren-Industrie immer mehr die Dampfhärtung (ev. unter Druck) angewendet, worüber ein interessantes neues Buch¹⁰⁾ erschienen ist.

b. Junger Beton

Als «jung» wird hier der Beton im Zeitraum zwischen Abbindebeginn des Zementes und maximaler Temperaturerhöhung aus Hydratation betrachtet. Der letztere Zeitpunkt, der auch bei systematischen Schwinduntersuchungen der EMPA registriert wurde, fällt auch etwa in die Zeit maximaler Erhärtungsgeschwindigkeit des Betons, die in der Regel etwa 12 bis 24 Stunden nach Mischen des Betons auftritt.

Über die Festigkeitsentwicklung in diesem Zeitraum wurden im eingangs erwähnten Vortrag von H. J. Wierig Kurven gezeigt, die bei Abbindebeginn mit horizontaler Tangente an die vorher besprochene Festigkeit des Frischbetons anschliessen und dann, nach oben konkav, gegen die Festigkeit von $\frac{1}{4}$ Tag hin ansteigen, wonach für die weitere Erhärtung etwa die bekannten Unterlagen gelten (vergl. Ingenieur-Handbuch). Hoher Anmachwasserzusatz verzögert die erste Erhärtung sehr stark. Ein Beton P350 kg/m³ erreicht eine Druckfestigkeit von 10 kg/cm² mit

$W/Z = 0,35$ nach rund 4 Stunden, mit

$W/Z = 0,50$ nach rund 8 Stunden.

Von grösster Bedeutung für die Praxis sind die von H. J. Wierig mitgeteilten Messungen von Riss-Durchbiegungen junger Betonplatten bzw. -Balken, woraus sich die für Anwendung der klassischen Biegetheorie massgebenden *Bruch-Dehnungen* ergeben.

Der diesbezügliche *Minimalwert* wurde bei ungünstigen Bedingungen (Windbeanspruchung 6 m/s der Beton-Oberfläche) mit $\epsilon_z \sim \text{rd. } 0,02 \text{ ‰}$ ermittelt; in Übereinstimmung mit dem unter ⁸⁾ erwähnten Bericht des Unterzeichneten (1964). Die Bruchdehnung ist praktisch unabhängig von der Umgebungstemperatur bei der Erhärtung des Betons, sie wird aber bei ständiger Beregnung, bzw. Feuchthaltung der Betonplatten etwa verdoppelt.

Ähnlich günstig wirkt eine leichte, obere Bewehrung von Betonplatten. Neu, und ausserordentlich wichtig, ist die Feststellung von H. J. Wierig, dass die minimale Bruchdehnung des Betons ($\epsilon_z \sim \frac{1}{50} \text{ ‰}$) im jungen Alter (4-12 Stunden) des mit

normalem Portlandzement hergestellten Betons auftritt. Vor diesem kritischen Alter sind die Bruchdehnungen bedeutend höher; sie steigen auch nach dieser Pubertäts-Periode wieder an und erreichen im reifen Alter Werte zwischen $\epsilon_z \sim 0,1$ bis $0,2 \text{ ‰}$. Bei Verwendung von vorgemischtem Transportbeton ist das kritische Alter auf den Zeitpunkt der Wasserzugabe zur Betonmischung zu beziehen.

Der für die oben besprochenen Versuche verwendete «Hochbau»-Beton P270 kg/m³ (Korn $\frac{0}{30}$ mm, $W/Z \sim \frac{2}{3}$) erreichte im kritischen Alter von rund 6 Stunden nur eine Zugfestigkeit von etwa $\frac{1}{5}$ kg/cm².

Bei praktischen Bauausführungen werden im kritischen Alter des jungen Betons die Minimalwerte seiner Dehnungsfähigkeit nicht selten erreicht; was zu *Früh-Rissbildungen* im jungen Beton führt. Häufige Ursachen hierfür sind z.B. *Verformungen* von Schalung und Rüstung infolge deren Durchfeuchtung nach dem Betonieren oder infolge anderer Einflüsse wie

Temperaturspannungen im jungen Beton, bei seiner Abkühlung in den ersten Nächten nach Betonieren oder auch bei Abfall der Temperatur infolge Gewitterregen und dergleichen.

