

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300746

Heft 13.

Versuche über den Einfluß von Kälte und Wärme auf die Erhärtungsfähigkeit von Beton. Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West im Jahre 1911. Bericht erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit 15 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 1,60 M.

Heft 14.

Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von Stoßverbindungen der Eiseneinlagen. Ausgeführt in der Königl. Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt in Dresden. Bericht erstattet von Professor **H. Scheit**, Geh. Hofrat, Direktor der Versuchsanstalt und Privatdozent Dipl.-Ing. **O. Wawrziniok**, Adjunkt der Versuchsanstalt.

Mit 144 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 4 M.

Heft 15.

Versuche über den Einfluß der Elektrizität auf Eisenbeton. Ausgeführt in der Großh. Materialprüfungs-Anstalt an der Technischen Hochschule zu Darmstadt in den Jahren 1909 bis 1911. Bericht erstattet von Professor **O. Berndt**, Geh. Baurat, Vorstand der Materialprüfungs-Anstalt, Professor Dr. **K. Wirtz**, Geh. Hofrat, unter Mitwirkung von Privatdozent Dr.-Ing. **E. Preuß**.

Mit 214 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 4,60 M.

Heft 16.

Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Beton und Eisenbeton gegen Verdrehung. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 und 1911. Bericht erstattet von Dr.-Ing. **C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit 114 Textabbildungen und 14 Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet Preis 4,60 M.

Heft 17.

Versuche mit Stampfbeton. Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde-West in den Jahren 1905 bis 1910. Bericht erstattet von Geheimem Regierungsrat Professor **M. Rudeloff**, Direktor, und Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit 71 Textabbildungen und 64 Tabellen.

1912.

Geheftet Preis 9,60 M.

Heft 18.

Die Beziehung zwischen Formänderung und Biegemoment bei Eisenbetonbalken (abgeleitet aus den bis Ende 1911 durchgeführten Versuchen). Bericht erstattet von Professor Dr.-Ing. **E. Mörsch**.

Mit 12 Textabbildungen.

1912.

Geheftet Preis 1,20 M.

Heft 19.

Prüfung von Balken zu Kontrollversuchen. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 und 1911. Bericht erstattet von Dr.-Ing. **C. Bach**, K. Württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt, und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit 26 Textabbildungen und 10 Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet Preis 2,40 M.

xxx
233



Heft 20.

Versuche mit Eisenbeton-Balken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit verschiedener Bewehrung gegen Schubkräfte.

DRITTER TEIL. Ausgeführt in der Materialprüfungsanstalt der Königlich Technischen Hochschule zu Stuttgart in den Jahren 1910 bis 1912. Bericht erstattet von Dr.-Ing. **C. Bach**, K. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.

Mit **188** Textabbildungen und **29** Zusammenstellungen.

1912.

Geheftet Preis **10,60 M.**

Heft 21.

Untersuchungen über den Einfluß der Köpfe auf die Formänderungen und Festigkeit von Eisenbeton-Säulen.

Ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde-West im Jahre 1912. Bericht erstattet von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt.

Mit **44** Textabbildungen und **64** Tabellen.

1912.

Geheftet Preis **6 M.**

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

VERSUCHE
MIT
STAMPFBETON

AUSGEFÜHRT IM
KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT
ZU
GROSS-LICHTERFELDE-WEST
IN DEN JAHREN 1905 BIS 1910

BERICHT ERSTATTET VOM
GEHEIMEN REGIERUNGSRAT PROFESSOR M. RUDELOFF, DIREKTOR
UND
PROFESSOR M. GARY,
ABTEILUNGSVORSTEHER IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

MIT 71 TEXTABBILDUNGEN

BERLIN 1912
VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBRITTON



III_207237

Alle Rechte vorbehalten.

BERICHT ERSTATTET VON

GEHEIMEN REGIERUNGSRAT PROFESSOR M. RUDOLFF, DIRECTOR

PROFESSOR M. GAZY

ASTRONOMISCHER ANSTALT DER KÖNIGLICHEN UNIVERSITÄT WILHELM-FRANKE

MIT 12 TAFELN

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

094-0-248/208

Inhaltsverzeichnis.

Teil I.

Seite

Allgemeines, Eigenschaften der verwendeten Stoffe und Druckfestigkeiten ohne Feinmessungen	1—49
Einleitung. Zusammensetzung des Ausschusses	1
Vorläufiger Arbeitsplan	2
Endgültiger Arbeitsplan I für Betonversuche	4
Material und Mischung	8
Versuchsergebnisse	11
Eigenschaften der Zemente A und B	11
Eigenschaften der Zuschlagstoffe	12
Druckfestigkeit der Mörtel mit Zement A (kleine Würfel)	14
Wasserzusätze zu den Mörteln (kleine Würfel)	16
Raumgewichte der Mörtelproben (kleine Würfel)	16
Raumgewichte der Mörtelproben (große Würfel)	17
Druckfestigkeit der Mörtelproben (große Würfel)	17
Gewichte und Raumgewichte der Betonproben	18
Druckfestigkeiten des Betons aus Zement A	20
Druckfestigkeiten des Betons aus Zement B	24
Bewertung der Versuchsergebnisse	27
Isarkies in fetter und magerer Betonmischung	28
Rheinkies in fetter und magerer Betonmischung	31
Mörtel mit Isar- und Rheinsand	32
Beton mit Zuschlägen aus Sand, Kies und Steinschlag	34
Beton mit Zuschlägen aus Sand und Steinschlag	37
Isarsand	38
Rheinsand	39
Einfluß des Entfeinens des Rheinsandes auf die Druckfestigkeit des Schotterbetons	41
Gesetzmäßige Beziehungen bei 1 Jahr Alter	43
Einfluß verschiedener Sande auf Mörtel und Beton	45

Teil II.

Seite

Prüfung von Beton auf Druck-, Biege-, Zug-, Dreh- und Scheerfestigkeit unter Ermittlung der elastischen Eigenschaften	51—167
I. Druckversuche	51
A. Druckfestigkeit	51
1. Einfluß des Alters	54
2. Einfluß der Sandart	56
3. Einfluß des Magerungsgrades	56
4. Einfluß des Wasserzusatzes	56
B. Formänderungen (Einflüsse wie unter A.)	57
II. Biegeversuche	91
A. Biegefestigkeit	92
1. Einfluß der Querschnittsabmessungen	92
2. Einfluß des Alters	92
3. Einfluß der Sandart	94
4. Einfluß des Magerungsgrades	96
5. Vergleich zwischen Kiesbeton und Steinschlagbeton	97
B. Formänderungen (1—5 wie unter II. A.)	97
III. Zugversuche	123
A. Zugfestigkeit	124
1. Einfluß des Alters	124
2. Einfluß der Sandart	124
3. Einfluß des Magerungsgrades	125
B. Die Formänderungen (Einflüsse wie unter III. A.)	126
IV. Versuche mit Zug- und Druckwechsel	134
V. Drehversuche	145
A. Drehfestigkeit	150
1. Einfluß des Alters	150
2. Einfluß der Sandart	151
3. Einfluß des Magerungsgrades	151
B. Die Verdrehungen	152
VI. Scheerversuche	159
VII. Vergleich der Druckfestigkeiten, ermittelt an Würfeln und an Prismen	162
VIII. Vergleich der verschiedenartigen Festigkeiten desselben Betons	165

Teil I.

Allgemeines, Eigenschaften der verwendeten Stoffe und Druckfestigkeiten ohne Feinmessungen.

Bearbeitet von M. Gary.

Einleitung.

Auf Anregung des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten in Preußen trat nach vorangegangenen Besprechungen am 5. Dezember 1904 erstmalig ein Ausschuß (der spätere Deutsche Ausschuß für Eisenbeton) zusammen, um planmäßige Versuche mit Stampfbeton und Versuche über das Verhalten von Eisen im Mauerwerk¹⁾ einzuleiten und zu beraten. An der Beratung nahmen als Kommissare der preußischen Ministerien und des Reichs, sowie der Vereine folgende Herren teil.

Ministerium der öffentlichen Arbeiten.

1. Wirklicher Geheimer Oberbaurat Dr. Zimmermann,
2. Geheimer Oberbaurat Germelmann,
3. Geheimer Oberbaurat Nitschmann,
4. Geheimer Oberbaurat Launer,
5. Regierungs- und Baurat Frey.

Reichsamt für die Verwaltung der Reichseisenbahnen.

6. Geheimer Oberbaurat Sarre.

Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten.

7. Geheimer Baurat Nuyken.

Ministerium für Handel und Gewerbe,

8. Geheimer Oberregierungsrat Jaeger.

Ministerium der geistlichen, Unterrichts- und Medizinalangelegenheiten. (Materialprüfungsamt.)

9. Direktor, Geheimer Regierungsrat, Professor Martens,
10. Abteilungsvorsteher Professor Rudeloff,
11. Abteilungsvorsteher Professor Gary,
12. Abteilungsvorsteher Professor Heyn (Vertreter: Abteilungsvorsteher Professor Rothe).

Kriegsministerium.

13. Geheimer Oberbaurat Wodrig,
14. Oberstleutnant Schultz, Abteilungschef im Ingenieur-Komitee.

¹⁾ Für die Versuche betreffend das Verhalten von Eisen im Mauerwerk lagen ältere Vorschläge der Bauabteilung des Arbeitsministeriums und des Materialprüfungsamtes Gr.-Lichterfelde vor. Ueber diese Versuche wird nach ihrem Ablauf besonders berichtet werden.

Reichsmarineamt.

15. Geheimer Baurat Mönch.

Reichspostamt.

16. Geheimer Baurat Techow.

Deutscher Betonverein.

17. Kommerzienrat Eugen Dyckerhoff, Vorsitzender des Deutschen Beton-Vereins in Biebrich a. Rh.,

18. Schriftführer des Deutschen Beton-Vereins, Alfred Hüser, Oberkassel,

19. Generaldirektor Freytag, Neustadt a. Haardt,

20. Postbaurat a. D. Kux, Breslau,

21. Regierungs-Baumeister a. D. Koenen, Berlin.

Verein Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten.

22. Kommerzienrat F. Schott in Heidelberg, Vorsitzender des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten,

23. Dr. G. Leube in Ulm a. D.,

24. Dr. C. Goslich in Züllchow-Stettin,

25. Dr. H. Müller in Rüdersdorf.

Der Beratung vom 5. Dezember 1904 lag ein vom Deutschen Beton-Verein vorgelegter Arbeitsplan zu Grunde. Tab. 1 gibt eine Uebersicht über den Umfang der geplanten Versuche. Bezweckt war die Schaffung zuverlässiger Unterlagen für die Berechnung der Betonbauwerke und die planmäßige Aufklärung über die Beziehungen der Beton-Festigkeiten untereinander.

Tabelle 1. Vorläufiger Arbeitsplan

für auszuführende Betonproben mit 2 Wasserzusätzen, zweierlei Portlandzementen und zweierlei Kiessanden in fünf verschiedenen Zusammensetzungen.

Nr.	Versuchsart	Abmessungen der Probekörper		Anzahl der Altersstufen	Anzahl der Proben
		Länge Breite Dicke	Inhalt Liter		
1	Druckversuche	30. 30. 30	27	5	1000
1 a	desgl. mit Elastizitätsmessungen	100. 20. 20	40	2	72
2	Biegeversuche	150. 20. 20	60	3	600
2 a	desgl. Nebenreihe	150. 30. 16	72	2	72
2 b	desgl. Nebenreihe	150. 60. 11	99	2	72
3	Zugversuche	100. 20. 20	40	3	600
	desgl. Nebenreihe Zug- und Druck-Wechsel	100. 20. 20	40	2	72
4	Drehversuche	150. 20. 20	60	2	400
5	Scherversuche	50. 20	15,7	2	400
					3288

Die Ausführung der Versuche nach dem Plane des Deutschen Beton-Vereins wurde von dem Ausschusse befürwortet. Der Deutsche Beton-Verein erklärte sich von vornherein bereit, zu den auf 70 000 Mk. veranschlagten Kosten 10 000 Mk. beizusteuern; der Verein Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten hat ebenfalls 10 000 Mk. beigetragen, die übrigen Kosten sind später auf die einzelnen Ressorts, die in dem Ausschuß vertreten waren, verteilt worden.

Ein Antrag der Firma F. A. Robert Müller & Co., Berlin, ihren in Thale a. H. hergestellten Puzzolanzement zu Deckenbauten und Betonkonstruktionen zuzulassen und ihn zu diesem Zweck in die geplanten Versuche auf Kosten der Firma einzubeziehen, wurde abgelehnt, da es sich bei den vorzunehmenden Versuchen um allgemein wichtige Aufschlüsse handelte und deshalb das Material einer einzelnen Firma besondere Berücksichtigung nicht erfahren konnte.

Eine zweite Sitzung des Ausschusses hat dann am 21. März 1906 stattgefunden und beschlossen, zu den neuen Versuchen möglichst dieselben Materialien zu verwenden, wie sie zu einer im Auftrage des Deutschen Beton-Vereins bereits ausgeführten größeren Versuchsreihe Verwendung gefunden hatten, um sie in Beziehungen zu dieser Reihe zu bringen. Die geplanten Versuche wurden als notwendige Vorversuche für die demnächst in Angriff zu nehmenden Versuche über das statische Verhalten der Eisenbetonkonstruktionen angesehen. Außerdem hoffte man, die Ergebnisse der Versuche würden die notwendigen Aufschlüsse für den reinen Betonbau ergeben. Der Ausschuß wurde dann für die Zwecke der Beratung der Eisenbetonversuche durch Zuwahl von Vertretern einiger deutscher Bundesstaaten und der außerpreußischen Materialprüfungsämter verstärkt. Zur Anpassung der bereits aufgestellten Arbeitspläne an die weiter gesteckten Ziele und zur Aufstellung eines neuen Arbeitsplanes für die Eisenbetonversuche (III) wurde ein Unterausschuß eingesetzt, der spätere Arbeitsausschuß des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton. Der Unterausschuß erhielt den Auftrag, den Arbeitsplan I für die reinen Stampfbetonversuche so in die Wege zu leiten, daß mit den Versuchen im Frühjahr 1906 begonnen werden konnte und den Arbeitsplan II (Eisen im Mauerwerk) so zu ändern, daß möglichst schnell auch die dringendsten Aufschlüsse auf dem Gebiete des Eisenbetonbaues gewonnen würden.

Die Mitglieder des Unterausschusses traten bereits am 4. Mai 1906 im Ministerium der öffentlichen Arbeiten zu erstmaliger Beratung zusammen. An den Verhandlungen nahmen sämtliche gewählten Mitglieder des Unterausschusses teil, nämlich die Herren:

1. Geheimer Oberbaurat Germelmann,
2. Geheimer Oberbaurat Launer,
3. Regierungs- und Baurat Frey,
4. Geheimer Oberbaurat Sarre,
5. Geheimer Regierungsrat Professor Dr.-Ing. Martens,
6. Abteilungsvorsteher Professor Gary,
7. Baudirektor Professor Dr.-Ing. v. Bach,
8. Geheimer Hofrat Professor Scheit,
9. Professor Mörsch,
10. Ingenieur Eduard Züblin,
11. Kommerzienrat Eugen Dyckerhoff,
12. Alfred Hüser,
13. Direktor Dr. Goslich,
14. Regierungsbaumeister Fr. Voß, als Protokollführer.

Später hat sich der Ausschuß noch durch Zuwahl von Vertretern einiger bisher noch nicht herangezogener Bundesstaaten und des Verbandes Deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine, sowie des Vereins Deutscher Ingenieure und des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute ergänzt.

Um möglichst viele Mittel für die Versuche mit Eisenbeton frei zu machen, wurde empfohlen, nur die Druckversuche des Programms auszuführen, da nur diese von praktischer Bedeutung wären, die übrigen Versuche vorzugsweise wissenschaftliches Interesse hätten, auch nicht als Vorversuche für Eisenbeton gelten könnten, da magere Mischungen vorgesehen seien, als im Eisenbetonbau zulässig und üblich sind. Die überwiegende Mehrheit des Ausschusses war indessen der Ansicht, daß großer Wert auch auf die Ausführung der Biege-, Zug-, Dreh- und Scherversuche gelegt werden müsse. Eine etwa in Aussicht zu nehmende spätere

Vervollständigung würde sehr große Kosten verursachen und zum Teil nicht den erstrebten Erfolg haben, da ein Vergleich mit den Druckversuchen wegen der Verschiedenartigkeit der verwendeten Materialien dann nicht mehr möglich sein werde. Daraufhin wurde die vollständige Ausführung der Versuche nach dem Arbeitsplan des Deutschen Beton-Vereins mit einigen Einschränkungen und Zusätzen beschlossen. Die Kosten des Arbeitsplanes I wurden auf 54 000 Mk. ermäßigt und somit 16 000 Mk. für spätere Eisenbetonversuche verfügbar.

Der Arbeitsplan nahm nunmehr den in Tab. 2 skizzierten Umfang an.

Mit Erlaß des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 20. Juni 1906 wurde das Königliche Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde mit der Ausführung der Versuche nach den vorliegenden Arbeitsplänen beauftragt. Vor Beginn der Versuche mußten aber noch bestimmte Vereinbarungen über die Herstellungsweise der Probekörper getroffen werden. Die damals schon bestehenden „Vorläufigen Bestimmungen für Probekörper aus Stampfbeton“ des Deutschen Beton-Vereins wurden nicht als ausreichend erachtet. Insbesondere war es notwendig, die Begriffe „erdfeucht“ und „weich“ bei der Wahl des Wasserzusatzes festzulegen, da hierüber die Meinungen, namentlich der Betonbauer aus Norddeutschland und Süddeutschland beträchtlich auseinander gingen.

Mit Erlaß vom 28. August 1906 verfügte der Herr Minister der öffentlichen Arbeiten die Ausführung von Vorversuchen zur Feststellung des Wasserzusatzes bei Probekörpern aus erdfeuchtem bzw. weichem Stampfbeton unter Verwendung von Isarkies und von Rheinkies.

Diese Vorversuche sind im Beisein von Vertretern des Ausschusses ausgeführt worden. Für jede der im Arbeitsplan vorgesehenen Mischungen wurde der Wasserzusatz an Hand der Versuchsergebnisse vereinbart und bei den Hauptversuchen zur Anwendung gebracht. (Siehe Tab. 6 und 11 bis 14.)

Tabelle 2. **Betonversuche.**

Arbeitsplan I nach den Beschlüssen des Unterausschusses vom 4. Mai 1906.

Nr.	Anzahl der Zemente	Mischung	Wasser- zusatz	Anzahl der Proben für Prüfungen nach					Abmessungen der Probe- körper in cm	Literinhalt der Probe- körper, einzeln			
				28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	x Jahren ¹⁾			Insgesamt	Länge	Breite
1	2	1 Zement + $2\frac{1}{9}$ Isarsand ungewaschen + 5 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
2	2	1 Zement + $2\frac{1}{9}$ Isarsand gewaschen + 5 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
3	2	1 Zement + $2\frac{1}{9}$ Isarsand entfemt + 5 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
4	2	1 Zement + $2\frac{1}{9}$ Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
5	2	1 Zement + $2\frac{1}{9}$ Rheinsand entfemt + 5 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
6	2	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
7	2	1 Zement + 4 Isarsand gewaschen + 8 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
8	2	1 Zement + 4 Isarsand entfemt + 8 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
9	2	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27
10	2	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	2	20	20	20	20	20	100	30	30	30	27

A. Druckversuche ohne Feinmessung (Würfel).

1) Später wurde beschlossen $x = 5$ zu setzen.

Nr.	Anzahl der Zemente	Mischung	Wasser- zusatz	Anzahl der Proben für Prüfungen nach					Abmessungen der Probe- körper in cm			Literinhalt der Probe- körper, einzeln
				28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	x Jahren	Insgesamt	Länge	Breite	

B. Druckversuche mit Feinmessung (Prismen).

11	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand ungewaschen + 5 Kies	2	4	4	4	—	—	12	100	20	20	40
12	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	2	4	4	4	—	—	12	100	20	20	40
13	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand entfemt + 5 Kies	2	4	4	4	—	—	12	100	20	20	40
14	1	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	2	4	4	4	—	—	12	100	20	20	40
15	1	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	2	4	4	4	—	—	12	100	20	20	40
16	1	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	2	4	4	4	—	—	12	100	20	20	40

C. Druckversuche ohne Feinmessung (Würfel).

17	2	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand ungewaschen + $\left\{ \begin{matrix} 1,5 \text{ Kies} \\ 3,5 \text{ Steinschlag} \end{matrix} \right.$	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
18	2	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand ungewaschen + $\left\{ \begin{matrix} 1,5 \text{ Kies} \\ 3,5 \text{ Steinschlag} \end{matrix} \right.$	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
19	2	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand entfemt + $\left\{ \begin{matrix} 1,5 \text{ Kies} \\ 3,5 \text{ Steinschlag} \end{matrix} \right.$	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
20	2	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + $\left\{ \begin{matrix} 2,4 \text{ Kies} \\ 5,6 \text{ Steinschlag} \end{matrix} \right.$	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
21	2	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + $\left\{ \begin{matrix} 2,4 \text{ Kies} \\ 5,6 \text{ Steinschlag} \end{matrix} \right.$	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
22	2	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + $\left\{ \begin{matrix} 2,4 \text{ Kies} \\ 5,6 \text{ Steinschlag} \end{matrix} \right.$	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27

Desgleichen.

23	2	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand ungewaschen + 5 Steinschlag	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
24	2	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand ungewaschen + 5 Steinschlag	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
25	2	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand entfemt + 5 Steinschlag	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
26	2	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Steinschlag	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
27	2	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Steinschlag	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
28	2	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Steinschlag	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27

D. Druckversuche mit Feinmessung (Prismen).

29	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand ungewaschen + 5 Steinschlag	2	6	6	—	—	—	12	100	20	20	40
30	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand ungewaschen + 5 Steinschlag	2	6	6	—	—	—	12	100	20	20	40
31	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand entfemt + 5 Steinschlag	2	6	6	—	—	—	12	100	20	20	40
32	1	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Steinschlag	2	6	6	—	—	—	12	100	20	20	40
33	1	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Steinschlag	2	6	6	—	—	—	12	100	20	20	40
34	1	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Steinschlag	2	6	6	—	—	—	12	100	20	20	40

Nr.	Anzahl der Zemente	Mischung	Wasser- zusatz	Anzahl der Proben für Prüfungen nach					Insgesamt	Abmessungen der Probe- körper in cm			Literinhalt der Probe- körper, einzeln
				28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	x Jahren		Länge	Breite	Höhe	

E. Druckversuche ohne Feinmessung (Würfel).

35	2	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Quetschsand + 5 Steinschlag	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
36	2	1 Zement + 4 Quetschsand + 8 Steinschlag	2	20	20	20	—	—	60	30	30	30	27
37	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Hochofenschlacke x + 5 Steinschlag	2	10	10	10	—	—	30	30	30	30	27
38	1	1 Zement + 4 Hochofenschlacke x + 8 Steinschlag	2	10	10	10	—	—	30	30	30	30	27
39	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Hochofenschlacke y + 5 Steinschlag	2	10	10	10	—	—	30	30	30	30	27
40	1	1 Zement + 4 Hochofenschlacke y + 8 Steinschlag	2	10	10	10	—	—	30	30	30	30	27

F. Biegeversuche.

41	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand ungewaschen + 5 Kies	erdfeucht	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
42	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand gewaschen + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
43	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand entfemt + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
44	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
45	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand entfemt + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
46	1	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
47	1	1 Zement + 4 Isarsand gewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
48	1	1 Zement + 4 Isarsand entfemt + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
49	1	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
50	1	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
51	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand ungewaschen + 5 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	30	16	72
52	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	30	16	72
53	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand entfemt + 5 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	30	16	72
54	1	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	30	16	72
55	1	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	30	16	72
56	1	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	30	16	72
57	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand ungewaschen + 5 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	60	11	99
58	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	60	11	99
59	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand entfemt + 5 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	60	11	99
60	1	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	60	11	99
61	1	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	60	11	99
62	1	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	150	60	11	99
63	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Isarsand ungewaschen + 5 Steinschlag	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
64	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand ungewaschen + 5 Steinschlag	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
65	1	1 Zement + $2\frac{1}{2}$ Rheinsand entfemt + 5 Steinschlag	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60

Nr.	Anzahl der Zemente	Mischung	Wasserzusatzz	Anzahl der Proben für Prüfungen nach					Abmessungen der Probekörper in cm			Literinhalt der Probekörper, einzeln
				28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	x Jahren	Insgesamt	Länge	Breite	

F. Biegeversuche (Fortsetzung).

66	I	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Steinschlag	erdfeucht	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
67	I	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Steinschlag	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
68	I	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Steinschlag	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
69	I	1 Zement + 2 1/2 Quetschsand + 5 Steinschlag	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
70	I	1 Zement + 4 Quetschsand + 8 Steinschlag	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60

G. Zugversuche.

71	I	1 Zement + 2 1/2 Isarsand ungewaschen + 5 Kies	erdfeucht	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
72	I	1 Zement + 2 1/2 Isarsand gewaschen + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
73	I	1 Zement + 2 1/2 Isarsand entfemt + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
74	I	1 Zement + 2 1/2 Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
75	I	1 Zement + 2 1/2 Rheinsand entfemt + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
76	I	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
77	I	1 Zement + 4 Isarsand gewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
78	I	1 Zement + 4 Isarsand entfemt + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
79	I	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40
80	I	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	100	20	20	40

H. Zug- und Druckversuche im Wechsel.

81	I	1 Zement + 2 1/2 Isarsand ungewaschen + 5 Kies	erdfeucht	3	3	—	—	—	6	100	20	20	40
82	I	1 Zement + 2 1/2 Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	"	3	3	—	—	—	6	100	20	20	40
83	I	1 Zement + 2 1/2 Rheinsand entfemt + 5 Kies	"	3	3	—	—	—	6	100	20	20	40
84	I	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	100	20	20	40
85	I	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	100	20	20	40
86	I	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	"	3	3	—	—	—	6	100	20	20	40

J. Drehversuche.

87	I	1 Zement + 2 1/2 Isarsand ungewaschen + 5 Kies	erdfeucht	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
88	I	1 Zement + 2 1/2 Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
89	I	1 Zement + 2 1/2 Rheinsand entfemt + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
90	I	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
91	I	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60
92	I	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	150	20	20	60

K. Scherversuche.

93	I	1 Zement + 2 1/2 Isarsand ungewaschen + 5 Kies	erdfeucht	5	5	5	—	—	15	75	20	20	30
94	I	1 Zement + 2 1/2 Rheinsand ungewaschen + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	75	20	20	30
95	I	1 Zement + 2 1/2 Rheinsand entfemt + 5 Kies	"	5	5	5	—	—	15	75	20	20	30
96	I	1 Zement + 4 Isarsand ungewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	75	20	20	30
97	I	1 Zement + 4 Rheinsand ungewaschen + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	75	20	20	30
98	I	1 Zement + 4 Rheinsand entfemt + 8 Kies	"	5	5	5	—	—	15	75	20	20	30

Eigenschaften der Mörtel- und Betonbildner.

1. Allgemeine Eigenschaften (*r, s, d, u*, Korngröße) von
 - a) 2 Zementen,
 - b) Isarkies (Urzustand),
 - c) Rheinkies (Urzustand),
 - d) Steinschlag,
 - e) Quetschsand,
 - f) 2 Hochofenschlacken,
 - g) Isarsand 7 mm ungewaschen,
 - h) „ 7 „ gewaschen,
 - i) „ 7 „ entfemt,
 - k) Rheinsand 7 mm ungewaschen,
 - l) „ 7 „ entfemt.
2. Abbindezeit und Raumbeständigkeit bei 2 Zementen.
3. Zug- und Druckfestigkeit des Normenmörtels nach 7 und 28 Tagen von 2 Zementen.

Material und Mischung.

Nach den Beschlüssen sollen verwendet werden: zweierlei Portlandzemente, A und B, zweierlei Kiessande in 5 bzw. 3 verschiedenen Zusammensetzungen, auch mit Zuschlag von Steinschlag, ferner Quetschsand aus Hartgestein und zweierlei Schlackensande (granulierte Hochofenschlacke), *x* und *y*, mit Zusatz von Steinschlag.

Vorgesehen und bezogen wurden:

1. Portlandzemente

- | | | | | |
|------|------------------|------------------|---|---|
| a) 1 | Portlandzement A | von 22—24 kg/qcm | } | Zugfestigkeit
nach den Normenproben. |
| b) 1 | „ B | „ 16—18 „ | | |

2. Kies-, Stein- und Sandmaterialien

- a) Isarkiesand aus alten Ablagerungen in Gruben;
- b) Rheinkiesand aus dem Fluß gebaggert;
- c) Steinschlag aus hartem Gestein;
- d) Quetschsand aus hartem Gestein;
- e) Hochofenschlacken aus 2 Hüttenwerken.

Die Materialien sollten verarbeitet werden zu:

- A. Mischungen aus 2 Kiessanden in 5 verschiedenen Zusammensetzungen
 - a) 3 mal Isarsand (ungewaschen, im Amt gewaschen, sowie künstlich grob gemacht [entfemt]);
 - b) 2 mal Rheinsand (ungewaschen, sowie künstlich grob gemacht [entfemt]);
- B. Mischungen aus 2 Kiessanden in 3 verschiedenen Zusammensetzungen für die Druckversuche mit Elastizitätsmessungen und die Nebenreihen;
- C. Mischungen aus Kiessand und Steinschlag
 - a) 1 mal Isarsand (ungewaschen);
 - b) 2 mal Rheinsand (ungewaschen, sowie künstlich entfemt) } mit Zuschlag von Kiessteinen und Steinschlag;
- D. Mischungen aus 2 Sanden in 3 verschiedenen Zusammensetzungen und Steinschlag
 - a) 1 mal Isarsand (ungewaschen)
 - b) 2 mal Rheinsand (ungewaschen, sowie künstlich entfemt) } mit Zuschlag von nur Steinschlag;

E. Mischungen aus Quetschsand, 2 Schlackensanden und Steinschlag

Quetschsand auf dem 7-mm-Sieb gewonnen, gleich den Sandsorten.

Die Bezugsquellen¹⁾ der Materialien waren folgende:

Isarsand im Urzustande und Isarkies abgeseibt zwischen 7 und 25 mm, sowie 25 und 40 mm von Ratzinger und Weidenkaff, München;

Rheinsand, wie er aus dem Bagger fällt und Rheinkies auf denselben Sieben abgeseibt wie Isarkies, von Dyckerhoff & Widmann, Biebrich a. Rh.

Basaltquetschsand, 7 mm, von der Odenwälder Hartstein-Industrie A. G. zu Nieder-Ramstadt;

Granitsteinschlag und Grobgrus (wie die Kiese abgeseibt) von dem Granitwerk G. m. b. H. C. Kulmiz zu Oberstreit b. Striegau;

Hochofenschlacke (A) x von dem Portland-Zementwerk A. G. zu Rombach;

Hochofenschlacke (B) y von den Buderusschen Eisenwerken, Abt. Zement zu Wetzlar.

Die Eigenschaften sämtlicher Materialien waren festzustellen, außerdem aber die in Tab. 2 aufgeführten Eigenschaften der Mörtel- und Betonmischungen nach 28 Tagen, 3 Monaten, 1 Jahr und 2 Jahren Lagerung unter feuchtem Sande, wie aus den später folgenden Tabellen ersichtlich ist. Für die Reihe A war außerdem noch ein später festzusetzender Prüfungstermin in Aussicht genommen, der nachträglich auf 5 Jahre festgesetzt wurde.

Für die Mörtelprüfungen sollten Zement A und Würfel von 10 und 30 cm Seitenlänge zur Verwendung kommen, zu deren Herstellung folgende Anweisung gegeben war.

Die Mörtelwürfel sind wie folgt herzustellen: Zement A und Sand sind zunächst in der Betonmischmaschine (Bauart Hüser) $\frac{1}{2}$ Minute trocken und dann unter Anwendung des vorher festgelegten Wasserzusatzes $2\frac{1}{2}$ Minuten naß zu mischen.

Der Mörtel ist in die 10 cm-Formen auf einmal einzufüllen und mit dem Spatel an der Formenwand herunterzustößen; er ist mit 12 Schlägen auf den Setzer von 9,5 · 9,5 cm mit dem Hammer von 2,6 kg Gewicht einzuschlagen. Die Mörtelwürfel in den 30 cm-Formen sind wie Betonwürfel zu fertigen.

Die Betonwürfel von 30 cm Seitenlänge waren wie folgt herzustellen: Zement und Zuschlagstoffe sind in der Betonmischmaschine (Bauart Hüser) zuerst $\frac{1}{2}$ Minute trocken und dann nach Zusatz der vorgeschriebenen Wassermenge $2\frac{1}{2}$ Minuten naß zu mischen.

Die Betonmasse ist schichtenweise (in 2 Schichten von je 15 cm Höhe) unter Anwendung von 108 Schlägen für jede Schicht mit dem Normalstampfer einzustampfen.

Sämtliche Probekörper sollen 2 Tage an der Luft, die übrige Zeit unter feuchtem Sand erhärten. Am Tage vor der Prüfung sollen sie aus dem Sande herausgenommen und der anhaftende Sand abgebürstet werden.

Der Druck ist senkrecht zur Stampfrichtung auszuüben.

Bei Herstellung der Prismen, Balken und Zugproben wurde ähnlich verfahren (s. weiter unten). Von sämtlichen Körpern ist das Gewicht nach der Herstellung und vor der Prüfung festgestellt worden.

Die Tabellen 3 bis 16 enthalten die Versuchsergebnisse und zwar:

Tab. 3 und 4: Ergebnisse der Prüfung der Zemente (Zement A war etwas besser, als gewünscht war, Zement B lag mit seiner Zugfestigkeit nahe der unteren Grenze, die Druckfestigkeit genügt den Anforderungen der Normen nicht);

Tab. 5: Eigenschaften der Zuschlagstoffe (die Ergebnisse der Siebversuche sind der besseren Uebersicht wegen in Abb. 1 aufgetragen);

Tab. 6: Wasserzusätze der Zement-A-Mörtelmischungen 1 : $2\frac{1}{2}$ und 1 : 4;

¹⁾ Der Ursprung der Zemente soll nicht öffentlich bekannt gegeben werden.

- Tab. 7: Raumgewichte der 10 cm-Mörtel-Würfel dieser Mischungen, zu denen Zement A verwendet wurde;
 Tab. 8: Druckfestigkeit derselben Mischungen, gemessen an 10 cm-Würfeln;
 Tab. 9: Raumgewichte der 30 cm-Mörtel-Würfel der Mischungen 1 : 2¹/₂ und 1 : 4, zu denen Zement A verwendet wurde;
 Tab. 10: Druckfestigkeit derselben Mischungen, gemessen an 30 cm-Würfeln nach 3 Monaten;

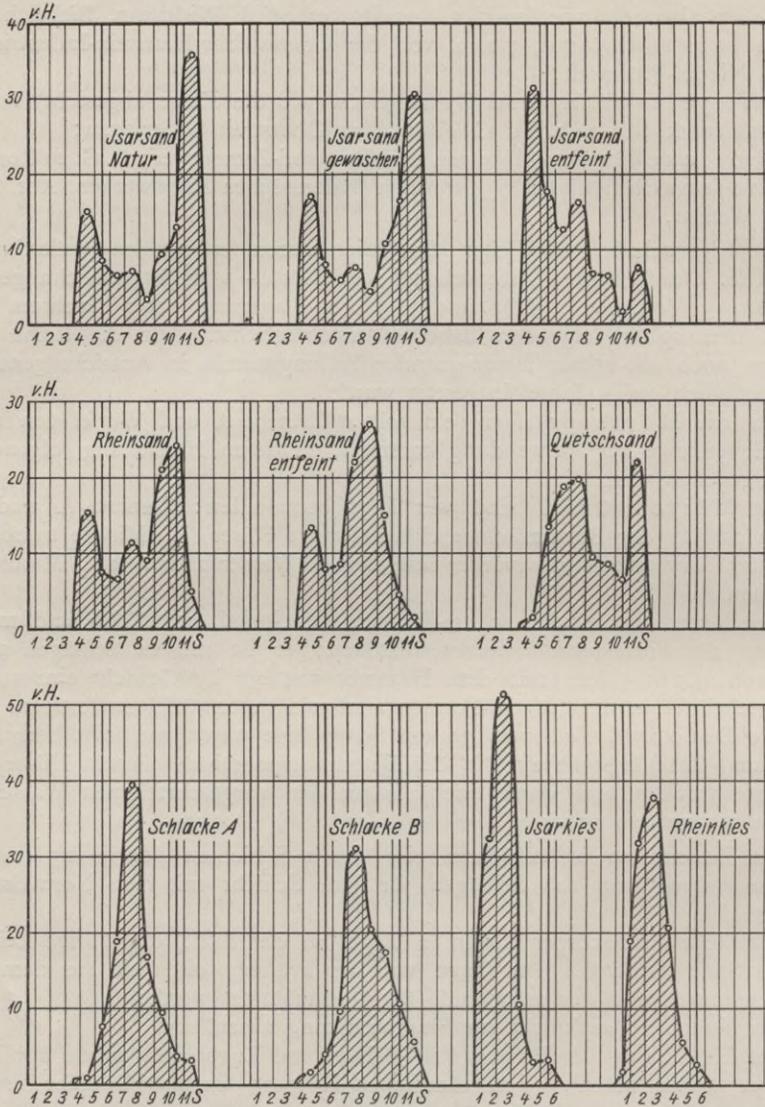


Abb. 1. Zeichnerische Darstellung der Zusammensetzung der Sande nach Rückständen auf den Sieben 1 bis 11. Vergl. Tab. 5.

- Tab. 11 und 12: Gewichte und Raumgewichte der Betonwürfel aus Zement A,
 a) erdfeucht, b) weich eingeförmte Proben;
 Tab. 13 und 14: desgl. für Betonwürfel aus Zement B.
 Tab. 15: Druckfestigkeit (ohne Feinmessungen) der sämtlichen vorgesehenen Beton-Mischungen unter Verwendung von Zement A,
 a) erdfeucht, b) weich eingeförmte Proben;
 Tab. 16: Druckfestigkeit (ohne Feinmessungen) der sämtlichen vorgesehenen Beton-Mischungen unter Verwendung von Zement B,
 a) erdfeucht, b) weich eingeförmte Proben.

Versuchsergebnisse.

Eigenschaften der Zemente „A“ und „B“.

Tabelle 3. Allgemeine Eigenschaften.

Zement	Litergewicht		Spezifisches Gewicht s a) luft-trocken b) ge-glüht	Glüh-verlust %	Abbindeverhältnisse				Raumbe-ständigkeit Kalt-wasser-probe	Mahlfeinheit					
	<i>R_f</i> ein-gefüllt ¹⁾	<i>R_r</i> ein-gerüttelt			Wasser-zusatz %	Er-härtungs-anfang nach Stunden	Ab-bindezeit Stunden	Wärme-er-höhung C°		Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen auf 1 qcm					
	kg	kg								120	240	324	600	900	5000
„A“	1,253	2,015	a) 3,158 b) 3,218	0,55	26,0	6	8 ¹ / ₂	2,5	bestanden	0,0	0,4	0,8	3,8	5,2	21,6
„B“	1,272	2,005	a) 3,141 b) 3,243	2,43	26,5	7 ¹ / ₄	10 ³ / ₄	0,3		—	0,0	0,2	1,0	1,7	24,0

Tabelle 4. Ergebnisse der Festigkeitsversuche mit den Zementen „A“ und „B“.

Zement Marke	Wasser- zusatz %	Mischungs- Verhältnis Zement Sand Gewtl.	Versuch Nr.	Zugproben (Normalform) Zerreißquerschnitt = 5 qcm				Druckproben (Würfel) Gedrückte Fläche = 50 qcm				Verhältnis Zug Druck für		
				Zugfestigkeit σ_B				Druckfestigkeit σ_B				7 Tage	28 Tage	
				kg/qcm	Ver- hält- nis ²⁾	kg/qcm	Ver- hält- nis ²⁾	kg/qcm	Ver- hält- nis ²⁾	kg/qcm	Ver- hält- nis ²⁾			
														7 Tage alt
„A“	8,5	1 : 3	Mittleres Raumgewicht 24 Stunden nach dem Einschlagen										I 9,8	I 11,1
			$r = 2,286$ g/ccm					$r = 2,239$ g/ccm						
			1	21,3	91	28,8	102	229	100	306	97			
			2	24,6	105	27,2	96	232	101	312	99			
			3	21,7	92	29,8	106	228	99	316	101			
			4	21,2	90	25,7	91	230	100	320	102			
			5	25,1	107	28,2	100	234	102	318	101			
			6	24,7	105	25,2	89	230	100	311	99			
			7	22,6	96	25,0	89	231	100	319	102			
			8	23,9	102	31,2	111	227	99	309	98			
			9	24,7	105	31,5	112	233	101	321	102			
10	24,9	106	28,9	102	227	99	308	98						
Mittel	23,5	—	28,2	—	230	—	314	—						
„B“	8,75	1 : 3	Mittleres Raumgewicht 24 Stunden nach dem Einschlagen										I 6,8	I 8,1
			$r = 2,286$ g/ccm					$r = 2,231$ g/ccm						
			1	13,4	103	16,3	98	89	101	132	99			
			2	12,0	92	16,2	98	89	101	132	99			
			3	13,7	105	16,9	102	87	99	132	99			
			4	12,5	96	18,9	114	85	97	134	100			
			5	13,1	101	15,1	91	91	103	134	100			
			6	13,0	100	16,9	102	85	97	133	99			
			7	11,8	91	16,5	99	90	102	137	102			
			8	13,6	105	15,8	95	88	100	141	105			
			9	14,3	110	16,6	100	87	99	131	98			
10	12,6	97	17,1	103	88	100	135	101						
Mittel	13,0	—	16,6	—	88	—	134	—						

1) Im 10-Litergefäß ermittelt.

2) Verhältnis zum Mittelwert = 100.

Tabelle 8. 2. Druckfestigkeit der Würfel von

Mischung	1 : 2 1/2																							
	Isarsand ungewaschen			Isarsand gewaschen			Isarsand entfemt			Rheinsand ungewaschen			Rheinsand entfemt			Schlacken-sand x			Schlacken-sand y			Quetschsand		
Alter der Proben	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre
	Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_{-B}																						
1	258	386	471	242	332	431	165	293	288	279	367	466	274	328	481	207	236	298	74	98	138	195	231	362
2	306	357	506	248	332	426	211	308	308	286	367	526	308	391	461	212	231	308	61	89	145	182	260	381
3	289	347	506	221	303	446	167	236	279	229	410	511	315	352	516	207	288	293	117	144	146	176	264	401
4	310	347	461	276	426	441	174	250	298	301	352	461	273	391	481	184	207	308	79	112	149	288	298	416
5	178	288	471	241	357	466	185	279	303	352	410	561	263	328	481	226	212	298	83	101	132	209	318	436
6	228	426	421	244	289	436	172	260	328	293	436	461	307	342	521	212	207	386	79	103	134	283	386	362
7	273	347	436	288	357	461	154	342	328	310	411	461	277	318	606	165	231	293	84	101	138	239	255	466
8	176	421	436	305	332	491	139	298	303	293	521	576	320	328	556	188	255	328	76	96	158	215	303	377
9	238	386	436	269	367	446	168	298	362	269	367	531	304	337	461	198	231	264	78	120	157	260	231	496
10	311	411	451	252	416	441	127	222	303	281	337	516	233	337	476	241	207	347	79	102	159	184	352	466
Mittel	257	372	460	259	351	448	166	279	310	289	398	507	287	345	504	204	231	312	81	107	146	223	290	416

Verhältnis zum

1	100	104	102	94	95	96	99	105	93	97	92	92	96	95	95	101	102	96	91	92	95	88	80	87
2	119	96	110	96	95	95	127	110	99	99	92	104	107	113	91	104	100	99	75	83	99	82	90	92
3	112	93	110	85	86	99	101	85	90	79	103	101	110	102	102	101	125	94	144	135	100	79	91	96
4	121	93	100	107	121	98	105	90	96	104	88	91	95	113	95	90	90	99	98	105	102	129	103	100
5	69	77	102	93	102	104	111	100	98	122	103	111	92	95	95	111	92	96	102	94	90	94	110	105
6	89	115	92	94	82	97	104	93	106	101	110	91	107	99	103	104	90	124	98	96	92	127	133	87
7	106	93	95	111	102	103	93	123	106	107	103	91	97	92	120	81	100	94	104	94	95	107	88	112
8	69	113	95	118	95	109	84	107	98	101	131	114	111	95	110	92	110	105	94	90	108	97	104	91
9	93	104	95	104	104	99	101	107	117	93	92	105	106	98	91	97	100	85	96	112	107	117	80	119
10	121	111	98	97	119	98	77	80	98	97	85	102	81	98	94	118	90	111	98	95	109	83	121	112
Mittel	100	145	179	100	136	173	100	168	187	100	138	175	100	120	176	100	113	153	100	132	180	100	130	187

Mörtel unter Verwendung von Zement „A“.
10 cm Seitenlänge.

Mischung	1 : 4																							
	Isarsand ungewaschen			Isarsand gewaschen			Isarsand entfemt			Rheinsand ungewaschen			Rheinsand entfemt			Schlackensand x			Schlacken-sand y			Quetschsand		
Alter der Proben	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre	28 Tage	3 Monate	2 Jahre
	Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_{-B}																						
1	157	274	279	166	264	303	141	217	255	244	328	367	175	241	337	103	110	170	72	102	122	141	226	241
2	195	255	298	198	245	288	147	207	250	189	298	386	213	184	313	107	118	170	67	87	140	193	184	245
3	162	274	303	159	231	283	139	217	260	169	255	367	191	193	357	107	126	154	70	92	123	207	203	283
4	179	323	264	162	245	352	124	241	250	185	308	406	171	212	342	98	105	172	68	108	137	136	241	288
5	233	283	260	203	231	328	123	207	231	231	298	367	168	203	298	112	115	156	67	100	123	150	184	303
6	195	231	283	196	250	313	116	207	241	181	308	421	166	255	313	103	118	142	69	96	127	212	241	260
7	177	264	288	197	264	298	136	212	226	234	298	391	165	260	313	84	113	164	86	98	139	169	160	303
8	201	241	313	200	241	313	139	169	303	191	308	436	183	241	332	89	116	149	76	99	128	165	160	250
9	196	279	396	180	255	318	123	231	318	183	308	381	207	274	293	117	119	148	72	86	135	160	169	274
10	145	264	303	192	255	332	146	184	264	223	283	381	194	283	308	107	111	187	69	89	127	136	179	283
Mittel	184	269	299	185	248	313	133	209	260	203	299	390	183	235	321	103	115	161	72	96	130	167	195	273

in kg/qcm.

Mittelwert = 100.

85	102	93	90	106	97	106	104	98	120	110	94	96	103	105	100	96	106	100	106	94	84	116	88
106	95	100	107	99	92	110	99	96	93	100	99	116	78	98	104	103	106	93	91	108	116	94	90
88	102	101	86	93	90	104	104	100	83	85	94	104	82	111	104	110	96	97	96	95	124	104	104
97	120	88	88	99	112	93	115	96	91	103	104	94	90	107	95	91	107	94	113	105	81	124	105
127	105	87	110	93	105	93	99	89	114	100	94	92	86	93	109	100	97	93	104	95	90	94	111
106	86	95	106	101	100	87	99	93	89	103	108	91	108	98	100	103	88	96	100	98	127	124	95
96	98	96	106	106	95	102	101	87	115	100	100	90	111	98	82	98	102	119	102	107	101	82	111
109	90	105	108	97	100	104	81	117	94	103	112	100	103	103	86	101	93	105	103	99	99	82	92
106	104	132	97	103	102	93	110	122	90	103	98	113	117	91	114	103	92	100	90	104	96	87	100
79	98	101	104	103	106	110	88	101	110	95	98	106	120	96	104	97	116	96	93	98	81	92	104
100	146	163	100	134	169	100	157	195	100	147	192	100	128	175	100	112	156	100	133	181	100	117	163

Prüfung der Mörtel aus Zement „A“.