Frühes *Schwinden* bei ungenügender Nachbehandlung des Betons. Hierfür ist eine direkte Feuchthaltung desselben, zum Beispiel durch feucht gehaltenen Sand, nasse Zementsäcke und dergleichen, wirksamer als das Bespritzen mit trocknungsdämmenden Isolieremulsionen (Sealing Compounds). Ein direktes Bespritzen der Betonoberfläche mit Wasser kann schädliche *Temperatur-Gradienten* verursachen.

In der in Fussnote ⁹⁾ erwähnten Publikation werden auch interessante Untersuchungsergebnisse über die *Wasserverdunstung* an der Oberfläche des Frischbetons bekannt gegeben.

Durch letztgenannte Einflüsse verursachte Riss-Bildungen wurden auch im «Cementbulletin» Nr. 11, 1968 besprochen (T. F. B. Wildegg 1968).

III. Strassen-Beton

Am österreichischen Betontag 1970 wurden durch den interessanten Vortrag von Dipl.-Ing. Dr. techn. R. Springenschmid: «Die technische Entwicklung des modernen Betonstrassenbaues» auch die schweizerischen Gesichtspunkte weitgehend bestätigt.

Um die nötige Ebenheit der Strassen-Oberflächen auf lange Sicht zu erhalten, muss der Beton beständig sein bei Verkehrsbeanspruchungen und gegen Einwirkungen von Frost und Tausalz. Hierfür ist in erster Linie eine gute Betonfestigkeit erforderlich. Ausserdem sollen der Unterbau und die Ausbildung der Fugen eine Entstehung ungleichmässiger Höhenänderungen verhindern. Auf genügend und gleichmässig tragfähigem Unterbau bleibt bei rund 5 bis 6 m Fugenabstand der, in der Regel 22 cm starke, Betonbelag rissfrei.

1. Der *Strassenbeton* wird in Österreich in der Regel mit 350 kg Zement pro m³ Beton dosiert und mit geringem Sandgehalt in steifer Konsistenz hergestellt, mit Wasserzementwerten zwischen 0,40 und 0,45. (Vergl. A. Voellmy: Die Wetterbeständigkeit von Beton- und Stahl-Beton, «Fachblätter für das Bauwesen», Dietikon 1965). Dies reicht aber noch nicht in allen Fällen für genügende Beständigkeit gegen Tausalze aus, die übrigens den Beton nicht chemisch, sondern physikalisch angreifen, in ähnlicher Art wie besonders rasche Frostwechsel. Dementsprechend werden auch im Strassenbau luftporenbildende Beton-Zusatzmittel verwendet, die sich bei den durch Frosteinwirkungen besonders intensiv beanspruchten Hochgebirgsbauten seit vielen Jahren bewährt haben. Es wird dem Frischbeton so viel «Air Entrainer» zugegeben, dass das Volumen der sich bildenden, kleinen Luftporen von $\frac{1}{20}$ bis 1 mm Durchmesser insgesamt 4 bis 5 % des Betonvolumens

¹⁰⁾ Beton-Schnellhärtung. Schwerbeton, Leichtbeton, Silikatbaustoffe. Von Z. Franjetic. 360 S. Format 17×24 cm, 110 Abb., viele Quellen-Angaben. Wiesbaden 1969, Bauverlag.

erreicht. Für die Kontrolle dieser Massnahme steht eine praktische Anleitung zur Verfügung¹¹⁾.

Für guten *Abriebwiderstand* ist neben hoher Betonfestigkeit eine geeignete Beschaffenheit und Körnung der Zuschlagsstoffe nötig. Springenschmid empfiehlt auf Grund seiner Untersuchungen Ausfallkörnungen mit besonders hohem Anteil an grobem Korn aus hochfestem Gestein.

2. Der Abstand der *Fugen* beträgt in Längsrichtung 5 bis höchstens 6 m; in Querrichtung ist er in der Regel bedeutend kleiner. Auch bei schmalen Fahrbahnen muss eine mittlere Längsfuge angeordnet werden.

Auf Anordnung von *Raumfugen* wird in der Regel verzichtet; auch bei Anschlüssen an feste Zwischen-Bauten, wobei zur Übertragung der bei Temperaturerhöhungen entstehenden Druckkräfte der volle Deckenquerschnitt satt an das Bauwerk anzuschliessen ist. Raumfugen sind nötig, wenn solche Anschlüsse mit Änderungen der Richtung, Neigung oder Stärke des Belages verbunden sind¹²⁾.

Da die jährliche Schwankung der Fugenweite der Scheinfugen von rund 5 m Abstand meist unter 1 mm bleibt, können 2 mm breite, mit Diamant-Trennscheiben eingeschnittene, obere Fugen-Spalten von 4 bis 5 cm Tiefe unvergossen bleiben. Gegen ein «Pumpen» der Fugen schützt eine auf der Unterbauplanie angeordnete, 8 bis 10 cm starke Heissbitumenschicht oder eine 10 bis 12 cm dicke Bodenstabilisierung mit Zement. Da bei diesen Ausführungen eine Haftung des Betonbelages auf seiner Unterlage nicht nachteilig ist, wird das Unterlagspapier weggelassen. Auch untere Fugeneinlagen werden neuerdings weggelassen, ebenso Netzarmerungen. Längsfugen werden derart verankert, dass bei Abkühlung die Platten mit Überwindung der jeweiligen Bodenreibung zusammengehalten werden. In Kurven wird die *Verankerung* bei Radien unter 200 m verdoppelt, bei Radien unter 80 m verdreifacht. Unter dem Fugenschnitt müssen die Anker durch einen 5 cm breiten, bituminösen Anstrich gegen Korrosion geschützt werden.

In den Quer- Scheinfugen werden neuerdings die Verankerungen und auch die Stahldübel weggelassen, vorausgesetzt, dass die Beläge durchwegs auf einer mindestens 8 cm dicken, bituminösen Schicht liegen.

Nach obigen Angaben gebaute Versuchsstrecken haben sich nach besagtem Bericht bis jetzt (maximal 3 Betriebsjahre) gut verhalten. Wir verfolgen mit Interesse die weiteren Erfahrungen unserer Nachbarn; dies auch bezüglich Verkleinerung der normalerweise 60–80 cm starken Frostschutzschichten.

Nach schweizerischen Erfahrungen sind die oben vorgeschlagenen, verbilligten Ausführungsarten mit einigen Risiken verbunden. Ohne Verankerung öffnen sich die Scheinfugen recht ungleichmässig, und infolge eindringender Fremdkörper können von den Fahrbahnen ausgehende, sukzessive Verschiebungen entstehen. Das Schwinden der Betonplatten, das besonders in der ersten Zeit durch Weglassen einer Netzarmerung verstärkt wird, kann bei ungleichmässigem Aufreissen der Fugenquerschnitte bei einer späteren, oberen Abkühlung Risse verursachen. Die Dübel können weggelassen werden, da auch nach unseren Untersuchungen ihre Schubübertragung gering ist. Die weiteren österreichischen Erfahrungen werden zeigen, ob die Rissflächen der Fugenquerschnitte auf die Dauer durchwegs die erwünschte Schubübertragung gewährleisten.

¹¹⁾ Richtlinien für die Prüfung, Zulassung und Lieferung von luftporenbildenden Betonzusatzmitteln für Fahrbahndecken (RLP 67). Herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen im Österr. Ing.- und Arch.-Verein. Wien 1967, Eschenbachgasse 9.

¹²⁾ Versuche und Erfahrungen mit Längs- und Querräumen. Von R. Springenschmid. Erstes Europ. Symposium über Betonfahrbahnen, Paris 1969.