I. Herstellung der Mischungen und Probekörper.

Die Herstellung der Mischungen und Probekörper erfolgte nach Vorschrift.
Siehe S. 9.

Tabelle 6. Wasserzusätze.

Mischungsverhältnis Raumteile	1 : 2 ¹ / ₂	1 : 4
Sandart	Wasserzusatz in ‰ bezogen auf die trockene Mischung	
Isarsand ungewaschen .	9,73	8,9
Isarsand gewaschen . .	9,0	8,1
Isarsand entfemt . . .	8,3	7,4
Rheinsand ungewaschen	7,6	6,15
Rheinsand entfemt . .	6,9	6,0
Schlackensand <i>x</i> . . .	7,5	6,7
Schlackensand <i>y</i> . . .	24,9	26,6
Quetschsand	11,0	10,0

Die Probekörper erhärteten unter feuchtem Sande.

II. Versuchsergebnisse.

a) Würfel von 10 cm Seitenlänge unter Verwendung von Zement „A“.

Tabelle 7. 1. Raumgewichte.

Mischungsverhältnis Raumteile	1 : 2 ¹ / ₂				1 : 4			
	Mittleres Raumgewicht g/ccm nach							
Sandart	28 Tagen		3 Monaten		2 Jahren		2 Jahren	
	1 Tag	28 Tagen	3 Monaten	2 Jahren	1 Tag	28 Tagen	3 Monaten	2 Jahren
Isarsand ungewaschen .	2,268	2,283	2,284	2,298	2,154	2,172	2,176	2,195
Isarsand gewaschen . .	2,235	2,255	2,259	2,277	2,157	2,176	2,184	2,199
Isarsand entfemt . . .	2,236	2,255	2,268	2,288	2,207	2,222	2,235	2,255
Rheinsand ungewaschen .	2,253	2,275	2,283	2,297	2,188	2,206	2,214	2,229
Rheinsand entfemt . .	2,221	2,245	2,251	2,267	2,127	2,157	2,162	2,181
Schlackensand <i>x</i> . . .	2,104	2,138	2,145	2,168	1,913	1,942	1,947	1,999
Schlackensand <i>y</i> . . .	1,492	1,522	1,532	1,604	1,478	1,493	1,495	1,546
Quetschsand	2,230	2,245	2,251	2,273	2,176	2,195	2,202	2,228

b) Würfel von 30 cm Seitenlänge unter Verwendung von Zement A.

Tabelle 9. 1. Raumgewicht.

Mischungsverhältnis Raumteile	1 : 2 $\frac{1}{2}$		1 : 4	
	Mittleres Raumgewicht g/ccm nach			
Sandart	1 Tag	3 Monaten	1 Tag	3 Monaten
Isarsand ungewaschen . . .	2,304	2,313	2,327	2,337
„ entfemt	2,392	2,398	2,418	2,423
Rheinsand ungewaschen . .	2,346	2,352	2,319	2,325
„ entfemt	2,369	2,374	2,281	2,276
Schlackensand <i>x</i>	2,287	2,298	2,113	2,123
„ <i>y</i> ¹⁾	1,747	1,761	—	—
Quetschsand	2,339	2,348	2,359	2,372

Tabelle 10. 2. Druckfestigkeit.

Alter der Proben: 3 Monate. Würfel von 30 cm Seitenlänge.

Mischung	1 : 2 $\frac{1}{2}$						1 : 4						
	Isarsand ungewaschen	Isarsand entfemt	Rheinsand ungewaschen	Rheinsand entfemt	Schlackensand <i>x</i>	Schlackensand <i>y</i>	Quetschsand	Isarsand ungewaschen	Isarsand entfemt	Rheinsand ungewaschen	Rheinsand entfemt	Schlackensand <i>x</i>	Quetschsand
Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_{-B} in kg/qcm												
1	403	420	441	429	367	204	339	344	400	415	367	182	315
2	400	420	433	468	360	242	346	380	397	406	353	177	325
3	404	417	444	483	362	251	333	353	400	410	353	191	315
4	404	413	454	419	393	247	331	382	379	422	379	207	302
5	400	410	401	451	354	254	354	344	411	429	350	207	296
Mittel	402	416	435	450	367	239	341	361	397	416	360	193	311

Verhältnis zum Mittelwert = 100.

1	100	101	101	95	100	85	99	95	101	100	102	94	101
2	100	101	100	104	98	101	101	105	100	98	98	92	104
3	100	100	102	107	99	105	98	98	101	99	98	99	101
4	100	99	104	93	107	103	97	106	96	101	105	107	97
5	100	99	92	100	97	106	104	95	103	103	97	107	95

1) Zur Herstellung der Mischung 1 : 4 reichte der Sand nicht aus.

Prüfung der Betonmischungen.

I. Gewichte und Raumgewichte.

Zement A.

Tabelle 11. a) Erdfeuchter Beton.

Reihe		Wasser- zusatz %	Mittleres Gewicht in kg nach				Mittleres Raumgewicht g/ccm nach			
			28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
A	1	7,0	64,7	64,7	64,8	64,8	2,396	2,396	2,400	2,400
	2	6,8	64,9	65,2	65,8	66,1	2,404	2,415	2,437	2,448
	3	6,5	66,9	66,6	66,6	66,3	2,478	2,467	2,467	2,456
	4	6,0	64,8	64,6	64,7	64,6	2,400	2,393	2,396	2,393
	5	4,5	63,9	64,1	63,4	63,5	2,367	2,374	2,348	2,352
	6	6,5	65,7	65,9	66,2	66,5	2,433	2,441	2,452	2,463
	7	6,5	65,4	65,9	66,0	65,9	2,422	2,441	2,444	2,441
	8	6,4	67,2	67,1	67,7	67,0	2,489	2,485	2,507	2,481
	9	5,5	63,1	63,4	63,1	63,0	2,337	2,348	2,337	2,333
	10	4,0	60,7	60,4	60,3	60,9	2,248	2,237	2,233	2,256
C	17	7,3	65,4	65,6	65,9		2,422	2,430	2,441	
	18	6,0	65,6	65,3	65,4		2,430	2,419	2,422	
	19	4,7	61,8	61,9	62,4		2,289	2,293	2,311	
	20	6,7	65,3	65,2	65,8		2,419	2,415	2,437	
	21	5,5	63,2	63,3	63,4		2,341	2,344	2,348	
	22	4,3	60,3	60,1	59,5		2,233	2,226	2,204	
	23	7,7	64,9	65,3	65,2		2,404	2,419	2,415	
	24	6,2	64,2	64,5	64,4		2,378	2,389	2,385	
	25	5,2	61,7	—	62,0		2,285	—	2,296	
	26	7,5	64,7	64,9	64,8		2,396	2,404	2,400	
27	5,5	62,9	62,7	62,7		2,330	2,322	2,322		
28	5,0	58,0	58,0	58,3		2,148	2,148	2,159		
E	35	6,5	64,0	64,9	64,6		2,370	2,404	2,393	
	36	6,3	61,3	61,7	63,2		2,270	2,285	2,341	
	37	6,8	61,9	62,3	62,4		2,293	2,307	2,311	
	38	6,4	59,2	59,7	59,9		2,193	2,211	2,219	
	39	8,2	60,3	60,6	61,1		2,233	2,244	2,263	
	40	8,0	58,4	59,2	59,1		2,163	2,193	2,189	

Tabelle 12. b) Weicher Beton.

A	1	8,5	64,9	64,1	65,2	65,6	2,404	2,374	2,415	2,430
	2	8,4	65,1	64,5	64,8	65,3	2,411	2,389	2,400	2,419
	3	8,2	66,3	66,5	66,3	66,6	2,456	2,463	2,456	2,467
	4	7,5	65,0	64,9	65,1	64,8	2,407	2,404	2,411	2,400
	5	6,0	64,6	65,0	65,2	65,5	2,393	2,407	2,415	2,426
	6	8,0	66,0	66,1	66,3	66,6	2,444	2,448	2,456	2,467
	7	8,0	65,9	66,0	66,0	66,5	2,441	2,444	2,444	2,463
	8	8,0	66,3	66,9	66,9	66,8	2,456	2,478	2,478	2,474
	9	6,8	64,1	63,8	63,9	64,3	2,374	2,363	2,367	2,381
	10	5,3	62,7	62,9	63,5	62,4	2,322	2,330	2,352	2,311
C	17	8,9	65,3	65,0	65,3		2,419	2,407	2,419	
	18	7,7	64,7	64,9	64,9		2,396	2,404	2,404	
	19	6,7	64,4	64,5	64,6		2,385	2,389	2,393	
	20	8,6	64,9	64,9	64,9		2,404	2,404	2,404	
	21	7,0	63,3	63,2	63,3		2,344	2,341	2,344	
	22	5,8	61,6	62,0	61,1		2,281	2,296	2,263	
	23	9,5	64,6	64,3	64,1		2,393	2,381	2,374	
	24	8,2	64,6	64,7	64,5		2,393	2,396	2,389	
	25	7,5	64,3	60,9	63,9		2,381	2,256	2,367	
	26	9,3	63,3	63,6	63,8		2,344	2,356	2,363	
27	7,0	63,7	63,7	63,7		2,359	2,359	2,359		
28	6,8	59,8	59,5	60,2		2,215	2,204	2,230		
E	35	9,1	64,6	64,9	65,1		2,393	2,404	2,411	
	36	8,0	64,6	64,8	64,4		2,393	2,400	2,385	
	37	8,8	61,2	61,2	61,7		2,267	2,267	2,285	
	38 ¹⁾	—	—	—	—		—	—	—	
	39	10,5	60,8	60,8	61,2		2,252	2,252	2,267	
	40	10,0	60,2	60,3	60,6		2,230	2,233	2,244	

1) Zur Herstellung dieser Mischung reichte der Schlackensand nicht aus.

II. Zement B.

Tabelle 13. a) Erdfeuchter Beton.

Reihe	Wasser- zusatz %	Mittleres Gewicht in kg nach				Mittleres Raumgewicht g/ccm nach				
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	
A	1	7,0	64,8	63,1	64,0	64,3	2,400	2,337	2,370	2,381
	2	6,8	65,5	64,8	64,5	65,2	2,426	2,400	2,389	2,415
	3	6,5	64,4	65,0	65,3	64,8	2,385	2,407	2,419	2,400
	4	6,0	—	64,3	64,7	64,6	—	2,381	2,396	2,393
	5	4,5	62,0	62,6	63,0	61,5	2,296	2,319	2,333	2,278
	6	6,5	65,8	65,8	65,6	66,1	2,437	2,437	2,430	2,448
	7	6,5	65,5	65,0	64,4	65,1	2,426	2,407	2,385	2,411
	8	6,4	66,3	66,7	67,0	66,5	2,456	2,470	2,481	2,463
	9	5,5	61,2	62,9	62,3	62,6	2,267	2,330	2,307	2,319
	10	4,0	61,4	60,6	60,5	61,9	2,274	2,244	2,241	2,293
C	17	7,3	65,2	65,6	65,6	—	2,415	2,430	2,430	—
	18	6,0	65,1	65,0	65,0	—	2,411	2,407	2,407	—
	19	4,7	60,4	60,7	61,3	—	2,237	2,248	2,270	—
	20	6,7	65,3	65,3	65,4	—	2,419	2,419	2,422	—
	21	5,5	61,0	61,1	61,4	—	2,259	2,263	2,274	—
	22	4,3	59,1	59,2	58,6	—	2,189	2,193	2,170	—
	23	7,7	64,9	64,5	64,8	—	2,404	2,389	2,400	—
	24	6,2	63,6	63,6	64,2	—	2,356	2,356	2,378	—
	25	5,2	61,3	61,6	61,9	—	2,270	2,281	2,293	—
	26	7,5	64,8	64,6	64,8	—	2,400	2,393	2,400	—
27	5,5	60,9	61,4	62,4	—	2,256	2,274	2,311	—	
28	5,0	58,1	58,1	58,4	—	2,152	2,152	2,163	—	
E	35	6,5	63,3	63,4	63,7	—	2,344	2,348	2,359	—
	36	6,3	62,5	63,0	63,1	—	2,315	2,333	2,337	—

Tabelle 14. b) Weicher Beton.

A	1	8,5	63,8	64,6	64,5	65,0	2,363	2,393	2,389	2,407
	2	8,4	64,9	65,3	64,7	65,2	2,404	2,419	2,396	2,415
	3	8,2	65,8	65,8	66,4	66,4	2,437	2,437	2,459	2,459
	4	7,5	—	64,2	64,9	63,0	—	2,378	2,404	2,333
	5	6,0	64,5	65,2	65,0	65,5	2,389	2,415	2,407	2,426
	6	8,0	64,5	64,7	65,4	66,0	2,389	2,396	2,422	2,444
	7	8,0	65,4	65,0	65,3	65,8	2,422	2,407	2,419	2,437
	8	8,0	65,9	65,7	66,6	66,7	2,441	2,433	2,467	2,470
	9	6,8	63,7	64,1	63,6	63,9	2,359	2,374	2,356	2,367
	10	5,3	63,1	63,1	63,6	63,6	2,337	2,337	2,356	2,356
C	17	8,9	64,4	64,5	64,8	—	2,385	2,389	2,400	—
	18	7,7	64,8	64,7	64,6	—	2,400	2,396	2,393	—
	19	6,7	64,2	64,1	64,4	—	2,378	2,374	2,385	—
	20	8,6	65,0	65,2	65,0	—	2,407	2,415	2,407	—
	21	7,0	61,8	62,5	62,2	—	2,289	2,315	2,304	—
	22	5,8	59,9	59,9	60,5	—	2,219	2,219	2,241	—
	23	9,5	64,6	64,6	64,5	—	2,393	2,393	2,389	—
	24	8,2	63,3	63,1	63,6	—	2,344	2,337	2,356	—
	25	7,5	64,0	64,3	64,3	—	2,370	2,381	2,381	—
	26	9,3	64,0	63,9	64,0	—	2,370	2,367	2,370	—
27	7,0	63,9	63,6	64,2	—	2,367	2,356	2,378	—	
28	6,8	59,9	59,0	58,9	—	2,219	2,185	2,181	—	
E	35	9,1	64,2	64,4	64,5	—	2,378	2,385	2,389	—
	36	8,0	64,1	63,9	64,3	—	2,374	2,367	2,381	—

2. Ergebnisse der Festigkeitsversuche.

I. Zement A.

Tabelle 15. Beton-Druckproben (Würfel) von 30 cm Seitenlänge.

Zustand des frischen Betons		erdfeucht								weich							
Reihe	Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach				Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach			
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
A 1	1	174	199	248	269	102	103	100	97	133	149	234	213	102	102	104	91
	2	173	185	222	268	101	96	90	96	124	149	219	233	95	102	97	99
	3	168	190	253	277	98	99	102	100	138	140	224	240	106	96	100	102
	4	171	213	266	309	100	110	107	111	127	143	247	271	98	98	110	115
	5	171	180	250	266	100	93	101	96	126	151	199	216	97	103	88	92
	Mittel		171	193	248	278	—	—	—	—	130	146	225	235	—	—	—
A 2	1	179	237	256	289	100	106	99	100	113	154	169	243	100	101	98	104
	2	179	204	259	287	100	92	100	99	113	157	163	234	100	103	95	100
	3	173	221	262	287	97	99	102	99	116	150	174	230	103	99	101	98
	4	174	222	253	306	97	100	98	106	111	157	182	230	98	103	106	98
	5	188	230	260	275	105	103	101	95	113	141	174	233	100	93	101	100
	Mittel		179	223	258	289	—	—	—	—	113	152	172	234	—	—	—
A 3	1	214	257	309	334	96	94	107	102	163	202	230	275	99	98	100	91
	2	224	284	281	298	100	104	97	91	160	204	230	370	97	99	100	122
	3	222	275	292	357	99	100	101	109	166	207	234	324	101	100	102	106
	4	228	290	298	324	102	106	103	99	169	211	222	286	102	102	97	94
	5	230	266	272	318	103	97	94	98	168	205	234	265	102	100	102	87
	Mittel		224	274	290	326	—	—	—	—	165	206	230	304	—	—	—
A 4	1	270	343	362	382	100	109	101	99	209	257	287	337	109	102	104	102
	2	263	336	339	377	98	107	94	97	187	266	278	321	98	105	99	99
	3	278	283	354	382	103	90	99	99	191	251	280	306	100	99	94	100
	4	256	303	397	376	95	96	111	97	185	250	263	330	97	99	101	94
	5	283	309	341	418	105	98	95	108	182	241	293	331	95	95	102	105
	Mittel		270	315	359	387	—	—	—	—	191	253	280	325	—	—	—
A 5	1	265	305	283	394	100	98	101	121	204	321	311	353	85	107	97	100
	2	333	346	287	298	125	112	102	91	257	296	344	372	107	99	107	105
	3	231	309	317	340	87	100	113	104	236	308	315	357	99	103	98	101
	4	228	321	253	331	86	104	90	102	247	274	320	343	103	91	100	97
	5	274	269	263	265	103	87	94	81	250	303	308	339	105	101	96	96
	Mittel		266	310	(281)	326	—	—	—	—	239	300	320	353	—	—	—
A 6	1	108	140	177	234	98	104	97	103	68	80	137	159	100	96	102	102
	2	102	143	183	236	93	107	100	104	67	86	135	159	99	104	101	102
	3	110	129	180	224	100	96	98	99	68	84	137	152	100	101	102	97
	4	113	135	190	210	103	101	104	93	67	76	130	160	99	92	97	103
	5	116	124	187	227	105	93	102	100	68	88	132	152	100	106	99	97
	Mittel		110	134	183	226	—	—	—	—	68	83	134	156	—	—	—
A 7	1	94	133	171	219	102	101	99	109	68	88	118	180	94	90	93	111
	2	95	138	163	208	103	104	95	103	78	102	130	152	108	104	102	94
	3	89	130	180	176	97	99	105	88	72	91	143	169	100	93	113	104
	4	95	124	173	202	103	94	101	100	73	105	118	152	101	107	93	94
	5	89	135	171	202	97	102	99	100	67	106	126	157	93	108	99	97
	Mittel		92	132	172	201	—	—	—	—	72	98	127	162	—	—	—

¹⁾ Verhältnis zum Mittelwert = 100.

Tabelle 15. Beton-Druckproben (Würfel) von 30 cm Seitenlänge. (Fortsetzung.) 21

Zustand des frischen Betons		erdfeucht								weich							
Reihe	Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach				Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach			
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
A 8	1	135	160	247	259	104	94	109	100	109	132	152	185	106	98	93	98
	2	118	177	222	266	91	104	98	103	102	137	157	190	99	101	96	101
	3	124	166	219	271	95	98	97	105	102	130	169	188	99	96	104	100
	4	137	188	207	251	105	111	92	97	97	137	173	187	94	101	106	99
	5	135	157	233	248	104	92	103	96	— ²⁾	140	163	189	—	104	100	101
	Mittel		130	170	226	259	—	—	—	—	103	135	163	188	—	—	—
A 9	1	133	116 ³⁾	190	266	85	—	79	108	— ⁴⁾	141	179	190	—	103	103	97
	2	173	119 ³⁾	266	205	110	—	111	83	129	133	165	199	101	97	95	101
	3	173	176	228	295	110	98	95	120	121	137	173	193	95	100	100	99
	4	191	179	245	— ⁴⁾	122	100	102	—	129	129	168	204	101	94	97	104
	5	116	182	269	219	74	102	112	89	132	144	179	196	103	105	103	100
	Mittel		157	179	240	246	—	—	—	—	128	137	173	196	—	—	—
A 10	1	102	118	141	214	84	94	108	128	165	179	176	251	111	101	81	111
	2	133	148	130	126	110	117	100	75	146	183	208	213	98	103	96	94
	3	88	105	127	176	73	83	98	105	127	163	224	219	85	92	103	97
	4	157	126	127	202	130	100	98	121	163	177	251	221	109	100	116	98
	5	126	135	124	119	104	107	95	71	143	185	228	225	96	104	105	100
	Mittel		121	126	130	167	—	—	—	—	149	177	217	226	—	—	—
C 17	1	159	191	312		102	94	102		129	185	290		103	105	105	
	2	160	207	295		103	102	97		132	163	254		106	93	92	
	3	152	200	292		97	99	96		127	176	274		102	100	100	
	4	152	205	298		97	101	98		103	179	281		82	102	102	
	5	155	213	327		99	105	107		135	177	278		108	101	101	
	Mittel		156	203	305		—	—	—		125	176	275		—	—	—
C 18	1	256	343	399		92	104	98		214	278	353		98	103	99	
	2	280	315	415		101	96	102		217	271	360		99	100	101	
	3	290	343	410		105	104	101		227	265	353		104	98	99	
	4	265	337	413		96	102	101		222	289	372		101	107	104	
	5	295	306	396		106	93	97		216	250	341		99	92	96	
	Mittel		277	329	407		—	—	—		219	271	356		—	—	—
C 19	1	202	243	353		103	100	119		179	217	324		91	90	101	
	2	197	231	284		101	96	96		211	250	320		108	103	100	
	3	—	243	256		—	100	87		182	243	323		93	100	101	
	4	199	253	284		101	105	96		204	236	309		104	98	97	
	5	187	239	305		95	99	103		202	265	321		103	109	101	
	Mittel		196	242	296		—	—	—		196	242	319		—	—	—
C 20	1	129	141	248		102	91	104		70	97	213		83	98	131	
	2	129	157	237		102	101	100		73	97	149		87	98	91	
	3	126	149	230		100	96	97		99	107	151		118	108	93	
	4	118	159	228		94	103	96		107	103	148		127	104	91	
	5	—	169	248		—	109	104		70	92	152		83	93	93	
	Mittel		126	155	238		—	—	—		84	99	163		—	—	—

1) Verhältnis zum Mittelwert = 100.

2) Die Probe war zerbrochen.

3) Die Proben waren stark beschädigt und sind daher von der Bildung des Mittelwertes ausgeschlossen.

4) Die Proben waren stark beschädigt.

Zustand des frischen Betons		erdfeucht								weich							
Reihe	Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach				Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach			
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
C 21	1	168	222	268		103	107	97		97	138	171		92	93	91	
	2	162	197	259		99	95	94		111	151	185		106	102	98	
	3	171	204	286		105	99	104		118	143	207		112	97	110	
	4	159	199	300		98	96	109		102	155	182		97	105	97	
	5	155	211	266		95	102	96		97	151	194		92	102	103	
	Mittel	163	207	276		—	—	—		105	148	188		—	—	—	
C 22	1	102	129	168		94	96	101		119	166	190		98	106	94	
	2	111	159	144		103	118	86		126	155	213		103	99	105	
	3	105	138	197		97	102	118		115	144	199		94	92	99	
	4	105	135	163		97	100	98		122	157	204		100	101	101	
	5	119	113	162		110	84	97		127	—	202		104	—	100	
	Mittel	108	135	167		—	—	—		122	156	202		—	—	—	
C 23	1	204	243	320		101	95	98		154	191	251		99	100	101	
	2	204	253	317		101	99	97		162	204	253		104	107	102	
	3	205	262	324		101	103	99		148	188	250		96	98	100	
	4	204	262	331		101	103	101		155	182	250		100	95	100	
	5	191	256	341		95	100	104		155	190	239		100	100	96	
	Mittel	202	255	327		—	—	—		155	191	249		—	—	—	
C 24	1	278	314	394		102	98	99		174	236	284		101	103	95	
	2	268	312	415		99	98	105		177	227	271		103	99	90	
	3	266	343	415		98	107	105		160	242	323		93	106	108	
	4	263	292	375		97	91	94		177	219	318		103	96	106	
	5	286	341	387		105	107	98		173	219	305		101	96	102	
	Mittel	272	320	397		—	—	—		172	229	300		—	—	—	
C 25	1	204	262	356		98	102	108		180	211	339		95	94	105	
	2	196	236	318		94	92	96		208	239	302		110	106	94	
	3	223	253	346		107	98	105		180	236	341		95	105	106	
	4	221	243	302		106	94	92		200	211	303		106	94	94	
	5	196	295	327		94	114	99		177	227	327		94	101	102	
	Mittel	208	258	330		—	—	—		189	225	322		—	—	—	
C 26	1	95	122	171		97	102	98		59	67	121		98	99	110	
	2	103	129	174		105	107	100		62	70	99		103	103	90	
	3	99	119	187		101	99	107		53	68	118		88	100	107	
	4	97	119	171		99	99	98		70	68	115		117	100	104	
	5	94	111	168		96	93	97		56	68	99		93	100	90	
	Mittel	98	120	174		—	—	—		60	68	110		—	—	—	
C 27	1	166	191	263		99	97	98		132	159	217		99	98	99	
	2	168	187	277		101	95	103		140	166	219		105	102	100	
	3	163	221	257		98	112	96		130	160	216		98	99	98	
	4	169	199	269		101	101	100		129	— ²⁾	222		97	—	101	
	5	171	187	275		102	95	103		135	162	225		101	100	102	
	Mittel	167	197	268		—	—	—		133	162	220		—	—	—	
C 28	1	107	108	182		107	99	108		97	— ²⁾	146		103	—	76	
	2	89	99	182		89	90	108		102	110	211		109	111	110	
	3	100	113	173		100	104	103		99	88	228		105	89	119	
	4	107	124	146		107	114	87		91	115	200		97	116	105	
	5	95	100	157		95	92	94		81	81	168		86	82	88	
	Mittel	100	109	168		—	—	—		94	99	191		—	—	—	

¹⁾ Verhältnis zum Mittelwert = 100.

²⁾ Die Proben waren stark beschädigt und sind daher von der Bildung des Mittelwertes ausgeschlossen.

Tabelle 15. Beton-Druckproben (Würfel) von 30 cm Seitenlänge. (Fortsetzung.) 23

Zustand des frischen Betons		erdfeucht								weich							
Reihe	Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach				Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach			
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
E 35	1	219	286	354		96	102	99		173	204	293		108	99	95	
	2	239	284	340		104	101	95		163	204	297		102	99	96	
	3	216	274	334		94	98	93		154	204	314		96	99	101	
	4	243	283	357		106	101	100		160	213	328		100	103	106	
	5	227	278	407		99	99	114		151	210	318		94	101	103	
	Mittel	229	281	358		—	—	—		160	207	310		—	—	—	
E 36	1	110	163	272		92	106	111		100	140	222		91	99	105	
	2	115	148	216		96	96	88		110	141	210		100	100	100	
	3	124	148	242		103	96	99		116	133	202		105	94	96	
	4	121	151	251		101	98	102		113	143	210		103	101	100	
	5	129	160	245		108	104	100		111	146	213		101	103	101	
	Mittel	120	154	245		—	—	—		110	141	211		—	—	—	
E 37	1	183	227	304		112	100	107		154	138	217		123	99	99	
	2	157	248	295		96	110	103		99	151	224		79	109	102	
	3	151	228	272		93	101	96		133	118	225		106	85	102	
	4	163	217	275		100	96	97		113	135	222		90	97	101	
	5	162	208	280		99	92	98		127	151	210		102	109	96	
	Mittel	163	226	285		—	—	—		125	139	220		—	—	—	
E 38	1	92	118	193		95	84	94									2)
	2	92	140	183		95	100	89									
	3	97	133	234		100	95	114									
	4	97	177	207		100	126	100									
	5	108	130	211		111	93	102									
	Mittel	97	140	206		—	—	—									
E 39	1	199	265	372		102	101	101		107	180	263		95	102	102	
	2	199	263	362		102	101	98		107	176	240		95	99	93	
	3	187	256	356		95	98	97		122	179	278		108	101	108	
	4	199	269	383		102	103	104		118	183	259		104	103	100	
	5	194	251	369		99	96	100		111	169	250		98	96	97	
	Mittel	196	261	368		—	—	—		113	177	258		—	—	—	
E 40	1	111	174	217 ³⁾		100	104	85		86	157	236		90	104	103	
	2	105	180	272		95	108	106		115	141	224		120	93	97	
	3	118	144	278		106	86	109		103	155	236		107	103	103	
	4	116	159	254		104	95	99		80	152	225		83	101	98	
	5	103	176	257		93	105	100		—	—	—		—	—	—	
	Mittel	111	167	256		—	—	—		96	151	230		—	—	—	

¹⁾ Verhältnis zum Mittelwert = 100.

²⁾ Die Proben konnten wegen Erschöpfung des Sandvorrates nicht hergestellt werden.

³⁾ Die Probe war an den Ecken stark beschädigt.

II. Zement B.

Tabelle 16. **Betondruckproben (Würfel) von 30 cm Seitenlänge.**

Zustand des frischen Betons		erdfeucht								weich							
Reihe	Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach				Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach			
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
A 1	1	37	115	119 ²⁾	213	84	116	80	103	38	70	105 ²⁾	141	95	97	103	93
	2	38	95	166 ²⁾	204	86	96	111	99	38	70	92 ²⁾	160	95	97	90	106
	3	38	115	165 ²⁾	208	86	116	111	100	41	67	95 ²⁾	144	102	93	93	95
	4	53	97	163 ²⁾	207	120	98	109	100	38	78	99 ²⁾	162	95	108	97	107
	5	53	75	130 ²⁾	204	120	76	87	99	43	73	118 ²⁾	149	108	101	116	99
	Mittel		44	99	149	207	—	—	—	—	40	72	102	151	—	—	—
A 2	1	68	113	148	197	101	102	99	97	45	73	108	137	94	99	101	91
	2	67	111	148	187	100	100	99	92	49	76	102	160	102	103	95	106
	3	70	103	149	210	104	93	100	103	46	70	110	155	96	95	103	103
	4	62	111	149	204	93	100	100	100	51	78	110	148	106	105	103	98
	5	67	115	152	216	100	104	102	106	48	72	107	155	100	97	100	103
	Mittel		67	111	149	203	—	—	—	—	48	74	107	151	—	—	—
A 3	1	80	126	169	149	90	96	98	67	41	78	124	173	93	103	93	98
	2	94	143	176	183	106	109	102	82	41	72	130	176	93	95	98	100
	3	78	138	157	280	88	105	91	126	48	80	138	173	109	105	104	98
	4	84	126	166	299	94	96	96	135	51	75	132	182	116	99	99	103
	5	108	124	197	197	121	95	114	89	40	73	143	—	91	96	107	—
	Mittel		89	131	173	222	—	—	—	—	44	76	133	176	—	—	—
A 4	1	94	155	254	304	87	90	99	97	81	129	237	239	107	98	104	96
	2	122	196	260	312	113	113	101	100	72	130	234	260	95	99	103	105
	3	113	194	277	309	105	112	108	99	72	137	233	253	95	104	103	102
	4	124	151	245	318	115	87	95	102	80	133	227	256	105	101	100	103
	5	89	169	251	315	82	98	98	101	75	130	204	234	99	99	90	94
	Mittel		108	173	257	312	—	—	—	—	76	132	227	248	—	—	—
A 5	1	—	194	210	159 ³⁾	—	112	98	98	126	217	234	296	93	106	96	96
	2	118	157	227	173 ³⁾	100	91	106	107	146	185	239	293	108	91	98	95
	3	119	169	185	— ⁴⁾	101	98	86	—	121	211	251	309	90	103	103	100
	4	115	183	204	— ⁴⁾	98	106	95	—	135	193	248	327	100	95	102	106
	5	119	163	242	154 ³⁾	101	94	113	95	146	214	243	321	108	105	100	104
	Mittel		118	173	214	(162)	—	—	—	—	135	204	243	309	—	—	—
A 6	1	38	41	94	119	97	105	107	98	24	27	67	81	100	108	96	92
	2	37	38	94	118	95	97	107	97	21	23	72	91	88	92	103	103
	3	43	41	78 ³⁾	126	110	105	89	103	22	26	73	84	92	104	104	96
	4	38	38	88	126	97	97	100	103	24	21	70	92	100	84	100	104
	5	37	38	86	122	95	97	98	100	30	27	67	94	125	108	96	107
	Mittel		39	(39)	88	122	—	—	—	—	24	25	70	88	—	—	—
A 7	1	40	73	84 ³⁾	127	95	106	88	102	24	32	62	89	109	89	97	99
	2	38	68	95 ³⁾	127	91	99	99	102	21	37	68	88	96	103	106	98
	3	46	72	107	129	109	104	112	103	22	34	64	94	100	94	100	104
	4	41	64	102	121	98	93	106	97	22	38	62	88	100	105	97	98
	5	43	70	92 ³⁾	119	102	101	96	95	21	38	48 ⁵⁾	89	96	105	—	99
	Mittel		42	69	96	125	—	—	—	—	22	36	64	90	—	—	—

1) Verhältnis zum Mittelwert = 100.

2) Die Proben waren an den Ecken sehr beschädigt.

3) Die Proben waren stark beschädigt.

4) Die Proben waren unbrauchbar.

5) Die Proben waren sehr beschädigt und sind daher von der Bildung des Mittelwertes ausgeschlossen.

Tabelle 16. Beton-Druckproben (Würfel) von 30 cm Seitenlänge. (Fortsetzung.) 25

Zustand des frischen Betons		erdfeucht								weich							
Reihe	Versuch Nr.	Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach				Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach			
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
A 8	1	32	64	141	188	82	103	105	102	26	30	64	89	100	88	89	105
	2	40	67	143	190	102	108	107	103	26	30	73	94	100	88	101	111
	3	41	64	126	204	105	103	94	110	27	37	76	83	104	109	105	98
	4	41	54	126	183	105	87	94	99	26	40	70	78	100	118	97	92
	5	41	59	—	162	105	95	—	88	26	32	75	81	100	94	104	95
	Mittel		39	62	134	185	—	—	—	—	26	34	72	85	—	—	—
A 9	1	95	70 ²⁾	138	168	140	—	96	96	56	92	94	133	117	118	89	101
	2	62	94	166	194	91	90	115	110	45	86	108	122	94	101	103	93
	3	83	105	121	128 ²⁾	122	100	84	—	46	76	103	130	96	89	98	99
	4	56	110	166	166	82	105	115	94	49	88	105	146	102	103	100	111
	5	46	111	127	177	68	106	88	101	43	84	113	122	90	99	108	93
	Mittel		68	105	144	176	—	—	—	—	48	85	105	131	—	—	—
A 10	1	54	75	102	183	83	97	105	111	68	88	168	183	97	93	107	103
	2	70	70	110	154	108	91	113	93	73	99	138 ²⁾	176	104	104	—	99
	3	56	75	102	173	86	97	105	105	76	99	152	180	109	104	97	101
	4	75	81	89	162	115	105	92	98	64	94	162	— ³⁾	91	99	103	—
	5	68	83	81	151	105	108	84	92	70	94	144	173	100	99	92	97
	Mittel		65	77	97	165	—	—	—	—	70	95	157	178	—	—	—
C 17	1	68	122	207		103	98	99		67	99	168		101	101	91	
	2	67	119	211		101	96	100		65	94	182		99	96	99	
	3	65	122	208		99	98	99		73	103	187		111	105	102	
	4	65	122	213		99	98	101		72	97	183		109	99	100	
	5	67	133	213		101	107	101		54	99	199		82	101	108	
	Mittel		66	124	210		—	—	—		66	98	184		—	—	—
C 18	1	108	138	257		96	90	100		68	102	204		94	86	97	
	2	111	177	239		98	115	93		70	118	207		97	100	98	
	3	115	144	256		102	94	99		70	116	221		97	98	105	
	4	113	159	256		100	103	99		75	119	222		104	101	105	
	5	119	154	283		105	100	110		78	137	199		108	116	94	
	Mittel		113	154	258		—	—	—		72	118	211		—	—	—
C 19	1	81	107	217		96	94	104		102	129	253		109	99	106	
	2	92	112	210		110	98	100		92	132	234		98	101	98	
	3	89	103	234		106	90	112		92	140	240		98	107	100	
	4	89	137	188		106	120	90		92	129	243		98	99	102	
	5	68	112	194		81	98	93		92	126	227		98	96	95	
	Mittel		84	114	209		—	—	—		94	131	239		—	—	—
C 20	1	62	102	146		109	100	97		38	54	116		97	93	103	
	2	51	100	149		89	98	99		43	59	113		110	102	100	
	3	59	107	151		103	105	100		41	61	113		105	105	100	
	4	59	97	148		103	95	98		37	56	107		95	97	95	
	5	54	103	159		95	101	105		38	62	116		97	107	103	
	Mittel		57	102	151		—	—	—		39	58	113		—	—	—

¹⁾ Verhältnis zum Mittelwert = 100.

²⁾ Die Proben waren sehr beschädigt und sind daher von der Bildung des Mittelwertes ausgeschlossen.

³⁾ Die Probe war unbrauchbar.

Zustand des frischen Betons		erdfeucht								weich							
Reihe	Ver- such Nr.	Druckfestigkeit σ_{-B} in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach				Druckfestigkeit σ_{-B} in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach			
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
C 21	1	61	78	149		98	94	103		37	67	100		97	110	94	
	2	65	80	138		105	96	95		37	59	108		97	97	101	
	3	62	86	137		100	104	95		38	54	107		100	89	100	
	4	62	91	159		100	110	110		39	64	109		103	105	102	
	5	62	80	141		100	96	97		41	61	110		108	100	103	
	Mittel		62	83	145		—	—	—		38	61	107		—	—	—
C 22	1	54	73	121		98	103	98		59	80	144		107	110	83	
	2	57	62	129		104	87	104		53	73	191		96	100	110	
	3	54	73	135		98	103	109		53	72	162		96	99	94	
	4	49	72	108		89	101	87		46	68	171		84	93	99	
	5	61	76	129		111	107	104		62	70	197		113	96	114	
	Mittel		55	71	124		—	—	—		55	73	173		—	—	—
C 23	1	102	143	211		96	99	92		62	99	163		97	104	97	
	2	102	133	245		96	92	107		62	100	163		97	105	97	
	3	110	144	243		104	100	106		67	92	174		105	97	104	
	4	110	159	217		104	110	95		62	91	163		97	96	97	
	5	105	141	227		99	98	99		67	94	176		105	99	105	
	Mittel		106	144	229		—	—	—		64	95	168		—	—	—
C 24	1	152	179	302		102	98	102		72	89	168		100	98	96	
	2	148	173	296		99	95	100		72	91	166		100	100	95	
	3	154	181	311		103	99	105		73	84	179		101	92	102	
	4	146	185	283		98	102	95		67	95	196		93	104	112	
	5	143	190	292		96	104	98		78	97	168		108	106	96	
	Mittel		149	182	297		—	—	—		72	91	175		—	—	—
C 25	1	152	188	237		114	113	104		122	155	262		101	98	96	
	2	113	180	245		85	108	108		116	166	287		96	105	105	
	3	143	168	216		107	101	95		129	149	280		107	94	103	
	4	133	151	216		100	90	95		122	163	275		101	103	101	
	5	124	149	219		93	89	96		115	159	262		95	101	96	
	Mittel		133	167	227		—	—	—		121	158	273		—	—	—
C 26	1	40	51	129		98	100	105		35	41	75		140	121	95	
	2	45	51	127		110	100	103		21	34	80		84	100	101	
	3	41	53	126		100	104	102		21	34	73		84	100	92	
	4	41	51	116		100	100	94		25	30	91		100	88	115	
	5	40	51	118		98	100	96		22	29	75		88	85	95	
	Mittel		41	51	123		—	—	—		25	34	79		—	—	—
C 27	1	64	92	173		97	100	97		57	65	144		105	89	100	
	2	72	92	182		109	100	102		48	65	154		89	89	107	
	3	62	94	177		94	102	99		51	86	141		94	118	98	
	4	59	99	180		89	108	101		57	83	144		105	114	100	
	5	73	81	177		111	88	99		56	68	135		104	93	94	
	Mittel		66	92	178		—	—	—		54	73	144		—	—	—

1) Verhältnis zum Mittelwert = 100.

Zustand des frischen Betons		erdfeucht								weich							
Reihe	Versuch-Nr.	Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach				Druckfestigkeit σ_B in kg/qcm nach				Verhältniszahlen ¹⁾ nach			
		28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahre	2 Jahren
C 28	1	46	62	116		85	89	94		57	65	141		102	100	116	
	2	56	70	124		104	100	101		53	65	113		95	100	93	
	3	54	73	119		100	104	97		59	64	100		105	98	82	
	4	49	76	124		91	109	101		51	65	129		91	100	106	
	5	64	67	132		118	96	107		59	68	129		105	105	106	
	Mittel	54	70	123		—	—	—		56	65	122		—	—	—	
E 35	1	124	211	257		89	108	97		78	129	194		99	101	104	
	2	151	188	272		109	96	102		78	129	193		99	101	103	
	3	155	190	280		111	98	105		75	126	188		95	98	101	
	4	140	208	251		101	107	94		81	126	179		102	98	96	
	5	127	180	269		91	92	101		83	130	183		105	102	98	
	Mittel	139	195	266		—	—	—		79	128	187		—	—	—	
E 36	1	83	116	183		108	93	105		51	81	151		98	93	105	
	2	76	119	182		99	95	105		56	89	154		108	102	107	
	3	76	129	168		99	103	97		51	91	132		98	104	92	
	4	78	130	166		101	104	95		51	89	126		98	102	88	
	5	73	130	171		95	104	98		51	86	155		98	99	108	
	Mittel	77	125	174		—	—	—		52	87	144		—	—	—	

Bewertung der Versuchsergebnisse.

In Deutschland ist es üblich, die Mischungsverhältnisse nicht in Prozentzahlen, sondern in absoluten Zahlen anzugeben, also zu sagen 1 : 3 : 6, 1 : 4 : 8 usw. Diese Bezeichnungswiese kann zu Irrtümern führen, wie nachstehend hervorgehoben sei.

Zu den vorliegenden Versuchen sind die Mischungsverhältnisse 1 : 2¹/₂ : 5 und 1 : 4 : 8 verwendet worden. Beim Anhören dieser Zahlen gewinnt man den Eindruck, als wenn die letztere Mischung ganz beträchtlich magerer wäre als die erste, d. h. fast die doppelte Menge an Sand und Kies enthielte. Wenn man nun aber die angegebenen Mischungsverhältnisse nach Prozenten des Raumes umrechnet, so ergeben sich folgende Zahlen:

11,8 Zement : 29,4 Sand : 58,8 Kies (17,6 + 41,2 Kies u. Steinschlag) und
7,7 „ : 30,8 „ : 61,5 „ (18,4 + 43,1).

Wenn man sich diese Verhältniszahlen nebeneinander aufträgt, wie das in Abb. 1a geschehen ist, so wird noch deutlicher, daß das Steinskelett der mageren Mischung 1 : 4 : 8 gegenüber der fetten 1 : 2¹/₂ : 5 nur geringe Abweichungen aufweist. Die Zementmenge ist in der ersteren Mischung geringer und wird wesentlich durch Sand ersetzt. Die größere Magerung liegt also hauptsächlich in der größeren Mörtelmenge, während die Menge des groben Zuschlagmaterials verhältnismäßig fast dieselbe geblieben ist. Man muß sich das bei Beurteilung der Versuchsergebnisse gegenwärtig halten.

Bei der großen Zahl der Versuchsreihen und der mannigfachen Deutung, deren sie fähig sind, ist es für den Beurteiler, wenn er sich nicht ins Uferlose verlieren will, ferner notwendig, eine bestimmte Richtschnur im Auge zu behalten, und den Vergleichsmaßstab nach einem vorher bestimmten Plan anzusetzen.

¹⁾ Verhältnis zum Mittelwert = 100.

Danach sind für den Vergleich folgende Punkte zu beachten :

1. der Einfluß des Alters der Proben auf ihre Festigkeit ;
2. Der Einfluß der Art des Zuschlagstoffes :
 - a) Isarkies
 - b) Rheinkies
 - c) Kies mit Steinschlag ;
 - d) Steinschlag allein.

Unter Verwendung dieser Stoffe :

3. Der Einfluß des Magerungsgrades des Betons ;
4. Der Einfluß des Wasserzusatzes ;

Schließlich ist vorzunehmen :

5. Der Vergleich der beiden verwendeten Zemente ;
6. Der Vergleich des Betons mit dem zugehörigen Mörtel.

Was den Einfluß des Alters der Betonproben auf die Entwicklung der Beton-Druckfestigkeit anbelangt, so ist er bekannt genug. Es erübrigt sich

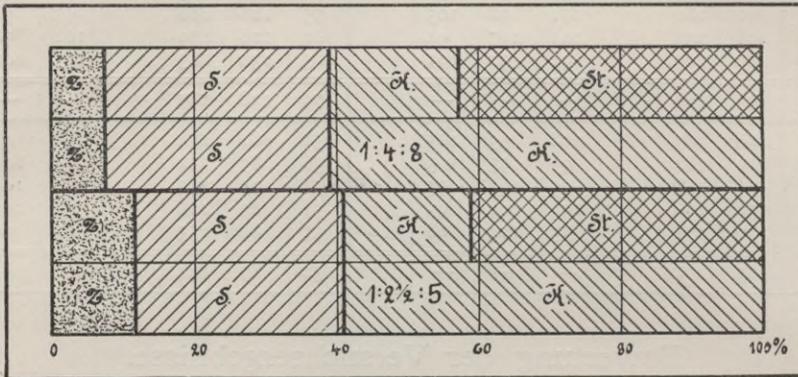


Abb. 1a. Zement-, Sand-, Kies- (und Kies-Steinschlag-)Mischung (mager und fett) in Raumprozent aufgetragen.

um so mehr, auf diesen Einfluß, soweit die Würfel-Druckfestigkeit in Frage kommt, noch besonders einzugehen, als die Fortentwicklung der Druckfestigkeiten der einzelnen Mischungen bis zu 2 oder sogar 5 Jahren aus den Tabellen 15 und 16 und den zugehörigen Schaubildern ohne weiteres ersichtlich ist. Im Interesse tunlichst klarer Darstellung der Versuchsergebnisse ist deshalb nachstehend von allen Nebenbetrachtungen abgesehen und sind nur die Hauptschlüsse gezogen, um die Ergebnisse nach Möglichkeit übersichtlich und allgemein nutzbar zu gestalten.

Beton mit Zuschlägen aus Isargruben und Rhein.

Betrachten wir die Versuchsergebnisse der einzelnen Gruppen A 1 bis E 40 in den Tabellen 15 und 16. Der Vergleich der Druckfestigkeiten, wie sie mit Natursanden und -Kiesen, und mit den gleichen Stoffen, gewaschen und gefeint, gefunden wurden, liefert folgende Ergebnisse :

a) Isarkies in fetter und magerer Mischung

(Reihen A 1 bis A 3 und A 6 bis A 8).

α) Einfluß des Waschens ;

β) „ „ Entfeinens.

(Schwarze Linien der Abb. 2 bis 5.)

Abb. 2 zeigt für den erdfeuchten Beton $1:2\frac{1}{2}:5$ deutlich, daß die Körper aus Zement A und Isarkies (und -Sand) dadurch, daß man dem Sande das Feinste entzieht, sei es durch Waschen, sei es durch Absieben auf einem feinen

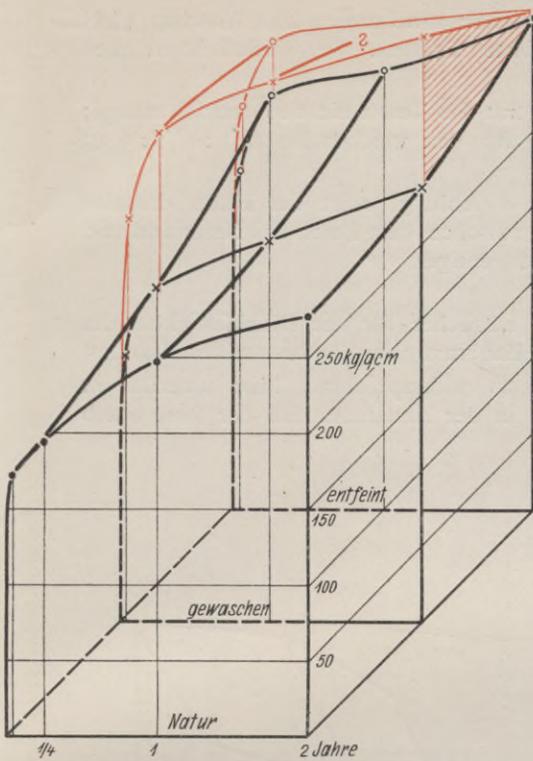


Abb. 2. Druckfestigkeit von Beton 1:2 $\frac{1}{2}$:5. Zement A und Isarsand (= Kies), Rheinsand (= Kies) erdflecht eingefemt. Reihen A₁ bis A₃ und A₄, A₅.