3. Soweit die Erfahrungen mit den neuen österreichischen Betonstrassen eine Armierung der Platten und Verankerung der Fugen überflüssig erscheinen lassen, erleichtert dies auch die Gewährleistung der *Tausalzbeständigkeit*, da bei Zutritt der Salzlösungen zu Stahleinlagen deren Rosten zu Absprengungen Anlass geben kann.

Die Wirkung der Tausalze auf den Beton beruht hauptsächlich in der raschen Abkühlung von dessen Oberfläche bei Entzug der Schmelzwärme des Eises. Je nach der Dicke des zu schmelzenden Eisüberzuges und der pro m² gestreuten Streusalzmenge kann der «Auftauschock» aus folgender Proportion berechnet werden: Das Schmelzen von 100 g Eis durch 33 g Kochsalz (NaCl) ist mit einer Abkühlung von –21°C verbunden, das Schmelzen von 100 g Eis mit 143 g Calciumchlorid (CaCl₂ + 2 H₂O) mit einer Abkühlung von –50 °C.

Der durch Tausalze hervorgerufene Temperaturabfall vermehrt die Zahl der natürlichen Unterschreitungen des Wasser-Gefrierpunkts im Beton und vergrössert deren Tiefenwirkung. Zum Schutz gegen die oben genannten Wirkungen der Tausalze ist die Anwendung luftporenbildender Zusatzmittel zum Frischbeton von Nutzen.

Diese Zusatzmittel können jedoch die Wirkungen der bei Auftauen einer Eisschicht auf der Betonoberfläche unter derselben entstehenden Temperatur-Gradienten nicht erheblich mildern. Diese mechanische Wirkung ist häufige Ursache von Netzrissigkeit und allmählicher Zermürbung der oberflächenschichten von Betonbelägen und von sukzessiven Abschälungen oder lokalen Absprengungen von Oberflächenteilen des Betonbelages. Gegen diese mechanischen Wirkungen grosser Temperatur-Gradienten bieten auch hohe Betonfestigkeiten noch nicht genügenden Schutz, da die Temperaturspannungen mit den Elastizitätsmodul des Betons, also etwa proportional der Quadratwurzel aus dessen Druckfestigkeit, anwachsen, aber desgleichen auch die für dessen Widerstand massgebenden Zug- und Schubfestigkeiten des Betons (vergl. SIA-Norm 162). Diesen Wirkungen muss durch Einschränkung der maximalen Temperatur-Gradienten begegnet werden, das heisst durch Einschränkung der Schmelz-Geschwindigkeit der Eisschicht durch *sukzessives Streuen geringer Tausalz-Mengen*.

Infolge Zusammenwirken der oben besprochenen beiden Einwirkungsarten des durch Tausalz verstärkten Frostes entstehen Abschälungen und Absprengungen oft in Isothermen-Flächen häufiger Erreichung des Gefrierpunktes des Kapillarswassers, wo wiederholte Diskontinuität der freien Frost-Verformungen des Betons auftritt. Das Ausmass abgesprengter Beton-Teilchen ist dann von der durch die maximalen Temperaturgradienten verursachten Netzrissigkeit der Betonoberfläche abhängig.

Eine andere Art der Schwächung des Betongefüges kann bei nach dem Salzen eintretender trockener Witterung entstehen, wenn das im Schmelzwasser gelöste Salz an den Menisken der Beton-Kapillaren wieder auskristallisiert und durch Kristallisationsdruck Abschälungen von Beton ungenügender Festigkeit verursacht.

Ganz ähnliche, physikalisch schädliche Wirkungen treten auch beim Salzen *bituminöser Beläge* auf, werden aber durch deren grössere elastische und plastische Verformbarkeit gemildert. (Beiläufig sei hier erwähnt, dass deutsche Kollegen Bedenken gegen bituminöse Beläge in langen Strassentunneln äusserten, weil gemäss Kriegserfahrungen diese Beläge bei Bränden erweichen, die Rettungsarbeiten sehr erschweren und schliesslich auch noch selbst brennbare Gase abgeben.)