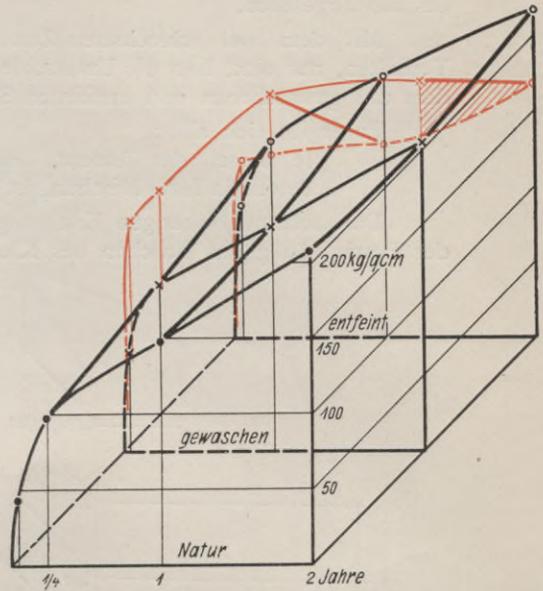


Abb. 3. Druckfestigkeit von Beton 1:2 $\frac{1}{2}$:5. Zement B und Isarsand (= Kies), Rheinsand (= Kies) erdflecht eingefemt. Reihen A₁ bis A₃ und A₄, A₅.

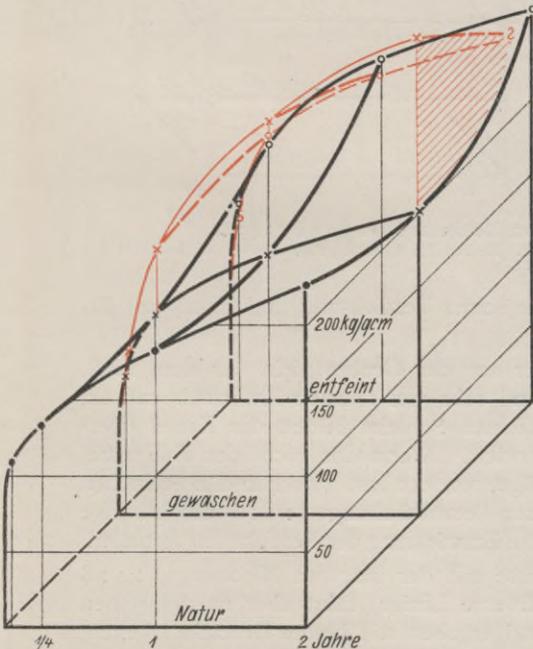


Abb. 4. Druckfestigkeit von Beton 1:4:8. Zement A und Isarsand (= Kies), Rheinsand (= Kies) erdflecht eingefemt. Reihen A₆ bis A₈ und A₉, A₁₀.

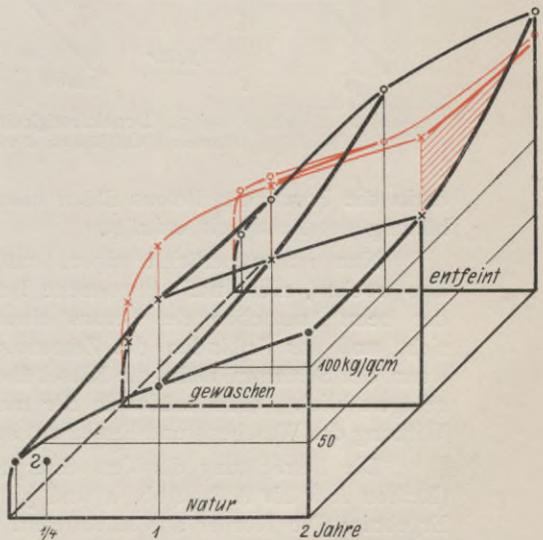


Abb. 5. Druckfestigkeit von Beton 1:4:8. Zement B und Isarsand (= Kies), Rheinsand (= Kies) erdflecht eingefemt. Reihen A₆ bis A₈ und A₉, A₁₀.

Siebe (120 Maschen auf 1 qcm) an Festigkeit zunehmen. Das Waschen wirkt nicht so günstig wie das Absieben des feinsten Staubes. Der Einfluß ist in allen Altersstufen nahezu derselbe.

Bei dem weich angemachten Beton tritt das Gesetz nicht so deutlich zutage; von zeichnerischer Darstellung der Werte für den weichen Beton $1 : 2\frac{1}{2} : 5$ ist deshalb abgesehen.

Mit dem viel schlechteren Zement B (Abb. 3) zeigt der Beton dasselbe Verhalten, nur sind hier die Unterschiede zwischen dem Beton aus Natursand und dem aus gewaschenen und entfeinten Sand geringer.

Es ergibt sich also:

Je besser der Zement, desto nützlicher für die Druckfestigkeit des Betons in fetter Mischung ist die Entfernung des Staubes aus dem Isarkies.

Das scheint bisherigen Erfahrungen zu widersprechen. Man unterläßt in der Praxis häufig das Waschen des Kieses in der Annahme, daß der feine Staub

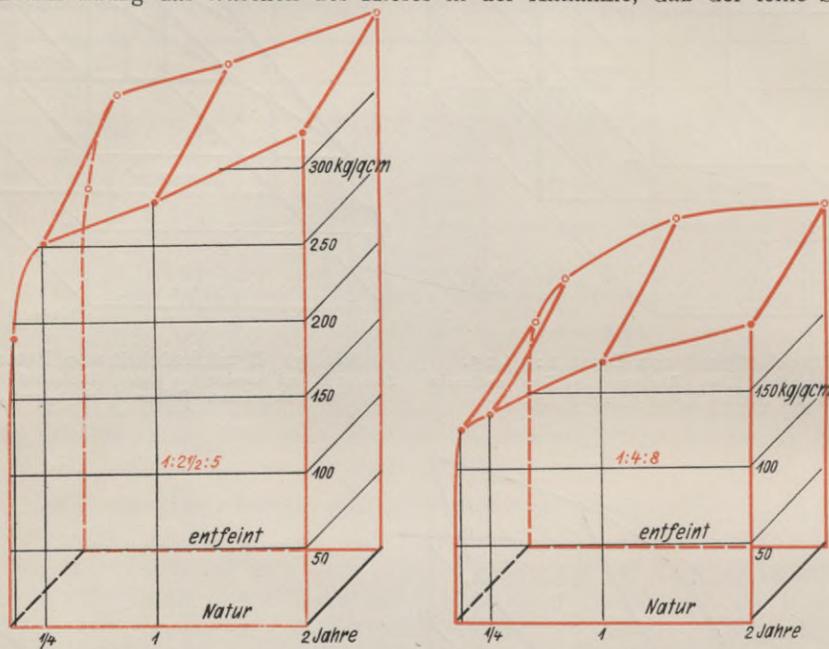


Abb. 6 und 7. Druckfestigkeit von Beton $1 : 2\frac{1}{2} : 5$ und $1 : 4 : 8$.
Zement A und Rheinsand weich. Reihen A₄, A₅ u. A₉, A₁₀.

darin die Poren des Betons füllen hilft, zu seiner Verdichtung und damit zur Erhöhung der Festigkeit beiträgt.

Nun ist zu berücksichtigen, daß der aus der Grube (nicht aus dem Fluß, also trocken, nicht naß) gewonnene Isarsand sehr viel feinsten Kalkstaub enthält, der beim Anmachen des Betons einen dichten Schleim bildet, die Kiesel überzieht und das Anbinden des Zementes hindert. Wenn das nicht der Fall wäre, wenn der Schlamm nicht die Kiesel überzöge, sondern lose zwischen den Steinchen gelagert bliebe, dann müßte in der mageren Betonmischung $1 : 4 : 8$ die günstige Wirkung des Waschens und Entfeinens auf die Entwicklung der Festigkeiten fortfallen.

Die Betrachtung der Versuchsergebnisse mit der mageren Mischung $1 : 4 : 8$ (Reihen A 6 bis A 8, Abb. 4 und 5, schwarze Linien) führt aber zu demselben Ergebnis: Die Körper aus staubfreiem Sand ergeben die besten Druckfestigkeiten, im erdfeucht gestampften Beton deutlicher, als im weichen. (Von bildlicher Darstellung der Ergebnisse mit weichem Beton wurde auch hier aus Gründen der Raumersparnis abgesehen.)

Schluß: In dem trocken aus alten Ablagerungen gewonnenen Isarsande ist das feinste Material der Entwicklung der Druckfestigkeit des Betons in den geprüften Mischungen schädlich.

b) Rheinkies in fetter und magerer Mischung

(Reihen A 4, A 5, A 9, A 10)

α) Einfluß des Waschens;

β) „ „ Entfeinens.

(Rote Linien der Abb. 2 bis 5 für erdfeuchten, und Abb. 6 und 7 für weichen Beton.)

Der Rheinkies liefert an sich höhere Festigkeiten als der Isarkies. Er ist aus dem Fluß gebaggert, ihm fehlen verschlammende Teile ganz und feinsten Staub weist er nur in geringen Mengen auf. (Vergl. Abb. 1)

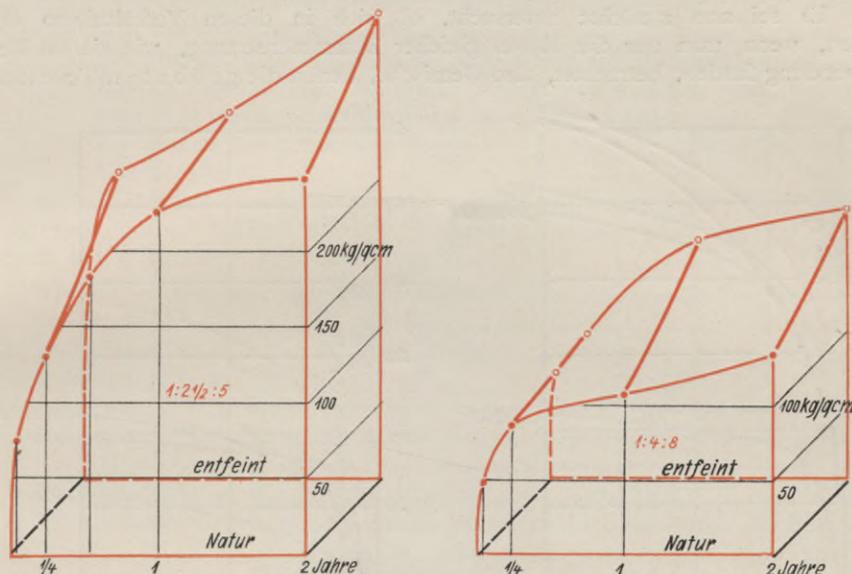


Abb. 8 und 9. Druckfestigkeit von Beton 1:2 1/2:5 und 1:4:8. Zement B und Rheinsand weich, Reihe A₄, A₅ und A₉, A₁₀.

Die Betrachtung der roten Linien in den Abb. 2 bis 5 (in denen der Rheinsand, weil aus dem Flusse stammend, dem gewaschenen Isarsand gegenüber gestellt wurde) zeigt:

Die Entfeinung des Rheinsandes in den erdfeucht gestampften Mischungen 1:2 1/2:5 und 1:4:8 wirkt schädlich, festigkeitsmindernd, in der mageren Mischung noch viel schädlicher als in der fetten.

Aber im weichen Beton aus Rheinsand und Rheinkies wirkt auch hier wie beim Isarsand die Entfeinung des Sandes die Festigkeit fördernd. (Abb. 6 bis 9. Siehe auch Druckfestigkeit der Prismen.)

Man kann das damit erklären, daß in dem trockenen Beton der feine Staub in den Poren noch Platz findet, nicht trennend zwischen die Körner des Zuschlagmaterials und des Zementes tritt, während beim Vorhandensein von überschüssigem Wasser, wie es im weichen Beton möglich ist, der Staub (oder das Wasser) auflockernd wirken muß, wenn sie keinen Platz in den Poren zwischen den Sandkörnern finden. Oeffnet man dem Wasser diese Poren durch Entfernung der feinsten Staubteile, so können sich die übrigen Teile des Zement-Sand-Kiesgemisches dichter als vorher lagern und die Festigkeit wird höher.

Abb. 6 und 7 zeigen den Verlauf der Erhärtung der Rheinsandmischungen, weich angemacht, mit und ohne Feinstem, in fetter und in magerer Mischung aus

Zement A; Abb. 8 und 9 enthalten dieselbe Darstellung für Zement B. Der Vergleich beider Bilderpaare beweist, wie außerordentlich groß der Einfluß guten Zementes auf die Druckfestigkeit des Betons ist, namentlich wenn er weich eingestampft wird. Mit der mageren Mischung 1 : 4 : 8 aus Zement A erzielt man fast dieselben Festigkeiten, wie mit der fetten 1 : 2¹/₂ : 5 aus Zement B.

Auf den Beton aus dem minder bindekräftigen Zement B wirkt die Entfeinung günstiger, als auf den Beton aus dem guten Zement A.

Schluß: Im Rheinsand wirkt die Entfeinung schädigend auf die Entwicklung der Festigkeit, wenn der Beton **erdfeucht** gestampft wird, fördernd aber, wenn der Beton in **weichem** Zustande zur Verarbeitung kommt.

Mörtel mit Isar- und Rheinsand.

Es sei nun zunächst untersucht, ob sich in diesen Verhältnissen etwas ändert, wenn man nur die Mörtel gleicher Zusammensetzung, wie sie im Beton Anwendung fanden, betrachtet, also Gemische, denen die größten Teile fehlen.

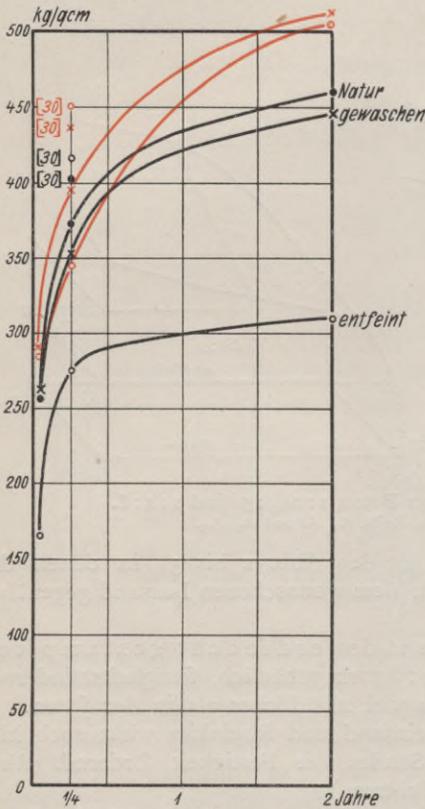


Abb. 10.
Druckfestigkeit von Mörtel 1 : 2¹/₂.
Zement A und Isarsand (Rheinsand) erdfeucht eingeformt. Tab. 8. (Zu vergl. Abb. 2.)

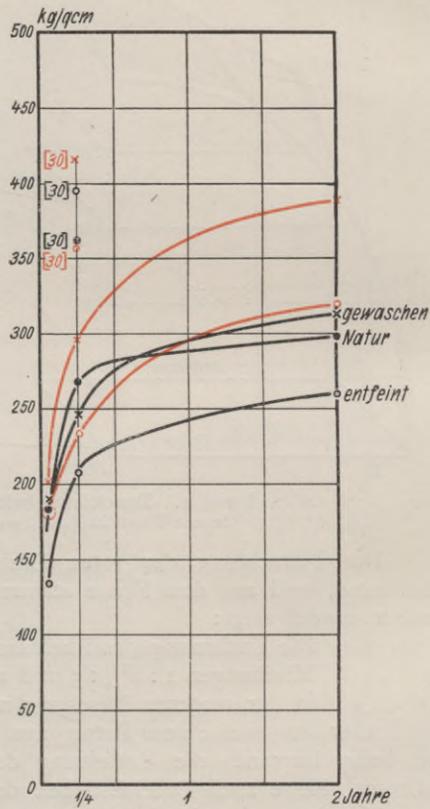


Abb. 11.
Druckfestigkeit von Mörtel 1 : 4.
Zement A und Isarsand (Rheinsand) erdfeucht eingeformt. Tab. 8 und 10. (Zu vergl. Abb. 4.)

Die Unterlagen für die Betrachtung sind in Tab. 8 und 10 und den Abb. 10 und 11 zusammengefaßt.¹⁾ Da zeigt sich für **Isarsand**:

¹⁾ In den Abb. 10, 11 und den folgenden ist von körperlicher Darstellung abgesehen, da die Linien auch in der Fläche klar genug zu verfolgen sind. Die Kurven in Abb. 10 und 11 beziehen sich auf die Ergebnisse mit Würfeln von 10 cm Seitenlänge. Die Ergebnisse der Würfel mit 30 cm Seite (Tab. 10) sind auf der Ordinate 1/4 verzeichnet.

Die fetten Mörtel $1:2\frac{1}{2}$ mit Isarsand verhalten sich, so weit die Proben aus kleinen Würfeln bestehen (Tab. 8 und schwarze Linien der Abb. 10 und 11), gerade entgegengesetzt, wie die gleichartigen Betonmischungen. Für die mageren Mörtel $1:4$ mit Isarsand gilt das gleiche, nur treten hier die Einflüsse weniger deutlich zutage.

Während das Auswaschen und Aussieben der feinsten Teile des Isarsandes die Festigkeit des Betons erhöht, setzen die gleichen Behandlungsweisen die Festigkeit des Mörtels (an kleinen Probekörpern bestimmt) herab.

In fetten Mörteln schadet das Waschen des Isarsandes der Festigkeit nur wenig, das Entfeinen aber beträchtlich.

In mageren Mörteln erleidet die Festigkeit durch Waschen des Isarsandes keine Einbuße, wohl aber durch Entfeinen.

Betrachtet man nun aber die in Tab. 10 zusammengefaßten Druckfestigkeitswerte der 3 Monate alten Mörtelproben (Würfel mit 30 cm Seitenlänge), so ergeben sich zwei überraschende Tatsachen:

- a) die großen Mörtelwürfel verhalten sich wie die Betonproben, d. h. das feinste Material im Isarsand ist der Entwicklung der Festigkeit schädlich, in magerer Mischung mehr, als in fetter;
- b) die großen Mörtelwürfel erlangen nach 3 Monaten höhere Festigkeiten als die kleinen.

Beide Tatsachen lassen sich wohl nur durch die größeren Raumbewichte der großen Körper infolge stärkerer Rammung erklären. (Vergl. die Raumbewichte bei 3 Monaten Alter in Tab. 7 und 9.)

Wie verhält sich nun in gleicher Richtung der **Rheinsand** im Mörtel?

Die fetten Mörtel $1:2\frac{1}{2}$ mit Rheinsand, in kleinen Würfeln (10 cm Seitenlänge) geprüft, und die mageren Mörtel $1:4$ zeigen das gleiche Verhalten wie die Betonproben aus gleichen Mörteln.

Wie das Aussieben des Feinsten aus dem Rheinsande den erdfeucht gestampften Beton in seiner Festigkeit herabsetzt, so wird auch die Mörtelfestigkeit durch das Entfeinen vermindert, die der fetten Mischung wenig, die der mageren aber beträchtlich.

Die großen Mörtelwürfel sind in der mageren Mischung durch das Entfeinen ebenfalls beträchtlich in der Festigkeit herabgesetzt worden, in der fetten Mischung hat das Entfeinen aber der Festigkeit der großen Würfel bei 3 Monaten Alter genützt.

Eine Erklärung hierfür ist nicht gefunden worden. Es liegt aber eine Uebereinstimmung mit dem Verhalten des weichen Betons gleicher Zusammensetzung vor und es ist möglich, daß in der fetten Mörtelmischung bei der großen Menge des erdfeucht gestampften Mörtels, Wasser im Ueberschuß vorhanden war und daß, wie beim weichen Beton, dieses Wasser weniger lockernd wirkte, wenn der feine Staub des Sandes entfernt war.

Die Ergebnisse der Mörteluntersuchungen mit den kleinen Körpern entsprechen durchaus den Erfahrungen, die man bei früheren Prüfungen von Mörteln bei Verwendung von Sanden mit staubförmigen Beimengungen gemacht hat, wobei wohl stets kleine Versuchskörper zur Verwendung gekommen sind.

Schluß: Erfahrungen, bei der Mörtelprüfung mit kleinen Körpern gesammelt, dürfen nicht auf große Körper der gleichen Mischung und nicht auf Beton übertragen werden, auch wenn dieser mit dem gleichen Mörtel und in gleicher Weise erzeugt wurde.

Mit jedem Zuschlagmaterial muß die Prüfung in derjenigen Mischung ausgeführt werden, in der es zur Verwendung kommen soll.

Beton mit Zuschlägen aus Sand, Kies und Steinschlag.

Der Betrachtung unterliegen die Gruppen C 17 bis C 22, in denen etwa $\frac{2}{3}$ des Isarkieses bezw. des Rheinkieses der Reihen A 1, A 4, A 5 und A 6, A 9, A 10 durch Steinschlag ersetzt sind und zwar durch Oberstreiter Granit. Der Steinschlag wies dieselbe Körnung auf wie der Kies. Er bestand zu 50 Teilen aus Grobgrus von 7 bis 15 mm und zu 50 Teilen aus Schotter von 15 bis 35 mm.

Abb. 12 und 13 enthalten die Druckfestigkeiten für Isarkies-Mischungen (schwarze Linien) und Rheinkies-Mischungen (rote Linien), soweit die fette

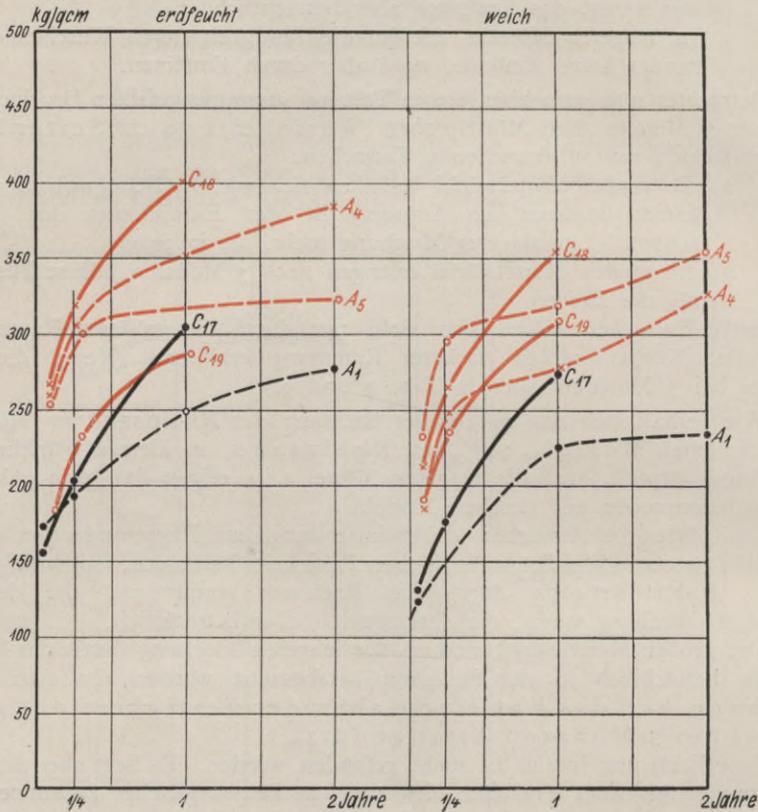


Abb. 12. Druckfestigkeit von Beton $1:2\frac{1}{2}:(1\frac{1}{2} + 3\frac{1}{2})$.

Zement A und Isarsand (= Kies) (Rheinsand [= Kies]) + Steinschlag. Reihe C 17 u. C 18 (C 19).

Mischung $1:2\frac{1}{2}:1\frac{1}{2} + 3\frac{1}{2}$ in Frage kommt, Abb. 12 gilt für Zement A und Abb. 13 für Zement B.

Die Ergebnisse der Mischungen, denen Steinschlag zugesetzt wurde, sind in starken Linien ausgezogen, die übereinstimmenden nur aus Kieszusätzen hergestellten sind des Vergleichs wegen gestrichelt eingezeichnet.

Es ergibt sich für die fette **Isarkies**-Mischung:

Auf den erdfeuchten sowohl wie auf den weichen Beton wirkt der teilweise Ersatz des Isarkieses durch Granitsteinschlag die Festigkeit erhöhend. Bis zu 1 Jahr Alter ist der Erhärtungsverlauf der Mischung mit Steinschlag beträchtlich stärker ansteigend als der der Mischung ohne Steinschlag.

Für **Rheinkies** ergibt sich:

Auf den erdfeuchten wie den weichen Beton wirkt der teilweise Ersatz des Rheinkieses, der im Naturzustande verwendet wurde, durch Granit-

steinschlag die Festigkeit des Betons (bis zu 1 Jahr Alter) beträchtlich erhöhend, ausgenommen den Beton aus Zement B, bei dem mit Steinschotterzuschlag und Naturkies fast dieselben Ergebnisse erzielt wurden. Wird indessen entfeyter Rheinkies verwendet, so dreht sich das Verhältnis um. Der Beton mit Granitschotter als Ersatz erlangt dann geringere Festigkeiten, als der nur aus entfeytem Rheinkies bestehende.

Das Gefüge des Betons wird in diesem Falle wohl durch die eckigen Schotterstücke zu sehr aufgelockert. Nach dem Verlauf der Erhärtungskurven scheint es nicht ausgeschlossen, daß diese Abweichung sich nach längerer Er-

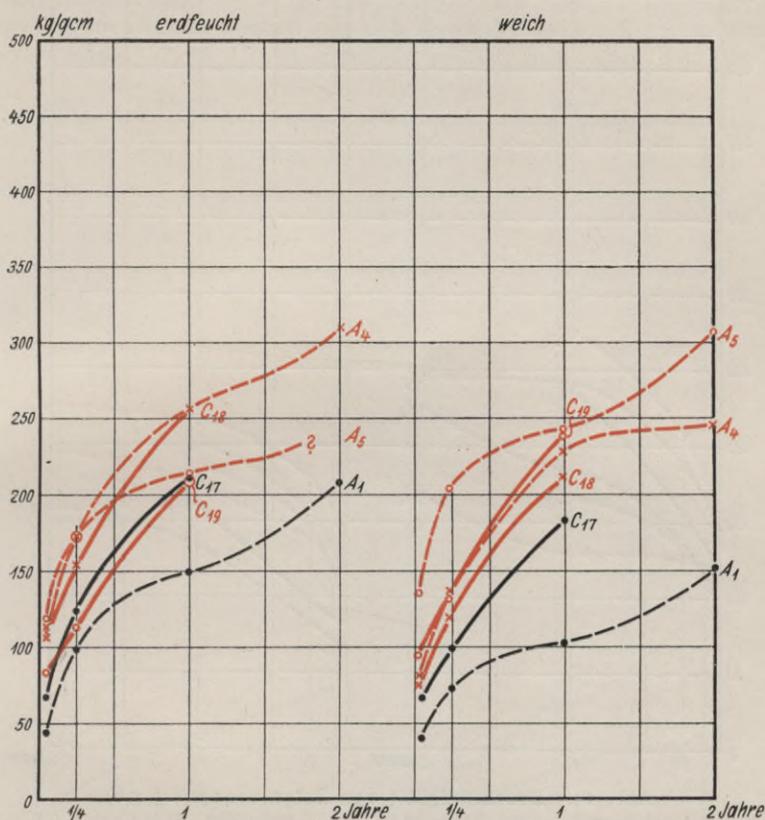


Abb. 13. Druckfestigkeit von Beton 1: 2^{1/2}: (1^{1/2} + 3^{1/2}).

Zement B und Isarsand (= Kies) (Rheinsand [= Kies] + Steinschlag. Reihe C17 u. C18 (C19).

härtung als 1 Jahr, wieder ausgleicht. Leider sind die Proben mit Kiesersatz durch Steinschlag nur bis zu 1 Jahr Alter ausgedehnt worden.

Schluß: Fetter Beton (erdfeucht und weich) kann durch teilweisen Ersatz des naturreinen Isar- und Rheinkieses, durch Granitsteinschotter gleicher Körnung wie der Kies, beträchtlich verbessert werden. Fehlen dem Kies (und Sand) die feinsten Teile, so wirkt Granitschotterzusatz zunächst die Festigkeit vermindern; im Laufe der Zeit kann dieser Unterschied möglicherweise verschwinden.

Vergleichen wir hiermit das Verhalten der mageren Mischungen (Abb. 14 Zement A und Abb. 15 Zement B). Die Bezeichnungsweise in beiden Abbildungen ist dieselbe wie in Abb. 12 und 13. Die Beobachtung umfaßt die

Reihen C 20, C 21, C 22 (ausgezogene Linien) im Vergleich zu A 6, A 9, A 10 (gestrichelte Linien).

Für die magere **Isarkies**-Mischung ergibt sich fast dasselbe Bild wie für die fette, nur daß die Druckfestigkeiten der Mischungen entsprechend niedriger sind.

Auf den erdfeuchten wie auf den weichen Beton wirkt der teilweise Ersatz des Isarkieses durch Granitsteinschlag die Druckfestigkeit erhöhend. Bis zu 1 Jahr Alter geht die Erhärtung der Mischungen mit Stein-

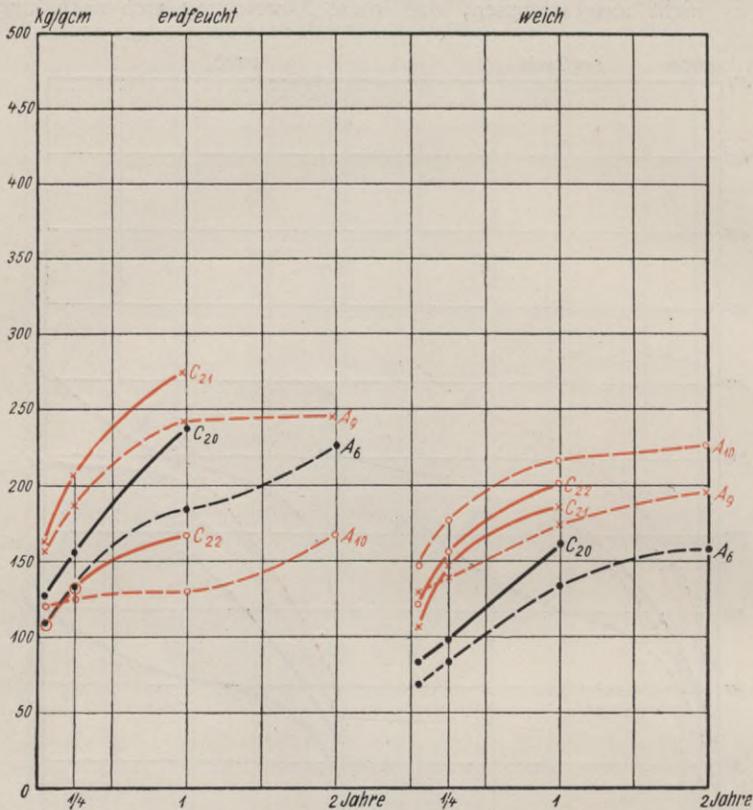


Abb. 14. Druckfestigkeit von Beton 1:4 (2,4 + 5,6).

Zement A und Isarsand (= Kies) (Rheinsand [= Kies]) + Steinschlag. Reihe C 20 u. C 21 (C 22).

schlag schneller voran als die der Mischung ohne Steinschlag, doch sind die Unterschiede im weichen Beton nicht erheblich.

Für **Rheinkies** ergibt sich:

Der Naturkies und der entfeinte Rheinkies lassen sich im erdfeuchten Beton vorteilhaft teilweise durch Granitsteinschlag ersetzen; namentlich im höheren Alter tritt die günstige Wirkung des Ersatzes zutage.

Im weichen Beton scheint die gleiche Wirkung überhaupt erst bei mehr als 1 Jahr Alter des Betons einzutreten, doch lassen sich völlig sichere Schlüsse nicht ziehen, da die Proben nur bis zu 1 Jahr Alter ausgeführt wurden. Man ist auf die Schlüsse aus dem mutmaßlichen weiteren Verlauf der Erhärtungskurven angewiesen.

Schluß: Auch magerer Beton (erdfeucht und weich) kann durch teilweisen Ersatz des Isar- und des Rheinkieses durch Granitsteinschotter gleicher Kör-

nung wie der Kies beträchtlich verbessert werden. Diese Wirkung tritt indessen vorwiegend erst bei höherem Alter des Betons zutage.

Beton mit Zuschlägen aus Sand und Steinschlag.

Die nächste Versuchsgruppe umfaßt diejenigen Reihen, in denen der grobe Kies in den Mörteln durch Granitsteinschlag gleicher Körnung ersetzt wurde. (Reihen C 23 bis C 28.)

Der Vergleich dieser Reihen mit den Reihen C 17 bis C 22, in denen nur etwa $\frac{2}{3}$ des Kieses durch Granitsteinschlag ersetzt sind, und mit den Reihen

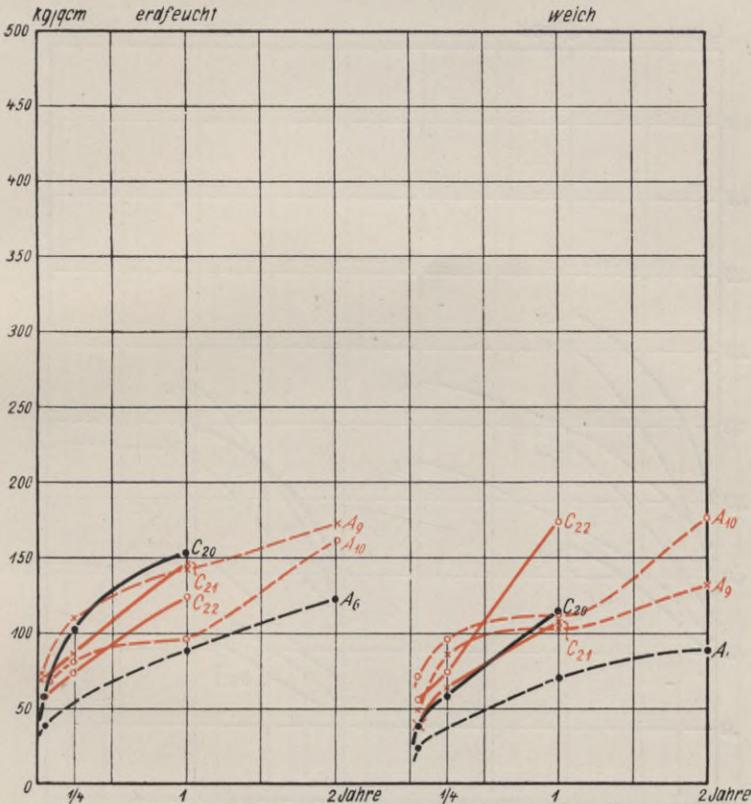


Abb. 15. Druckfestigkeit von Beton 1:4:(2,4 + 5,6).
Zement B und Isarsand (= Kies) (Rheinsand [= Kies] + Steinschlag. Reihe C 20 u. C 21 (C 22).

A 1, A 4, A 5, A 6, A 9 und A 10, die nur Kies — keinen Steinschlag — enthalten, ergibt einen genauen Ueberblick über die Wirkung der runden, mehr oder weniger glatten Kiesel im Beton gegenüber der Wirkung der eckigen und rauheren Granitstücke annähernd gleicher Körnung und der Festigkeiten, die der Beton mit beiden Zuschlagstoffen im Laufe seiner Erhärtung erlangt.

Der Granitsteinschlag bestand auch in diesen Reihen aus 50 Teilen Grobgrus von 7 bis 15 mm und 50 Teilen Schotter von 15 bis 35 mm.

Um den Ueberblick zu erleichtern sind in Abb. 16 bis 21 die Erhärtungskurven der zusammengehörigen Reihen aufgetragen und zwar für jede Sandart (Isar oder Rhein, Natur oder entfemt) und für jede Zementsorte gesondert. Die fette und die magere Mischung gleicher Bestandteile sind auf demselben Bild aufgetragen. Die Bezeichnung der Linien ist dieselbe, wie sie in den vorigen Bildern gewählt wurde. Schwarz bedeutet Isarkies, rot Rheinkies bezw. -Sand.

a) **Isarsand** in fetter und magerer Mischung.

(Reihen C 23 und C 26 im Vergleich mit den gleichen Sand-Kiesmischungen A 1 und A 6 und den Sand-Kies-Steinschlagmischungen C 17 und C 20. Abb. 16 und 17.)

Die Mischungen zeigen mit beiden Zementen A (Abb. 16) und B (Abb. 17) in allen wesentlichen Punkten annähernd das gleiche Verhalten, können daher zusammengefaßt werden, wenn auch Zement B durchweg beträchtlich geringere Erhärtungsfähigkeit erwiesen hat als A.

Bei Verwendung von Isarsand wirkt der Ersatz von Kies durch Granitsteinschlag die Druckfestigkeit fördernd, wenn der Beton ge-

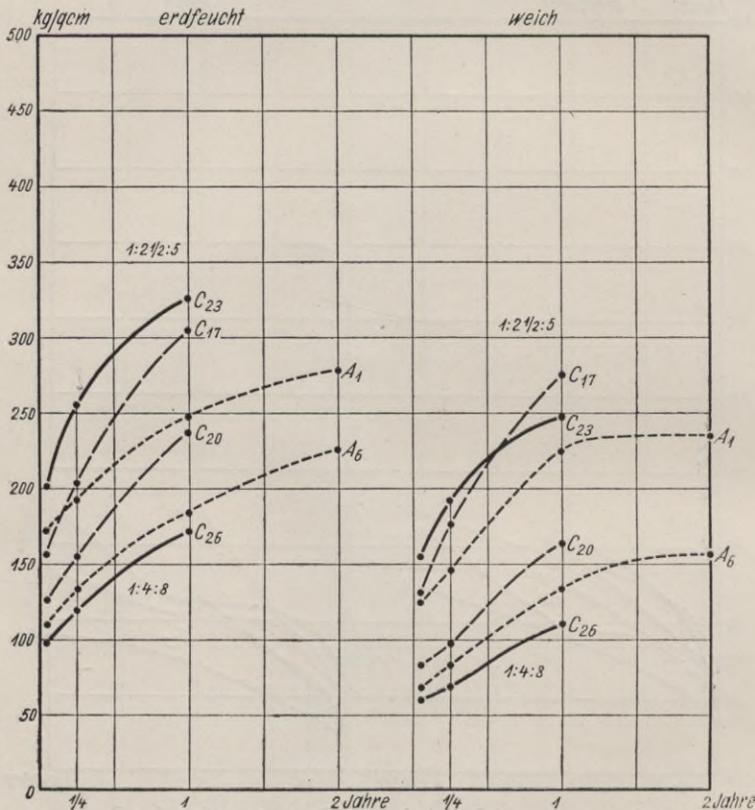


Abb. 16. Druckfestigkeit von Beton 1:2 $\frac{1}{2}$:5 und 1:4:8.

Zement A, Isarsand und Steinschlag (Reihe C₂₃ und C₂₆) im Vergleich mit den gleichen Sandkiesmischungen (Reihe A₁ und A₆) und der Sandkies-Steinschlagmischung (Reihe C₁₇ und C₂₀).

nügend fett ist und stark verdichtet wird (erdfeucht gestampft), dagegen wird diese günstige Wirkung geringer im weichen Beton und verschwindet ganz oder teilweise in der mageren Mischung. In der mageren Mischung, zu der der bessere Zement A verwendet wurde, ergibt der Schotterzuschlag beträchtlich schlechtere Erhärtung und geringere Druckfestigkeit als der Kieszuschlag, während das Gemisch beider bessere Festigkeiten liefert als jeder Zuschlagstoff für sich allein. In der mageren Mischung mit dem schlechteren Zement B ist der Erhärtungsverlauf des Steinschotterbetons besser als der des Kiesbetons, aber schlechter als der des Gemisches beider.

b) Rheinsand in fetter und magerer Mischung.

α) Rheinsand unverändert, wie er gebaggert wurde. (Reihen C 24 und C 27 im Vergleich mit den gleichen Sand-Kiesmischungen A 4 und A 9 und den Sand-Kies-Steinschlag-Mischungen C 18 und C 21. Abb. 18 und 19.)

Der Beton aus Zement A zeigt hier teilweise anderes Verhalten als der Beton aus Zement B.

Die erdfeuchten Mischungen des Zement A-Betons erhärten sehr gleichmäßig, ob sie mit Kieszuschlag oder mit Schotterzuschlag oder mit dem Gemisch beider erzeugt wurden. Die höchsten Festigkeiten liefert das Gemisch, dann folgt der Schotter, zuletzt der Kies.

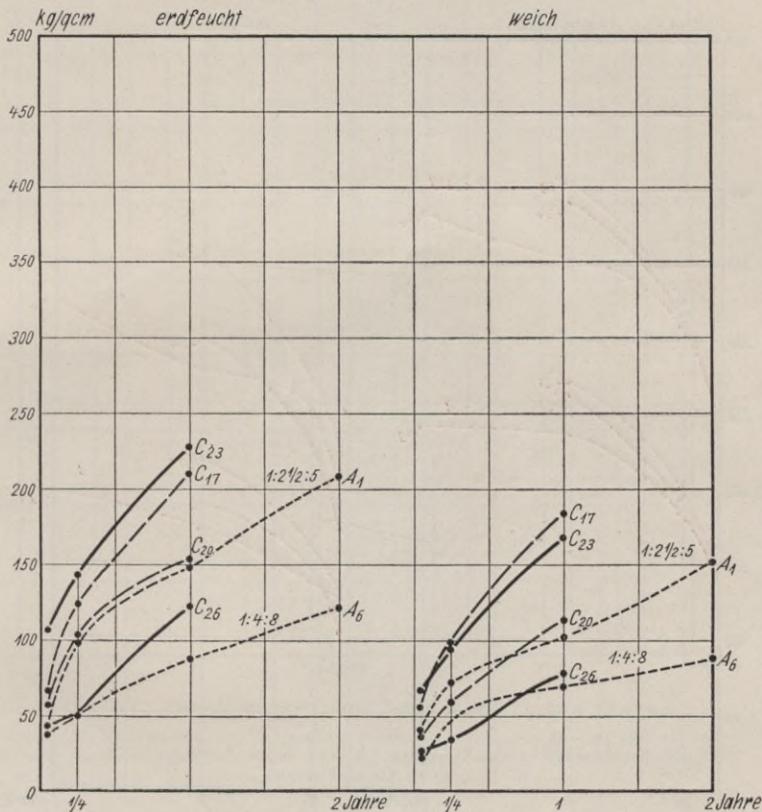


Abb. 17. Druckfestigkeit von Beton 1:2¹/₂:5 und 1:4:8.

Zement B, Isarsand und Steinschlag (Reihe C 23 und C 26) im Vergleich mit den gleichen Sandkiesmischungen (Reihe A₁ und A₆) und der Sandkies-Steinschlagmischung (Reihe C 17 und C 20).

In der weich eingefüllten, aber fetten Mischung erhärtet der reine Schotterbeton ebenfalls schlechter als das Gemisch, in der weich eingefüllten aber mageren Mischung besser als das Gemisch.

Eine Erklärung hierfür wurde vergeblich gesucht, auch in den Raumgewichten nicht gefunden, aber die gleiche Erscheinung zeigt sich bei dem Zement B-Beton gleicher Art (mager und weich eingefüllt).

Der Zement B-Beton weist eine bedeutend energischere, anscheinend bei mehr als 1 Jahr Alter noch stärker in die Erscheinung tretende Erhärtung auf, wenn er mit Granitschotter bereitet wurde, als wenn er Kies oder Kies-Schottergemisch als Zuschlag erhält.

Erdfeucht gestampft übertrifft die Festigkeit des Schotterbetons sowohl in fetter als in magerer Mischung auch absolut die Festigkeit der anderen Betonarten, zu denen Kies und Kies-Schottergemisch verwendet wurde.

Weich eingefüllt bleibt der Schotterbeton in fetter Mischung hinter dem Beton aus Kies und Kies-Schottergemisch zurück, übertrifft beide aber — wie bereits bei Zement A beobachtet — in der mageren Mischung.

Es scheint, als wenn in allen vier Betongruppen die Endfestigkeit des Schotterbetons (nach mehr als einem Jahre) die des Kiesbetons in allen Fällen übertroffen würde.

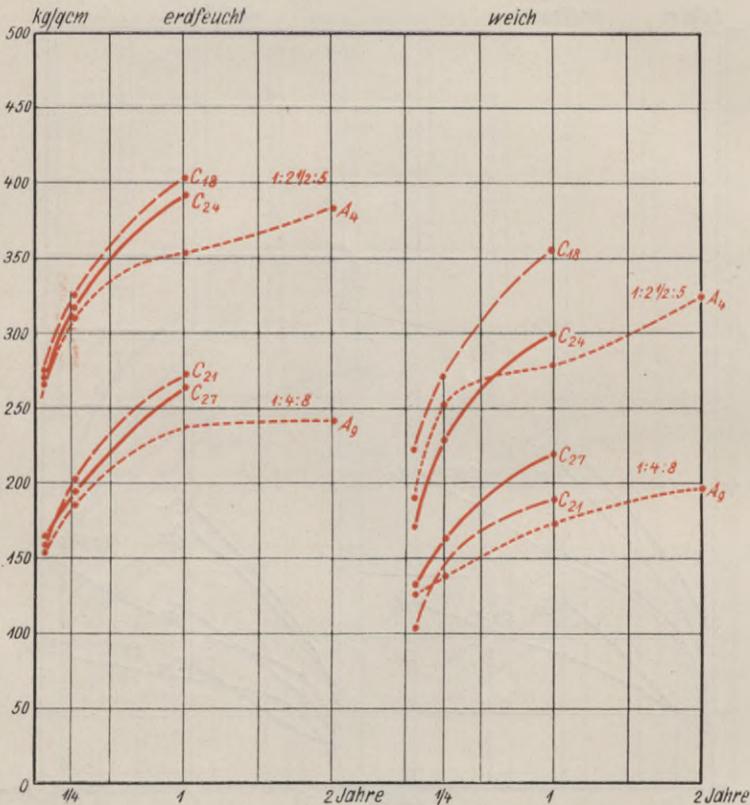


Abb. 18. Druckfestigkeit von Beton 1:2 $\frac{1}{2}$:5 und 1:4:8.

Zement A, Rheinsand und Steinschlag (Reihe C₂₄ und C₂₇) im Vergleich mit den gleichen Sandkiesmischungen (Reihe A₄ u. A₉) und den Sandkies-Steinschlagmischungen (Reihe C₁₈ und C₂₁).

β) Rheinsand, vom Feinsten befreit.

(Reihe C₂₅ und C₂₈ im Vergleich mit den gleichen Sand-Kiesmischungen A₅ und A₁₀ und den Sand-Kies-Steinschlag-Mischungen C₁₉ und C₂₂ Abb. 20 und 21.)

Zement A-Beton und Zement B-Beton zeigen annähernd das gleiche Verhalten, können also wieder gleichzeitig besprochen werden.

Erdfeucht gestampft liegt die Festigkeit des Schotterbetons zwischen der des Kiesbetons und der des Kies-Schotterbetons, in der fetten Mischung ist der Beton aus dem Kies-Schottergemisch der schlechteste

von den dreien, in magerer Mischung dagegen der beste, wenn hier auch die Unterschiede nicht sehr groß sind.

Die Festigkeit des fetten Kiesbetons wird in weniger als einem Jahre überholt, die des mageren Kiesbetons kurz nach einem Jahre.

Weich eingefüllt ist das Verhältnis in fetter Mischung nahezu dasselbe, in magerer Mischung aber bleibt der Schotterbeton in der Festigkeit und namentlich in der Anfangserhärtung beträchtlich hinter den

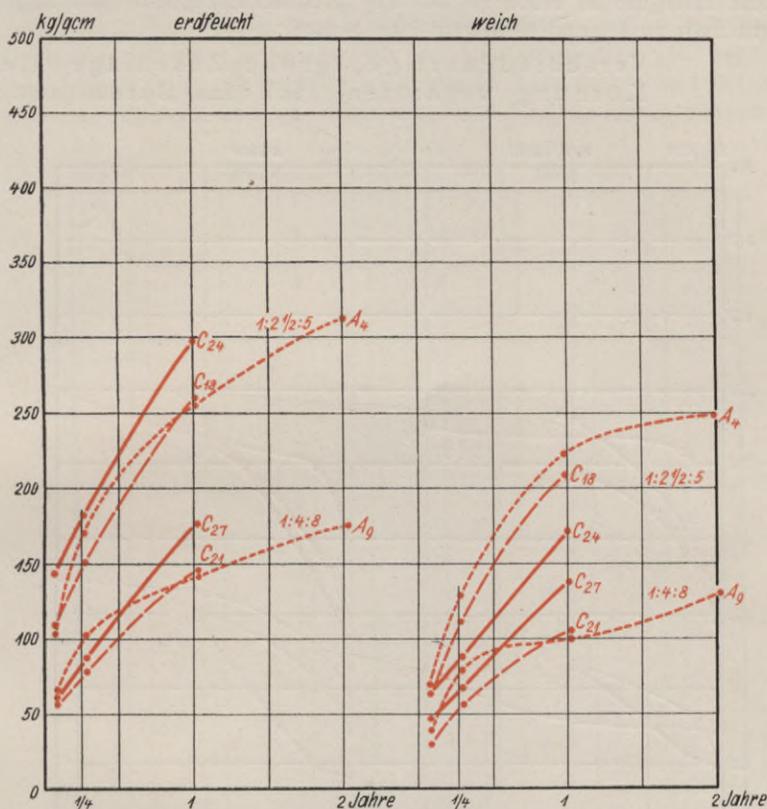


Abb. 19. Druckfestigkeit von Beton 1:2 $\frac{1}{2}$:5 und 1:4:8.

Zement B, Rheinsand und Steinschlag (Reihe C₂₄ und C₂₇) im Vergleich mit den gleichen Sandkiesmischungen (Reihe A₁ u. A₉) und den Sandkies-Steinschlagmischungen (Reihe C₁₈ und C₂₁).

anderen zurück. Es ist aber bemerkenswert, daß mit höherem Alter die Festigkeit des Schotterbetons stärker zunimmt, als die der anderen Mischungen.

Einfluß des Entfeinens des Rheinsandes auf die Druckfestigkeit des Schotterbetons.

Im allgemeinen ist das Verhalten der mit Rheinsand hergestellten Betonarten mit den 3 Zuschlägen Kies, Kies-Schotter, Schotter untereinander das gleiche, ob der Rheinsand seine feinsten Teile behält oder ob sie ihm entzogen werden. Eine Ausnahme macht nur die weich eingefüllte magere Mischung, bei der der Mangel der feinsten Teile im Sande gerade beim Schotterbeton deutlich in die Erscheinung tritt. Der Beton, der den entfeinten Sand enthält, liefert aber auch an sich geringere Festigkeiten als der Beton aus den im Naturzustand belassenen Sand wenigstens so weit der erdfeucht gestampfte Beton in Frage kommt.

Im weichen Beton nimmt das überschüssige Wasser die Stelle des feinsten Sandes ein, und die schädliche Wirkung der Entfeinung tritt hier nicht zutage. Man kann daraus schließen:

Feinste Teile im Rheinsand können unter Umständen als Zementersatz wirken. Im weichen Beton sind sie leichter zu missen, als im erdfeucht gestampften.

Zieht man die in Abb. 16 bis 21 vereinten Ergebnisse kurz zusammen, so kommt man zu folgendem allgemeinen Schluß:

Verschiedenartige, grobe Zuschläge gleicher Körnung verhalten sich im Beton auch bei

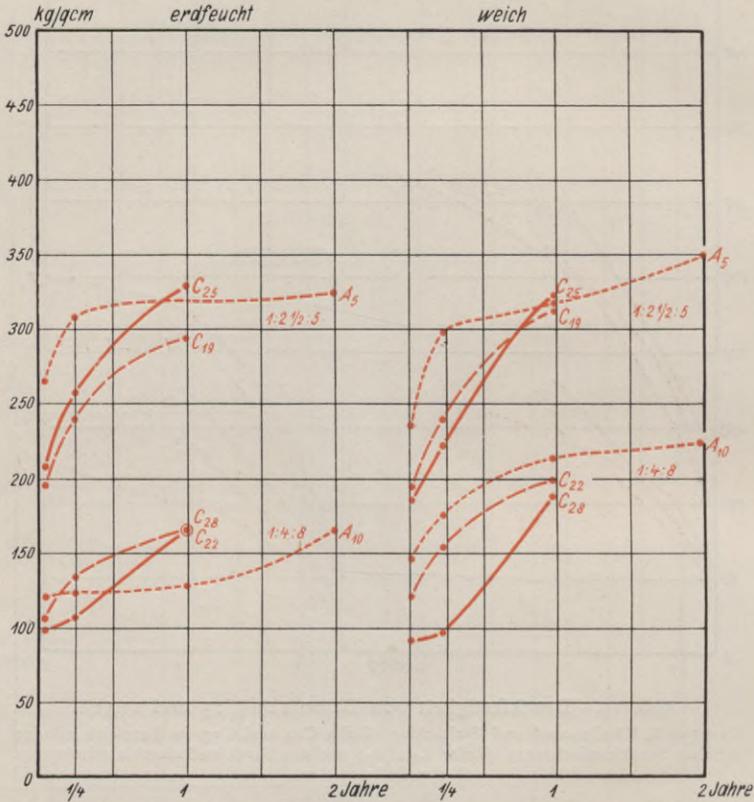


Abb. 20. Druckfestigkeit von Beton 1:2 $\frac{1}{2}$:5 und 1:4:8.

Zement A, Rheinsand entfeint und Steinschlag (Reihen C25 und C28) im Vergleich mit den gleichen Sandkiesmischungen (Reihen A5 und A10) und den Sandkies-Steinschlagmischungen (Reihen C19 und C22).

gleicher Mörtelart in Erhärtung und Festigkeit je nach Mischung und Zubereitungsart des Betons verschieden.

Unter gewissen Voraussetzungen erzielt Schotterbeton oder Kies-Schotterbeton günstigere, schnellere und länger fortschreitende Erhärtung als reiner Kiesbeton. Die Wirkung tritt im erdfeucht gestampften Beton schärfer zutage als im weich eingefüllten, in fetter Mischung deutlicher als in magerer. Mörtel, denen die feinsten Teile

des Sandes fehlen, verarbeitet man im Beton besser weich als erdfeucht.

Gesetzmäßige Beziehungen der gleichen Mischungen unter Benutzung von 3 Sanden, sowie Kies, Kies-Steinschlag und Steinschlag untereinander, bei 1 Jahr Alter der Proben.

Setzt man die Druckfestigkeit der Mischungen $1:2\frac{1}{2}:5$ und $1:4:8$, die unter ausschließlicher Verwendung von Kies entstanden sind = 100 und rechnet die Mittelwerte der gleichen Mischungen, die Kies-Steinschlag und nur Steinschlag enthalten, hierauf um, so ergeben sich die in Tab. 17 enthaltenen Verhältniszahlen, die in Abb. 22 und 23 aufgetragen sind und das gesetzmäßige Verhalten

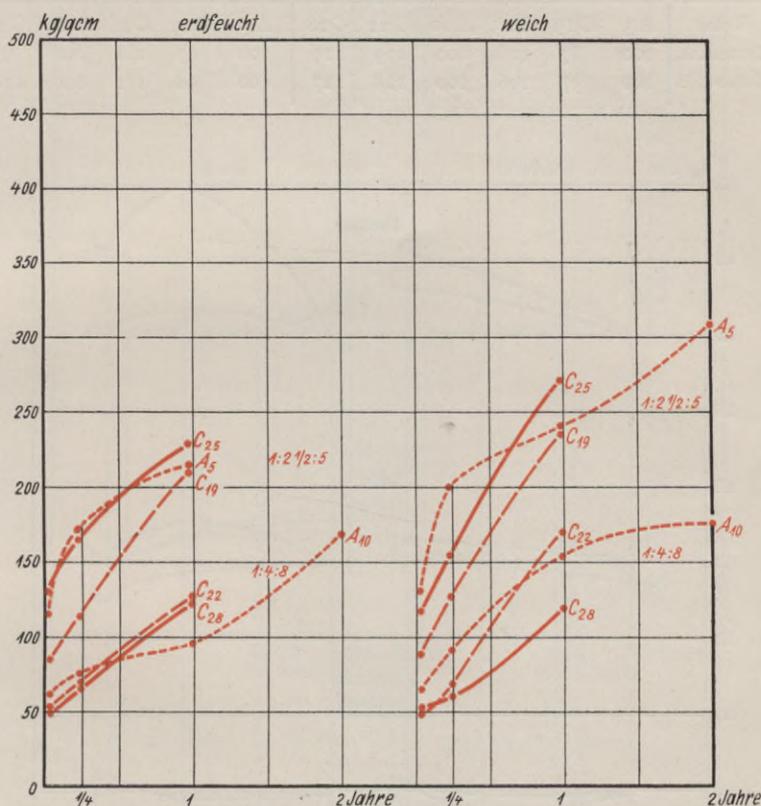


Abb. 21. Druckfestigkeit von Beton $1:2\frac{1}{2}:5$ und $1:4:8$.

Zement B, Rheinsand entfemt und Steinschlag (Reihen C₂₅ und 28) im Vergleich mit den gleichen Sandkiesmischungen (Reihe A₅ und A₁₀) und den Sandkies-Steinschlagmischungen (Reihe C₁₉ und C₂₂).

der Beton-Druckfestigkeit in verschiedenen Zuständen beim Wechsel zwischen Kies- und Steinschotter-Zuschlag nach ausreichender Erhärtung (1 Jahr) deutlich erkennen lassen, und auch ein deutliches Bild von dem Einflusse verschiedener Sande und verschiedener Zemente geben. Der A-Beton ist in Abb. 22 und 23 mit A, der B-Beton mit B bezeichnet.

In fetter Mischung sind die Unterschiede zwischen A-Beton und B-Beton gering, wenn der Beton erdfeucht gestampft wurde, sehr beträchtlich aber, wenn er weich eingefüllt wird, es sei denn, dem Sande fehlt das Feinste. Dann verschwinden die Unterschiede.

Tabelle 17. Verhältnis der Druckfestigkeiten zueinander.

Sand	Mischung	Erdfeucht						Weich					
		1:2 $\frac{1}{2}$:5			1:4:8			1:2 $\frac{1}{2}$:5			1:4:8		
Isar	Reihe	A 1	C 17	C 23	A 6	C 20	C 26	A 1	C 17	C 23	A 6	C 20	C 26
	Zement A	100	123	132	100	130	95	100	117	106	100	122	82
	Zement B	100	141	154	100	172	140	100	200	160	100	161	113
Rhein Natur	Reihe	A 4	C 18	C 24	A 9	C 21	C 27	A 4	C 18	C 24	A 9	C 21	C 27
	Zement A	100	111	116	100	115	112	100	129	107	100	109	127
	Zement B	100	100	116	100	101	124	100	93	77	100	102	137
Rhein ent- feint	Reihe	A 5	C 19	C 25	A 10	C 22	C 28	A 5	C 19	C 25	A 10	C 22	C 28
	Zement A	100	87	106	100	129	129	100	99	101	100	93	88
	Zement B	100	97	106	100	128	127	100	98	112	100	110	78

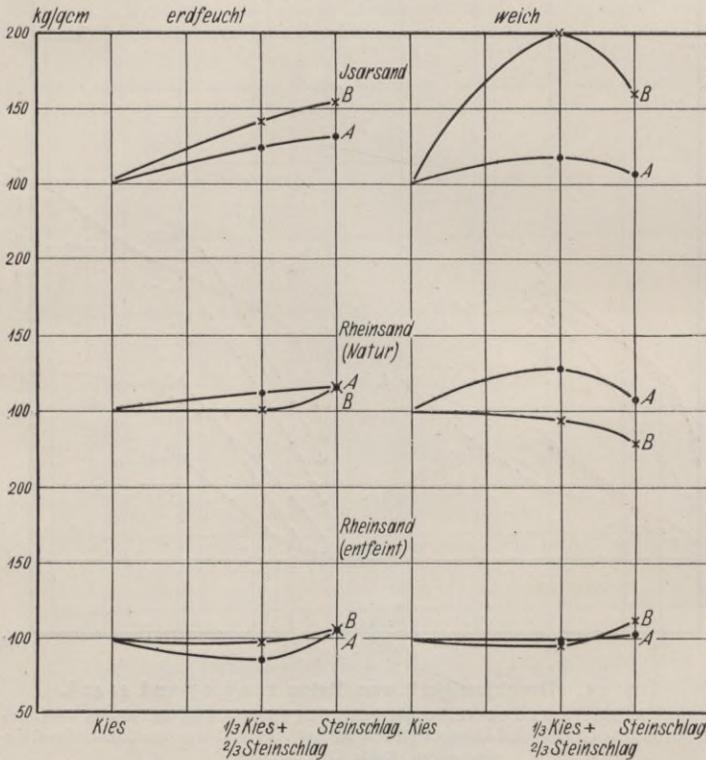


Abb. 22. Veränderung der Druckfestigkeit bei Ersatz von Kies durch Steinschlag. Mischung 1:2 $\frac{1}{2}$:5. 1 Jahr alter Beton.

Mit Isarsand wird der B-Beton besser durch Steinschlag-Zusatz gefördert, mit Rheinsand, wie ihn der Fluß liefert, der A-Beton, entfemt aber wieder der B-Beton. Die Entfeinung des Rheinsandes hebt sowohl die Unterschiede der Zemente wie die der Zuschläge nahezu auf.

In magerer Mischung verhält sich A-Beton und B-Beton erdfeucht gestampft und weich eingefüllt nahezu gleich. Der Isarsand verträgt am besten die Kies-Schottermischung, der Rheinsand im natürlichen Zustande den reinen

Schotterzusatz. Im Mörtel aus entfemttem Rheinsand ist es — wenn der Beton erdfeucht gestampft wird — gleich, ob reiner Schotter oder das Kies-Schottergemisch zugesetzt wird, wird aber der Beton weich eingefüllt, so gibt der Schotterzusatz nach einem Jahre schlechtere Druckfestigkeit als der Kieszusatz.

Mit zunehmendem Alter verschieben sich die Druckfestigkeiten verschiedener Betonarten gegeneinander.

Schluß: Allgemeine Schlüsse auf alle Betonarten lassen sich aus Versuchen mit bestimmten Zuschlagsstoffen bei bestimmtem Alter der Proben nicht ziehen. Jedes Material hat seine Eigenart und

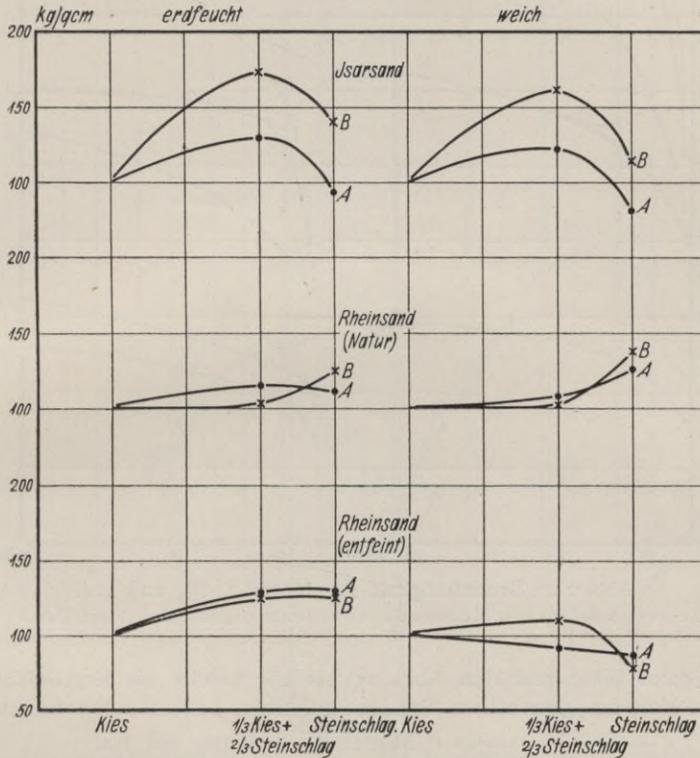


Abb. 23. Veränderung der Druckfestigkeit bei Ersatz von Kies durch Steinschlag. Mischung 1:4:8. 1 Jahr alter Beton.

bringt diese unter verschiedenen Umständen verschieden zur Geltung. Daraus folgt:

„Jede Betonmischung muß je nach ihrer Verwendungsart für sich geprüft werden, um richtig beurteilt werden zu können.“

Einfluß verschiedener Sande auf Mörtel und Beton.

a) Mörtel.

Zur Kennzeichnung der verschiedenen zu den Versuchen verwendeten Sande, die mit den natürlichen Sanden aus Isar und Rhein in Wettbewerb treten, sind in üblicher Weise mit je zwei Mörteln 1:2 $\frac{1}{2}$ und 1:4 Druckfestigkeitsversuche

angestellt worden, deren Werte in Tab. 8 zusammengefaßt sind. Die Mittelwerte sind außerdem in Abb. 24 aufgetragen.

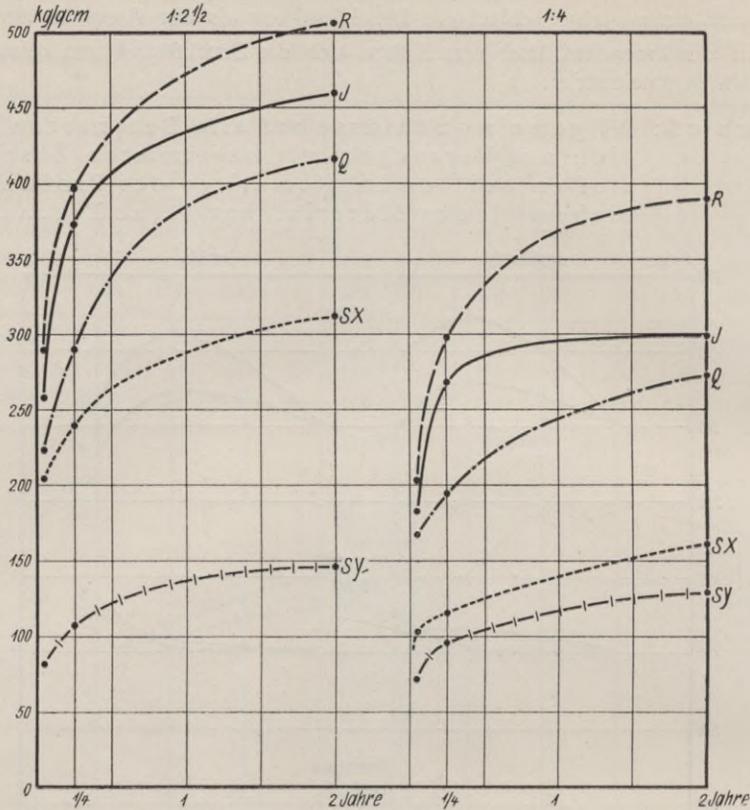


Abb. 24. Druckfestigkeit von Mörtel $1:2\frac{1}{2}$ und $1:4$.
Zement A und 5 verschiedene Sande erdfeucht eingestampft. (Vergl. Tab. 8)

In diesem Bilde und den Abb. 25 bis 28, welche die Ergebnisse der Versuche mit Beton aus den selben Sanden enthalten, bedeuten die Linien

- ————— • Mörtel bzw. Beton mit Isarsand
- ———— • " " " " Rheinsand
- - - - - • " " " " Schlackensand *x*
- — | — | — | — • " " " " Schlackensand *y*
- — . . . — • " " " " Quetschsand.

Die Ergebnisse des Mörtelvergleiches sind folgende:

Die Eigenschaften der Sande beeinflussen die Mörtelfestigkeit ganz außerordentlich.

In fetter wie in magerer Mischung ordnen sich die Mörtel, die sämtlich erdfeucht gestampft wurden, nach der Höhe ihrer Druckfestigkeit in folgender Reihe:

- Rheinsand,
- Isarsand,
- Quetschsand
- Schlackensand *x*,
- Schlackensand *y*.

Der Festigkeitsverlauf der Mörtel aus den Mineralsanden ist in fetter Mischung annähernd proportional dem in magerer Mischung.

Die Schlackensand-Mörtel dagegen er härten in magerer Mischung wesentlich anders als in fetter. Der Schlackensand *x* erzielt in magerer Mischung nur etwa 50% der Festigkeit der fetten Mischung; die Mörtel aus Schlackensand *y* unterscheiden sich in der Festigkeit der fetten und der mageren Mischung nur wenig.

Schluß: Sande mit wechselnden Eigenschaften ergeben auch Mörtel verschiedener Güte. Insbesondere

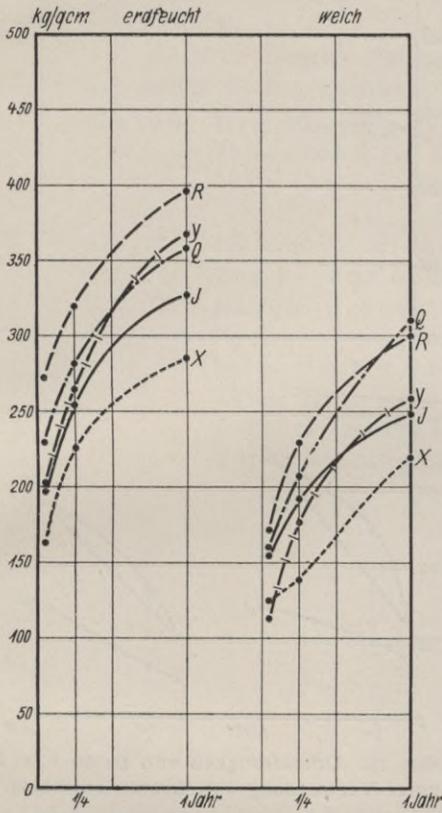


Abb. 25. Druckfestigkeit von Beton 1 : 2 1/2 : 5 unter Verwendung von Granitsteinschlag. Zement A und 5 verschiedene Sande. Reihen E₃₅, E₃₇, E₃₉ im Vergleich mit C₂₃ und C₂₄.

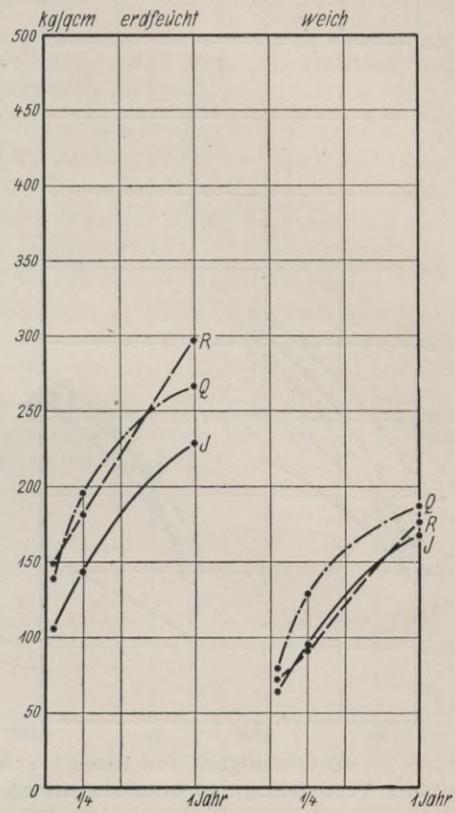


Abb. 26. Druckfestigkeit von Beton 1 : 2 1/2 : 5 unter Verwendung von Granitsteinschlag. Zement B und 3 verschiedene Sande. Reihe E₃₅ im Vergleich mit C₂₃ und C₂₄.

Schlackensande sind vor der Verwendung zu Mörtel auf Eignung zu bestimmten Zwecken zu prüfen.

b) Beton.

Im Beton treten die Unterschiede der einzelnen Sande nicht so deutlich in die Erscheinung wie in den Mörteln.

Die verschiedenen Eigenschaften der Sande wirken im Beton anders als im Mörtel.

Der Beton ergibt mit Zement A und B, namentlich wenn man die Jahresproben ins Auge faßt, nahezu gleichartiges Verhalten gegenüber der Wirkung der Sande, wenn auch der Verlauf der Erhärtung des B-Betons entsprechend der geringeren Bindekraft des Zementes B etwas anders ist als der Erhärtungsverlauf

des A-Betons. Bezüglich der Sandwirkung können A-Beton und B-Beton gleichzeitig hesprochen werden.

In der fetten Mischung des Betons zeigt sich zunächst auffallende Verschiedenheit, in der Sandwirkung gegenüber den Mörteln, aber auch Verschiedenheit je nachdem der Beton erdfeucht oder weich eingestampft wurde.

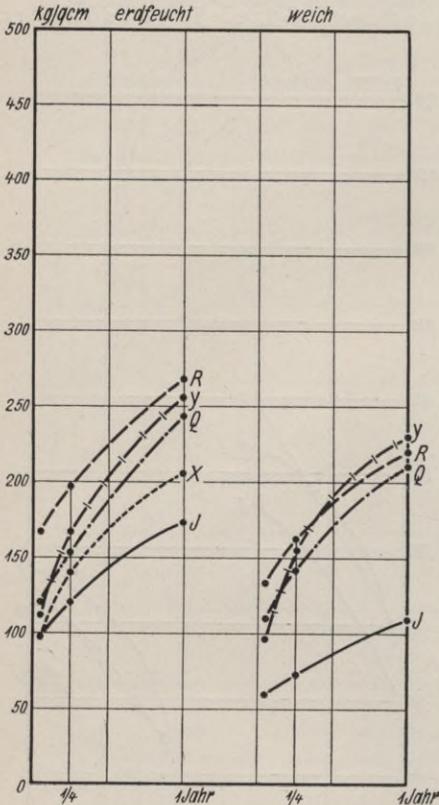


Abb. 27. Druckfestigkeit von Beton 1:4:8 unter Verwendung von Granitsteinschlag. Zement A und 5 verschiedene Sande. Reihen E36, E40, E38 im Vergleich mit C26 und C27.

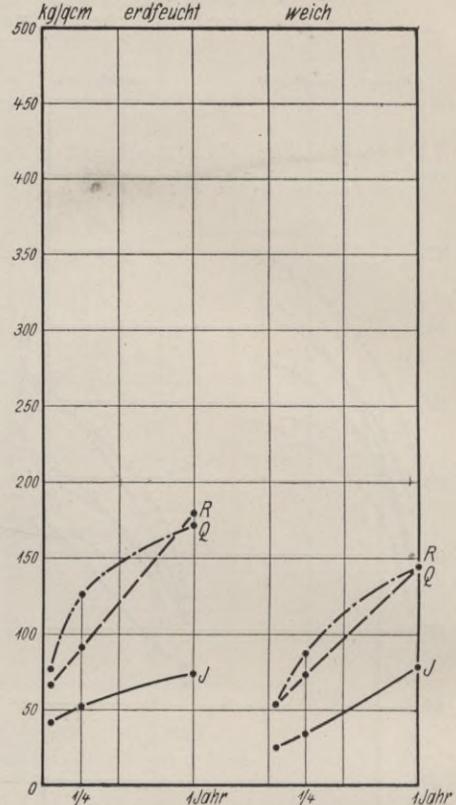


Abb. 28. Druckfestigkeit von Beton 1:4:8 unter Verwendung von Granitsteinschlag. Zement B und 3 verschiedene Sande. Reihe E36 im Vergleich mit C26 und C27.

Im erdfeuchten Zustande ordnen sich die Betonmischungen den Sanden nach in folgender Reihe:

- Rheinsand,
- Schlackensand *y*,
- Quetschsand,
- Isarsand,
- Schlackensand *x*.

Der Schlackensand *y*, der sich im Mörtel geradezu als minderwertig erwies, ist im Beton an die zweite Stelle gerückt und der Isarsand, der im Mörtel sich hervorragend bewährt, nimmt im erdfeuchten Beton die vierte Stelle ein.

Es mögen hierfür dieselben Gründe maßgebend sein, die schon weiter vorn (S. 30) erwähnt wurden.

Im weichen Zustande machen sich die Eigenschaften der Sande in anderer Weise geltend. Hier erweist sich der Quetschsand dem Rheinsand fast ebenbürtig und der Schlackensand *y* dem Isarsand.

Erdfeucht und weich gibt aber der Schlackensand y dem Beton eine größere Erhärtungsenergie als alle anderen Sande.

Bei geringer Anfangsfestigkeit erreicht der Beton aus Schlackensand y eine beträchtlich höhere Endfestigkeit als der Beton aus den meisten anderen Sanden.

In der mageren Mischung des Betons sind die Verhältnisse wesentlich dieselben wie in der fetten, nur mit dem Unterschiede, daß hier der Isarsand an die letzte Stelle rückt, in seiner Betonwirkung noch hinter dem Schlackensand x zurückbleibt.

Auch in magerer Betonmischung übertrifft der Schlackensand y in seiner Erhärtungsfähigkeit beträchtlich andere Sande.

Schluß: Die Festigkeiten von Mörteln sind nicht entscheidend für die Festigkeiten der aus gleichen Mörteln erzeugten Betonmischungen.

Die Eigenschaften verschiedener Sande äußern sich verschieden je nach Art der Aufbereitung des Betons und je nach Alter der Proben.

Durch Zusatz mancher Schlackensande kann Beton namentlich in seinen Endfestigkeiten beträchtlich verbessert werden.

Ueber die Einwirkung verschiedener Sande auf die Druckfestigkeit daraus hergestellten Betons können nur direkte Versuche sicheren Aufschluß geben.

Teil II.

Prüfung von Beton auf Druck-, Biege-, Zug-, Dreh- und Scheerfestigkeit unter Ermittlung der elastischen Eigenschaften.

Bearbeitet von M. Rudeloff.

I. Druckversuche.

Die Druckversuche erstreckten sich auf Kiesbeton und Steinschlagbeton in je zwei Zuständen, erdfeucht und weich, in den aus Tab. 1 ersichtlichen Zusammensetzungen, gefertigt aus ungewaschenem Isarsand sowie aus ungewaschenem und entfeyntem Rheinsand. Für dieselben Sande sind zu unterscheiden eine fette Mischung (1 : 2,5 : 5) und eine magere (1 : 4 : 8).

Mit jeder der 12 Mischungen aus Kiesbeton sind bei drei Altersstufen je zwei Parallelversuche angestellt, mit jeder der 12 Mischungen aus Steinschlagbeton bei zwei Altersstufen je 3 Parallelversuche. Die Proben, Prismen von 20×20 cm Querschnitt und 100 cm Länge, sind stehend in 3 Schichten gestampft. Sie standen zunächst 48 Stunden in der Form und lagerten dann bis zur Prüfung nach 28, 90 und 365 Tagen im gedeckten Raum unter feuchtem Sande.

Die Prüfung erfolgte auf der 100 t-Pohlmeyermaschine stehend, die obere Druckfläche gegen ein Kugellager gestützt, die untere auf eine dicke Stahlplatte fest aufstehend, s. Abb. 1. Um Unebenheiten der Druckflächen auszugleichen, wurde auf beide Flächen eine dünne Gypsschicht aufgetragen, die erst nach dem Anpressen gegen die Druckplatten erhärteten.

Die Belastung wurde in Stufen von je 5 t, d. h. um je 12,5 kg/qcm Druckspannung gesteigert und bei jeder Stufe wurde wiederholt, meist zehnmal, auf Null wieder entlastet, unter Beobachtung der gesamten und bleibenden Längenänderungen auf 400 mm Meßlänge mit Martensschen Spiegelapparaten.

A. Druckfestigkeit.

Die an den einzelnen Proben ermittelten Druckfestigkeiten sind aus Tab. 2—9 zu ersehen. Die Mittelwerte sind in Tab. 10 a für den Kiesbeton und in Tab. 10 b für den Steinschlagbeton zusammengestellt und in Abb. 6—8 zu Schaulinien aufgetragen.

Den Verlauf der charakteristischen Brüche zeigen die Lichtbilder Abb. 2 u. 3. Man erkennt, daß sich hier über einer Druckfläche ein Kegel oder ein Keil ausgebildet hat, der die Probe dann der Länge nach aufspaltete. Hingewiesen sei im Gegensatz zu der Ausbildung der Pyramiden bei den Druckversuchen an Würfeln auf die große Länge der Keile bei den hier vorliegenden Versuchen mit Prismen, deren Länge zur Querschnittskante sich wie 5 : 1 verhält. Besonders Abb. 3 zeigt, daß auch hier die Neigung der Schubflächen unmittelbar über den Druckflächen

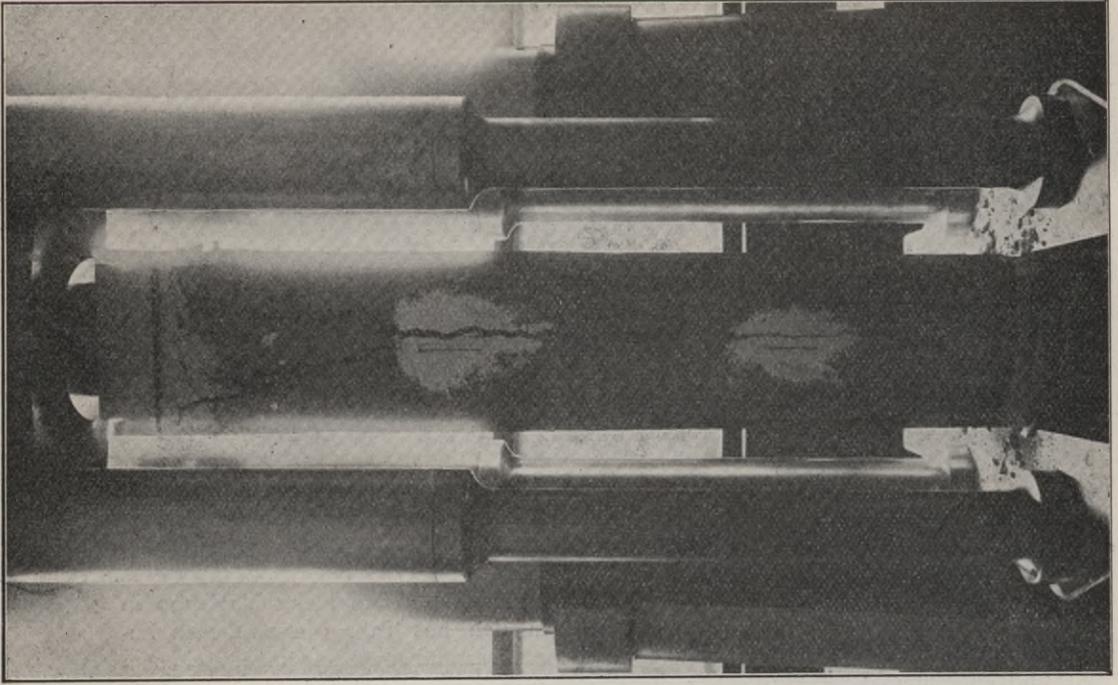


Abb. 2. Probe mit Druckkeil und Längsspalt.

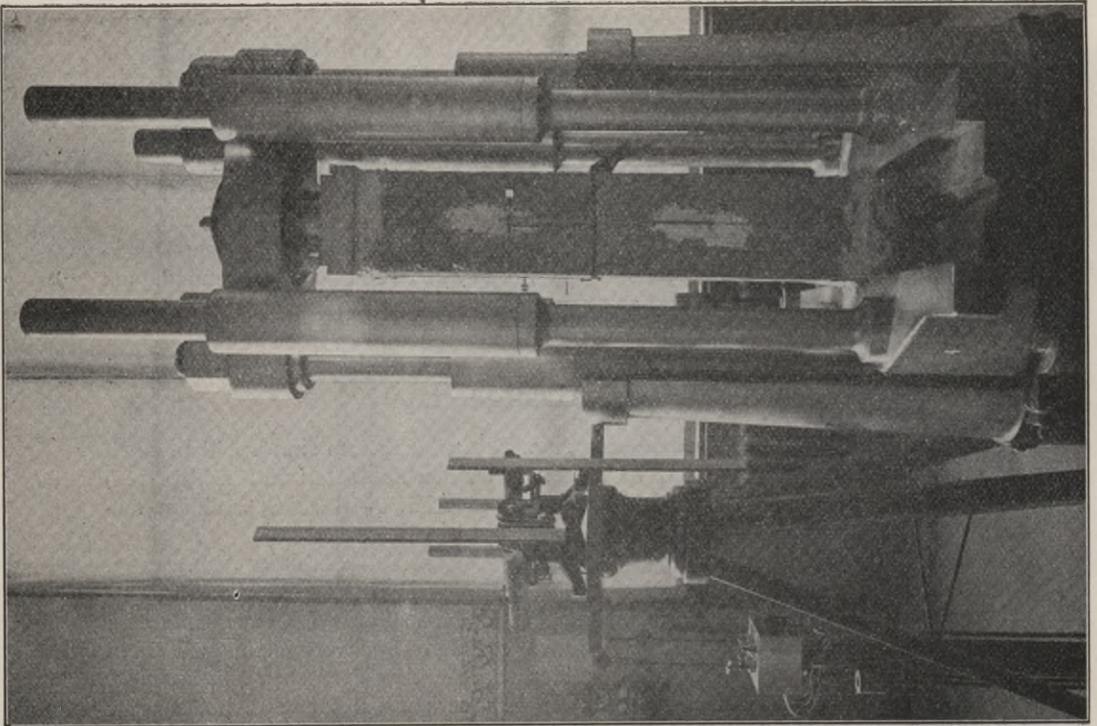


Abb. 1. Anordnung des Druckversuches.



Abb. 5. Bruchfläche einer Druckprobe aus Steinschlagbeton.

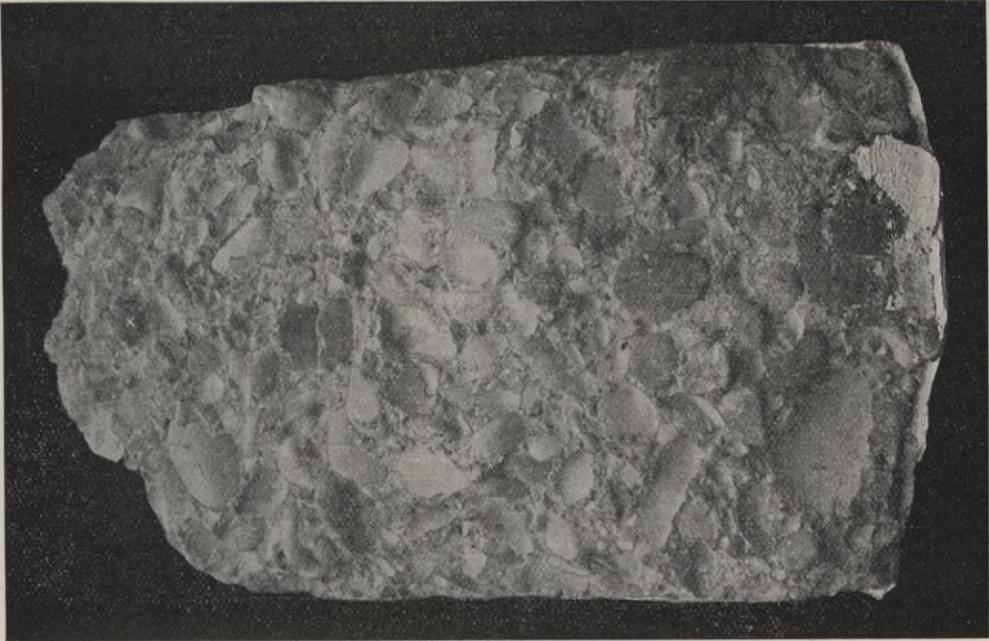


Abb. 4. Bruchfläche einer Druckprobe aus Kiesbeton.



Abb. 3. Probe einseitig abgespaltet.

wie bei der Würfelprobe ungefähr 45° beträgt, in einiger Entfernung davon aber steileren Verlauf nimmt.

Das Aufspalten erfolgte teils in der Stampfschicht oder parallel dazu, teils senkrecht zur Stampfschicht. Es kann somit nicht etwa der Schichtenbildung beim Stampfen zugeschrieben werden.

Eine größere Anzahl Proben brach ohne Aufspalten. Der Bruch verlief dann in der Regel schräg zur Längsachse des Prismas. Er ging hierbei bei einigen Proben von der Druckfläche aus, bei anderen lag er in größerer Entfernung davon. Die von den Druckflächen ausgehenden schrägen Brüche erwecken den Anschein, als ob bei diesen Proben schiefe Beanspruchung oder Kantendruck herrschten, indessen ist aus dem Vergleich der Bruchlasten für die aufgespaltenen Proben mit denen der schräg gebrochenen Proben gleicher Mischung und gleichen Alters nicht abzuleiten, daß mit dem schrägen Bruch schädliche Beeinflussungen der Bruchfestigkeitswerte verbunden waren.

Abb. 4 und 5 zeigen die Bruchflächen von je einem Prisma aus Kiesbeton (Abb. 4) und Steinschlagbeton (Abb. 5). Die durch weiße Kreuze gekennzeichneten Steine sind bei Zerstörung des Prismas durchgebrochen, während die übrigen sich aus dem Mörtel herausgehoben haben.

1. Einfluß des Alters.

Abgesehen von Linie III a Abb. 6 (Reihe 16, erdfuchter Beton aus entfemtem Rheinsand in magerer Mischung) scheinen alle Mischungen aus Kiesbeton

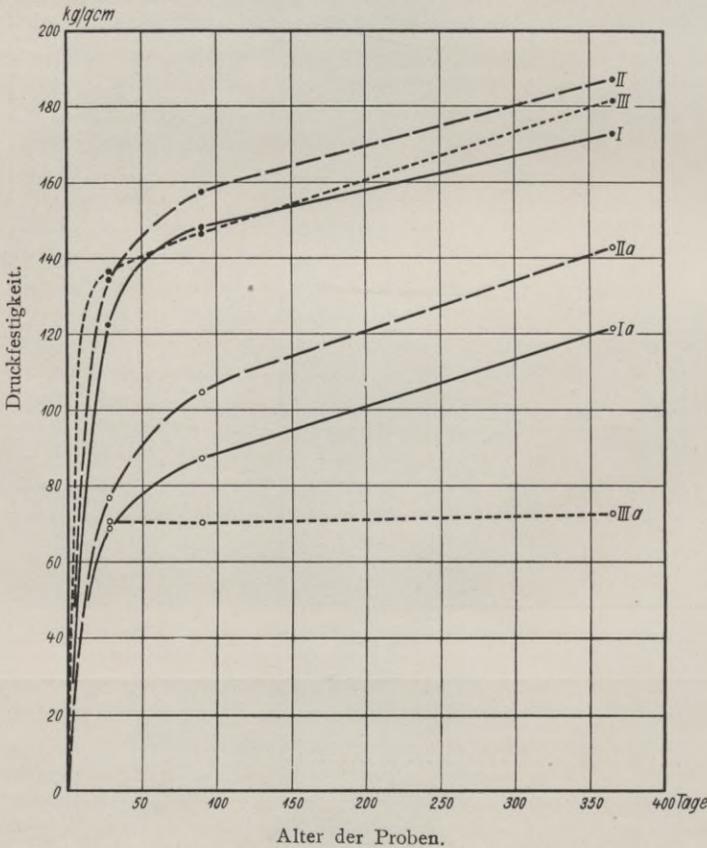


Abb. 6. Zunahme der Druckfestigkeit mit wachsendem Alter.

1. Erdfeuchter Kiesbeton.

Mischungen: I—III = 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies; Ia—IIIa = 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies.
 Sande: I = ungewaschener Isarsand, II = ungewaschener Rheinsand, III = entfemter Rheinsand.

Abb. 6 und 7 die höchste Festigkeit auch bei 365 Tagen Alter noch nicht erreicht zu haben. Für den Steinschlagbeton, Abb. 8, lassen die vorliegenden Versuche in dieser Richtung keinen Schluß zu, da Versuche bei über 90 Tagen Alter mit diesem Material nicht angestellt sind.

Setzt man die Festigkeit bei 28 Tagen = 100, so ergeben sich für die früheren Altersklassen die Verhältniszahlen Tab. 12.

Sie lassen erkennen, daß die Festigkeitszunahme des Kiesbetons während 90- und 365-tägigen Erhärtens gegenüber der Festigkeit bei 28 Tagen Alter mit nur einer Ausnahme (IIa) bei dem weichen Beton (Mischungen Ia—IIIa) größer war als bei dem erdfeuchten (Mischungen I—III); ferner war sie bei 365-tägigem Erhärten für die mageren Mischungen größer als für die fetteren. Auch in letzterem Falle bildet nur eine Mischung (III erdfeucht) eine Ausnahme.

Beim Steinschlagbeton war die Festigkeitszunahme zwischen 28 und 90 Tagen Alter im allgemeinen geringer als beim Kiesbeton aus demselben Sande, doch zeigen sich hierbei recht erhebliche Abweichungen. Ebenso ist nicht scharf zu erkennen, ob die Festigkeitszunahme bei dem fetten oder mageren, und beim erdfeuchten oder weichen Beton die größere ist.

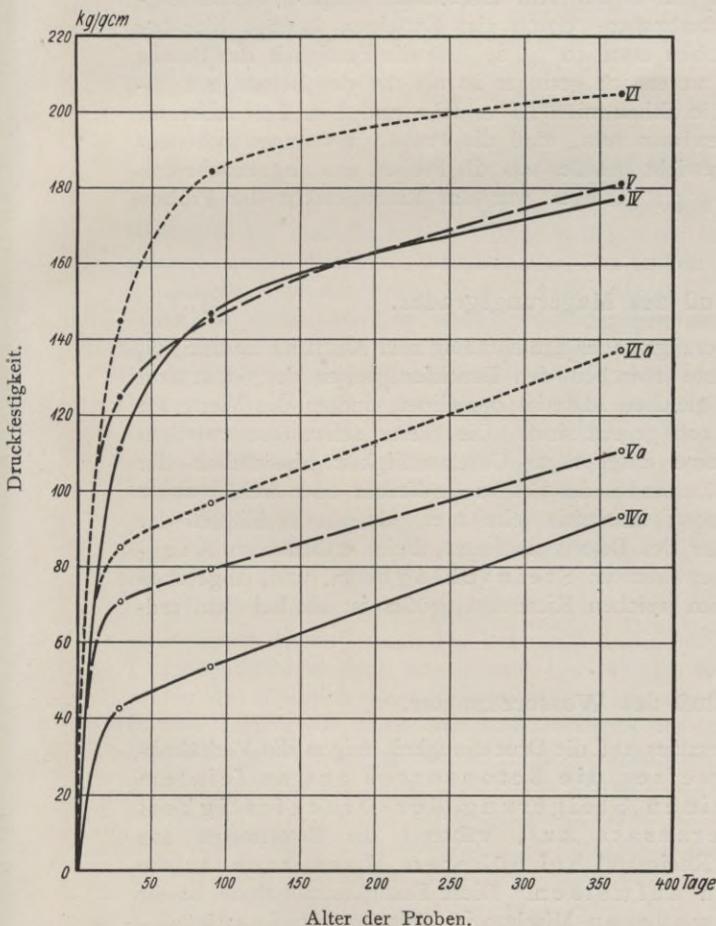


Abb. 7. Zunahme der Druckfestigkeit mit wachsendem Alter.
 2. Weicher Kiesbeton.
 Mischungen: IV—VI = 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies; IVa—VIa = 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies.
 Sande: IV = ungewaschener Isarsand, V = ungewaschener Rheinsand, VI = entfelter Rheinsand.