Alle diese Einflüsse können schliesslich auch die *Sicherheit von Brückenbauten* gefährden, deren Beläge im Winter mit Tausalz bestreut werden. Diese Salze können im Kapillarswasser unvorhergesehene Stellen der Konstruktion erreichen

und schliesslich noch Korrosion der Haupt-Bewehrungen verursachen; was besonders in vorgespannten Konstruktionen gefährlich werden kann.

Alle diese Feststellungen weisen darauf hin, dass es dringend nötig ist, Mittel und Wege der *Schnee- und Eisbe-seitigung* ohne *Verwendung korrosiver Salze* zu finden.

IV. Sichtbeton

Die durch den österreichischen Betontag ermöglichten Baubesichtigungen führten auch zu verschiedenen Bauausführungen mit Sichtbeton; und es wird hier die Gelegenheit benutzt, auf ein sehr wertvolles, neues Buch ¹³⁾ über diese Ausführungsarten aufmerksam zu machen.

Die Erkenntnisse der Betontechnologie und die ständige Vervollkommnung der Bautechnik ermöglichen den Architekten unserer Zeit eine freie Verwendung des Sichtbetons als architektonisches und künstlerisches Gestaltungsmittel. Ein Ingenieur-Bauwerk kann nur überzeugend schön wirken, wenn seine Konstruktion und der verwendete Baustoff klar ersichtlich sind. Dies erleichtert der wetterbeständige und wirtschaftliche Sichtbeton mit seinen vielfältigen Möglichkeiten. Am häufigsten werden die Beton-Oberflächen unbearbeitet belassen, mit der durch ihre Schalung gegebenen Struktur (rauh, glatt, profiliert). Es kann aber auch durch handwerkliche Bearbeitung die Körnung und Farbe des verwendeten Zuschlag-Gesteins zum Ausdruck gebracht werden. Ausnahmsweise kommen auch Färbungen in Frage.

Alle diese Techniken werden, nach Besprechung der zweckmässigsten Beton-Rohstoffe, Mischungen, Schalungen und Verdichtungsarten, kurz und klar beschrieben und durch

¹³⁾ **Technik des Sichtbetons.** Ausschreibung und Herstellung in Normal- und Leichtbeton. Von G. Rapp. 311 S. Format 16×24 cm, 235 Abb. Düsseldorf 1969, Beton-Verlag. Preis geb. 62 DM.

ausgezeichnete Illustrationen erläutert. Besonders aufschlussreich ist zudem eine ausführliche Zusammenstellung typischer Sichtbetonfehler.

Dem heute immer mehr zur Anwendung gelangenden *Leichtbeton* wird besondere Beachtung geschenkt. Für *Stahl-Leichtbeton* gelten in Deutschland einstweilen noch die vom Hessischen Minister des Inneren erlassenen, vorläufigen Richtlinien für Ausführung und Prüfung (Deutscher Beton-Verein, Wiesbaden 1967).

V. Schalung und Rüstung

Über Konstruktion und Ausführung der *Rüstungen und Schalungen* steht eine ausgezeichnete Anleitung unseres hier für bestbekannten Fachmannes H. Kaegi¹⁴⁾ zur Verfügung.

Nach Hinweis auf die einschlägigen schweizerischen und deutschen Normen werden Materialien und Verbindungsmittel besprochen und hierauf Entwurf, Berechnung und Ausführung der Schalungen erläutert. Es folgen praktische Angaben über Gewicht und Montage der Schalungen, das Betonieren, das nachherige Ausschalen und Abbrechen der Schalungen, sowie deren Wartung und die Kalkulation. Die Ausführungsbeispiele schliessen auch Spezialschalungen, Konterschaltungen und verlorene Schalungen ein. Schliesslich werden die allgemeinen Anforderungen kurz zusammengefasst und auf etwa vorkommende Fehler hingewiesen. Die Lehrgerüste werden anhand einiger typischer Beispiele erläutert.

Das praktische Handbüchlein wird vor allem den jungen Bauführern willkommen sein.