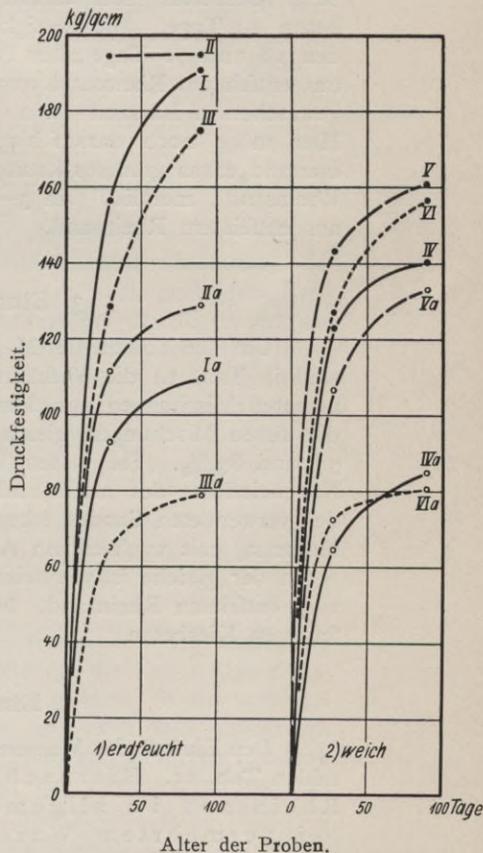


Abb. 8. Zunahme der Druckfestigkeit mit wachsendem Alter.

3. Steinschlagbeton.
 Mischungen: I—III u. IV—VI = 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Steinschlag; Ia—IIIa u. IVa—VIa = 1 Zement + 4 Sand + 8 Steinschlag.
 Sande: I und IV = ungewaschener Isarsand, II und V = ungewaschener Rheinsand, III und VI = entfelter Rheinsand.

2. Einfluß der Sandart.

Von den beiden ungewaschenen Sanden, Isarsand und Rheinsand, lieferte der Rheinsand bei allen Versuchsreihen, d. h. sowohl im Kiesbeton als auch im Steinschlagbeton, ferner sowohl in der fetten als auch in der mageren Mischung, ohne Ausnahme die höheren Festigkeiten.

Der Unterschied (s. Tab. 13) zwischen dem ungewaschenen Isarsand und dem ungewaschenen Rheinsand ist durchweg bei der fetteren Mischung (1:2,5:5) geringer (größere Verhältniszahlen) als bei der mageren (1:4:8). In der mageren Mischung ist der Unterschied bei dem weichen Kies- und Steinschlagbeton größer als bei dem erdfeuchten Beton.

Der entfeinte Rheinsand lieferte im weichen Kiesbeton, und zwar sowohl im mageren als auch im fetten, wesentlich höhere Festigkeiten (Verhältniszahlen Tab. 13 über 100) als der ungewaschene, rohe Rheinsand (s. Schaulinien III, Abb. 7), in allen anderen sechs Betonsorten dagegen geringere Festigkeiten. Dieser nachteilige Einfluß des Entfeinens ist bei den mageren Mischungen größer als bei den fetteren und ferner beim Steinschlagbeton größer als beim Kiesbeton. Am stärksten tritt er bei dem erdfeuchten mageren Steinschlagbeton zu Tage. Die Festigkeitsabnahme durch das Entfeinen beträgt hier bei den 28 und 90 Tage alten Proben etwa 40 %, so daß die Festigkeit des Betons aus entfeintem Rheinsand nun wesentlich geringer ist als die des Betons aus ungewaschenem Isarsand (s. a. die Schaulinien III u. IIIa und I u. Ia, Abb. 8). Hier möge noch darauf hingewiesen sein, daß die Proben aus ungewaschenem Isarsand etwas größeres Raumbgewicht besaßen als die Proben aus ungewaschenem Rheinsand; merklich (um 3—5 %) geringer war das Raumbgewicht der Proben aus entfeintem Rheinsand.

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Um den Einfluß des Magerungsgrades zahlenmäßig zum Ausdruck zu bringen, sind in Tab. 14 die Verhältnisse zwischen den Druckfestigkeiten der fetten und mageren Mischungen aus dem gleichen Material berechnet, indem die Werte für die fetten Mischungen gleich 100 gesetzt sind. Die Werte schwanken zwischen 37 und 83 %. Sie lassen keine ausgeprägte Gesetzmäßigkeit hinsichtlich der Nebeneinflüsse des Alters und Zustandes des Betons (erdfeucht oder weich) sowie des verwendeten Sandes erkennen; immerhin scheint es, als ob der Einfluß der Magerung mit wachsendem Alter des Betons abnimmt, beim erdfeuchten Kiesbeton der gleiche ist wie beim erdfeuchten Steinschlagbeton, und, abgesehen vom entfeinten Rheinsand, beim weichen Kiesbeton größer ist als bei dem erdfeuchten Kiesbeton.

4. Einfluß des Wasserzusatzes.

Den Einfluß des Wasserzusatzes auf die Druckfestigkeit zeigen die Verhältniszahlen Tab. 15. Hiernach weisen die Betonsorten aus entfeintem Rheinsand im allgemeinen Steigerung der Druckfestigkeit bei vermehrtem Wasserzusatz auf, während die Betonsorten aus rohem Isarsand und rohem Rheinsand bei höherem Wasserzusatz die geringeren Festigkeiten aufweisen. Diese Festigkeitsabnahme ist für die Kiesbetonsorten bei den mageren Mischungen, für den Steinschlagbeton bei den fetteren Mischungen die größere. Ein gesetzmäßiger Nebeneinfluß des Alters ist nicht zu erkennen, indem die Verhältniszahlen mit wachsendem Alter in einigen Reihen ab-, in anderen zunehmen.

B. Die Formänderungen.

Die Bestimmung der Längenänderungen bei den einzelnen Laststufen von $5 \text{ t} \cong 12,5 \text{ kg/qcm}$ (s. Tab. 2—11) erfolgte, indem immer bei derselben Stufe wiederholt be- und entlastet und für beide Belastungszustände die Anzeigen der Spiegelapparate abgelesen wurden. Der Lastwechsel erfolgte bei geringen Belastungen so oft, bis die Gesamtlängenabnahme und die Federung (elastische Längenänderung) sich nicht mehr änderten. Bei höheren Belastungen konnte dieser Zustand der Unveränderlichkeit nicht mehr erreicht werden, selbst bei sehr oft (bis zehnmal und mehr) wiederholtem Lastwechsel. Die für diese letztgenannten Laststufen ermittelten Längenänderungen sind daher mehr oder weniger Zufallswerte und als solche in den Tabellen 2—11 durch kleineren Druck gekennzeichnet.

Der zuverlässigen Bestimmung der gesamten und bleibenden Längenänderungen (Tab. 2—9) traten besondere Schwierigkeiten entgegen. Bei einer Reihe von Proben ergab sich deren Länge nach dem Be- und Entlasten größer als ursprünglich und zwar wuchsen die Anzeigen zunehmender Länge nach vorausgegangener Druckbeanspruchung bei mehreren Versuchen sogar mit der Belastung. Die Ursache zu dieser auffallenden Erscheinung in dem Auslösen von Schrumpfspannungen im Beton finden zu können, erscheint ausgeschlossen; man wird sie vielmehr auf Wärmeeinflüsse zurückzuführen haben. Es war nämlich nicht möglich, die Lufttemperatur des Versuchsraumes während der mehrstündigen Dauer des einzelnen Versuches gleichbleibend zu erhalten. Infolgedessen unterlagen die Meßfedern der Martensschen Spiegelapparate sowie auch die Probe selbst den Einflüssen von Wärmeänderungen. Sie waren besonders bei den Meßfedern wegen deren geringem Querschnitt von Belang¹⁾, so daß es nicht ausgeschlossen ist, daß hierdurch Unregelmäßigkeiten in die Beobachtungen hineingelangt sind. Bewirkte Wärmeanstieg Ausdehnung der Federn, so mußte die Längenabnahme der Probe sowohl unter der Belastung als auch nach dem Entlasten zu groß gefunden werden, trat dagegen mit Abnahme der Zimmerwärme auch Längenabnahme der Meßfedern ein, so lieferte die Beobachtung zu geringe Werte für die Längenabnahme der Proben. Hiermit erklärt sich, daß nach dem Entlasten Beobachtungen vorkommen konnten im Sinne von Längenzunahmen der Proben gegen ihre ursprüngliche Länge. Eine Kontrolle der Beobachtungen auf die genannten Einflüsse hin zur Gewinnung von Berichtigungswerten hat sich bei den Versuchen nicht ermöglichen lassen.

Bei der Bestimmung der elastischen Längenänderungen (s. Tab. 2a—9a) scheidet der Einfluß der Wärmeschwankungen aus, weil er bei der Kürze der Zeit, die jedesmal zum Entlasten der Probe und ihrer Federung erforderlich war, nicht in die Erscheinung treten konnte.

Unter diesen Umständen können nur die Beobachtungen für die elastischen Längenänderungen und die hieraus berechneten Werte für die Druck-Elastizitätszahlen des Materials als völlig zuverlässig angesprochen werden. Wenn trotzdem in den Tab. 2—9 auch die Beobachtungen für die gesamten und bleibenden Verkürzungen wiedergegeben sind, so geschah dies, da es immerhin von Interesse erschien, wenigstens einen ungefähren Ueberblick über das verschiedenartige Verhalten der verschiedenen Betonmischungen auch nach dieser Richtung hin zu geben.

Den Verlauf der elastischen Verkürzungen mit wachsender Belastung zeigen die nach den Mittelwerten Tab. 10a u. 10b aufgetragenen Schaulinien, Abb. 9—16. Zu diesen Mittelwerten ist folgendes zu bemerken. Bei einigen Beobachtungsreihen traten so auffallende Abweichungen von dem regelmäßigen Verlauf auf, daß die Beobachtungswerte als fehlerhaft erachtet werden mußten. Sie sind daher in Tab. 10a durch diejenigen Werte ersetzt, die sich durch Interpolation aus dem

¹⁾ Bei 40 cm Meßlänge beträgt die Längenänderung für 1° C Wärmeänderung $48 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$.

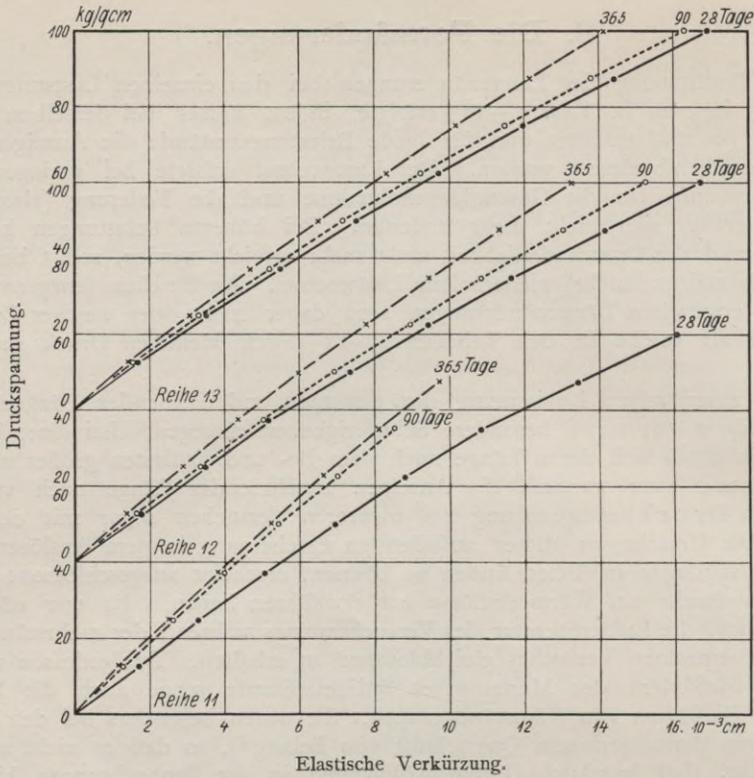


Abb. 9. Verlauf der elastischen Verkürzung mit wachsender Belastung.

1. Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies.

Reihe 11 = ungewaschener Isarsand, 12 = ungewaschener Rheinsand, 13 = entfeyter Rheinsand.

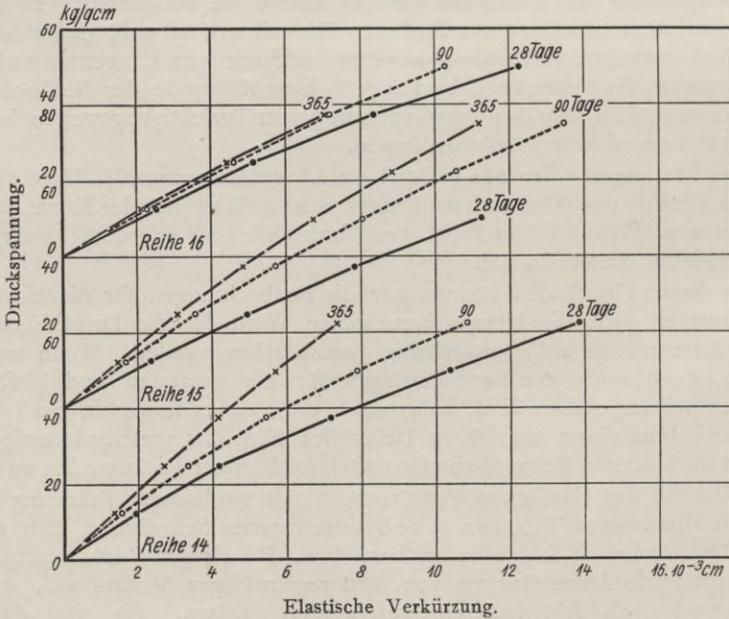


Abb. 10. Verlauf der elastischen Verkürzung mit wachsender Belastung.

2. Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies.

Reihe 14 = ungewaschener Isarsand, 15 = ungewaschener Rheinsand, 16 = entfeyter Rheinsand.

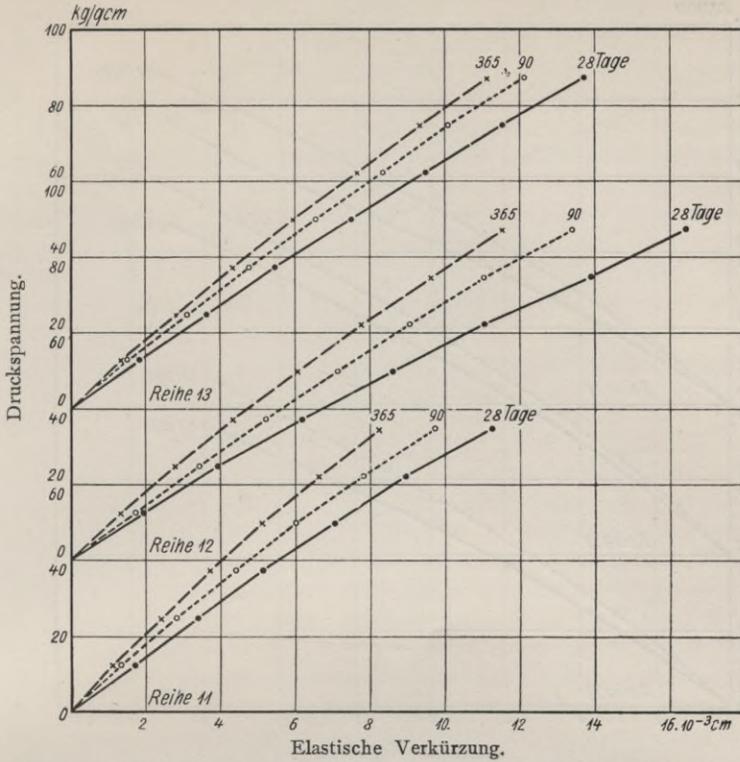


Abb. 11. Verlauf der elastischen Verkürzung mit wachsender Belastung.
 3. Weicher Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies.
 Reihe 11 = ungewaschener Isarsand, 12 = ungewaschener Rheinsand, 13 = entfelter Rheinsand.

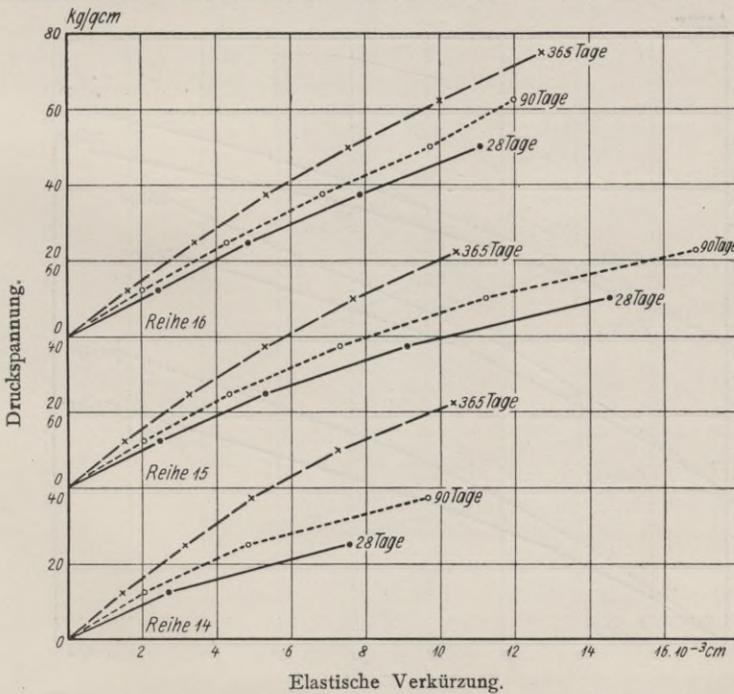


Abb. 12. Verlauf der elastischen Verkürzung mit wachsender Belastung.
 4. Weicher Kiesbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies.
 Reihe 14 = ungewaschener Isarsand, 15 = ungewaschener Rheinsand, 16 = entfelter Rheinsand.

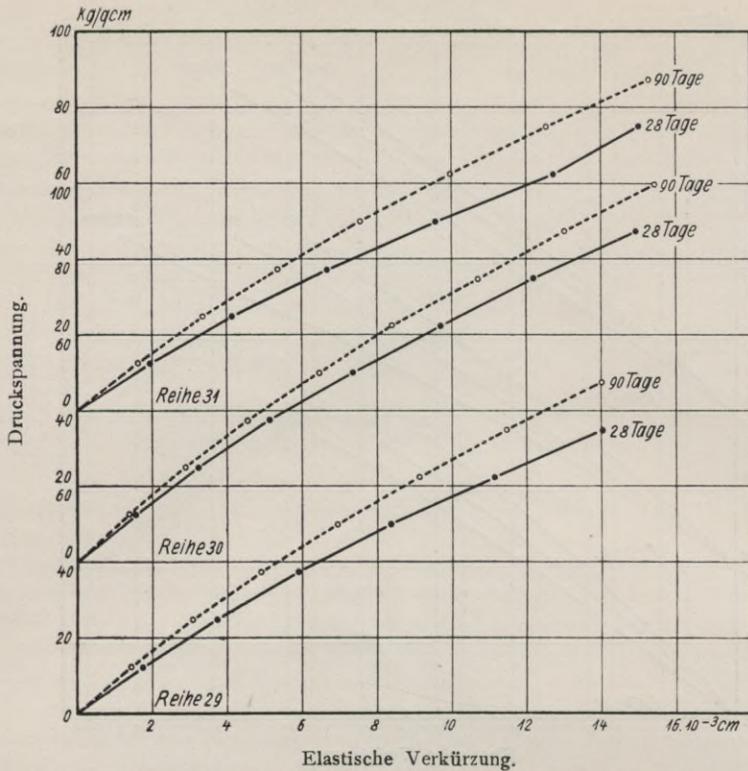


Abb. 13. Verlauf der elastischen Verkürzung mit wachsender Belastung.

5. Erdfeuchter Steinschlagbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Steinschlag.

Reihe 29 = ungewaschener Isarsand, 30 = ungewaschener Rheinsand, 31 = entfeyter Rheinsand.

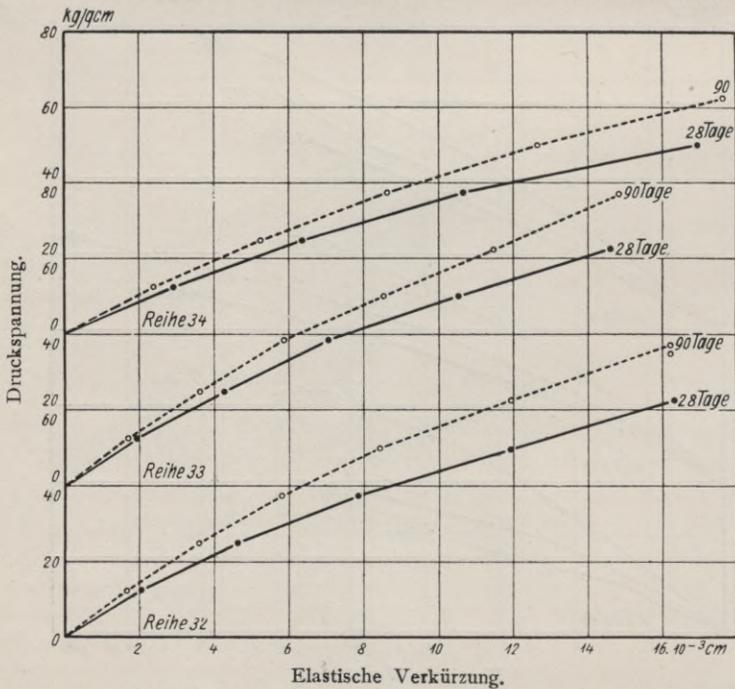


Abb. 14. Verlauf der elastischen Verkürzung mit wachsender Belastung.

6. Erdfeuchter Steinschlagbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Steinschlag.

Reihe 32 = ungewaschener Isarsand, 33 = ungewaschener Rheinsand, 34 = entfeyter Rheinsand.

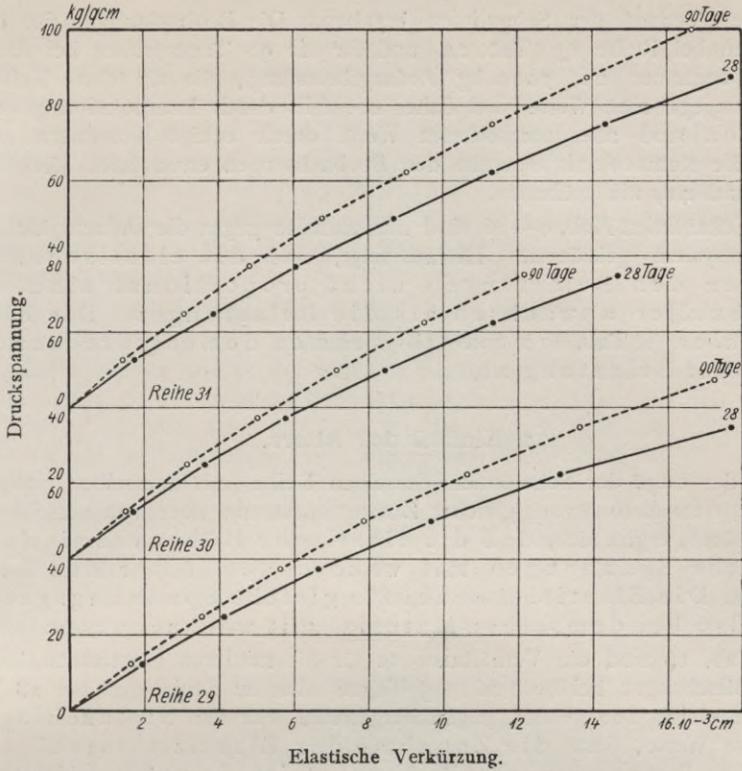


Abb. 15. Verlauf der elastischen Verkürzung mit wachsender Belastung.
 7. Weicher Steinschlagbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Steinschlag.
 Reihe 29 = ungewaschener Isarsand, 30 = ungewaschener Rheinsand, 31 = entfeyter Rheinsand.

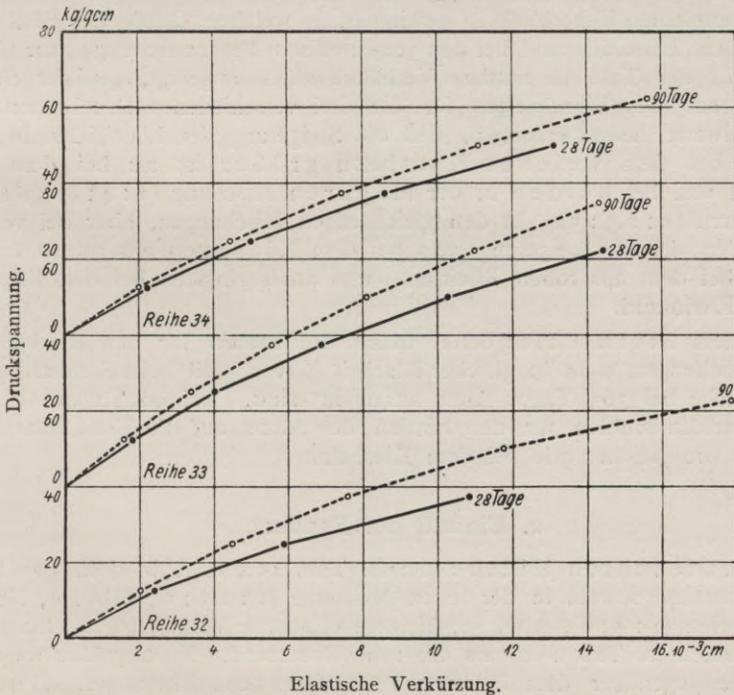


Abb. 16. Verlauf der elastischen Verkürzung mit wachsender Belastung.
 8. Weicher Steinschlagbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 4 Steinschlag.
 Reihe 32 = ungewaschener Isarsand, 33 = ungewaschener Rheinsand, 34 = entfeyter Rheinsand.

regelmäßigen Verlauf der Schaulinien ergaben. Die Beobachtungen für die 28 Tagesproben bei Reihe 13 (Tab. 2a) und für die 90 Tagesproben bei Reihe 15 (Tab. 4a) begannen mit 2000 kg Anfangsbelastung, die für diese Reihen in Tab. 10a angegebenen Werte sind daher ebenfalls durch Interpolation gewonnen. In Tab. 10a sind alle interpolierten Werte durch eckige Klammern gekennzeichnet. Sie stimmen mit den aus den Beobachtungen errechneten Mittelwerten, Tab. 2a und 4a, nicht überein.

Die Schaulinien Abb. 9—16 sind ausnahmslos gegen die Dehnungsachse des Koordinatensystems gekrümmt. Hieraus folgt, daß die elastischen Verkürzungen den Belastungen nicht proportional sind, sondern schneller anwachsen als die Belastungen. Die Elastizitätszahlen (s. Tab. 11a und 11b) nehmen dementsprechend mit wachsender Belastung ab.

1. Einfluß des Alters.

Aus der Lage der Schaulinien derselben Reihe (mit demselben Nullpunkt), die immer dem Beton von gleicher Zusammensetzung aber von verschiedenem Alter angehören, ergibt sich, daß die elastische Höhenverminderung für gleiche Spannungen mit wachsendem Alter des Betons abnimmt. Die Elastizitätszahl für gleiche Spannungsgrenzen nimmt also bei demselben Material mit wachsendem Alter zu.

In Tab. 16 sind die Verhältniswerte für die mittleren Elastizitätszahlen der einzelnen Mischungen bei 90 und 365 Tagen Alter zu denjenigen bei 28 Tagen Alter, diese gleich 100 gesetzt, gegenübergestellt. Für den Steinschlagbeton zeigen diese Werte, daß die Zunahme der Elastizitätszahl durch Altern des Betons umsomehr hervortritt, je größer die Druckbeanspruchung ist. Bei dem Kiesbeton tritt dieser Einfluß der Belastungsgröße nicht gesetzmäßig zutage.

Um nun einen Ueberblick zu gewinnen, in welchem Grade der Einfluß des Alters auf die Elastizitätszahl bei den verschiedenen Betonmischungen zur Geltung kommt, sind der Tab. 16 mittlere Verhältniszahlen angefügt, gebildet für dasselbe Alter aus den Einzelwerten für die drei verschiedenen Druckspannungen. Diese Mittelwerte lassen erkennen, daß die Steigerung der Elastizitätszahl durch das Altern bei dem weichen Kiesbeton größer ist als bei dem erdfeuchten und bei beiden in der mageren Mischung (1:4:8) größer als in der fetteren (1:2,5:5). In den gleichartigen Mischungen, aber bei verschiedenen Sanden, ist die Steigerung stets bei dem Kiesbeton aus rohem Isarsand größer als bei dem aus rohem Rheinsand und am geringsten bei dem Beton aus entfeyntem Rheinsand.

Bei dem Steinschlagbeton treten die soeben für den Kiesbeton erörterten Beziehungen nicht in gleicher Klarheit hervor, weil beim Steinschlagbeton keine Versuche bei 365 Tagen Alter ausgeführt sind. Bei 90 Tagen Alter sind aber die Verhältniszahlen für den Einfluß des Alters auf die Elastizitätszahl im allgemeinen die gleichen wie bei dem Kiesbeton.

2. Einfluß der Sandart.

Im erdfeuchten Kiesbeton (s. Tab. 10a u. Abb. 9 u. 10) lieferte der rohe Isarsand sowohl in der festen Mischung (1:2,5:5), Abb. 9, als auch in der mageren (1:4:8), Abb. 10, kleinere elastische Verkürzungen, also größere Elastizitätszahlen (s. Tab. 11a) als der rohe Rheinsand. Noch größer waren die Unterschiede gegenüber dem Beton aus entfeyntem Rheinsand. Durch das Entfeinen waren also die an sich schon größeren elastischen Formänderungen des Betons aus Rheinsand noch weiter gesteigert.

Beim weichen Kiesbeton (s. Tab. 10a und Abb. 11 u. 12) macht sich der unter 1. besprochene Umstand geltend, daß die elastischen Formänderungen bei dem Beton aus rohem Isarsand mit wachsendem Alter stärker abnehmen als bei dem Beton aus rohem und entfeytem Rheinsand. Die Folge hiervon ist, daß auch der weiche Kiesbeton aus Isarsand, wie der erdfeuchte, bei höherem Alter, kleinere elastische Verkürzungen lieferte als der Beton aus Rheinsand, während bei 28 Tagen Alter die elastischen Formänderungen des Betons aus Isarsand die größeren waren. Diese Erscheinung tritt bei der fetten Mischung schon bei 90 Tagen Alter zu Tage, bei der mageren Mischung dagegen erst bei 365 Tagen Alter.

Beim Steinschlagbeton (Tab. 10b) wechselt die Reihenfolge der Sande beim Einordnen nach wachsenden elastischen Formänderungen. Im erdfeuchten Beton lieferte wieder der entfeyte Rheinsand, im weichen Beton dagegen der rohe Isarsand die größten Formänderungen und zwar gilt dies in beiden Fällen sowohl für die fette als auch für die magere Mischung. Die kleinsten Formänderungen bei 28 Tagen Alter wurden für alle Mischungen mit dem rohen Rheinsand erhalten. Dieser Sand steht also beim Einordnen nach wachsenden Formänderungen bei 28 Tagen Alter an erster Stelle. Er bewahrt diesen Platz bei dem fetten erdfeuchten und mageren weichen Beton auch bei 90 Tagen Alter; dagegen tritt er nach 90 Tagen bei dem mageren erdfeuchten und fetten weichen Beton infolge schnelleren Erhärtens des Betons aus den anderen Sanden an zweite Stelle.

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Die Werte Tab. 17 für das Verhältnis der Elastizitätszahl des mageren Betons (1:4:8) zu der des fetten (1:2,5:5) aus demselben Sande, Kies und Steinschlag sowie die hiernach aufgetragenen Schaulinien, Abb. 17, lassen erkennen, daß der magere Beton in allen untersuchten Mischungen kleinere Elastizitätszahlen (Verhältniszahlen liegen unter 100), also größere elastische Formänderungen aufweist als der fettere Beton. Der Unterschied wächst in derselben Reihe (oder bei demselben Körper) ausnahmslos mit zunehmender Druckbeanspruchung, nimmt beim Kiesbeton (anscheinend auch beim Steinschlagbeton) mit wachsendem Alter ab und ist im allgemeinen beim weichen Beton größer als beim erdfeuchten.

4. Einfluß des erhöhten Wasserzusatzes.

Nach den in Tab. 18 gegebenen Verhältniswerten für die Elastizitätszahl des weichen Betons zu der des erdfeuchten, die letzteren bei der Berechnung gleich 100 gesetzt, äußerte sich der vermehrte Wasserzusatz auf die Elastizitätszahl des Betons bei den drei Sanden und den beiden Magerungsgraden des Betons, sowie bei dessen zunehmendem Alter verschieden.

Beim Kiesbeton aus ungewaschenem Isarsand und ungewaschenem Rheinsand war die Elastizitätszahl für die fette Mischung (1:2,5:5) bei 28 Tagen Alter bei dem weichen Material geringer als bei dem erdfeuchten; mit wachsendem Alter nahm der Unterschied aber ab und zwar derart, daß der Beton aus Rheinsand schon nach 90 Tagen in beiden Zuständen (erdfeucht und weich) die gleiche Elastizitätszahl aufweist und letztere nach 365 Tagen bei beiden Sanden für das weiche Material sogar die größere ist. Bei dem mageren Kiesbeton (1:4:8) aus den beiden rohen Sanden bleibt die Elastizitätszahl des weichen Materials bis zu 365 Tagen Alter hinter dem des erdfeuchten zurück.

Bei dem Kiesbeton aus entfeytem Rheinsand ist die Elastizitätszahl des weichen Materials sowohl in der fetten als auch in der mageren Mischung schon bei 28 Tagen Alter größer als die des erdfeuchten.

Beim Steinschlagbeton liegen die Verhältnisse innerhalb der gegebenen Beobachtungsdauer von 90 Tagen etwas anders als für den Kiesbeton soeben erörtert ist. Der Einfluß zunehmenden Alters macht sich beim Steinschlagbeton kaum bemerkbar und die Steigerung der Elastizitätszahl mit vermehrtem Wasserzusatz tritt beim Kiesbeton besonders an der fetteren Mischung, beim Steinschlagbeton dagegen mehr an der mageren Mischung zu Tage.

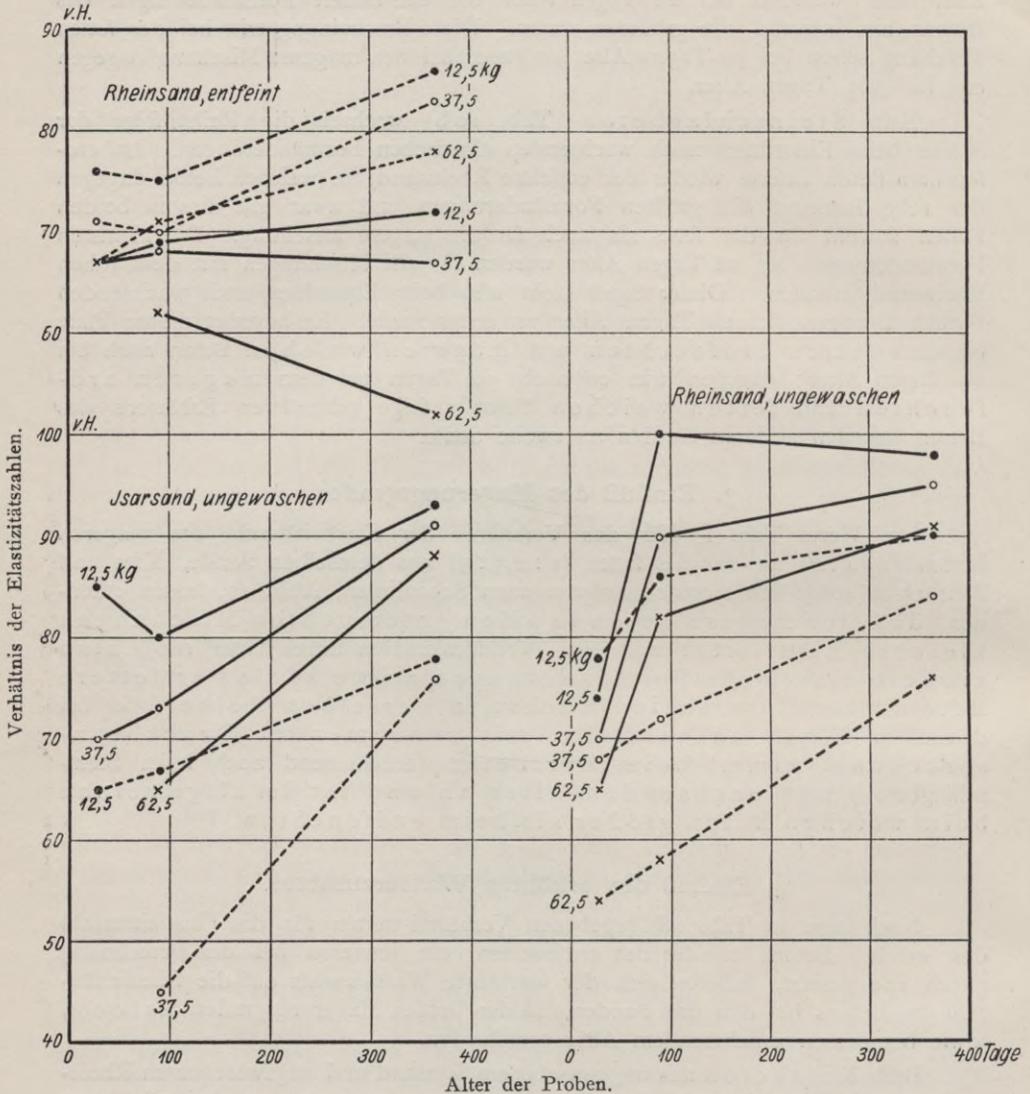


Abb. 17. Verhältnis der Elastizitätszahl des mageren (1:4:8) Betons zu der des fetten (1:2,5:5) bei zunehmendem Alter. (S. Tabelle 17.)

— erdfeuchter Beton; - - - - - weicher Beton.

Die einzelnen Linien gelten für die an ihren Enden angegebenen Druckspannungen in kg/qcm.

In Tab. 19 a und 19 b sind schließlich noch die Mittelwerte für die Gesamtverkürzungen mit wachsender Belastung gegenübergestellt. Ein Vergleich dieser Werte mit denen aus Tab. 10 a und 10 b zeigt ohne weiteres, daß die aus den letzteren für die elastischen Verkürzungen oder Elastizitätszahlen abgeleiteten Schlußfolgerungen hinsichtlich der Einflüsse des Alters, der Sandart, des Magerungsgrades und des Wasserzusatzes sinngemäß auch für die Gesamtformänderungen gelten.

Tabelle 1.

Zusammensetzung des Betons für die Druckproben.

Mischung	Reihe Nr.	Art des Betons		Zusammensetzung des Betons: auf 1 Gewichtsteil Zement enthaltend Teile					Wasserzusatz %	Altersstufen		
				Sand			Kies	Stein- schlag		Anzahl	Parallel- versuche	
				Isar	Rhein							
				unge- waschen	unge- waschen	entfeint						
I	11	Kies	erd- feucht	2,5			5		7,0	3	2	
II	12				2,5			5				6,0
III	13					2,5		5				4,5
Ia	14			4				8				6,5
IIa	15				4			8				5,5
IIIa	16					4		8				4,0
IV	11		weich		2,5			5		8,5		
V	12				2,5			5		7,5		
VI	13					2,5		5		6,0		
IVa	14			4				8		8,0		
Va	15				4			8		6,8		
VIa	16					4		8		5,3		
I	29		Stein- schlag	erd- feucht	2,5				5	7,7	2	3
II	30					2,5			5	6,2		
III	31						2,5		5	5,2		
Ia	32				4				8	7,5		
IIa	33				4			8	5,5			
IIIa	34					4		8	5,0			
IV	29	weich			2,5			5	9,5			
V	30				2,5			5	8,2			
VI	31					2,5		5	7,5			
IVa	32			4				8	9,3			
Va	33				4			8	7,0			
VIa	34					4		8	6,8			

Tabelle 2.
Gesamte und bleibende Verkürzungen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.

Material: Erdfeuchter Kieselbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies in Gewichtsteilen.

Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ qcm; Länge = 100 cm; Meßlänge = 40 cm.

Versuchsreihe	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Bruchspannung kg/qcm	Gesamt-Verkürzungen in $cm \cdot 10^{-5}$ bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm							Bleibende Verkürzungen in $cm \cdot 10^{-5}$ bei den Belastungen P und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm														
	Nr.	Art					Wasserzusatz o/o	Zustand	Nr.	qcm	kg	kg/qcm	Gesamt-Verkürzungen in $cm \cdot 10^{-5}$ bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm							Bleibende Verkürzungen in $cm \cdot 10^{-5}$ bei den Belastungen P und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm								
													10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	
I	II	Isar	7,0	ungewaschen	Mittel	3	400	95,2	149	168	336	515	707	896	1109	1408	1722	4	10	23	35	48	71	129	228			
						6	404	96,5	96	178	351	568	792	1013	1289	1632	2090	10	20	46	80	104	159	228	372			
						Mittel	402	95,9	122,5	173	344	542	750	955	1199	1520	1906	7	15	35	58	76	115	179	300			
						2	404	97,6	162	137	275	417	561	724	883	—	—	8	14	19	17	23	21	—	—			
						5	(408)	(90,0)	134	(268)	(428)	(595)	(769)	(931)	(1155)	—	—	(-11)	(-14)	(-6)	(+8)	(+4)	(2)	(23)	—	—		
						Mittel	404	97,6	148,0	[137]	[275]	[417]	[561]	[724]	[883]	—	—	[8]	[14]	[19]	[17]	[23]	[21]	—	—			
						1	395	97,5	188	126	235	390	532	678	829	1004	—	—	1	3	6	8	12	19	30	—	—	
						4	404	96,9	157	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						Mittel	400	97,2	172,5	[126]	[235]	[390]	[532]	[678]	[829]	[1004]	—	—	[1]	[3]	[6]	[8]	[12]	[19]	[30]	—	—	
						II	12	Rh ein	6,0	ungewaschen	Mittel	5	412	98,0	121	175	345	—	731	902	1190	1495	1785	2	12	37	50	84
8	412	97,6	147	176	348							537	737	953	1195	1450	1761	3	22	2	—	—	—	—	—	—	—	
Mittel	412	97,8	134,0	176	347							537	734	958	1193	1473	1773	3	17	20	41	70	106	150	210	38	45	
4	413	94,6	165	170	350							552	754	982	1234	1511	1796	2	12	37	50	84	136	188	246			
7	420	97,5	151	167	354							501	719	931	1136	1386	1681	4	22	2	31	55	75	111	173			
Mittel	417	96,1	158,0	169	352							527	737	957	1185	1449	1739	3	17	20	41	70	106	150	210			
1	414	96,0	175	151	313							493	674	868	1092	1303	1548	—	2	12	37	50	84	136	188	246		
3	(423)	(99,2)	207	(128)	(216)							(361)	(521)	(711)	(852)	(1032)	(1179)	(+1)	(-47)	(-40)	(-34)	(-17)	(-8)	(-34)	—	—		
6	426	98,3	179	133	277							428	581	752	924	1117	1304	(+1)	+5	13	16	25	29	46	52	—	—	
Mittel	420	97,2	187,0	142	295							461	628	810	1008	1210	1426	0	3	7	8	16	27	34	45	—	—	
III	13	Rh ein	4,5	entleert	Mittel	3	408	90,6	132	82	277	496	723	973	1233	1598	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
						6	409	92,7	140	89	285	502	704	1037	1336	1653	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
						Mittel	409	91,7	136,0	[86]	[281]	[499]	[744]	[1005]	[1285]	[1626]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
						2	(408)	(91,6)	161	(119)	(299)	(503)	(706)	(945)	(1206)	(1500)	(1841)	(-34)	(-45)	(-47)	(-39)	(-20)	(-5)	(+22)	(90)	—	—	
						5	399	91,9	132	162	332	520	722	930	1146	1372	1624	4	12	22	37	53	67	87	112	—	—	
						Mittel	399	91,9	146,5	162	332	520	722	930	1146	1372	1624	4	12	22	37	53	67	87	112	—	—	
						1	410	95,0	200	130	266	409	562	721	888	1052	1246	0	—	2	10	15	18	29	—	—		
						4	408	91,0	163	168	348	533	748	961	1193	1440	1694	0	3	4	8	11	27	43	72	—	—	
						Mittel	409	93,0	181,5	149	307	471	655	841	1041	1246	1470	0	1	3	5	11	21	31	51	—	—	

1) Letzte Beobachtung nach dem wiederholten Belasten. Die Werte in kleinerem Satz waren bei den letzten Lastwechseln nicht mehr konstant, sondern wuchsen bei wiederholtem Belasten an.

2) Dehnungsmessungen unzuverlässig; anscheinend haben Meßapparate nicht sicher gemessen.

3) Die Proben 3 und 6 aus Reihe III sind mit 2000 kg Anfangslast durchgeführt; die Werte für die Verkürzungen sind daher mit denen aus den anderen Versuchen nicht vergleichbar.

4) Werte von der Mittelbildung ausgeschlossen, da fehlerhafte Anzeigen der Verkürzungen unverkennbar.

Tabelle 2 a.

Elastische Verkürzungen und Elastizitätszahlen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.

Material: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies in Gewichtsteilen.
Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Zetchn	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probe Nr.	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Elastische Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-5} bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen						Elastizitätszahlen E in kg/qcm $\cdot 10^8$ bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen σ in kg/qcm																	
		aus Sand	mit Wasserzuzatz %					25000		30000		35000		40000		5000		10000		15000		20000		25000		30000		35000		40000	
								Art	Zustand	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$	$\sigma = 12,5$				
I	II	Isar	ungewaschen	7,0	28	3	400	95,2	164	326	492	672	848	1041	1283	1486	305	307	305	298	295	288	288	273	269	269	269	269			
						6	404	96,5	168	332	522	716	912	1135	1401	1716	295	299	285	277	272	262	262	248	231	231	231	231	231	231	
						Mittel	402	95,9	166	329	507	694	880	1088	1342	1601	300	303	295	288	284	275	262	262	248	231	231	231	231	231	231
						2	404	97,6	128	261	397	544	701	856	—	—	386	379	374	365	354	347	—	—	—	—	—	—	—	—	—
II	II	Isar	ungewaschen	90	5	408	90,0	140	282	435	588	763	928	1133	—	—	350	348	338	334	321	316	303	—	—	—	—	—			
					5	408	90,0	140	282	435	588	763	928	1133	—	—	350	348	338	334	321	316	303	—	—	—	—	—	—	—	
					Mittel	404	97,6	128	261	397	544	701	856	—	—	386	379	374	365	354	347	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					1	395	97,5	125	253	384	524	666	811	975	—	—	404	400	396	386	380	375	363	—	—	—	—	—	—	—	—
III	III	Rhein	ungewaschen	6,0	4	412	98,0	171	341	490	727	934	1142	1443	1664	—	—	284	285	278	267	260	255	240	233	233	233	233			
					8	412	97,6	178	350	540	743	950	1185	1423	1680	—	—	273	277	269	261	255	246	239	231	231	231	231	231		
					Mittel	412	97,8	175	346	515	735	942	1164	1438	1672	—	—	278	281	274	264	258	250	240	232	232	232	232	232	232	
					4	413	94,6	169	338	514	705	897	1103	1324	1552	—	—	287	287	282	275	270	263	256	250	250	250	250	250	250	
III	III	Rhein	entleert	4,5	7	420	97,5	164	332	499	688	—	1060	1279	1492	—	—	290	287	286	277	273	270	261	255	255	255				
					Mittel	417	96,1	167	335	507	697	897	1082	1302	1522	—	—	289	287	284	276	272	267	267	259	253	253	253			
					1	414	96,0	153	312	492	673	861	1067	1283	1501	—	—	316	310	295	287	281	272	264	248	248	248	248			
					3	423	99,2	127	263	401	555	742	870	1040	1221	—	—	373	360	354	341	319	326	318	309	309	309	309			
III	III	Rhein	entleert	4,5	6	426	98,3	133	273	415	565	728	895	1072	1250	—	—	355	344	340	333	323	315	307	301	301	301				
					Mittel	420	97,2	143	293	454	619	795	982	1178	1376	—	—	336	327	318	310	302	294	286	275	275	275				
					3	408	90,6	94	275	474	680	904	1130	1397	—	—	307	307	268	260	250	244	232	—	—	—	—				
					6	409	92,7	98	280	474	680	896	1124	1356	—	—	293	279	268	259	251	243	240	—	—	—	—				
III	III	Rhein	entleert	4,5	Mittel	409	91,7	96	278	474	680	900	1127	1377	—	—	300	293	268	260	251	244	236	—	—	—					
					2	408	91,6	152	342	545	748	966	1211	1476	1748	—	—	322	287	270	262	254	243	233	225	225					
					5	399	91,9	158	320	497	685	877	1078	1281	1506	—	—	318	313	302	293	286	279	274	266	266					
					Mittel	399	91,9	158	320	497	685	877	1078	1281	1506	—	—	318	313	302	293	286	279	274	266	266					
III	III	Rhein	entleert	4,5	1	410	95,0	130	267	408	561	711	872	1034	1212	—	—	375	365	359	348	343	335	330	322	322					
					4	408	91,0	168	345	530	740	950	1166	1398	1620	—	—	291	284	277	265	258	245	241	241	241					
					Mittel	409	93,0	149	306	469	651	831	1019	1216	1416	—	—	333	325	318	307	301	294	288	288	288					
					1	410	95,0	130	267	408	561	711	872	1034	1212	—	—	375	365	359	348	343	335	330	322	322					

1) Mittel aus den beim wiederholten Lastwechsel als gleichbleibend erachteten Beobachtungswerten.

2) Dehnungsmessungen unzuverlässig; anscheinend haben Meßapparate nicht sicher geseesen.

3) Die Proben 3 und 6 aus Reihe III sind mit 2000 kg Anfangslast durchgeführt; die Werte für die Verkürzungen sind daher mit denen aus den übrigen Versuchen nicht vergleichbar.

4) Werte von der Mittelbildung ausgeschlossen, da fehlerhafte Anzeigen der Verkürzungen unverkennbar.

Tabelle 3.
Gesamte und bleibende Verkürzungen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.

Material: Weicher Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies in Gewichtsteilen.

Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Zeilchen	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probe Nr.	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Bruchspannung kg/qcm	Gesamt-Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-5} bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen σ in kg/qcm						Bleibende Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-5} bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen σ in kg/qcm											
		aus Sand	mit Wasserzusatzz						0/10	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000		
IV	II	Isar	Zu-stand	8,5	Mittel	408	97,2	135	(418)	(883)	(1359)	(1831)	(2317)	(3124)	(373,1)	(16)	(49)	(120)	(235)	(372)	(708)	—	—			
									185	366	565	788	1021	1300	1507	1771	10	26	50	84	119	181	—	—		
									[185]	[366]	[565]	[788]	[1021]	[1300]	[1507]	[1771]	[10]	[26]	[50]	[84]	[119]	[181]	—	—		
									133	290	464	637	852	1117	1447	1825	0	5	20	31	57	99	175	281		
V	I2	Rhein	Zu-stand	7,5	Mittel	406	96,4	125,0	140	294	464	649	830	1014	1222	3	11	29	55	66	76	82	159			
									140	292	464	643	841	1066	1335	1667	2	8	25	43	62	88	129	220		
									104	235	375	528	687	885	1103	1370	—	5	0	5	8	27	39	71		
									113	246	380	516	664	809	963	1133	—	10	1	3	8	16	17	23	32	
VI	I3	entleint	6,0	Mittel	403	97,8	178,0	109	241	378	522	676	847	1033	1252	—	8	—	—	—	—	—	—			
									207	422	680	963	1258	1652	208	—	7	16	42	76	115	191	—	—		
									193	396	630	888	1139	1443	1834	2111	2	11	28	56	82	124	197	—	—	
									200	409	655	926	1199	1548	1957	2111	5	14	35	66	99	158	197	—	—	
VII	I1	Zu-stand	7,5	Mittel	406	97,0	170	190	371	575	789	1028	1265	1576	1788	16	28	51	74	109	131	206	—			
									196	370	565	770	984	1207	1453	1644	19	30	47	62	90	119	146	—	—	
									193	371	570	780	1006	1236	1515	1716	18	29	49	68	100	125	176	—	—	
									132	284	454	628	843	1051	1288	1547	—	4	0	9	13	35	53	77	110	
VIII	I3	entleint	6,0	Mittel	407	97,8	180,5	134	282	445	613	801	995	1205	1428	—	2	3	7	9	24	35	47			
									181	363	570	800	1009	1232	1459	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									116	295	479	681	867	1088	1355	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
									149	329	525	741	938	1160	1407	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
IX	I3	entleint	6,0	Mittel	409	96,7	200	157	321	505	711	914	1084	1350	1600	10	20	40	69	88	101	155	194			
									157	329	517	703	904	1123	1340	1561	4	12	28	40	58	84	105	125		
									157	329	517	703	904	1123	1340	1561	4	12	28	40	58	84	105	125		
									157	325	511	707	909	1104	1345	1581	7	16	34	55	73	93	130	160		
X	I3	entleint	6,0	Mittel	404	92,3	226	141	296	465	637	833	1008	1207	1407	1	7	15	23	37	39	55	69			
									134	276	435	597	762	940	1120	1320	0	5	14	25	29	43	53	64		
									138	286	450	617	798	974	1163	1364	1	6	14	24	33	41	54	67		
									138	286	450	617	798	974	1163	1364	1	6	14	24	33	41	54	67		

¹⁾ Letzte Beobachtung nach dem wiederholten Belasten. Die Werte in kleinerem Satz waren bei den letzten Lastwechseln nicht mehr konstant, sondern wuchsen bei wiederholtem Belasten an.

Tabelle 3a.
Elastische Verkürzungen und Elastizitätszahlen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.

Material: Weicher Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies in Gewichtsteilen.
Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Zeichen	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probe	Querschnitt	Gewicht	Elastische Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-5} bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm					Elastizitätszahlen E in kg/qcm $\cdot 10^3$ bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm																		
		aus Sand	Zu-stand					mit Wasser-zusatz %	Nr.	qcm	kg	$P = 5000$ $\sigma = 12,5$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	$P = 5000$ $\sigma = 12,5$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000				
IV	I 11	Isar	ungewaschen	8,5	3 6 Mittel	406 408 407	97,5 97,2 97,4	(402)	(834)	(1238)	(1599)	(1948)	(2419)	—	—	—	(122)	(118)	(119)	(123)	(126)	(122)	—	—	—	—					
								174	341	516	704	890	1127	—	—	—	281	288	285	279	273	261	—	—	—	—	—	—	—		
								[174]	[341]	[516]	[704]	[890]	[1127]	—	—	—	[281]	[288]	[285]	[279]	[273]	[261]	—	—	—	—	—	—	—	—	—
								139	285	445	606	796	1016	1274	1565	—	352	344	330	323	308	289	269	950	—	—	—	—	—	—	—
V	I 12	Rh ein	ungewaschen	7,5	1 4 Mittel	396 410 403	95,7 99,9 96,4	109	239	375	523	679	859	1064	1298	—	464	423	404	387	372	353	333	312	—	—					
								191	386	601	832	1059	1321	1641	—	260	257	247	238	234	225	211	—	—	—	—	—	—			
								[191]	[386]	[601]	[832]	[1059]	[1321]	[1641]	—	[260]	[257]	[247]	[238]	[234]	[225]	[211]	—	—	—	—	—	—	—	—	
								175	343	524	716	919	1130	1375	—	282	287	282	275	268	261	251	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VI	I 13	Rh ein	entfrent	6,0	3 6 Mittel	409 401 405	94,3 93,4 93,9	177	350	537	733	930	1125	1316	—	278	280	274	267	263	261	260	—	—	—	—					
								184	332	552	763	993	1183	1422	—	271	301	271	262	259	253	246	—	—	—	—	—	—			
								[184]	[332]	[552]	[763]	[993]	[1183]	[1422]	—	[271]	[301]	[271]	[262]	[259]	[253]	[246]	—	—	—	—	—	—	—	—	
								147	301	466	638	822	983	1186	1390	—	333	325	315	307	297	290	289	281	—	—	—	—	—	—	—
VI	I 13	entfrent	6,0	3 6 Mittel	409 401 405	94,3 93,4 93,9	153	318	489	664	846	1038	1234	1429	—	324	312	304	298	293	286	281	277	—	—	—					
							150	310	478	651	841	1011	1210	1410	—	329	319	310	303	295	293	285	279	—	—	—	—				
							[150]	[310]	[478]	[651]	[841]	[1011]	[1210]	[1410]	—	[329]	[319]	[310]	[303]	[295]	[293]	[285]	[279]	—	—	—	—	—	—		
							140	290	450	614	794	968	1153	1338	—	353	341	330	322	312	307	300	296	—	—	—	—	—	—		
VI	I 13	entfrent	6,0	3 6 Mittel	409 401 405	94,3 93,4 93,9	132	271	420	572	733	898	1067	1258	—	374	365	353	346	337	331	324	315	—	—	—					
							136	281	435	593	764	933	1110	1298	—	364	353	342	334	325	319	312	306	—	—	—	—				
							[136]	[281]	[435]	[593]	[764]	[933]	[1110]	[1298]	—	[364]	[353]	[342]	[334]	[325]	[319]	[312]	[306]	—	—	—	—	—	—		
							140	290	450	614	794	968	1153	1338	—	353	341	330	322	312	307	300	296	—	—	—	—	—	—		

¹⁾ Mittel aus den beim wiederholten Lastwechsel als gleichbleibend erachteten Beobachtungswerten.

Tabelle 4.
Gesamte und bleibende Verkürzungen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.
 Material: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies in Gewichtsteilen.
 Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probekörper Nr.	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Bruchspannung kg/qcm	Gesamt-Verkürzungen ¹⁾ in 10^{-6} bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm						Bleibende Verkürzungen ¹⁾ in 10^{-6} bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm														
	aus Sand	mit Wasserzusatz $\frac{\text{‰}}{10}$						10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000						
Zeichen	Art	Zustand						$P = 5000$ $\sigma = 12,5$	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0		$P = 5000$ $\sigma = 12,5$	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0				
Ia	I4	Isar	6,5	28	3	414	98,0	62	199	443	794	1271	1738	—	—	—	5	28	101	246	372	—	—	—	—	—		
					6	394	97,3	76	195	446	823	1406	—	—	—	—	—	—	1	25	105	279	—	—	—	—	—	
					Mittel	404	97,7	69,1	197	445	809	1339	[1738]	—	—	—	—	—	3	27	103	263	[372]	—	—	—	—	—
					2	410	100,1	86	153	321	519	1063	1587	2037	—	—	—	—	0	2	8	23	74	217	344	—	—	—
					5	404	98,0	89	170	374	635	1455	1885	—	—	—	—	—	5	21	61	132	280	387	—	—	—	—
					Mittel	407	99,1	87,5	162	348	577	865	1239	1721	[2037]	—	—	—	3	12	35	78	177	302	[344]	—	—	—
IIa	I5	ungewaschen	5,5	365	1	401	98,5	140	132	270	413	583	765	904	1208	1477	1	3	7	16	27	40	72	109	—			
					4	405	97,5	103	134	276	432	599	783	841	1090	1244	—	—	5	13	27	+44	-95	-80	—	—		
					Mittel	403	98,0	121,5	133	273	423	591	774	903	1149	1361	—	—	0	4	10	22	36	-28	+8	+15	—	
					7	409	—	71	275	604	1039	1536	1960	—	—	—	—	—	19	55	135	243	—	—	—	—	—	
					3	409	93,0	82	227	462	688	1034	1488	2069	—	—	—	—	8	19	23	68	216	453	—	—	—	
					Mittel	409	[93,0]	76,5	251	533	864	1285	1724	[2069]	—	—	—	—	14	37	79	156	[216]	[453]	—	—	—	—
IIIa	I6	Rhein	4,0	28	2	413	94,9	127	182	379	621	875	1162	1437	1674	2025	—	0	28	50	92	126	—	—	—			
					4 ²⁾	410	(94,2)	102	(115)	(324)	(574)	(819)	(1124)	(1473)	(1860)	—	—	—	—	—	+20	+45	86	117	172	252	337	
					6 ²⁾	411	92,1	85	(83)	(537)	(831)	(1173)	(1604)	(2081)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
					Mittel	411	93,7	104,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					1	416	96,7	158	148	316	515	730	950	1231	1560	1932	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
					5	408	92,5	127	146	308	489	691	907	1109	1355	1674	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
IIIa	I6	entleert	4,0	365	Mittel	412	94,6	142,5	147	312	522	711	929	1170	1438	1893	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					3	400	90,0	86	238	519	810	1161	1531	1881	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
					6	406	87,7	55	274	580	1060	1582	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
					Mittel	403	88,9	70,5	256	550	935	1372	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
					2	402	87,0	53	242	537	802	1145	1609	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
					5	403	90,5	87	230	488	802	1145	1609	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
IIIa	I6	entleert	4,0	365	Mittel	403	88,8	70,0	236	513	[802]	[1145]	[1609]	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					1	402	90,4	67	238	511	850	1343	1830	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					4	402	89,5	78	203	425	667	945	1275	1638	2146	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					Mittel	402	90,0	72,5	221	468	759	1144	1593	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					2	402	87,0	53	242	537	802	1145	1609	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					5	403	90,5	87	230	488	802	1145	1609	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				

¹⁾ Letzte Beobachtung nach dem wiederholten Belasten. Die Werte in kleinerem Satz waren bei den letzteren Lastwechseln nicht mehr konstant, sondern wuchsen bei wiederholtem Belasten an.

²⁾ Die Proben 4 und 6 aus Reihe IIa sind mit 2000 kg Anfangslast durchgeführt; die Werte für die Verkürzungen sind daher mit denen aus den übrigen Versuchen nicht vergleichbar und von der Mittelbildung ausgeschlossen.

Tabelle 4 a.
Elastische Verkürzungen und Elastizitätszahlen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.

Material: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies in Gewichtsteilen.
Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Zeichen	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probe	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Elastische Verkürzungen ¹⁾ in $cm \cdot 10^{-6}$ bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm				Elastizitätszahlen E in kg/qcm $\cdot 10^8$ bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm																
		aus Sand	mit Wasserzusatz $\%_{10}$					$P = 5000$ $-\sigma = 12,5$	10000	20000	25000	30000	35000	40000	$P = 5000$ $-\sigma = 12,5$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000						
Ia	14	I	Sa	6,5	Mittel	404	97,7	194	415	602	1036	—	—	—	250	233	210	187	—	—	—							
								194	421	746	1133	—	—	—	262	241	204	179	—	—	—	—	—	—				
								194	418	719	1085	—	—	—	256	237	207	183	—	—	—	—	—	—	—			
								153	319	511	736	993	1350	—	320	307	287	265	—	—	—	320	307	287	265	246	217	
								105	353	573	838	1173	—	—	200	280	259	236	—	—	—	200	280	259	236	211	—	
								159	336	542	787	1083	—	—	310	294	273	251	—	—	—	310	294	273	251	229	—	
IIa	15	I	Sa	5,5	Mittel	403	98,0	132	269	413	570	739	930	1142	1347	376	359	351	349	336	321	304	292					
								134	271	419	573	739	937	1147	1326	368	364	354	345	334	316	301	298	—	—	—		
								130	267	407	567	739	923	1137	1367	384	374	368	352	338	325	307	292	—	—	—	—	
								257	546	896	1285	—	—	—	190	179	164	152	—	—	—	190	179	164	152	—	—	—
								219	443	665	965	1257	1610	—	223	206	220	203	—	—	—	223	206	220	203	194	182	—
								238	495	781	1124	—	—	—	207	193	192	178	—	—	—	207	193	192	178	—	—	—
IIIa	16	I	Rh	4,0	Mittel	403	88,9	148	307	482	675	885	1119	1373	1671	330	316	303	288	275	262	249	234					
								151	316	499	701	916	1174	1465	1787	319	304	289	274	262	246	230	215	—	—	—		
								144	298	465	649	853	1063	1281	1554	340	328	316	302	287	277	268	252	—	—	—	—	
								231	478	742	1049	1369	—	—	216	210	202	191	—	—	—	216	210	202	191	183	—	—
								270	554	932	1397	—	—	—	176	176	166	141	—	—	—	176	176	166	141	—	—	—
								251	516	837	1223	—	—	—	196	193	181	166	—	—	—	196	193	181	166	—	—	—
IIIa	16	I	Rh	4,0	Mittel	403	90,5	241	522	—	—	—	—	—	207	191	—	—	—	—	—	—						
								213	455	733	1028	1399	—	—	233	218	206	193	177	—	—	—	—	—	—	—		
								227	489	—	—	—	—	—	220	205	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
								491	804	1245	1850	—	—	—	214	203	186	170	—	—	—	214	203	186	170	160	150	140
								392	617	870	1156	1481	—	—	266	254	242	229	—	—	—	266	254	242	229	215	202	—
								442	711	1058	1483	—	—	—	240	229	214	195	—	—	—	240	229	214	195	187	171	161

¹⁾ Mittel aus den beim wiederholten Lastwechsel als gleichbleibend erachteten Beobachtungswerten.
²⁾ Die Proben 4 und 6 aus Reihe IIa sind mit 2000 kg Anfangslast durchgeführt; die Werte für die Verkürzungen sind daher mit denen aus den übrigen Versuchen nicht vergleichbar und von der Mittelbildung ausgeschlossen.

Tabelle 5.
Gesamte und bleibende Verkürzungen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.
 Material: Weicher Kies-Beton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies in Gewichtsteilen.
 Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Beton hergestellt		Alter bei Prüfung in Tagen	Probegröße	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Bruchspannung kg/qcm	Gesamt-Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-6} bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen σ in kg/qcm					Bleibende Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-6} bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen σ in kg/qcm												
	Art	Zustand						Wasserzusatz %	Nr.	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000
IVa	Isar	ungewaschen	8,0	3	402	95,0	47	268	801	1468	—	—	—	—	13	138	323	—	—	—	—	—	—	—	
				6	411	94,6	38	283	1069	4927	—	—	—	—	—	17	224	—	—	—	—	—	—	—	—
				Mittel	407	94,8	42,5	283	935	3198	—	—	—	—	—	15	182	—	—	—	—	—	—	—	—
IVa	Isar	ungewaschen	8,0	2	408	97,2	58	193	492	1074	1860	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				5	408	93,0	50	210	536	1231	2045	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				Mittel	408	95,1	54,0	202	514	1153	1933	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
IVa	Isar	ungewaschen	8,0	1	413	98,0	97	144	302	480	715	1045	1455	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				4	396	95,0	91	148	312	503	778	1173	1989	2808	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Mittel	405	96,5	94,0	146	307	492	747	1109	1722	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
IVa	Isar	ungewaschen	8,0	3	401	92,6	69	279	615	1133	2002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				6	407	93,7	73	249	554	973	1593	2080	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Mittel	404	93,2	71,0	264	585	1053	1798	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Va	Rhein	ungewaschen	6,8	2	406	94,7	79	229	512	934	1566	2810	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				5	406	95,5	80	167	364	620	936	1313	1853	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Mittel	406	95,1	79,5	198	438	777	1251	2062	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Va	Rhein	ungewaschen	6,8	1	403	93,0	96	159	345	571	845	1203	1694	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				4	404	93,6	125	149	320	510	744	909	1253	1607	2103	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Mittel	404	93,3	110,5	154	333	541	785	1086	1474	2076	2594	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Va	Rhein	ungewaschen	6,8	3	400	88,2	81	278	600	987	1442	1800	2550	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				6	402	92,7	90	228	419	702	1104	1515	1964	2638	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Mittel	401	90,5	85,5	253	525	875	1258	1638	2257	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VIa	Rhein	entfemt	5,3	2	406	90,5	92	210	464	766	1199	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				5	401	90,1	102	204	441	712	1038	1318	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Mittel	404	90,3	97,0	207	453	739	1084	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VIa	Rhein	entfemt	5,3	1	401	93,5	165	153	320	501	709	937	1185	1455	1754	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				4	400	92,2	109	177	386	619	909	1231	1611	2044	2347	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Mittel	401	92,9	137,0	165	333	560	809	1084	1398	1750	2051	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

¹⁾ Letzte Beobachtung nach dem wiederholten Belasten. Die Werte in kleinerem Satz waren bei den letzten Lastwechseln nicht mehr konstant, sondern wuchsen bei wiederholtem Belasten an.

Tabelle 5 a.
Elastische Verkürzungen und Elastizitätszahlen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.
 Material: Weicher Kiesbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies in Gewichtsteilen.
 Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probe	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Elastische Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-6} bei den Belastungen P in kg und den mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm						Elastizitätszahlen E in kg/qcm $\cdot 10^3$ bei den Belastungen P in kg und den mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm																	
	aus Sand	Zustand					mit Wasserzusatz %	Nr.	qcm	kg	$P = 5000$ $\sigma = 12,5$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	$P = 5000$ $\sigma = 12,5$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000				
IVa	I4	Isar	ungewaschen	8,0	Mittel	402	95,0	256	667	—	—	—	—	—	195	149	—	—	—	—	—	—	—	—						
								6	848	—	—	—	—	—	173	115	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
								Mittel	407	94,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	184	132	—	—	—	—	—	—	—	—
								2	408	97,2	200	478	920	—	—	—	—	—	—	—	245	205	166	—	—	—	—	—	—	—
5	408	93,0	206	493	1012	—	—	—	—	—	—	—	238	199	145	—	—	—	—	—	—	—	—							
Mittel	408	95,1	203	486	966	—	—	—	—	—	—	—	242	202	153	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
Va	I5	ungewaschen	6,8	Mittel	413	98,0	144	300	474	685	964	1293	—	—	336	322	306	283	251	225	—	—	—	—						
							4	396	95,0	148	329	513	765	1102	1793	—	—	—	341	308	296	264	229	178	—	—				
							Mittel	405	96,5	146	315	494	725	1033	1498	—	—	—	—	339	315	301	274	240	202	—	—	—		
							3	401	92,6	261	559	961	1604	—	—	—	—	—	—	191	179	156	124	—	—	—	—	—		
6	407	93,7	239	507	869	1346	—	—	—	—	—	—	205	194	170	146	—	—	—	—	—	—								
Mittel	404	93,2	250	533	915	1475	—	—	—	—	—	—	198	187	163	135	—	—	—	—	—	—	—							
VIa	I6	Rh ein	entfeint	5,3	Mittel	406	94,7	227	488	854	1350	2162	—	—	217	202	173	151	114	—	—	—	—							
								5	406	95,5	187	381	620	893	1204	1606	—	—	—	264	259	238	221	204	184	—	—			
								Mittel	406	95,1	207	435	737	1122	1683	—	—	—	—	—	241	231	206	186	159	—	—	—	—	
								1	403	93,0	159	346	568	830	1154	1572	2276	—	—	—	311	287	262	239	215	189	153	—	—	
4	404	93,6	144	310	492	696	930	1182	1484	1853	—	—	—	343	319	302	284	266	251	233	214	—								
Mittel	404	93,3	152	328	530	763	1042	1377	1880	—	—	—	327	303	282	262	241	220	193	—	—	—								
VIa	I6	Rh ein	entfeint	5,3	Mittel	400	88,2	265	545	867	1223	—	—	190	184	173	164	—	—	—	—	—	—							
								6	402	92,7	218	430	702	992	1282	1662	2160	—	—	—	228	231	212	201	195	180	160	—		
								Mittel	401	90,5	242	488	785	1108	—	—	—	—	—	—	209	208	193	183	—	—	—	—	—	
								2	406	90,5	206	442	715	1027	—	—	—	—	—	—	239	217	207	192	—	—	—	—	—	
5	401	90,1	196	413	659	924	1197	—	—	—	—	—	254	241	227	215	208	—	—	—	—	—								
Mittel	404	90,3	201	428	687	976	—	—	—	—	—	—	247	229	217	204	—	—	—	—	—	—	—							
VIa	I6	Rh ein	entfeint	5,3	Mittel	401	93,5	151	313	486	677	893	1118	1331	331	318	308	295	279	268	258	246	—	—						
								4	400	92,2	171	367	578	834	1109	1426	1895	—	—	—	293	273	260	240	225	210	194	—		
								Mittel	401	92,9	161	340	532	756	1001	1272	1578	—	—	—	312	296	284	268	252	239	226	—	—	
								1	401	93,5	151	313	486	677	893	1118	1331	1618	—	—	—	331	318	308	295	279	268	258	246	—
4	400	92,2	171	367	578	834	1109	1426	1895	—	—	—	—	293	273	260	240	225	210	194	—	—								
Mittel	401	92,9	161	340	532	756	1001	1272	1578	—	—	—	—	312	296	284	268	252	239	226	—	—								

¹⁾ Mittel aus den beim wiederholten Lastwechsel als gleichbleibend erachteten Beobachtungswerten.

Tabelle 6.

Gesamte und bleibende Verkürzungen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.

Material: Erdfeuchter Steinschlag-Beton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Steinschlag in Gewichtsteilen.
Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Zeichen	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probekörper Nr.	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Bruchspannung kg/qcm	Gesamt-Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-6} bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm				Bleibende Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-6} bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckspannungen σ in kg/qcm																	
		aus Sand	mit Wasserzusatz $\%_{10}$						$P = 5000$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	$P = 5000$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000						
		Art	Zustand	Nr.		kg		kg/qcm	$\sigma = 12,5$	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0	$\sigma = 12,5$	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0						
I	29	Isar	ungewaschen	7,7	28	2	403	168	177	399	641	926	1237	1610	1837	2199	6	27	54	108	176	253	—	—	—	—				
						4 ²⁾	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
						6	400	144	173	388	641	953	1317	1736	2285	3040	2	15	48	93	169	282	435	805	—	—	—	—	—	
						Mittel	402	156,0	175	394	641	940	1287	1673	2061	2620	4	21	51	101	173	268	435	805	—	—	—	—	—	
						1	404	200	155	310	525	760	1013	1270	1592	1905	+	4	—	14	29	61	91	169	211	—	—	—	—	
						3	409	203	143	306	483	681	913	1177	1435	1784	+	1	—	10	18	37	78	109	144	—	—	—	—	
II	30	Rhein	ungewaschen	6,2	28	5	412	170	141	305	534	701	969	1248	1555	1900	—	2	—	9	17	33	61	119	170	218				
						6	408	198	136	307	503	731	978	1266	1563	1869	—	7	—	14	33	61	119	170	218	—	—			
						Mittel	410	196,3	150	326	534	781	1041	1329	1644	2022	—	2	—	14	33	61	119	170	218	—	—			
						1	401	218	145	306	492	689	916	1168	1461	1738	+	1	—	13	20	40	58	98	149	—	—	—		
						3	408	188	(95)	(241)	(401)	(593)	(784)	(1029)	(1276)	(1529)	(-40)	(-39)	(-38)	(-36)	(-30)	(-16)	(+10)	(36)	(36)	(36)	(36)	(36)	(36)	(36)
						5	403	178	134	284	463	677	882	1149	1441	1701	—	7	—	13	34	54	92	126	173	—	—	—		
III	31	Rhein	entleint	5,2	28	Mittel	404	194,7	140	295	478	683	899	1159	1436	1730	(-3)	(-1)	(+13)	(+27)	(47)	(75)	(112)	(161)	(161)	(161)				
						2	408	157	180	375	601	879	1171	1475	1829	2253	0	1	15	33	52	105	173	284	—	—				
						4	405	131	182	397	663	960	1283	1682	2212	2639	0	14	40	78	120	206	299	443	—	—				
						6	410	97	216	507	859	1277	1811	2394	3217	3537	0	34	77	157	290	455	720	832	—	—				
						Mittel	408	91,1	193	426	708	1039	1422	1850	2419	2810	0	16	44	89	154	255	397	520	—	—				
						1	407	175	154	328	520	750	994	1254	1530	1845	—	4	—	0	17	32	53	75	123	—	—			
3	409	185	161	331	533	757	1015	1284	1590	1908	0	4	10	27	44	68	102	155	—	—										
5	409	163	164	333	570	850	1124	1454	1817	2222	—	1	—	8	43	60	120	178	263	—	—									
Mittel	408	174,3	160	337	541	786	1044	1331	1646	1992	—	2	0	+6	29	45	80	118	180	—	—									

1) Letzte Beobachtung nach dem wiederholten Belasten. Die Werte in kleinerem Satz waren bei den letzten Lastwechseln nicht mehr konstant, sondern wuchsen bei wiederholtem Belasten an.

2) Probe 4 aus Reihe I beim Transport zerbrochen.

Tabelle 7a.

Elastische Verkürzungen und Elastizitätszahlen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.

Material: Weicher Steinschlagbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Steinschlag in Gewichtsteilen.
Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Zeichen	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probe Nr.	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Elastische Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-5} bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen σ in kg/qcm																			
		aus Sand	mit Wasserzusatz %					$P = 5000$ $\sigma = 12,5$		10000		15000		20000		25000		30000		35000							
IV	29	Isar	ungewaschen	9,5	Mittel	411	96,7	194	412	664	966	1316	1776	2418	—	235	219	198	175	156	129	108	—				
								168	356	570	806	1099	1437	1865	2408	290	273	256	241	221	203	183	162	141	165		
								153	316	496	701	935	1179	1444	1642	321	311	296	279	262	249	238	219	199	185	168	152
								[161]	356	562	789	1063	1364	1723	2120	[306]	276	262	248	231	216	201	184	167	152	132	—
								—	396	620	859	1156	1476	1859	2320	—	244	234	225	209	196	182	167	152	132	—	
V	30	Rh ein	ungewaschen	8,2	Mittel	407	96,8	170	361	581	846	1132	1467	1872	2355	288	273	254	234	219	203	187	172	158			
								160	344	557	822	1106	1429	1830	2294	308	286	265	239	223	207	188	172	158			
								178	377	604	873	1165	1513	1937	2475	275	258	242	223	209	193	176	158				
								172	362	582	844	1125	1458	1848	2295	288	273	254	234	219	203	187	172	158			
								154	321	506	715	955	1235	1534	1873	319	306	290	274	256	238	224	209				
V	31	entfent	7,5	Mittel	411	97,5	177	389	606	869	1137	1435	1773	2173	279	258	233	216	200	186	173	166	150				
							181	406	632	902	1190	1521	1894	2358	268	251	238	220	210	199	186	173					
							173	374	573	820	1064	1316	1587	1910	—	241	232	217	205	193	181	166					
							139	300	477	668	880	1103	1347	1663	[274]	250	241	224	214	204	193	180					
							147	309	478	679	901	1140	1402	1697	346	320	303	288	274	259	250	240					

¹⁾ Mittel aus den beim wiederholten Lautwechsel als gleichbleibend erachteten Beobachtungswerten.

Tabelle 9.

Gesamte und bleibende Verkürzungen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.

Material: Weicher Steinschlagbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Steinschlag in Gewichtsteilen.

Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probe Nr.	Querschnitt qcm	Gewicht kg	Bruchspannung kg/qcm	Gesamt-Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-5} bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen σ in kg/qcm			Bleibende Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-5} bei den Belastungen P in kg und mittleren Drucksparnungen σ in kg/qcm																					
	aus Sand	mit Wasserzusatzz $\frac{0}{10}$						10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000										
IV a 32	I s a r	ungewaschen	9,3	28	2	408	94,7	66	246	65,0	137,8	338,5	—	—	—	—	—	—	—	2	63	253	1290	—	—	—	—					
					4	400	94,5	63	242	608	127,0	285,4	—	—	—	—	—	—	—	—	6	34	173	789	—	—	—	—				
					6	411	98,0	66	244	680	118,4	233,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3	77	168	587	—	—	—	—			
					Mittel	406	95,7	65,0	244	646	127,7	286,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	58	198	889	—	—	—	—		
					1	409	95,5	88	211	471	81,3	127,2	1999	3380	4715	—	—	—	—	—	—	—	21	55	106	197	397	993	1660	—	—	
					3	406	90,3	88	—	57,0	97,0	1566	2423	4235	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	87	151	308	586	1471	—	—	
V a 33	R h e i n	ungewaschen	7,0	28	4	408	97,3	103	156	388	709	1109	1648	2474	3081	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					6	410	96,0	113	191	434	787	1231	1790	2527	3629	4500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
					Mittel	409	96,8	106,3	164	395	717	1128	1669	2468	3233	4500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					1	405	97,0	133	168	366	614	895	1235	1700	2228	3109	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					3	410	97,5	130	177	387	651	956	1328	1775	2322	3170	2322	2816	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					5	399	94,5	135	166	358	590	878	1212	1613	2132	2816	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VI a 34	R h e i n	entleint	6,8	28	Mittel	405	96,3	132,7	170	370	628	970	1258	1696	2227	3032	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					2	412	80,5	79	231	521	906	1391	2230	2797	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
					4	406	91,0	74	229	540	960	1569	2646	3770	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					6	406	90,0	66	226	514	940	1512	2690	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					Mittel	408	87,2	73,0	229	525	935	1491	2522	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					1	417	90,5	72	231	522	909	1401	2071	2735	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	414	90,0	75	206	471	793	1234	1836	2365	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
5	414	91,7	94	188	422	714	1077	1537	2236	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
Mittel	415	90,7	80,3	208	472	805	1237	1815	2445	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					

1) Letzte Beobachtung nach dem wiederholten Belasten. Die Werte in kleinerem Satz waren bei den letzten Lastwechseln nicht mehr konstant, sondern wuchsen bei wiederholtem Belasten an.

Tabelle 9 a.
Elastische Verkürzungen und Elastizitätszahlen der Beton-Prismen bei wachsender Druckbeanspruchung.
 Material: Weicher Steinschlagbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Steinschlag in Gewichtsteilen.
 Mittlere Abmessungen: Querschnitt $f = 20 \times 20$ cm; Länge $L = 100$ cm.

Versuchsreihe	Zeichen	Beton hergestellt		Alter bei der Prüfung in Tagen	Probe	Querschnitt	Gewicht	Elastische Verkürzungen ¹⁾ in cm 10^{-5} bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckschwingungen σ in kg/qcm						Elastizitätszahlen E in kg/qcm 10^8 bei den Belastungen P in kg und mittleren Druckschwingungen σ in kg/qcm																		
		Art	Zustand					mit Wassersatz		25000		30000		35000		10000		15000		20000		25000		30000		35000						
								o/10	o/10	$P = 5000$ $\sigma = 12,5$	15000	20000	25000	30000	35000	40000	$P = 5000$ $\sigma = 12,5$	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000								
IV a	32	Isar	ungewaschen	9,3	28	2	408	94,7	243	589	1126	2129	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
									235	574	1102	2112	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
									241	603	1016	1783	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									Mittel	589	1081	2008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
									1	409	95,6	188	418	706	1074	1606	2415	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
									3	406	96,3	—	483	87	1271	1834	2786	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Va	33	Rhein	ungewaschen	7,0	28	4	408	97,3	186	407	609	1032	1428	1964	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
									178	408	710	1068	1501	2008	2695	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
									181	401	687	1039	1445	1982	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									Mittel	409	96,8	181	401	687	1039	1445	1982	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									1	405	97,0	157	335	551	802	1087	1416	1810	2307	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									3	410	97,5	158	337	552	800	1094	1430	1837	2308	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
VI a	34	Rhein	entfeint	6,8	28	4	406	91,0	231	527	897	1379	2112	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
									217	484	849	1308	2058	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
									223	500	859	1312	2003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									Mittel	408	87,2	223	500	859	1312	2003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									2	412	80,5	221	490	832	1248	1840	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									4	406	91,0	231	527	897	1379	2112	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
VI a	34	Rhein	entfeint	6,8	90	1	417	90,5	214	477	799	1197	1710	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
									204	455	757	1126	1591	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
									185	407	674	992	1385	1891	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
									Mittel	414	91,7	185	407	674	992	1385	1891	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									201	446	743	1195	1562	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
									241	415	90,7	201	446	743	1195	1562	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

1) Mittel aus den beim wiederholten Lastwechsel als gleichbleibend erachteten Beobachtungswerten.

Tabelle 10a.
Mittelwerte für die Bruchspannungen und elastischen Verkürzungen aus den Druckversuchen mit Prismen.
A. Kiesbeton.

Zeichen	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen			Zustand des Betons	Art des Sandes	Mittlerer Querschnitt der Proben qcm	Alter in Tagen	Mittlere Bruchspannung in kg/qcm	Elastische Verkürzung in $\text{cm} \cdot 10^{-5}$ bei den überschriebenen Druckspannungen in kg/qcm							
	Mischung	Reihe Nr.	Zement						Sand	Kies	Wasser	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5
I	I1				Isar, ungewaschen	402	28	122,5	166	329	507	694	880	1088	1342	1601
									404	128	261	397	544	701	856	—
II	I2	I	2,5	5	Rhein, ungewaschen	412	28	134,0	175	346	515	735	942	1164	1418	1672
									417	167	335	507	697	897	1082	1302
III	I3				Rhein, entfemt	409	28	136,0	[166]	[348]	[544]	[750]	[971]	[1198]	[1499]	[1691]
									399	158	320	497	685	877	1078	1251
Ia	I4				Isar, ungewaschen	404	28	69,1	194	418	719	1085	—	—	—	—
									407	159	336	542	787	1083	—	—
IIa	I5	I	4	8	Rhein, ungewaschen	409	28	76,5	238	495	781	1124	—	—	—	—
									411	[169]	[356]	[570]	[801]	[1058]	[1347]	—
IIIa	I6				Rhein, entfemt	403	28	70,5	251	516	837	1223	—	—	—	—
									403	227	489	—	—	—	—	—
IV	I1				Isar, ungewaschen	407	28	111,5	[174]	[341]	[516]	[704]	[899]	[1127]	—	—
									403	138	285	441	601	781	978	1207
V	I2	I	2,5	5	Rhein, ungewaschen	406	28	125,0	196	396	620	860	1104	1391	1641	1891
									405	177	342	521	712	906	1108	1340
VI	I3				Rhein, entfemt	405	28	144,0	181	341	545	748	948	1154	1369	1574
									407	150	310	478	651	834	1011	1210
IVa	I4				Isar, ungewaschen	407	28	42,5	269	758	—	—	—	—	—	—
									408	203	486	966	—	—	—	—
Va	I5	I	4	8	Rhein, ungewaschen	404	28	71,0	250	533	915	1475	—	—	—	—
									406	207	435	737	1122	1683	—	—
VIa	I6				Rhein, entfemt	401	28	85,5	242	488	785	1108	—	—	—	—
									404	201	428	687	976	—	—	—
						401	365	137,0	161	340	532	756	1001	1272	1578	1884

Tabelle 10b.
Mittelwerte für die Bruchspannungen und elastischen Verkürzungen aus den Druckversuchen mit Prismen.
B. Steinschlagbeton.

Zeichen	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen				Zustand des Betons	Art des Sandes	Mittlerer Querschnitt der Proben qcm	Alter in Tagen	Mittlere Bruchspannung in kg/qcm	Elastische Verkürzung in cm · 10 ⁻⁵ bei den überschriebenen Druckspannungen in kg/qcm							
	Mischung Nr.	Zement	Sand	Steinschlag						Wasser	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5
I	29			7,7	Isar, ungewaschen	402	28	156,0	171	373	591	840	1116	1410	—		
									147	309	490	693	915	1148	1392		
									152	322	516	735	969	1219	1492		
II	30	1	2,5	6,2	Rhein, ungewaschen	410	28	196,3	140	290	456	646	839	1070	1301	1769	1541
									193	410	664	949	1265	1601	1988	2173	2473
III	31			5,2	Rhein, entfemt	408	28	128,3	161	337	535	757	998	1253	1538	1811	—
Ia	32			7,5	Isar, ungewaschen	405	28	92,7	202	461	782	1191	—	—	—	—	
									167	360	580	842	—	—	—	—	—
									192	428	704	1056	1459	1946	—	—	—
IIa	33	1	4	5,5	Rhein, ungewaschen	408	28	112,0	171	362	585	855	1148	1483	1929	2623	—
									290	637	1063	1696	—	—	—	—	—
IIIa	34			5,0	Rhein, entfemt	413	28	79,0	240	526	860	1263	1764	—	—	—	—
IV	29			9,5	Isar, ungewaschen	411	28	123,3	194	412	664	966	1316	1776	2418	—	
									[161]	356	562	789	1063	1364	1723	2120	—
									170	361	581	846	1132	1467	1872	2355	2864
V	30	1	2,5	8,2	Rhein, ungewaschen	407	28	143,7	152	318	503	713	948	1219	1523	—	—
									[177]	389	606	869	1137	1435	1771	2173	2677
VI	31			7,5	Rhein, entfemt	415	28	127,3	145	307	483	678	902	1133	1388	1667	—
IVa	32			9,3	Isar, ungewaschen	406	28	65,0	240	589	1081	2008	—	—	—	—	
									[200]	450	759	1176	1786	—	—	—	—
									181	401	687	1029	1445	1982	—	—	—
Va	33	1	4	7,0	Rhein, ungewaschen	409	28	106,3	160	340	557	810	1100	1434	1833	2347	—
									223	500	859	1312	2003	—	—	—	—
VIa	34			6,8	Rhein, entfemt	415	28	73,0	201	446	743	1105	1562	—	—	—	—

Tabelle 11 a.
Mittlere Elastizitätszahlen aus den Druckversuchen mit Prismen.
A. Kiesbeton.

Reihe	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen				Zustand des Betons	Art des Sandes	Alter in Tagen	Mittlere Elastizitätszahl in kg/qcm 10^8 bei den folgenden Druckspannungen in kg/qcm						
	Zeichen	Nr.	Zement	Sand				Kies	Wasser	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5
I	II					Isar, ungewaschen	28	300	303	295	288	284	275	261
							90	386	379	374	365	354	347	—
							365	404	400	396	386	380	375	363
II	12	I	2,5	5		Rhein, ungewaschen	28	278	281	274	264	258	250	240
							90	289	287	284	276	272	267	259
							365	336	327	318	310	302	294	286
III	13				erdfeucht	Rhein, entfeint	28	[294]	[280]	[270]	[261]	[252]	[245]	[238]
							90	318	313	302	293	286	279	274
							365	333	325	318	307	301	294	288
Ia	14					Isar, ungewaschen	28	256	237	207	183	—	—	—
							90	310	294	273	251	229	—	—
							365	376	369	361	349	336	321	304
IIa	15	I	4	8		Rhein, ungewaschen	28	207	193	192	178	168	—	—
							90	[288]	[245]	[236]	[243]	[220]	[217]	—
							365	330	316	303	288	275	262	249
IIIa	16					Rhein, entfeint	28	196	193	181	166	—	—	—
							90	220	205	(206)	(193)	(177)	—	—
							365	240	229	214	[195]	[157]	(202)	—
IV	11					Isar, ungewaschen	28	281	288	285	279	273	261	—
							90	360	350	339	331	319	306	290
							365	432	410	397	386	374	362	348
V	12	I	2,5	5		Rhein, ungewaschen	28	253	250	239	230	224	214	197
							90	281	290	285	278	273	268	259
							365	363	352	337	326	316	307	298
VI	13					Rhein, entfeint	28	275	291	273	265	261	257	253
							90	329	319	310	303	295	293	285
							365	364	353	342	334	325	319	312
IVa	14					Isar, ungewaschen	28	184	132	—	—	—	—	—
							90	242	202	153	—	—	—	—
							365	339	315	301	274	240	202	—
Va	15	I	4	8		Rhein, ungewaschen	28	198	187	163	135	120	—	—
							90	241	231	206	186	159	—	—
							365	327	303	282	262	241	220	193
VIa	16					Rhein, entfeint	28	209	208	193	183	175	154	(160)
							90	247	229	217	204	(208)	—	—
							365	312	296	284	268	252	239	226

Tabelle 12.

Zunahme der Druckfestigkeit mit wachsendem Alter.

Verhältniszahlen: die Festigkeiten bei 28 Tagen Alter = 100 gesetzt.

Mischungen I—III erdfeucht; Mischungen IV—VI weich;

Zusammensetzung des Betons s. Tabelle 1.

Mischung		Erdfeucht						Weich					
		I	Ia	II	IIa	III	IIIa	IV	IVa	V	Va	VI	VIa
Kies	90 Tage	121	126	117	137	107	99	132	127	116	112	127	113
	365 „	142	175	132	178	132	105	160	221	144	155	141	160
Steinschlag	90 Tage	122	118	100	115	136	120	114	132	112	125	123	110

Tabelle 13.

Verhältniszahlen für den Einfluß der Sandart auf die Festigkeit des Betons.

Die Werte für den ungewaschenen Rheinsand = 100 gesetzt.

Art des Betons				Zustand	Verhältniszahlen					
Zusammensetzung					Isarsand, ungewaschen			Rheinsand, entfemt		
Zement	Sand	Kies	Steinschlag		Alter in Tagen			Alter in Tagen		
					28	90	365	28	90	365
I	2,5	5	—	erdfeucht	91	94	92	102	92	96
I	4	8	—		91	83	85	92	67	51
I	2,5	5	—	weich	89	101	98	115	127	113
I	4	8	—		60	68	85	121	122	124
I	2,5	—	5	erdfeucht	80	98	—	65	90	—
I	4	—	8		83	85	—	58	61	—
I	2,5	—	5	weich	86	87	—	89	97	—
I	4	—	8		61	65	—	68	61	—

Tabelle 14.

Verhältnis zwischen den Druckfestigkeiten der fetten und mageren Mischungen aus dem gleichen Material.

Beton		Verhältniszahlen, die Werte für die fette Mischung (1:2,5:5) = 100 gesetzt								
Art	Zustand	Isarsand			Rheinsand			Rheinsand, entfemt		
		Alter in Tagen			Alter in Tagen			Alter in Tagen		
		28	90	365	28	90	365	28	90	365
Kies	erdfeucht	57	59	70	57	66	76	52	48	40
	weich	38	37	53	57	55	61	59	53	67
Steinschlag	erdfeucht	60	57	—	57	66	—	51	45	—
	weich	53	61	—	74	83	—	57	51	—

Tabelle 15.

Verhältnis zwischen den Druckfestigkeiten der gleichen Betonsorten bei verschiedenem Wasserzusatz.

Zusammensetzung des Betons				Verhältniszahlen, die Werte für den erdfeuchten Beton = 100 gesetzt								
Zement	Sand	Kies	Stein-schlag	Isarsand			Rheinsand			Rheinsand, entfeint		
				Alter in Tagen			Alter in Tagen			Alter in Tagen		
				28	90	365	28	90	365	28	90	365
I	2,5	5	—	91	98	103	93	92	97	106	126	115
I	4	8	—	62	62	77	93	76	78	121	138	188
I	2,5	—	5	78	73	—	73	82	—	99	90	—
I	4	—	8	70	78	—	95	103	—	112	102	—

Tabelle 16.