¹⁴⁾ **Handbuch der Betonschalungen.** Von H. Kaegi. 174 S. Format 14×20 cm, 126 Abb. Dietikon-Zürich 1966, Verlag Stocker-Schmid. Preis geb. 34 Fr.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. Adolf Voellmy, a. Abteilungsvorsteher der EMPA und Dozent der ETH, 8032 Zürich, Höhenweg 20.

Mittelmeer und Gebirgsbildung

DK 551.462

Die Schweiz war einst ein Teil eines Mittelmeers, das Afrika und Südeuropa von Nordeuropa trennte; erst später, als Afrika nach Norden verschoben worden war, entstanden die Alpen. Diese klassische Theorie hat durch neue Entdeckungen unter dem Mittelmeerboden wieder Auftrieb erhalten.

Prof. Dr. Kenneth J. Hsü, a.o. Professor für Geologie an der ETH Zürich, und Dr. William Ryan von der Columbia Universität waren die wissenschaftlichen Leiter einer internationalen Gruppe, die auf einer Kreuzfahrt mit dem Bohrschiff «Glomar Challenger» durch das Mittelmeer im Rahmen des Tiefsee-Bohrprojektes der U. S. National Science Foundation wertvolle Bohrkern von Meeresablagerungen und Urgesteinsproben aus grossen Tiefen zutage förderten. Die Schiffsbesatzung rekrutierte sich aus 20 Wissenschaftlern und Technikern sowie 50 Bohrmännern und Hilfskräften. Zur wissenschaftlichen Gruppe zählte als weiterer Schweizer Dr. Wolf Maync, Muri BE, der als Paläontologe tätig war. Vom 13. August bis 6. Oktober 1970 hat diese Mannschaft an 15 Standorten 28 Bohrungen vorgenommen, und zwar im Nordatlantik sowie im westlichen und östlichen Mittelmeer. Über 6200 m Gesteinsfolge wurden durchbohrt und davon etwa 650 m als Bohrkern gefördert.

Im Atlantik, westlich von Gibraltar, hat man eine Serie eruptiver Gesteine (Gabbro und Serpentin) entdeckt, die in ihrer Beschaffenheit, ihrer Abfolge und ihrem Alter denen der Gebirgsketten Europas gleichen. Diese Tatsache

lässt sich durch die bekannte Theorie von der Kontinentverschiebung erklären: In den vergangenen 100 Millionen Jahren bildete ein grosser Teil des alten Mittelmeeres durch das Zusammenrücken Afrikas und Europas die Alpen. Der Meeresteil westlich von Gibraltar fügte sich zum neugeöffneten Atlantik, der durch die Trennung Nordamerikas von Europa entstanden war. Es ist daher nicht erstaunlich, dass der Gabbro aus dem Bohrloch im Atlantik vom Gestein unter dem Allalinhorn im Wallis kaum zu unterscheiden ist.

Dass der Mittelmeerboden während der letzten Zeit immer noch zusammengedrückt und deformiert wird, bestätigt eine Bohrung südlich der Insel Kreta. Dort wurden 120 Millionen Jahre alte Kalkgesteine entdeckt, die über sehr jungem und weichem Schlamm aufgeschoben sind. Ausserdem fand man mächtige Tiefseeablagerungen, die erst vor 1 Million Jahren von ihren ursprünglichen Ablagerungsräumen in der Nilmündung weggeschoben wurden und dadurch ein mächtiges untermeeres Gebirge, den sogenannten Mittelmeerrücken, bildeten.

Weitere seltene Ereignisse in der geologischen Geschichte des Mittelmeeres sind in den als Bohrkern vorliegenden Meeresablagerungen aufgezeichnet. Während der Einengung des Meerraumes durch das Zusammenrücken von Afrika und Europa wurde das Mittelmeer von Zeit zu Zeit vollständig vom Atlantik abgetrennt. Vor 10 bis 5 Millionen Jahren trocknete dieses Binnenmeer durch die starke Verdunstung anscheinend weitgehend aus, und der