Einfluß des Alters auf die Elastizitätszahl beim Druckversuch.

Verhältniszahl: die Werte bei 28 Tagen Alter = 100 gesetzt.

Mischung	Reihe Nr.	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen				Zu-stand des Be-tons	Art des Sandes	Verhältnis der Elastizitätszahlen										
		Ze-ment	Sand	Kies	Stein-schlag			bei 90 Tagen Alter			bei 365 Tagen Alter			Mittel-werte für das Alter				
								zu denen bei 28 Tagen Alter und den folgenden Druckspannungen in kg/qcm										
								12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	90	365			
I	11	I	2,5	5	—	erdfeucht	Isar	129	127	125	135	134	134	127	134			
II	12						Rhein	104	104	105	121	116	117	104	118			
III	13						desgl. entfeint	108	112	113	113	118	120	111	117			
Ia	14	I	4	8	—		weich	Isar	121	132	—	147	174	—	127	160		
IIa	15							Rhein	140	133	131	160	158	163	135	160		
IIIa	16							desgl. entfeint	112	(115)	—	123	118	—	(114)	121		
IV	11	I	2,5	5	—			erdfeucht	Isar	128	119	117	154	139	137	121	143	
V	12								Rhein	111	119	122	144	141	141	117	142	
VI	13								desgl. entfeint	119	113	113	134	125	124	115	128	
IVa	14	I	4	8	—				weich	Isar	131	—	—	184	—	—	(131)	(184)
Va	15									Rhein	122	126	132	165	173	201	127	180
VIa	16									desgl. entfeint	118	116	(119)	149	147	144	118	147
I	29	I	2,5	—	5	erdfeucht				Isar	113	118	120	—	—	—	117	—
II	30									Rhein	110	115	117	—	—	—	114	—
III	31									desgl. entfeint	119	122	124	—	—	—	122	—
Ia	32	I	4	—	8		weich			Isar	120	134	—	—	—	—	127	—
IIa	33									Rhein	111	118	124	—	—	—	118	—
IIIa	34									desgl. entfeint	118	122	—	—	—	—	120	—
IV	29	I	2,5	—	5			erdfeucht		Isar	[121]	119	124	—	—	—	121	—
V	30									Rhein	110	114	118	—	—	—	114	—
VI	31									desgl. entfeint	[122]	124	125	—	—	—	124	—
IVa	32	I	4	—	8				weich	Isar	[120]	142	—	—	—	—	131	—
Va	33									Rhein	115	124	132	—	—	—	124	—
VIa	34									desgl. entfeint	109	114	126	—	—	—	116	—

Tabelle 17.
Verhältnis der Elastizitätszahl des mageren Betons zu der des fetten aus dem gleichen Material.

Beton		Verhältniszahlen, die Werte für den fetten (1 : 2,5 : 5) Beton = 100 gesetzt.																										
		Isarsand, ungewaschen				Rheinsand, ungewaschen				Rheinsand, entfemt																		
Art	Zustand	28			90			365			Alter in Tagen			28			90			365								
		12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5						
Kies	erdfeucht weich	85	70	—	80	73	65	93	91	88	74	70	65	[100]	[90]	[82]	98	95	91	[67]	[67]	—	69	(68)	(62)	72	67	52
		65	—	—	67	45	—	78	76	64	78	68	54	86	72	58	90	84	76	76	71	67	75	70	(71)	86	83	78
Steinschlag	erdfeucht weich	84	75	(67)	88	85	—	—	—	—	79	75	69	81	77	73	—	—	—	67	62	—	67	62	56	—	—	—
		82	62	—	[80]	74	60	—	—	—	93	85	78	97	92	88	—	—	—	[80]	71	58	72	65	58	—	—	—

Tabelle 18.

Verhältnis der Elastizitätszahl des weichen Betons zu der des erdfeuchten bei sonst gleicher Zusammensetzung.

Zusammensetzung des Betons		Verhältniszahlen, die Werte für den erdfeuchten Beton = 100 gesetzt.																										
		Isarsand, ungewaschen				Rheinsand, ungewaschen				Rheinsand, entfemt																		
Zement	Sand	Kies	Stein- schlag	28			90			365			Alter in Tagen			28			90			365						
				12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5	12,5	37,5	62,5				
—	2,5 4	—	—	94	97	96	92	91	90	107	101	101	87	87	100	108	106	105	94	101	104	103	103	103	109	108	108	
				70	—	—	78	56	—	90	83	71	96	85	71	84	81	72	85	93	81	107	107	—	112	105	(117)	130
1	2,5 4	—	5 8	92	89	86	86	87	84	—	—	—	90	89	86	91	89	87	—	—	107	107	108	110	109	109	—	—
				84	72	—	84	77	—	105	101	98	109	106	105	109	106	105	—	—	—	129	123	—	119	115	112	—

Mittelwerte für die Gesamt-Verkürzungen aus den Druckversuchen mit Prismen.

A. Kiesbeton.

Zeichen	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen				Zustand des Betons	Art des Sandes	Mittlerer Querschnitt der Proben qcm	Alter in Tagen	Gesamtverkürzung in cm 10^{-5} bei den überschriebenen Druckspannungen in kg/qcm				
	Zement	Sand	Kies	Wasser					12,5	25,0	37,5	50,0	62,5
I	I1			7,0	Isar, ungewaschen	402	28	173	344	542	750	955	1199
						404	90	137	275	417	561	724	883
II	I2	I	2,5	6,0	Rhein, ungewaschen	412	28	176	347	537	734	958	1193
						417	90	169	352	527	737	957	1185
III	I3			4,5	Rhein, entfemt	420	365	142	295	461	628	810	1008
						409	28	[173]	[368]	[586]	[831]	[1092]	[1376]
Ia	I4			6,5	Isar, ungewaschen	404	28	197	445	809	1339	—	—
						407	90	162	348	577	805	1259	1721
IIa	I5	I	4	5,5	Rhein, ungewaschen	403	365	133	273	423	591	774	903
						409	28	251	533	864	1285	1724	—
IIIa	I6			4,0	Rhein, entfemt	413	90	[182]	[379]	[621]	[875]	[1162]	[1437]
						412	365	147	312	502	711	929	1170
IV	I1			8,5	Isar, ungewaschen	403	28	256	550	935	1372	—	—
						402	365	221	468	759	1144	1903	—
V	I2	I	5	7,5	Rhein, ungewaschen	408	28	[185]	[366]	[565]	[788]	[1021]	[1300]
						403	90	140	292	464	643	841	1066
VI	I3			6,0	Rhein, entfemt	403	365	109	241	378	522	676	847
						406	28	200	409	655	926	1199	1548
IVa	I4			8,0	Isar, ungewaschen	405	90	193	371	570	780	1006	1236
						407	365	134	282	445	613	801	995
Va	I5	I	4	6,8	Rhein, ungewaschen	405	28	149	329	525	741	938	1160
						404	90	157	325	511	707	909	1104
VIa	I6			5,3	Rhein, entfemt	404	365	138	286	450	617	798	974
						407	28	283	935	3198	—	—	—
IVa	I4			8,0	Isar, ungewaschen	408	90	202	514	1153	—	—	—
						405	365	146	307	492	747	1109	1722
Va	I5	I	4	6,8	Rhein, ungewaschen	404	28	264	585	1053	1798	—	—
						406	90	198	438	777	1251	2062	2662
VIa	I6			5,3	Rhein, ungewaschen	404	365	154	333	541	785	1086	1474
						401	28	253	525	875	1258	1658	2257
VIa	I6			5,3	Rhein, entfemt	404	90	207	453	739	1084	—	—
						401	365	165	353	560	809	1084	1398

Tabelle 19b.
Mittelwerte für die Gesamtverkürzungen aus den Druckversuchen mit Prismen.
B. Steinschlagbeton.

Zeichen	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen				Zustand des Betons	Art des Sandes	Mittlerer Querschnitt der Proben qcm	Alter in Tagen	Gesamtverkürzung in cm 10^{-5} bei den überschriebenen Druckspannungen in kg/qcm					
	Zement	Sand	Steinschlag	Wasser					12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0
I	29			7,7	erdfeucht	Isar, ungewaschen	402 408	28 90	175 146	394 307	641 501	940 714	1287 965	1673 1232
II	30	I	2,5	5		Rhein, ungewaschen	410 404	28 90	150 140	326 295	534 478	781 683	1041 899	1329 1159
III	31			5,2		Rhein, entfeint	408 408	28 90	193 160	426 337	708 541	1039 786	1422 1044	1850 1331
Ia	32			7,5		Isar, ungewaschen	405 407	28 90	205 172	479 376	852 615	1395 918	— 1719	— —
IIa	33	I	4	5,5		Rhein, ungewaschen	408 413	28 90	202 159	449 357	749 602	1169 905	1646 1254	2292 1684
IIIa	34			5,0		Rhein, entfeint	410 413	28 90	298 240	699 568	1224 972	2102 1472	2846 2162	— —
IV	29			9,5	weich	Isar, ungewaschen	411 411	28 90	194 [162]	431 366	725 586	1087 836	1551 1178	2283 1561
V	30	I	2,5	5		Rhein, ungewaschen	407 414	28 90	171 155	373 332	621 536	924 771	1259 1031	1686 1349
VI	31			7,5		Rhein, entfeint	411 415	28 90	[177] 137	401 301	637 487	933 710	1234 965	1615 1241
IVa	32			9,3		Isar, ungewaschen	406 407	28 90	244 [212]	646 501	1277 867	2864 1396	— 2298	— 3743
Va	33	I	4	8		Rhein, ungewaschen	409 405	28 90	164 170	395 370	717 618	1128 910	1669 1258	2468 1696
VIa	34			6,8		Rhein, entfeint	408 415	28 90	229 208	525 472	935 805	1491 1237	2522 1815	— 2445

II. Biegeversuche.

Zu den Biegeversuchen dienten Balken von 150 cm Gesamtlänge und folgenden drei verschiedenen Querschnitten: 20×20 cm, 30×16 cm und 60×11 cm.

Die Zusammensetzung des Betons bei den ausgeführten 30 Versuchsreihen ergibt sich aus Tab. 20. Hiernach wurde untersucht sowohl Kiesbeton als auch Steinschlagbeton.

Der Kiesbeton wurde gefertigt: zu den Balken mit 20×20 cm Querschnitt aus Isarsand in drei Zuständen (ungewaschen, gewaschen und entfemt), sowie aus Rheinsand in zwei Zuständen (ungewaschen und entfemt), zu den Balken mit 30×16 und 60×11 cm Querschnitt dagegen nur aus ungewaschenem Isarsand, sowie aus ungewaschenem und aus entfemttem Rheinsand.

Zu dem Steinschlagbeton wurden verwendet ebenfalls ungewaschener Isarsand, sowie ungewaschener und entfemter Rheinsand und außerdem viertens Quetschsand*).

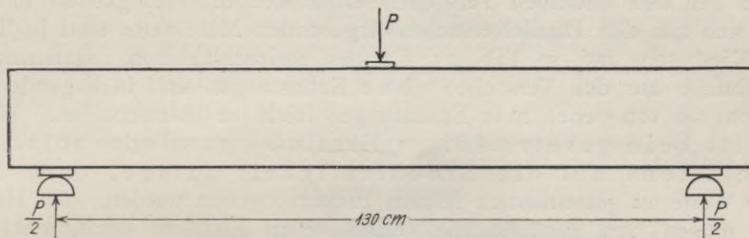


Abb. 18.

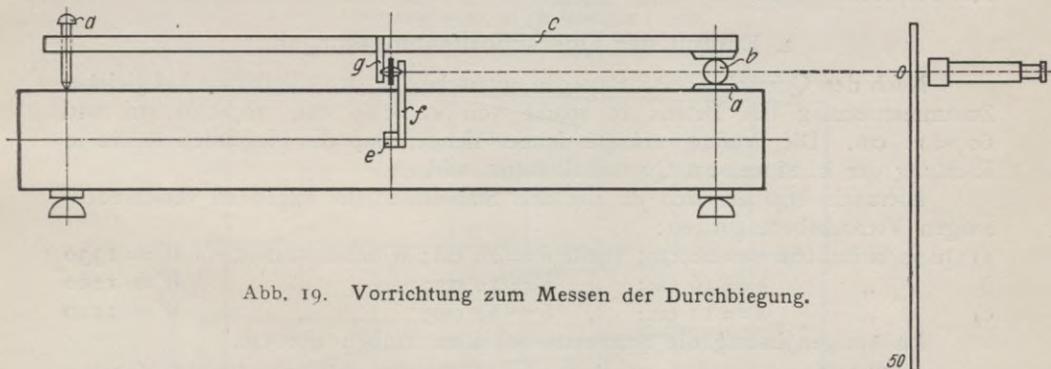


Abb. 19. Vorrichtung zum Messen der Durchbiegung.

Sämtliche vorgenannten Betonsorten sind in zwei Mischungen, einer fetteren im Verhältnis: 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies oder Steinschlag und in einer mageren im Verhältnis: 1 : 4 : 8 untersucht und zwar die Balken aus Kiesbeton und Steinschlagbeton mit 20×20 cm Querschnitt in drei Altersstufen von 28, 90 und 365 Tagen, die Balken mit rechteckigem Querschnitt dagegen nur in zwei Altersstufen von 28 und 90 Tagen.

Die Proben mit rechteckigem Querschnitt sind flachliegend gestampft, die Proben mit 20×20 cm und 30×16 cm Querschnitt in zwei Schichten, die mit 60×11 cm in einer Schicht. Zwei Tage nach dem Stampfen wurden die Proben entformt und lagerten dann unter feuchtem Sande.

Die Prüfung erfolgte, indem die Proben nach Abb. 18 bei 130 cm Stützweite mit den Enden frei auf den Widerlagern auflagen und in der Mitte unter Einschaltung einer Druckplatte von 5 cm Breite und 1 cm Dicke durch eine Einzelkraft in der Stampfrichtung beansprucht wurden.

*) Siehe S. 9.

Die Belastung wurde stufenweise gesteigert, und zwar, wie aus den späteren Zusammenstellungen der Ergebnisse zu ersehen ist, entweder ohne eingeschobene Entlastungen oder indem bei jeder Laststufe wiederholt so oft be- und entlastet wurde, bis die Beobachtungswerte für die Federungen nahezu unverändert blieben.

Zur Beobachtung der Durchbiegungen diente die Einrichtung Abb. 19. Ueber dem einen Auflager war das Flacheisen *a* von 5 cm Breite mit Gips auf der Probe festgelegt. Es diente als Auflager für die Kugel *b*. Auf ihr ruhte das eine Ende des aus Flacheisen gefertigten Rahmens *c*, dessen anderes Ende mit den beiden Schrauben *d* über dem zweiten Auflager gegen die Probe abgestützt war. In der Mitte waren beiderseits Stüfe *e* in die Probe eingelassen, an denen die flachen Federn *f* befestigt waren. Den letzteren gegenüber standen die an dem Rahmen *c* befestigten Federn *g*. Zwischen den beiden Federn *f* und *g* waren Martenssche Spiegelapparate eingeschaltet.

A. Biegefestigkeit.

Die bei den einzelnen Versuchen ermittelten Bruchfestigkeiten in kg/qcm und die sich aus den Parallelversuchen ergebenden Mittelwerte sind in Tab. 21 für den Kiesbeton und in Tab. 22 für den Steinschlagbeton zusammengestellt. Die Ergebnisse aus den Versuchen ohne Entlastungen sind in liegender Schrift gesetzt, um sie von denen mit Entlastungen leicht zu unterscheiden. Wie man sieht, tritt kein gesetzmäßiger Einfluß des wiederholten Ent- und Belastens auf die Bruchfestigkeit zutage, daher konnten sämtliche Werte zu gemeinsamen Mitteln zusammengefaßt werden. An Hand der letzteren mögen nun zunächst die verschiedenen Einflüsse der Querschnittsabmessungen, des Alters, der Sandart und des Magerungsgrades auf die Biegefestigkeit besprochen sein.

1. Einfluß der Querschnittsabmessungen.

Nach den Querschnittsabmessungen unterscheiden sich die Proben bei gleicher Zusammensetzung des Betons in solche von 20×20 cm, 30×16 cm und 60×11 cm. Die Prüfung erfolgte immer derart, daß die biegenden Kräfte in Richtung der kleineren Querschnittskante wirkten.

Hiernach ergeben sich für die drei Stabformen die folgenden verschiedenartigen Versuchsbedingungen:

- | | | | |
|----|-------------------------------|---------------------|------------------------------|
| a) | Querschnittshöhe $h = 20$ cm; | Breite $b = 20$ cm; | Widerstandsmoment $W = 1330$ |
| b) | „ $h = 16$ cm; | „ $b = 30$ cm; | „ $W = 1280$ |
| c) | „ $h = 11$ cm; | „ $b = 60$ cm; | „ $W = 1210$ |

Im übrigen betrug die Stützweite bei allen Proben 130 cm.

In Tabelle 23 sind nun die zu vergleichenden mittleren Bruchfestigkeiten der verschiedenen Arten Kiesbeton bei den beiden Altersstufen von 28 und 90 Tagen nach abnehmenden Querschnittshöhen gegenübergestellt. Die Ergebnisse lassen innerhalb der untersuchten Grenzen keinen gesetzmäßigen Einfluß der Querschnittsabmessung auf die Biegefestigkeit erkennen. Den weiteren Betrachtungen sind daher lediglich die Ergebnisse aus den Versuchen mit den Balken von 20×20 cm Querschnitt zugrunde gelegt, da nur für diese Balken Ergebnisse aus drei Altersstufen vorliegen.

2. Einfluß des Alters.

Die Zunahme der Biegefestigkeit mit wachsendem Alter zeigen die Schaulinien Abb. 20—22 und die den Tab. 21 und 22 angefügten Verhältniszahlen. Hiernach ist die Zunahme der Biegefestigkeit bis zu einem Jahr Alter bei dem erdfeuchten Kiesbeton aus Isarsand (Abb. 20) größer als bei dem Kiesbeton aus Rheinsand (Abb. 21) von gleichem

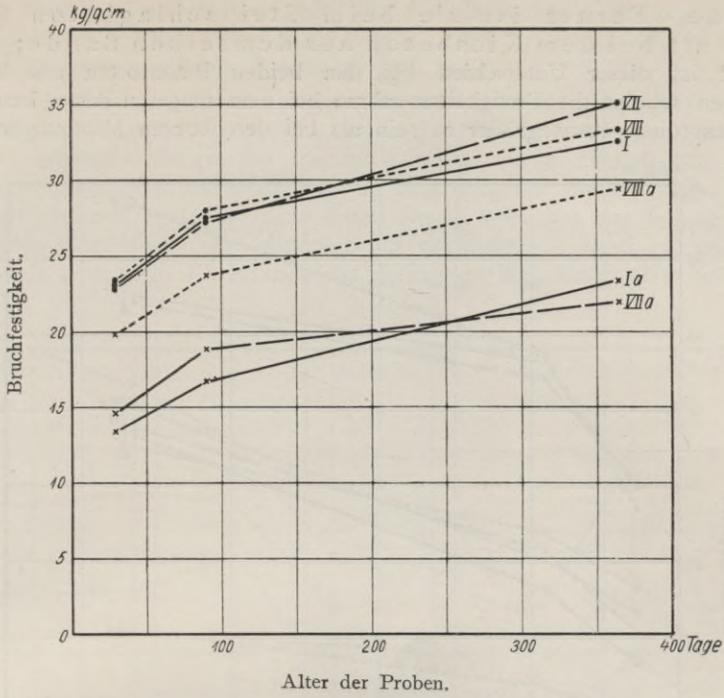


Abb. 20. Zunahme der Biegefestigkeit mit wachsendem Alter.

1. Erdfeuchter Kiesbeton aus Isarsand.

— ungewaschen; - - - - - entfemt; — gewaschen.
 • Mischung 1 : 2,5 : 5; × Mischung 1 : 4 : 8.

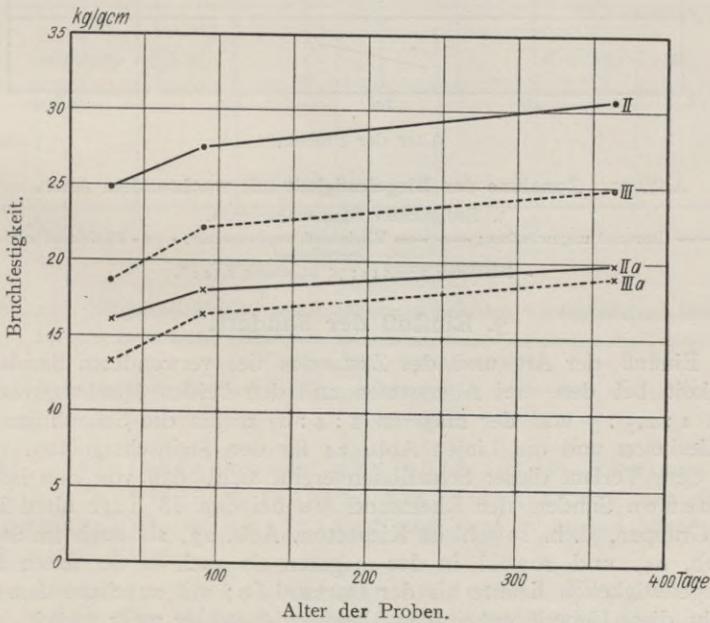


Abb. 21. Zunahme der Biegefestigkeit mit wachsendem Alter.

2. Erdfeuchter Kiesbeton aus Rheinsand.

— ungewaschen, - - - - - entfemt.
 • Mischung 1 : 2,5 : 5; × Mischung 1 : 4 : 8.

Zustande. Ferner ist sie beim Steinschlagbeton (Abb. 22) größer als bei dem Kiesbeton aus demselben Sande; besonders auffallend ist dieser Unterschied bei den beiden Betonsorten aus Rheinsand. Im übrigen scheint die Festigkeitszunahme bei dem mageren Beton besonders an den Jahresproben etwas größer zu sein als bei den fetteren Mischungen.

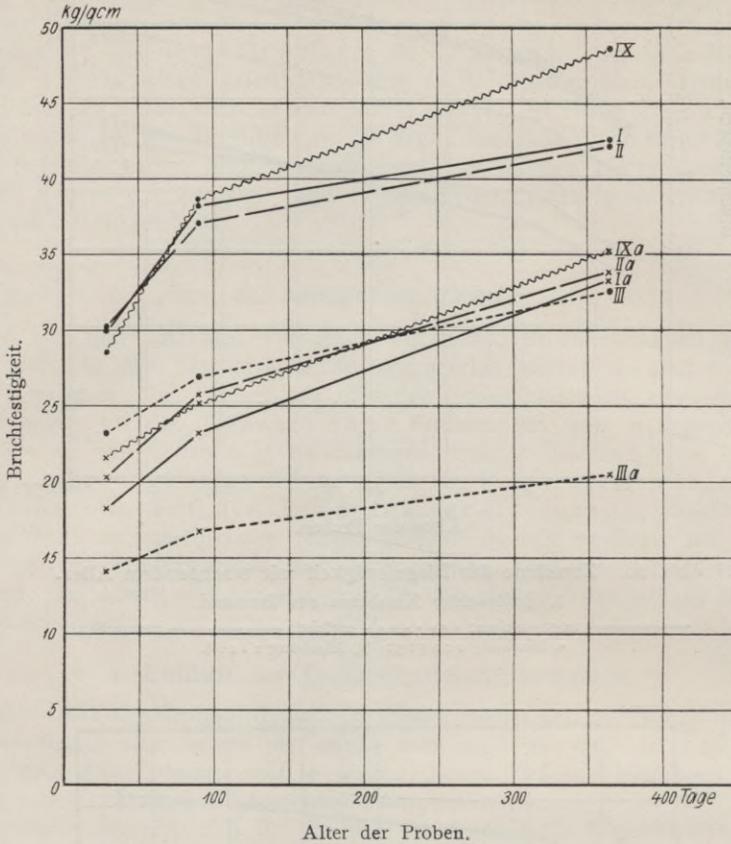


Abb. 22. Zunahme der Biegefestigkeit mit wachsendem Alter.

3. Erdfeuchter Steinschlagbeton.

— Isarsand ungewaschen; — Rheinsand ungewaschen; - - - Rheinsand entfent, Quetschsand.
 • Mischung 1 : 2,5 : 5; × Mischung 1 : 4 : 8.

3. Einfluß der Sandart.

Den Einfluß der Art und des Zustandes des verwendeten Sandes auf die Biegefestigkeit bei den drei Altersstufen und den beiden Mischungsverhältnissen (der fetten 1 : 2,5 : 5 und der mageren 1 : 4 : 8) zeigen die Schaulinien Abb. 23 für den Kiesbeton und die Linien Abb. 24 für den Steinschlagbeton.

Aus dem Verlauf dieser Schaulinien ergibt sich, daß von den beiden ungewaschenen Sanden der Rheinsand *Ru* bei den 28 Tage alten Proben in allen vier Gruppen, d. h. sowohl im Kiesbeton, Abb. 23, als auch im Steinschlagbeton, Abb. 24, und sowohl in der mageren als auch in der fetten Mischung, höhere Biegefestigkeiten lieferte als der Isarsand *Iu*; mit zunehmendem Alter der Proben geht diese Ueberlegenheit des Rheinsandes immer mehr zurück. Sie bleibt zwar bei dem mageren Steinschlagbeton auch an den Jahresproben noch gewahrt, ist aber nur noch sehr gering (33,8 : 33,3 kg/qcm) und der fette Steinschlagbeton, sowie beide Sorten Kiesbeton zeigen nach einem Jahr bei dem ungewaschenen Isarsande höhere Biegefestigkeit als bei dem ungewaschenen Rheinsande.

Der Einfluß des Waschens tritt bei dem Isarsande nicht deutlich zutage; die Unterschiede in den Festigkeiten von *Iu* und *Ig* schwanken je nach dem Alter und Magerungsgrad des Betons, s. Abb. 23.

Durch das Entfeinen der Sande ist die Biegefestigkeit des Kiesbetons bei dem Isarsande (*Ie*) gesteigert, bei dem Rheinsande (*Re*) dagegen vermindert. Dieser Einfluß tritt bei dem Isarsande in nennenswertem Maße nur an dem mageren Beton zutage, bei dem Rheinsand dagegen auch an dem fetten Beton. Er hat zur Folge, daß von allen untersuchten Mischungen diejenige aus entfeintem Isarsand die größten und diejenige aus enteintem Rheinsande die geringsten Biegefestigkeiten lieferte.

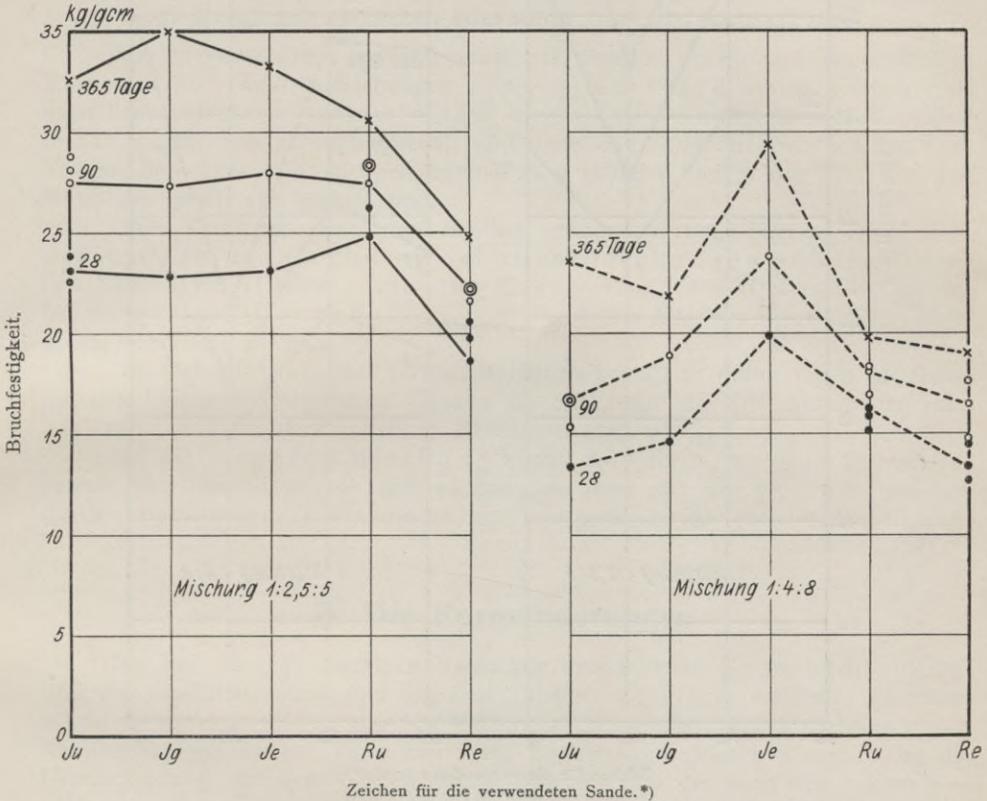


Abb. 23. Biegefestigkeiten des Kiesbetons aus den verschiedenen Sanden.

Die nicht durch Linien verbundenen Beobachtungspunkte entstammen den Proben mit 30 × 16 und 60 × 11 cm Querschnitt.

*) *I* = Isarsand, *R* = Rheinsand; *u* = ungewaschen; *g* = gewaschen; *e* = entfeint.

Der Steinschlagbeton aus entfeintem Rheinsande hat ebenfalls erheblich geringere Biegefestigkeit als derjenige aus ungewaschenem Rheinsand und zwar in beiden Mischungen, der fetten, sowie der mageren.

Der Quetschsand *Q* lieferte in den 28-Tages-Proben geringere oder die gleiche Biegefestigkeit wie die beiden ungewaschenen Sande *Iu* und *Ru*, in den Jahresproben aber von allen untersuchten Sanden die größte Biegefestigkeit. Hierbei tritt seine Ueberlegenheit bei der fetten Mischung mehr hervor als bei der mageren (s. a. Linien IX und IX a Abb. 22).

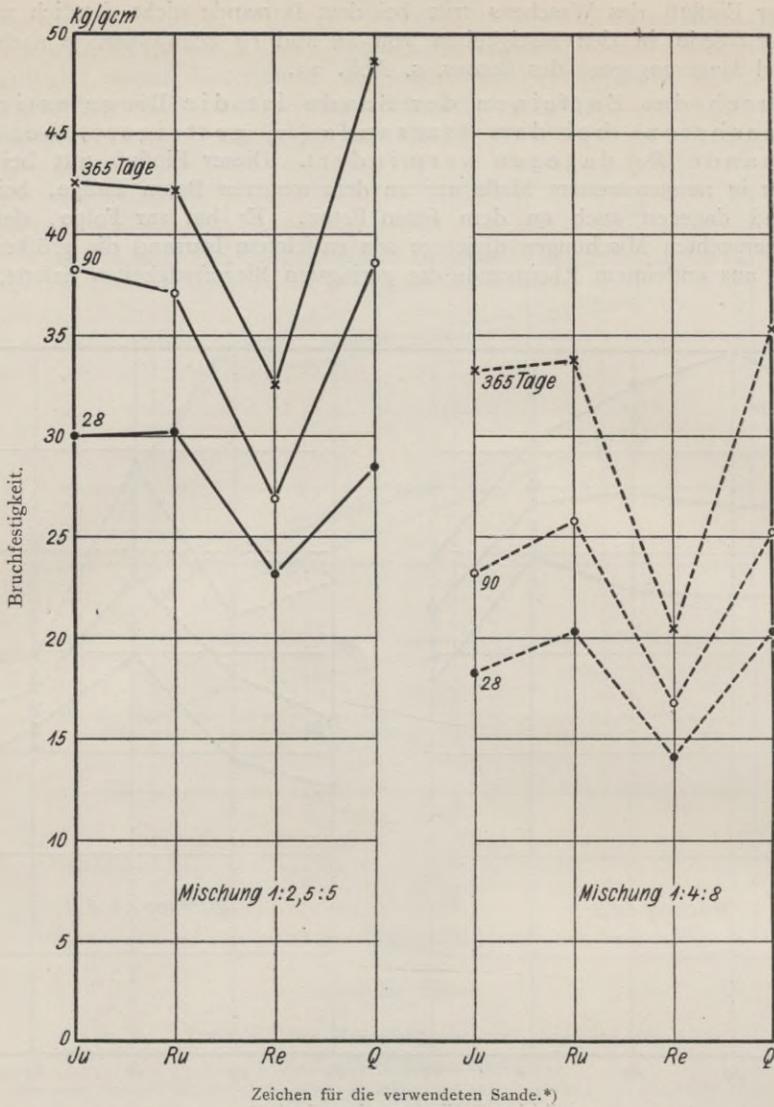


Abb. 24. Biegefestigkeiten des Steinschlagbetons aus den verschiedenen Sanden.

*) I = Isarsand; R = Rheinsand; u = ungewaschen; g = gewaschen; e = entfemt; Q = Quetschsand.

4. Einfluß des Magerungsgrades.

Der Unterschied in den Festigkeiten der fetten und mageren Mischung aus den gleichen Rohstoffen ergibt sich aus der Lage der Schaulinien Abb. 20—21 gleicher Ausführung, aber verschiedenartiger Auftragung der Beobachtungspunkte (gleiche Nr., mit und ohne a) zu einander. Die Linien mit . (Nr. ohne a) gehören den fetten Mischungen an, diejenigen mit x (Nr. mit a) den mageren Mischungen.

In allen Fällen ist die Festigkeit der mageren Mischung kleiner als die der fetten aus demselben Material.

Der Unterschied ist beim Kiesbeton aus Isarsand, Abb. 20, etwa gleich groß für den ungewaschenen und gewaschenen Sand, Linien I: Ia und VII: VIIa, wesentlich geringer aber für den entfemten Sand, Linie VIII: VIIIa.

Beim Kiesbeton aus Rheinsand, Abb. 21, ist der Unterschied in den Festigkeiten der mageren Mischungen gegen die der fetten bei dem entfeynten Sande, Linien III:IIIa, wie bei dem Beton aus Isarsand ebenfalls geringer als bei dem ungewaschenen Sande, Linien II:IIa.

Bei dem Steinschlagbeton, Abb. 22, treten Unterschiede in dem Einfluß des Magerungsgrades bei den verschiedenen Sanden nicht zutage. Bei weitem die geringste Festigkeit zeigt der magere Beton aus entfeyntem Rheinsand, Linie IIIa. Die mit diesem Sande erzielte Betonfestigkeit ist auch bereits in der fetten Mischung sehr gering, nämlich etwa gleich den Festigkeiten des mageren Betons aus den übrigen drei Sanden.

5. Vergleich zwischen Kiesbeton und Steinschlagbeton.

Aus ungewaschenem Isarsand, sowie aus ungewaschenem und aus entfeyntem Rheinsand ist in beiden Mischungen 1:2,5:5 und 1:4:8 sowohl Kiesbeton als auch Steinschlagbeton untersucht. Die erzielten mittleren Bruchfestigkeiten sind in Tab. 24 für sich gegenübergestellt und dann das Verhältnis zwischen den nach Sandart und Alter zusammengehörigen Werten gebildet, indem die Werte für den Kiesbeton gleich 100 gesetzt sind.

Diese Verhältniszahlen sind sämtlich größer als 100. Hieraus ergibt sich, daß der Steinschlagbeton bei allen Mischungen höhere Biegefestigkeiten lieferte als der Kiesbeton. Der Unterschied scheint bei der fetten Mischung (1:2,5:5) durch das Alter des Betons nicht gesetzmäßig beeinflußt zu sein.

Die Ueberlegenheit des Steinschlagbetons beträgt in dieser fetten Mischung bei den beiden ungewaschenen Sanden im Mittel für die drei Altersstufen etwa 31—33 % und bei dem entfeynten Rheinsand etwa 25 %.

Bei der mageren Mischung nimmt die Ueberlegenheit des Steinschlagbetons über den Kiesbeton mit wachsendem Alter zu; am größten ist sie hier für den ungewaschenen Rheinsand und nur sehr gering für den entfeynten Rheinsand.

B. Die Formänderungen.

Die bei den 342 einzelnen Versuchen beobachteten Gesamtdurchbiegungen und die Elastizitätszahlen sind aus den Tabellen 25—33 zu ersehen. Zu unterscheiden sind die Werte aus den Versuchen mit wiederholten Entlastungen von denjenigen, welche aus Versuchen ohne Entlastungen gewonnen sind. Um die Unterscheidung und den Vergleich zu erleichtern, sind die nach den beiden Versuchsarten getrennt gebildeten Mittelwerte für die Elastizitätszahlen in Tab. 34 für den Kiesbeton und in Tab. 35 für den Steinschlagbeton gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt, daß die Elastizitätszahlen aus den Versuchen ohne Entlastungen im allgemeinen kleiner sind als die aus den Versuchen mit Entlastungen. Der Unterschied ist aber nur bei einzelnen wenigen Reihen nennenswert. Eine graphische Gegenüberstellung der Werte, von deren Wiedergabe hier zwecks Raumersparnis Abstand genommen ist, zeigte ferner, daß die Betrachtung der Mittelwerte lediglich aus den Versuchen mit Entlastungen hinsichtlich des Urteiles über die verschiedenartigen Einflüsse des Alters, der Sandart usw. zu keinem andern Ergebnis führt, als die Betrachtung der Gesamt-Mittelwerte aus allen Versuchen, gleichviel, ob sie mit oder ohne Entlastungen durchgeführt sind. Im Hinblick hierauf sind in den weiteren Erörterungen, ausgenommen diejenigen über den Einfluß der Abmessungen, die Gesamtmittel zugrunde gelegt, wie sie in Tab. 21 und 22 den Werten für die Bruchfestigkeiten angefügt sind. Um die Tabellen nicht allzu umfangreich zu gestalten, habe ich geglaubt, mich auf die Betrachtung der Werte bis 420 kg Belastung beschränken zu sollen, die bei den Proben von 20 × 20 cm Querschnitt etwa 10 kg/qcm Biegungsspannung entspricht.

1. Einfluß der Querschnittsabmessungen.

Die an den drei Sorten Balken von verschiedenem Querschnitt (20×20 cm, 30×16 cm und 60×11 cm) bei wiederholtem Entlasten beobachteten Gesamtdurchbiegungen bei 28 und 90 Tagen Alter liefern die in Tab. 36 zusammengestellten Mittelwerte. Sie sind wegen der verschieden großen Werte des Trägheitsmomentes J der drei Querschnitte ($J = 13\,300$, $10\,240$ und 6655 cm³) nicht unmittelbar miteinander vergleichbar. Die Verhältnisse der Werte von J sind $100:77:50$; rechnet man die beobachteten Durchbiegungen mit diesen Verhältnissen um, so gelangt man zu den in Tab. 36 mit angegebenen Werten, die für die Querschnitte mit verschiedenen Verhältnissen zwischen Höhe und Breite bei gleichem Trägheitsmoment gelten. Aus ihnen ergibt sich, daß die Durchbiegungen bei quadratischem Querschnitt teils kleiner, teils größer sind als die Durchbiegungen bei rechteckigem Querschnitt, daß aber bei demselben Material immer von den beiden Proben-Reihen mit rechteckigem Querschnitt diejenige die größeren Gesamtdurchbiegungen lieferte, bei der das Verhältnis zwischen Breite zur Höhe das größere war. Der Unterschied schwankt bei den einzelnen Reihen sehr, so daß sich kein bestimmter Wert dafür angeben läßt; schätzungsweise beträgt der Unterschied $10-14\%$.

Aehnlich wie für die Gesamtdehnungen liegen die Verhältnisse für die Elastizitätszahlen, Tab. 37, indem die elastische Durchbiegung bei rechteckigem Querschnitt der Proben im allgemeinen bei dem größeren Verhältnis zwischen Breite zur Höhe ebenfalls die größere, der Elastizitätsmodul also der kleinere war. Die Werte für die Proben mit quadratischem Querschnitt fügen sich auch hier dem Verhältnis der Werte für die rechteckigen Querschnitte nur bei einigen Reihen derart an, daß die quadratischen Querschnitte die größten Elastizitätszahlen, also die geringsten elastischen Durchbiegungen lieferten.

Eine bestimmte Ursache für diese Ungesetzmäßigkeit in den Ergebnissen kann nicht angegeben werden, vielleicht dürfte sie darin zu suchen sein, daß bei der großen Zahl von Versuchen (insgesamt waren 852 Proben zu fertigen) die zur Anfertigung der Proben erforderliche Zeit zu ausgedehnt war, um mit Sicherheit verhüten zu können, daß die Proben gleicher Zusammensetzung trotz der sorgfältigsten Aufbereitung nicht doch nennenswerte, den Vergleich störende Unterschiede in den Materialeigenschaften aufweisen.

2. Einfluß des Alters.

Tab. 38 gibt die Verhältniswerte für die Elastizitätszahlen bei 90 und 365 Tagen Alter zu denen bei 28 Tagen Alter, die letzteren gleich 100 gesetzt, für vier verschiedene Laststufen.

Die Einzelwerte lassen erkennen, daß die Elastizitätszahl mit wachsendem Alter zunimmt und daß der Unterschied besonders bei dem Steinschlagbeton mit der Belastung wächst.

Aus den Mittelwerten für die vier Laststufen ergibt sich ferner, daß bei den 365 Tage alten Proben die Zunahme der Elastizitätszahl mit dem Alter an den mageren Mischungen im allgemeinen mehr hervortritt als an den fetteren Mischungen und beim Steinschlagbeton größer ist als bei dem Kiesbeton.

Unterschiede in den verschiedenen Sanden treten nicht deutlich hervor.

3. Einfluß der Sandart.

Die Ergebnisse sind in Abb. 25 für den Kiesbeton und in Abb. 26 für den Steinschlagbeton in Schaulinien dargestellt; aus ihrem Verlauf ergibt sich folgendes: Von den beiden ungewaschenen Sanden Iu und Ru lieferte der

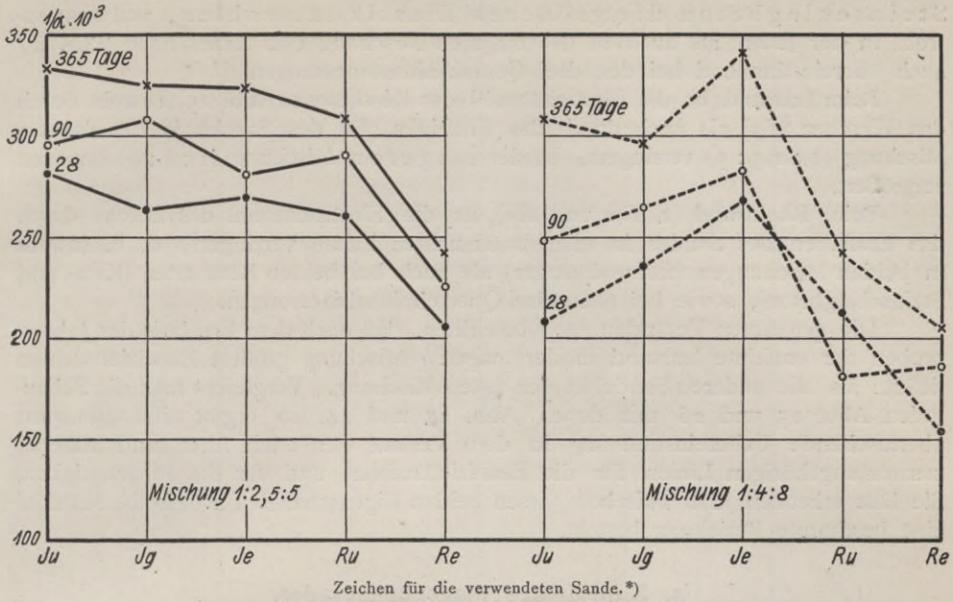


Abb. 25. Mittlere Elastizitätszahlen des Kiesbetons aus verschiedenen Sanden. (Siehe Tabelle 21, Werte für 320 kg Belastung.)

*) I = Isarsand; R = Rheinsand; u = ungewaschen; g = gewaschen; e = entfemt.

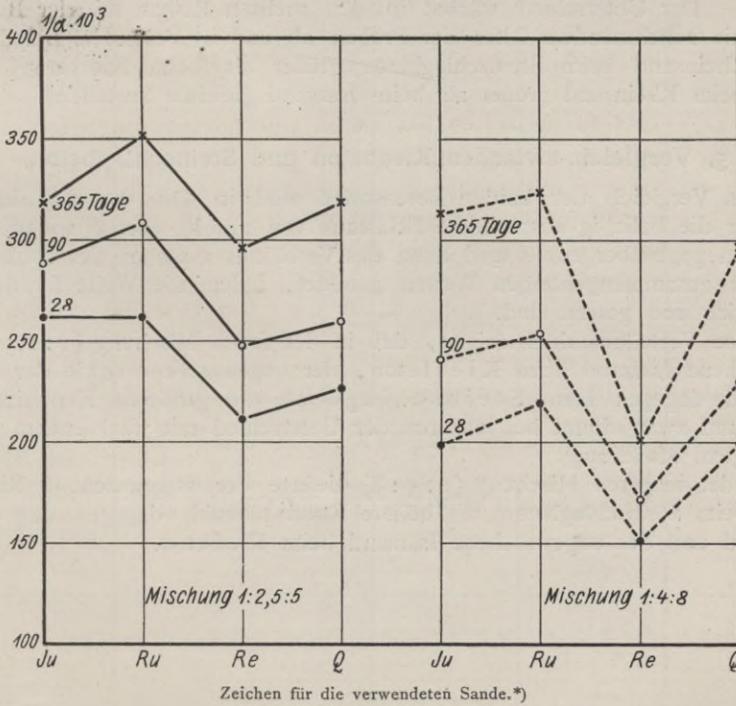


Abb. 26. Elastizitätszahlen des Steinschlagbetons aus verschiedenen Sanden.

*) I = Isarsand; R = Rheinsand; u ungewaschen; g = gewaschen; e = entfemt; Q = Quetschsand.

Isarsand *Iu* für den Kiesbeton und der Rheinsand *Ru* für den Steinschlagbeton die größeren Elastizitätszahlen, und zwar sowohl in der fetten als auch in der mageren Mischung und ferner nach Tab. 22 auch übereinstimmend bei den drei Querschnittsabmessungen.

Beim Isarsand ist die Elastizitätszahl des Kiesbetons (Abb. 25) sowohl durch das Waschen (*Ig*) als auch durch das Entfeinen (*Ie*) des Sandes in der fetten Mischung (1 : 2,5 : 5) verringert, in der mageren Mischung (1 : 4 : 8) dagegen vergrößert.

Beim Rheinsand (s. *Ru* und *Re*) ist die Elastizitätszahl des Betons durch das Entfeinen des Sandes in allen untersuchten Fällen verringert, d. h. sowohl in beiden Mischungen (fett und mager) als auch bei beiden Betonarten (Kies- und Steinschlagbeton), sowie bei allen drei Querschnittsabmessungen.

Die genannten Veränderungen bewirkten, daß nach dem Ergebnis der Jahresproben der entfeinte Isarsand in der mageren Mischung größere Elastizitätszahlen lieferte als alle anderen Sande in der fetten Mischung. Vergleicht man die Schaulinien Abb. 25 und 26 mit denen Abb. 23 und 24, so ergibt sich eine ganz überraschende Uebereinstimmung in dem Verlauf der nach Alter und Material zusammengehörigen Linien für die Elastizitätszahlen und für die Biegefestigkeit. Sie läßt erkennen, daß zwischen diesen beiden Eigenschaften für dasselbe Material eine bestimmte Beziehung besteht.

4. Einfluß des Magerungsgrades.

Die in Tab. 39 zusammengestellten Verhältniswerte für die Elastizitätszahlen des mageren Betons (1 : 4 : 8) zu denen des fetten (1 : 2,5 : 5) aus demselben Sand, Kies und Steinschlag lassen erkennen, daß der magere Beton, abgesehen von dem Kiesbeton aus entfeintem Isarsand, in allen untersuchten Mischungen kleinere Elastizitätszahlen besitzt, also größere elastische Durchbiegungen zeigte, als der fettere. Der Unterschied wächst in den meisten Reihen mit der Belastung, nimmt mit zunehmendem Alter der Proben ab und ist besonders bei dem entfeinten Rheinsand beim Steinschlagbeton größer als beim Kiesbeton und im übrigen beim Rheinsand größer als beim Isarsand gleichen Zustandes.

5. Vergleich zwischen Kiesbeton und Steinschlagbeton.

Zum Vergleich der beiden Betonsorten sind in Tab. 24 die Elastizitätszahlen für die beliebig ausgewählte Belastung von 220 kg ebenso wie die Bruchfestigkeiten gegenübergestellt und dann das Verhältnis zwischen den nach Sandart und Alter zusammengehörigen Werten gebildet, indem die Werte für den Kiesbeton gleich 100 gesetzt sind.

Diese Verhältniszahlen zeigen, daß in der fetten Mischung (1 : 2,5 : 5) der ungewaschene Isarsand beim Kiesbeton, der ungewaschene sowie der entfeinte Rheinsand dagegen beim Steinschlagbeton die größeren Elastizitätszahlen lieferte, und zwar nimmt bei letzteren der Unterschied mit wachsendem Alter in ausgeprägtem Maße zu.

In der mageren Mischung (1 : 4 : 8) lieferte der ungewaschene Rheinsand wieder beim Steinschlagbeton die höhere Elastizitätszahl, dagegen der entfeinte Rheinsand und der ungewaschene Isarsand beim Kiesbeton.

Tabelle 20.
Zusammensetzung des Betons bei den Biegebalken.

Reihe		Querschnitt cm	Art des Betons	Zusammensetzung des Betons: Auf 1 Gewichtsteil Zement, Teile								Wasserzusatzz %	Altersstufen	
Zeichen	Nr.			Sand				Kies					Steinschlag	Anzahl
		Isar		Rhein		Kies		Steinschlag						
		ungewaschen	gewaschen	entfeint	ungewaschen	entfeint	Quetschsand	Kies	Steinschlag					
I	41	2,5						5						
VII	42		2,5					5						
VIII	43			2,5				5						
II	44				2,5			5						
III	45					2,5		5				3	5	
Ia	46							8						
VIIa	47	4	4					8						
VIIIa	48			4				8						
IIa	49							8						
IIIa	50				4			8						
I	51	2,5						5						
II	52							5						
III	53				2,5			5						
Ia	54	4						8						
IIa	55				4			8						
IIIa	56					4		8				2	3	
I	57	2,5						5						
II	58							5						
III	59				2,5			5						
Ia	60	4						8						
IIa	61				4			8						
IIIa	62					4		8						
I	63	2,5								5				
II	64									5				
III	65				2,5					5				
Ia	66									8				
IIa	67	4			4					8				
IIIa	68									8				
IX	69									5				
IXa	70						2,5			8				
							4							

Tabelle 21.
Die Bruchfestigkeiten der Balken aus Kiesbeton.
Die Versuche, deren Ergebnisse in liegender Schrift angegeben sind, sind ohne Entlastungen ausgeführt.

Reihe	Zusammensetzung des Betons				Sand	Alter der Proben in Tagen	Abmessungen der Proben in cm			Bruchfestigkeiten in kg/qcm					Verhältniszahlen für den Einfluß des Alters	Mittlere Elastizitätszahlen E in kg/qcm · 10 ³ beider übergeschriebenen Belastungen in kg									
	Zeichen	Nr.	Zement	Sand			Kies	Wasser %	Zustand	Art	Zustand	bei Versuch					im Mittel	120	220	320	420				
												1	2	3		4						5			
I	I	41				7,0		Isar	unge- waschen	erdfeucht	28	150	20	20	27,3	21,8	22,9	23,7	19,7	23,1	295	284	282	293	
															32,5	26,4	26,8	21,4	30,6	27,5	119	298	300	295	271
															26,7	27,5	35,8	35,8	37,4	32,6	141	344	337	334	331
VII	VII	42			6,8			Isar	ge- waschen	erdfeucht	28	150	20	20	28,8	19,1	23,5	21,4	21,7	22,9	100	257	266	263	
															28,1	27,3	37,4	16,8	—	—	119	321	313	308	302
															33,4	33,5	35,7	36,1	—	—	153	328	325	325	322
VIII	VIII	43		5	6,5			Isar	entfeint	erdfeucht	28	150	20	20	27,1	18,0	22,4	24,9	23,7	23,2	100	282	276	270	
															30,8	20,0	35,1	30,3	23,8	28,0	121	288	285	281	277
															39,2	27,0	31,7	30,8	38,0	33,3	144	330	327	324	316
II	II	44			6,0			Rhein	unge- waschen	erdfeucht	28	150	20	20	23,5	23,4	27,8	24,9	25,0	24,9	100	277	268	261	
															28,7	26,7	27,5	28,5	26,2	27,5	110	306	300	291	287
															29,6	30,6	34,4	28,5	30,0	30,7	123	320	314	309	306
III	III	45			4,5			Rhein	entfeint	erdfeucht	28	150	20	20	16,5	20,5	19,4	22,1	14,8	18,7	100	224	212	206	
															24,9	26,7	16,7	20,2	22,4	22,2	119	241	233	226	222
															21,3	25,3	30,2	26,4	21,1	24,9	123	255	248	243	237
Ia	Ia	46			6,5			Isar	unge- waschen	erdfeucht	28	150	20	20	13,2	14,3	13,5	13,5	12,3	13,4	100	211	211	208	
															14,1	17,6	18,7	(7,3)	16,3	16,7	125	262	255	249	244
															27,4	26,3	19,2	20,9	—	—	174	319	314	309	305
VIIa	VIIa	47			6,5			Isar	ge- waschen	erdfeucht	28	150	20	20	15,5	17,0	11,3	14,0	15,0	14,6	100	249	242	237	
															16,5	20,0	20,2	18,7	—	—	130	271	268	265	257
															22,7	25,2	21,8	19,0	20,8	21,9	150	303	300	297	293
VIIIa	VIIIa	48		8	6,4			Isar	entfeint	erdfeucht	28	150	20	20	21,8	19,7	19,2	19,1	19,8	19,9	100	281	275	268	
															23,4	22,6	25,9	23,5	23,4	23,8	120	300	291	283	278
															34,2	30,8	27,7	32,0	22,3	29,4	148	352	345	347	342
IIa	IIa	49			5,5			Rhein	unge- waschen	erdfeucht	28	150	20	20	15,2	17,3	17,1	16,9	14,7	16,2	100	224	219	213	
															12,2	20,5	21,5	—	—	18,1	112	212	196	181	166
															16,7	16,9	22,8	21,4	21,1	19,8	122	259	256	247	242
IIIa	IIIa	50			4,0			Rhein	entfeint	erdfeucht	28	150	20	20	10,0	16,5	16,0	10,1	14,3	13,4	100	176	164	154	
															14,2	16,8	18,6	20,7	12,4	16,5	123	199	192	186	177
															16,3	17,3	20,7	21,6	(4,9)	19,0	142	213	209	205	196

Tabelle 21. (Fortsetzung.)
Die Bruchfestigkeiten der Balken aus Kiesbeton.

Reihe	Zusammensetzung des Betons				Sand		Alter der Proben in Tagen	Abmessungen der Proben in cm			Bruchfestigkeiten in kg/qcm					Verhältniszahlen für den Einfluß des Alters	Mittlere Elastizitätszahlen E in kg/qcm $\cdot 10^3$ bei den überschriebenen Belastungen in kg					
	Zeichen	Nr.	Zement	Sand	Kies	Wasser %		Zustand	Art	Zustand	Länge	Breite	Höhe	1	2		3	4	5	im Mittel	120	220
I	51					7,0	erdfeucht	Isar	unge-waschen	28					25,7	20,8	21,2	22,6	308	303	300	296
II	52	I	2,5	5		6,0		Rhein		28					32,2	28,8	23,4	28,1	327	320	320	314
III	53					4,5			entfeint	28					27,5	25,0	(5,3)	26,3	—	—	—	—
										28					30,4	27,9	27,0	28,4	—	—	—	—
Ia	54					6,5	erdfeucht	Isar	unge-waschen	28	150	30	16		—	—	—	—	—	—	—	—
IIa	55	I	4	8		5,5		Rhein		28					14,6	19,6	16,0	16,7	—	—	—	—
IIIa	56					4,0			entfeint	28					15,2	17,0	15,4	15,8	100	230	213	204
										90					16,8	20,0	13,8	16,9	109	236	229	223
I	57					7,0	erdfeucht	Isar	unge-waschen	28					12,7	15,4	15,6	14,5	100	200	194	185
II	58	I	2,5	5		6,0		Rhein		28					25,7	12,0	15,1	17,6	121	232	225	218
III	59					4,5			entfeint	90					25,6	22,2	23,9	23,9	100	296	296	289
										90					28,1	28,0	30,4	28,8	120	301	298	293
Ia	60					6,5	erdfeucht	Isar	unge-waschen	28					(9,2)	32,6	24,3	28,4	100	264	256	252
IIa	61	I	4	8		5,5		Rhein		28					23,4	21,1	26,6	23,7	83	269	264	257
IIIa	62					4,0			entfeint	28					24,7	13,6	21,0	19,8	100	239	235	228
										90	150	60	11		28,8	16,9	20,9	22,2	112	235	231	226
										28					—	—	—	—	—	—	—	—
										90					14,1	18,2	13,8	15,3	—	252	248	247
IIa	61	I	4	8		5,5		Rhein		28					13,5	15,3	16,5	15,1	100	210	202	195
IIIa	62					4,0			entfeint	28					15,6	20,1	19,1	18,3	121	235	226	215
										90					12,1	14,3	11,8	12,7	100	195	188	176
										90					14,8	13,5	15,8	14,7	116	208	202	195

Tabelle 22.
Die Bruchfestigkeiten der Balken aus Steinschlagbeton.
 Die Versuche, deren Ergebnisse in liegender Schrift angegeben sind, sind ohne Entlastungen ausgeführt.

Reihe	Zusammensetzung des Betons				Sand	Alter der Proben in Tagen	Abmessungen der Proben in cm			Bruchfestigkeiten in kg/qcm					Verhältniszahlen für den Einfluß des Alters	Mittlere Elastizitätszahlen E in kg/qcm $\cdot 10^8$ bei den überschriebenen Belastungen in kg							
	Zeichen	Nr.	Zement	Sand			Steinschlag	Wasser %	Zustand	Art	Zustand	Länge	Breite	Höhe		bei Versuch					im Mittel		
										1	2	3	4	5						120	220	320	420
I	63	I			erdfeucht	7,7		Isar	unge-waschen	28	31,8	31,1	34,0	26,6	30,0	100	276	266	261	253			
										90	38,1	40,0	35,3	38,1	38,3	127	300	292	289	287			
										365	42,7	41,5	40,7	46,2	41,6	142	324	322	319	312			
II	64	I	2,5	5	erdfeucht	6,2	Rhein	entfeint	28	28,5	29,5	29,2	32,1	31,7	100	279	271	262	259				
									90	34,9	33,9	33,6	37,1	39,7	123	319	312	308	306				
									365	46,4	41,4	42,8	38,4	41,8	140	354	354	351	343				
III	65	I			erdfeucht	5,2			28	22,3	22,4	22,0	25,5	23,2	100	218	215	211	205				
									90	28,0	30,2	22,6	23,4	30,2	116	256	253	248	246				
									365	31,3	34,5	32,0	27,6	37,7	141	304	299	296	289				
Ia	66				erdfeucht	7,5	Isar	unge-waschen	28	15,0	19,8	20,9	18,5	17,4	100	211	204	199	193				
									90	21,4	23,0	24,0	24,0	23,2	127	251	246	241	237				
									365	29,6	32,9	38,1	36,7	29,2	182	326	315	313	305				
IIa	67	I	4	8	erdfeucht	5,5	Rhein	entfeint	28	20,8	21,9	20,2	21,4	17,2	100	248	225	219	207				
									90	25,2	27,7	25,5	24,6	25,9	127	272	262	254	250				
									365	34,0	32,2	35,8	33,2	33,9	166	331	327	324	320				
IIIa	68				erdfeucht	5,0			28	11,9	11,0	16,6	16,4	14,8	100	162	157	151	—				
									90	14,2	19,7	19,0	14,6	16,5	119	182	180	171	165				
									365	17,3	19,0	21,5	22,8	22,2	145	208	206	201	197				
IX	69	I	2,5	5	erdfeucht	6,5	Quetsch-sand	—	28	29,5	30,1	33,5	24,5	24,7	100	240	232	228	224				
									90	41,9	34,9	33,9	40,7	42,2	136	266	263	260	256				
									365	51,2	46,2	38,9	65,7	41,1	170	344	315	319	314				
IXa	70	I	4	8	erdfeucht	6,3			28	22,7	20,5	—	20,0	17,8	100	208	203	199	192				
									90	24,9	24,9	28,5	26,2	21,3	124	235	232	230	226				
									365	36,3	40,5	38,0	32,7	29,2	174	306	301	297	294				

Tabelle 23.

Einfluß der Querschnittsabmessungen auf die Biegefestigkeit.

Mischung	Reihe	Zusammensetzung des Betons			Sand		Abmessungen der Probe		Bruchfestigkeit bei	
		Gewichtsteile		Wasserzuzusatz %	Art	Zustand	Breite cm	Höhe cm	Alter in Tagen	
		Sand	Kies						28	90
I	41	2,5	5	7,0	Isar	ungewaschen	20	20	23,1	27,5
	51						30	16	22,6	28,1
	57						60	11	23,9	28,8
II	44	2,5	5	6,0	Rhein	ungewaschen	20	20	24,9	27,5
	52						30	16	26,3	28,4
	58						60	11	28,4	23,7
III	45	2,5	5	4,5	Rhein	entfeint	20	20	18,7	22,2
	53						30	16	20,7	21,7
	59						60	11	19,8	22,2
Ia	46	4	8	6,5	Isar	ungewaschen	20	20	13,4	16,7
	54						30	16	—	16,7
	60						60	11	—	15,3
IIa	49	4	8	5,5	Rhein	ungewaschen	20	20	16,2	18,1
	55						30	16	15,8	16,9
	61						60	11	15,1	18,3
IIIa	50	4	8	4,0	Rhein	entfeint	20	20	13,4	16,5
	56						30	16	14,5	17,6
	62						60	11	12,7	14,7

Tabelle 24.

Vergleich zwischen Kiesbeton und Steinschlagbeton aus den gleichen Sanden und bei demselben Mischungsverhältnis.

Mischungsverhältnis	Sand		Alter der Proben in Tagen	Mittlere Bruchfestigkeit in kg/qcm			Elastizitätsmodul bei 220 kg Belastung		
	Art	Zustand		Beobachtungswerte		Verhältniszahlen; die Werte für Kiesbeton = 100 gesetzt	Mittlere Beobachtung		Verhältnis, die Werte für den Kiesbeton = 100 gesetzt
				Kiesbeton	Steinschlagbeton		Kiesbeton	Steinschlagbeton	
1:2,5:5	Isar	ungewaschen	28	23,1	30,0	130	284	266	95
			90	27,5	38,3	139	300	292	97
			365	32,6	42,6	130	337	322	96
	Rhein	ungewaschen	28	24,9	30,2	121	268	271	101
			90	27,5	37,1	135	300	312	104
			365	30,7	42,2	137	314	354	113
Rhein	entfeint	28	18,7	23,2	124	212	215	101	
		90	22,2	26,9	121	233	253	109	
		365	24,9	32,6	131	248	299	120	
1:4:8	Isar	ungewaschen	28	13,4	18,3	137	211	204	97
			90	16,7	23,2	139	255	246	96
			365	23,4	33,3	142	314	315	100
	Rhein	ungewaschen	28	16,2	20,3	125	219	225	103
			90	18,1	25,8	143	196	262	115
			365	19,8	33,8	171	256	327	128
Rhein	entfeint	28	13,4	14,1	105	164	157	96	
		90	16,5	16,8	102	192	180	94	
		365	19,0	20,5	108	209	206	99	

Tabelle 25. Gesamtdurchbiegungen und Elastizitätszahlen bei stufenweiser Belastung.
 Reihe 41 ÷ 45: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies (Gewichtsteile).
 Mittlere Probenabmessungen: Breite = 20 cm; Höhe = 20 cm; Stützweite = 130 cm; Gesamtlänge = 150 cm.

Reihe	Wasser- zusatz %	Sand		Alter der Proben in Tagen	Probe Nr.	Art des Versuches bezügl. Entlasten	Gesamtdurchbiegung in $\text{cm} \cdot 10^{-5}$ auf 130 cm Meß- länge bei den übergeschriebenen Belastungen in kg										Elastizitätszahlen E in $\text{kg}/\text{qcm} \cdot 10^8$ bei den über- geschriebenen Belastungen in kg											
		Art	Zustand				120	220	320	420	520	620	720	820	920	120	220	320	420	520	620	720	820	920				
I	7,0		unge- waschen	28	3	mit	152	263	380	493	642	798	948	1106	1308	306	307	305	304	298	292	290	285	278				
					6	ohne	156	291	432	595	743	940	1213	—	—	—	—	—	387	275	271	258	246	237	221	—		
					9	ohne	136	268	390	529	650	786	913	1042	1192	—	—	—	331	282	289	277	279	274	274	273	267	
					12	ohne	156	288	420	560	725	874	1046	1283	—	—	—	—	296	263	252	248	257	254	227	210	204	
					15	ohne	134	248	363	498	630	768	909	1079	1270	—	—	—	292	263	292	280	274	269	264	253	241	
					5	mit	157	265	385	528	701	848	1043	1220	—	—	—	—	—	289	295	293	286	275	272	268	264	
					8	mit	140	249	378	504	660	806	930	1072	1196	—	—	—	—	309	309	306	291	283	282	281	278	
					2	ohne	139	246	354	464	579	696	819	928	1050	—	—	—	—	279	289	292	292	289	287	286	284	281
					11	ohne	132	246	363	483	612	745	890	1030	1198	—	—	—	—	302	288	291	288	281	275	268	263	254
					14	ohne	136	247	361	483	600	719	842	972	1108	—	—	—	—	312	309	305	298	284	284	282	288	283
					10	mit	119	215	330	446	550	648	775	879	992	—	—	—	—	336	340	335	333	330	329	329	327	327
					13	mit	113	233	331	432	531	638	749	854	944	—	—	—	—	370	367	364	362	358	355	354	351	—
					1	ohne	135	246	367	489	617	749	886	1024	1208	—	—	—	—	307	304	304	289	283	277	272	268	255
					4	ohne	114	227	330	438	547	659	782	893	1020	—	—	—	—	357	330	352	329	326	326	317	316	316
					7	ohne	111	211	310	410	510	615	729	830	925	—	—	—	—	349	344	342	342	341	338	332	332	335
VII	6,8		ge- waschen	28	6 ¹⁾	mit	(160)	(291)	(426)	—	—	—	—	—	—	(268)	(266)	(261)	—	—	—	—	—	—				
					12	mit	138	276	468	555	700	865	1028	1202	—	—	—	—	266	258	261	258	257	253	249	235		
					15	mit	136	260	390	520	659	797	961	1164	—	—	—	—	251	257	255	252	249	247	243	236		
					3	ohne	123	235	347	463	586	702	830	953	1075	—	—	—	332	312	306	300	293	291	286	283	282	
					9	ohne	158	293	429	568	725	896	1092	—	—	—	—	—	245	246	242	240	238	231	223	212	—	
					2	mit	128	227	328	429	529	634	730	835	932	—	—	—	—	314	304	304	287	264	236	211	199	
					5	mit	134	264	416	516	616	716	816	916	—	—	—	—	—	308	300	294	295	291	290	288	282	
					8	ohne	129	239	352	460	576	688	806	922	1050	—	—	—	—	326	322	315	315	314	312	310	308	304
					11 ²⁾	ohne	108	211	320	425	530	640	749	861	979	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					14	ohne	131	244	347	456	567	684	799	926	1046	—	—	—	—	323	314	320	317	313	311	309	308	305
					7	mit	126	225	342	448	556	670	780	903	1038	—	—	—	—	340	330	329	329	327	324	322	320	318
					10	mit	115	210	309	412	516	620	728	830	937	—	—	—	—	322	325	323	328	325	323	320	318	318
					1	ohne	115	210	309	412	516	620	728	830	937	—	—	—	—	322	325	323	328	325	323	320	318	318
					4	ohne	128	233	337	444	553	665	772	879	1010	—	—	—	—	327	319	317	314	311	308	308	307	300
					13 ²⁾	ohne	118	211	310	410	510	615	729	830	925	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VIII	6,5		ent- feint	28	6	mit	138	244	356	458	574	697	829	970	1127	318	317	312	310	310	303	299	296	289				
					15	mit	142	247	371	498	630	767	897	1060	1284	—	—	—	—	314	288	286	283	279	274	272	265	
					3	ohne	119	229	343	454	554	667	788	905	1028	—	—	—	—	318	306	299	299	302	300	295	289	
					9	ohne	157	288	429	570	730	897	1086	1279	1500	—	—	—	—	296	262	265	241	230	225	216	195	
					12	ohne	151	293	444	607	761	935	1114	1304	1500	—	—	—	—	230	219	210	202	200	194	189	184	
					5	mit	109	199	294	389	491	598	702	829	938	—	—	—	—	359	345	341	337	331	330	330	325	
					8	mit	149	280	421	590	746	906	1068	1305	1552	—	—	—	—	266	261	255	249	245	240	236	225	
					2	ohne	132	238	348	458	572	685	801	919	1047	—	—	—	—	307	308	305	303	299	298	295	288	
					11	ohne	184	339	488	651	818	1010	1266	1730	—	—	—	—	291	214	215	210	207	199	184	152	—	
					14	ohne	129	249	364	484	600	719	843	972	1092	—	—	—	—	298	284	283	280	280	279	276	273	
					4	mit	113	213	307	464	570	688	797	927	1080	—	—	—	—	400	398	395	359	354	350	349	345	
					13 ²⁾	mit	110	206	306	464	568	690	810	958	1105	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
					7	ohne	154	277	400	535	669	810	978	1105	1275	—	—	—	—	369	361	354	352	346	345	343	341	
					10	ohne	139	262	376	496	618	738	868	996	1140	—	—	—	—	261	263	259	257	254	249	245	241	

1) Arbeiten der Spiegelapparate von 420 kg Belastung ab unzuverlässig, Ergebnisse dieses Versuches daher vom Mittel ausgeschlossen. — 2) Probe nicht geprüft, da beim Transport zerbrochen.
 3) Spiegelapparate mußten anfänglich mehrfach neu angesetzt werden, da sie schlecht arbeiteten. Ergebnisse daher unsicher und nicht mit aufgeführt.

Tabelle 25. (Fortsetzung.)
Gesamtdurchbiegungen und Elastizitätszahlen bei stufenweiser Belastung.

Reihe	Wasser- zusatz %	Sand		Alter der Proben in Tagen	Probe Nr.	Art des Versuches bezügl. Entlasten	Gesamtdurchbiegung in $\text{cm} \cdot 10^{-6}$ auf 130 cm Meß- länge bei den übergeschriebenen Belastungen in kg										Elastizitätszahlen E in $\text{kg}/\text{qcm} \cdot 10^3$ bei den über- geschriebenen Belastungen in kg											
		Art	Zustand				120	220	320	420	520	620	720	820	920	120	220	320	420	520	620	720	820	920				
II	6,0		unge- waschen	28	12	mit	160	303	444	624	784	970	1162	1342	1555	288	284	277	272	267	257	247	245	237				
					15	mit	164	341	480	639	810	985	1158	1351	1522	281	268	261	258	253	247	243	238	230	218	208		
					6	ohne	170	298	436	581	738	908	1065	1240	1456	263	250	246	240	233	226	223	218	211	208	208	208	
					9	ohne	171	298	436	573	718	878	1036	1216	1430	270	261	251	247	241	233	228	221	210	208	208	208	
					14	ohne	143	267	398	529	672	820	981	1143	1345	284	276	268	264	259	251	243	238	227	227	227	227	
					2	mit	150	275	400	524	654	836	982	1174	1362	302	305	302	299	294	287	281	271	261	251	243	237	
					11	mit	123	233	351	475	597	723	850	1002	1162	327	319	314	306	301	299	295	287	281	271	261	258	
					5	ohne	127	235	355	471	602	723	849	983	1102	320	309	295	291	281	278	275	270	270	270	270	270	270
					8	ohne	149	272	411	540	673	820	975	1136	1333	278	274	261	260	257	249	245	239	228	228	228	228	228
					14	ohne	121	236	358	483	600	733	872	1015	1137	298	292	284	278	278	273	267	261	258	258	258	258	258
					4	mit	154	265	379	490	620	759	890	1051	1196	313	308	304	304	299	295	293	285	281	281	281	281	281
					13	mit	126	235	349	466	586	734	866	1015	1197	323	323	317	313	309	302	297	291	291	291	291	291	291
					1	ohne	123	228	336	448	561	678	802	927	1052	317	314	310	305	302	298	292	288	288	288	288	288	288
					7	ohne	125	237	357	471	591	713	860	995	1150	316	309	299	299	295	292	281	277	269	269	269	269	269
10	ohne	126	233	338	446	552	678	795	931	1055	329	315	312	309	308	298	295	286	283	283	283	283	283					
III	4,5		ent- feint	90	9	mit	157	320	496	730	917	1119	1342	1722	2090	233	219	214	205	201	195	188	178	154				
					15	mit	220	418	623	888	1218	1730	—	—	—	197	194	187	171	153	—	—	—	—	—	—		
					3	ohne	101	350	534	722	973	1242	—	—	—	215	211	199	192	176	164	—	—	—	—	—		
					6	ohne	172	343	510	713	920	1204	1498	1931	—	246	232	221	211	204	194	187	—	—	—	—	—	
					12	ohne	171	322	472	660	841	1052	1267	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
					2	mit	154	288	435	584	747	930	1185	1555	—	260	255	251	247	243	235	222	202	—	—	—	—	
					8	mit	159	292	423	566	731	939	1150	1380	1835	258	256	253	250	248	239	238	236	205	—	—	—	
					5	ohne	172	322	475	664	790	978	1168	1401	1629	236	227	222	222	216	208	202	192	185	—	—	—	
					11	ohne	164	305	459	601	758	920	1101	1306	1530	251	239	228	228	223	218	211	202	194	—	—	—	
					14	ohne	200	384	590	828	1130	1560	—	—	—	195	186	175	164	148	128	—	—	—	—	—	—	
					1	ohne	166	304	452	601	760	929	1148	1396	1940	242	239	232	228	223	217	204	191	—	—	—	—	
					4	ohne	160	300	444	593	754	916	1109	1322	1577	251	242	237	233	226	222	213	203	191	—	—	—	
					7	ohne	174	297	426	562	728	885	1056	1239	1457	272	271	266	260	245	230	221	212	202	—	—	—	
					10	ohne	145	265	394	529	669	805	964	1127	1282	266	263	256	250	244	242	234	228	226	—	—	—	
13	ohne	162	313	464	626	816	1023	1262	1673	2270	243	221	222	216	204	194	183	166	—	—	—	—						

Tabelle 26. Gesamtdurchbiegungen und Elastizitätszahlen bei stufenweiser Belastung.

Reihe 46 ÷ 50: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies (Gewichtsteile).

Mittlere Probeabmessungen: Breite = 20 cm; Höhe = 20 cm; Stützweite = 130 cm; Gesamtlänge = 150 cm.

Reihe	Wasser- zusatz %	Sand		Alter der Proben in Tagen	Probe Nr.	Art des Versuches bezgl. Entlasten	Gesamtdurchbiegung in $\text{cm} \cdot 10^{-5}$ auf 130 cm Meß- länge bei den überschriebenen Belastungen in kg										Elastizitätszahlen E in $\text{kg}/\text{qcm} \cdot 10^3$ bei den über- geschriebenen Belastungen in kg											
		Zustand	Art				120	220	320	420	520	620	720	820	920	120	220	320	420	520	620	720	820	920				
Ia 46	6,5	unge- waschen		28	6	mit	153	321	511	705	1040	—	—	—	—	—	—	217	212	204	199	181	—	—	—			
					9	—	212	376	562	799	1198	—	—	—	—	—	—	—	—	212	215	212	201	—	—	—		
					3	ohne	218	374	546	723	968	—	—	—	—	—	—	—	—	210	211	205	200	183	—	—	—	
					12	—	221	386	540	715	921	—	—	—	—	—	—	—	—	191	193	198	195	186	—	—	—	
					15	—	175	325	481	648	870	—	—	—	—	—	—	—	—	224	223	219	214	197	—	—	—	
					5	mit	(212)	(440)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(900)	(186)	—	—	—	—	—	—	—
					14	—	167	311	440	576	712	992	—	—	—	—	—	—	—	269	267	262	260	256	—	—	—	—
					2	ohne	151	281	447	560	720	980	—	—	—	—	—	—	—	260	252	245	239	230	—	—	—	—
					8	—	155	291	428	572	727	881	1105	—	—	—	—	—	—	253	246	243	239	232	—	—	—	—
					11	—	133	264	405	548	694	868	1140	—	—	—	—	—	—	266	254	244	238	234	—	—	—	—
					4	mit	124	233	345	478	610	776	1062	—	—	—	—	—	—	325	312	312	300	293	—	—	—	—
					7	—	131	244	351	468	598	730	908	1166	—	—	—	—	—	308	295	299	296	290	—	—	—	—
					1	ohne	121	226	332	493	510	624	744	865	990	—	—	—	—	329	321	318	318	316	—	—	—	—
10	ohne	150	258	369	478	589	707	822	960	1090	—	—	—	—	315	310	306	305	304	—	—	—	—					
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
VIIa 47	6,5	ge- waschen		28	9	mit	148	282	420	566	722	1020	—	—	—	—	—	260	259	254	249	244	—	—	—			
					12	—	155	285	423	580	799	1118	—	—	—	—	—	273	276	271	259	254	—	—	—	—		
					3	ohne	163	302	445	601	765	970	—	—	—	—	—	—	251	241	236	228	221	—	—	—	—	
					0	—	183	340	490	664	868	1077	—	—	—	—	—	—	229	219	216	210	198	—	—	—	—	
					15	—	170	333	510	785	—	—	—	—	—	—	—	—	231	217	207	176	—	—	—	—	—	
					8	mit	118	237	362	481	610	760	901	1200	—	—	—	—	—	283	280	276	273	270	—	—	—	—
					5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					2	ohne	146	275	403	557	703	893	—	—	—	—	—	—	—	254	251	251	239	234	—	—	—	—
					11	—	147	275	410	547	692	880	1016	1240	—	—	—	—	—	262	257	251	247	241	—	—	—	—
					14	—	149	265	384	519	645	786	972	1270	—	—	—	—	—	285	283	280	269	267	—	—	—	—
					10	mit	137	244	349	465	585	717	841	1102	—	—	—	—	—	317	319	319	316	312	—	—	—	—
					13	—	136	248	361	488	601	750	897	1119	1443	—	—	—	—	294	295	294	289	291	—	—	—	—
					1	ohne	142	266	385	517	642	771	917	1103	1280	—	—	—	—	285	273	273	266	265	—	—	—	—
4	—	120	219	319	418	522	625	735	846	964	—	—	—	—	318	316	314	314	311	—	—	—	—					
7	—	126	240	363	486	605	748	890	1042	—	—	—	—	—	303	296	287	282	281	—	—	—	—					
VIIIa 48	6,4	ent- feint		28	6	mit	157	290	434	576	742	1002	—	—	—	—	—	268	266	261	259	250	—	—	—			
					15	—	117	240	372	500	645	801	1096	—	—	—	—	—	317	307	293	285	280	—	—	—		
					3	ohne	166	296	421	554	691	833	983	1157	—	—	—	—	—	269	262	263	259	256	—	—	—	
					0	—	122	244	371	500	640	794	948	1168	—	—	—	—	—	282	268	261	256	245	—	—	—	
					12	—	120	248	373	507	638	781	933	—	—	—	—	—	—	269	262	261	257	255	—	—	—	
					2	mit	138	253	371	502	623	760	901	1083	1195	—	—	—	—	299	288	287	282	281	—	—	—	—
					8	—	93	280	403	529	657	780	920	1104	1302	—	—	—	—	293	284	277	272	266	—	—	—	—
					5	ohne	128	250	370	498	619	737	905	1045	1225	—	—	—	—	276	273	267	266	259	—	—	—	—
					11	—	141	270	402	538	680	824	999	1171	1357	—	—	—	—	283	268	261	256	250	—	—	—	—
					14	—	138	232	352	459	572	696	822	965	1112	—	—	—	—	334	339	313	310	305	—	—	—	—
					4	mit	111	204	272	439	533	627	720	821	919	—	—	—	—	356	348	345	342	340	—	—	—	—
					7	—	114	212	311	417	522	619	749	903	—	—	—	—	—	353	355	351	338	334	—	—	—	—
					1	ohne	116	209	309	405	502	602	703	806	909	—	—	—	—	328	343	342	341	338	—	—	—	—
10	—	117	215	309	410	507	609	716	827	934	—	—	—	—	347	341	344	340	340	—	—	—	—					
13	—	127	220	319	418	515	613	710	841	958	—	—	—	—	350	355	350	347	346	—	—	—	—					

1) Beobachtungswerte unsicher, da Spiegelapparate mehrfach gerutscht.

Tabelle 27.
Gesamtdurchbiegungen und Elastizitätszahlen bei stufenweiser Belastung.

Reihe 51 ÷ 53: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies (Gewichtsteile).
 Mittlere Probenabmessungen: Breite = 30 cm; Höhe = 16 cm; Stützweite = 130 cm; Gesamtlänge = 150 cm.

Reihe	Wasser- zusatz %	Sand		Alter der Proben in Tagen	Proben Nr.	Art des Versuches bezügl. Entlasten	Gesamtdurchbiegung in $\text{cm} \cdot 10^{-5}$ auf 130 cm Messlänge bei den übergeschriebenen Belastungen in kg										Elastizitätszahlen E in $\text{kg}/\text{qcm} \cdot 10^8$ bei den über- geschriebenen Belastungen in kg										
		Art	Zustand				120	220	320	420	520	620	720	820	920	120	220	320	420	520	620	720	820	920			
I 51	7,0	Isar	un- ge- waschen	28	2 4 6	mit	179	326	481	653	817	976	1153	1348	1542	311	307	303	298	294	293	288	284	281			
							141	286	433	583	736	903	1123	1410	—	303	302	298	297	294	292	278	263	—	—		
							195	364	532	708	866	1059	1267	1552	—	309	300	298	294	290	282	278	—	—	—	—	
							139	268	401	541	668	812	1072	1215	1375	—	316	313	309	308	305	301	301	299	—	—	—
							153	299	448	589	747	908	1074	1290	1453	—	320	314	320	314	314	311	307	302	302	302	302
							103	305	450	614	770	954	1129	1309	1620	—	344	332	327	320	316	310	307	303	303	303	303
II 52	6,0	Rhein	un- ge- waschen	28	2 4 6	mit	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
							196	361	530	714	911	1130	1353	1623	1865	291	289	284	280	275	271	266	259	247	—	—	
							179	336	506	681	874	1085	1299	1542	1816	302	301	296	292	286	279	273	264	256	—	—	
							190	365	545	750	972	1199	1484	1701	1985	290	287	284	278	272	264	254	245	231	—	—	
							236	449	680	958	1230	1565	1963	—	—	242	237	231	221	217	209	197	—	—	—	—	
							311	571	810	1084	1422	1822	—	—	—	218	215	211	206	198	191	—	—	—	—	—	
246	488	728	992	1264	1620	2000	2334	—	223	220	216	214	209	200	193	181	—	—	—								
III 53	4,5	Rhein	ent- feint	90	1 3 5	mit	207	391	585	796	991	1304	1646	2014	—	239	234	230	221	215	204	196	177	—			
							225	432	678	915	1204	1531	1953	—	251	241	237	230	221	209	193	—	—	—	—		
							210	392	582	796	1031	1288	1596	1953	2500	261	256	252	245	239	230	221	210	186	—	—	

Tabelle 29.
Gesamtdurchbiegungen und Elastizitätszahlen bei stufenweiser Belastung.

Reihe 57 ÷ 59: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies (Gewichtsteile).
 Mittlere Probenabmessungen: Breite = 60 cm; Höhe = 11 cm; Stützweite = 130 cm; Gesamtlänge = 150 cm.

Reihe	Wasser- zusatz %	Sand		Alter der Proben in Tagen	Proben Nr.	Art des Versuches beztgl. Entlasten	Gesamtdurchbiegung in $\text{cm} \cdot 10^{-5}$ auf 130 cm Meflänge bei den übergeschriebenen Belastungen in kg										Elastizitätszahlen E in $\text{kg}/\text{qcm} \cdot 10^3$ bei den über- geschriebenen Belastungen in kg									
		Art	Zustand				120	220	320	420	520	620	720	820	920	120	220	320	420	520	620	720	820	920		
I	7,0	Isar	un- ge- waschen	28	2	mit	297	557	810	1078	1401	1737	2083	2502	—	308	307	305	301	297	293	287	279	—		
					4		346	604	881	1167	1481	1914	2364	—	279	281	278	274	270	259	248	—	—	—	—	
					6		308	565	850	1139	1422	1804	2170	2720	—	302	300	296	291	287	281	272	259	—	—	—
					1		257	473	695	920	1140	1374	1613	1863	2160	299	298	293	291	290	287	284	281	276	—	—
					3		270	527	790	1072	1363	1686	2021	2404	2892	333	325	318	313	309	303	298	291	287	—	—
5	316	584	861	1166	1445	1735	2045	2358	2688	271	270	267	265	265	261	258	254	251	—	—	—					
II	6,0	Rhein	waschen	29	3	mit	(700)	(2075)	—	—	—	—	—	—	—	(159)	(136)	—	—	—	—	—	—	—		
					5		265	566	861	1195	1555	2013	—	—	—	268	257	253	250	243	234	—	—	—	—	
					6		268	588	831	1311	1604	2028	—	—	—	260	255	251	244	237	223	—	—	—	—	
					1		302	568	863	1176	1495	1843	2242	—	—	271	267	262	256	251	243	225	—	—	—	—
					2		307	608	966	1371	1813	—	—	—	—	269	263	252	242	231	—	—	—	—	—	—
					4		307	573	880	1180	1512	1878	2258	—	—	266	262	257	251	248	240	225	—	—	—	—
III	4,5	Rhein	ent- feint	28	2	mit	1327	508	923	1252	1657	2085	2652	3328	—	275	273	269	263	257	249	237	222	—		
					4		(441)	(896)	(1584)	(2502)	—	—	—	—	—	190	182	171	149	—	—	—	—	—	—	
					6		319	622	960	1330	1749	2320	2877	3840	—	253	250	243	237	229	225	213	—	—	—	—
					1		200	558	847	1120	1434	1785	2177	2591	3099	272	264	260	258	253	245	240	235	225	—	—
					3		(466)	(864)	(1322)	(1852)	(2672)	—	—	—	—	196	194	188	181	166	—	—	—	—	—	—
					5		368	707	1063	1479	1948	2530	3140	—	—	238	234	230	224	217	206	199	—	—	—	—

Tabelle 30.

Gesamtdurchbiegungen und Elastizitätszahlen bei stufenweiser Belastung.

Reihe 60 ÷ 62: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies (Gewichtsteile).
 Mittlere Probenabmessungen: Breite = 60 cm; Höhe = 11 cm; Stützweite = 130 cm; Gesamtlänge = 150 cm.

Reihe	Wasser- zusatz	Sand		Alter der Proben in Tagen	Proben Nr.	Art des Versuches bezügl. Entlasten	Gesamtdurchbiegung, in $\text{cm} \cdot 10^{-6}$ auf 130 cm Meßlänge bei den übergeschrie- benen Belastungen in kg						Elastizitätszahlen E in $\text{kg}/\text{qcm} \cdot 10^3$ bei den übergeschriebenen Belastungen in kg										
		Art	Zustand				120	220	320	420	520	620	120	220	320	420	520	620	720	820	920		
Ia 60	6,5	Isar	un- ge- waschen	28	2	mit	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
					4		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
					6		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					1		350	1028	1454	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					3		349	963	1274	1624	2087	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	357	941	1311	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
IIa 61	5,5	Isar	waschen	28	2	mit	435	863	1365	2081	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
				29	4		464	868	1358	2026	3077	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				30	7		359	693	1076	1544	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
				90	1		378	776	1298	1918	2648	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					3		374	690	1040	1357	1758	2305	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	355	670	1028	1439	1854	2304	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
IIIa 62	4,0	Rhein	ent- feint	28	2	mit	446	893	1387	2658	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
				4	367		690	1072	1553	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
				6	575		1185	2051	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				90	1		408	790	1231	1737	2430	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
					3		444	884	1399	2050	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	384	743	1157	1644	2304	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					

Tabelle 34.
Mittlere Elastizitätszahlen, getrennt für die Biegeversuche mit und ohne Entlastungen.
I. Kiesbeton.

Reihe	Zeichen	Nr.	Alter der Proben in Tagen	Versuche mit Entlastungen												Versuche ohne Entlastungen											
				Mittlere Elastizitätszahlen E in $\text{kg/qcm} \cdot 10^8$ bei den überschriebenen Belastungen in kg																							
				120	220	320	420	520	620	720	820	920	120	220	320	420	520	620	720	820	920						
I	41		28	297	291	288	281	272	265	256	—	—	—	—	293	279	278	268	263	259	255	245	—				
			90	299	302	295	289	279	275	271	276	275	271	—	—	298	298	296	293	288	285	282	278	273			
			365	353	354	350	348	348	344	343	344	344	343	342	339	338	326	323	320	320	317	313	307	305	302		
VII	42		28	259	258	258	255	253	250	246	236	—	—	—	284	279	274	270	266	261	255	248	—				
			90	325	321	312	299	284	270	266	—	—	—	—	—	317	311	305	305	303	301	299	297	293			
			365	332	323	325	323	320	318	316	314	312	314	312	312	325	327	325	321	318	316	314	314	309			
VIII	43		28	303	302	298	295	295	289	286	281	271	268	259	251	247	244	240	233	224	—	—	—				
			90	313	309	300	295	291	286	283	275	269	269	272	269	268	264	262	259	252	250	250	250	250			
			365	400	398	395	359	354	350	349	345	345	345	338	304	298	295	294	290	288	285	283	283	278			
II	44		28	285	276	269	265	260	252	245	242	234	272	262	255	250	244	237	231	226	215	—	—				
			90	317	312	308	303	298	293	288	279	272	272	299	292	280	276	272	267	262	257	252	—	—			
			365	318	316	313	309	304	299	295	288	281	281	321	313	307	304	302	296	289	284	279	—	—			
III	45		28	215	207	201	193	186	174	—	—	—	—	—	230	216	209	197	187	174	—	—	—				
			90	259	256	252	249	246	237	230	214	—	—	—	—	227	217	208	205	196	185	—	—	—			
			365	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	255	248	243	237	228	223	213	200	—			
Ia	46		28	215	214	208	200	—	—	—	—	—	—	—	208	209	207	203	189	—	—	—	—				
			90	269	267	262	260	256	222	—	—	—	—	—	—	260	251	244	239	232	—	—	—	—			
			365	317	312	306	298	292	282	260	—	—	—	—	—	322	316	312	312	310	306	302	295	290			
VIIa	47		28	267	268	263	254	249	—	—	—	—	—	—	237	226	220	205	—	—	—	—	—				
			90	283	280	276	273	270	264	262	237	—	—	—	—	267	264	261	252	247	238	—	—	—			
			365	306	307	307	303	302	296	289	—	—	—	—	—	302	295	291	287	286	281	276	267	—			
VIIIa	48		28	293	287	277	272	265	259	240	—	—	—	—	273	264	262	257	252	247	242	—	—				
			90	296	286	285	280	277	271	269	259	240	—	—	—	303	294	282	278	274	267	259	253	244			
			365	355	352	348	340	337	331	327	323	—	—	—	—	350	341	346	343	343	340	333	330	327			
IIa	49		28	236	229	224	217	207	—	—	—	—	—	—	207	204	198	190	192	165	—	—	—				
			90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	212	196	181	166	—	—	—	—	—			
			365	270	272	261	256	251	242	224	199	—	—	—	—	251	245	238	233	226	216	—	—	—			
IIIa	50		28	169	164	156	143	—	—	—	—	—	—	—	190	172	161	—	—	—	—	—	—				
			90	186	183	175	165	—	—	—	—	—	—	—	—	207	198	193	185	174	—	—	—	—			
			365	249	247	242	235	222	216	203	178	—	—	—	—	201	196	192	183	171	163	—	—	—			

Tabelle 36. Gesamtdurchbiegungen der Proben gleichen Materials bei verschiedenen Querschnittsabmessungen.

Mischungsverhältnis	Sand		Alter der Proben in Tagen	Querschnittsabmessungen cm	Reihe	Gesamtdurchbiegung in cm 10 ⁻⁵ auf 130 cm bei den übergeschriebenen Belastungen in kg					Trägheitsmomente		Gesamtdurchbiegungen umgerechnet auf das Trägheitsmoment der Probe mit 20 × 20 cm Querschnitt bei den folgenden Belastungen in kg					Verhältniszahlen, die Durchbiegungen der Proben mit 20 × 20 cm Querschnitt = 100 gesetzt, bei den folgenden Belastungen in kg								
	Art	Zustand				120	220	320	420	520	620	b/h^3	J/cm^4	120	220	320	420	520	620	120	220	320	420	520	620	
						Nr.	Verhältnisse																			
1:2,5:5	Isar	ungewaschen	28	20 × 20	41	154	278	406	544	693	869	13 300	100	154	278	406	544	693	869	100	100	100	100	100		
				30 × 16	51	172	325	482	648	806	979	10 240	77	132	250	371	498	621	754	869	86	90	91	92	90	83
				60 × 11	57	317	575	847	1128	1435	1818	6 655	50	159	288	424	564	718	909	103	104	104	104	104	104	105
				20 × 20	41	149	257	382	516	681	827	13 300	100	149	257	382	516	681	827	100	100	100	100	100	100	100
				30 × 16	51	152	291	433	581	728	891	10 240	77	116	223	334	447	560	686	79	87	87	87	82	83	83
				60 × 11	57	274	519	775	1046	1309	1591	6 655	50	137	260	388	523	655	796	92	101	102	101	96	90	90
	Rhein	ungewaschen	28	20 × 20	44	162	312	462	632	797	978	13 300	100	162	312	462	632	797	978	100	100	100	100	100		
				30 × 16	52	—	—	—	—	—	—	10 240	77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				60 × 11	58	267	577	846	1233	1580	2020	6 655	50	134	289	423	627	790	1010	85	93	92	99	99	103	
				20 × 20	44	137	254	376	500	626	770	13 300	100	137	254	376	500	626	780	100	100	100	100	100	100	
				30 × 16	52	188	354	527	715	919	1131	10 240	77	145	273	406	550	708	870	106	107	108	110	113	112	
				60 × 11	58	305	583	903	1242	1607	—	6 655	50	153	292	452	621	804	—	112	115	120	124	128	—	
1:4:8	Isar	entfent	28	20 × 20	45	189	369	560	809	1068	1425	13 300	100	189	369	560	809	1068	1425	100	100	100	100	100		
				30 × 16	53	264	503	739	1011	1305	1669	10 240	77	343	388	569	778	1003	1283	181	105	102	96	94	90	
				60 × 11	59	[323]	[563]	[942]	[1291]	[1703]	[2200]	6 655	50	[162]	[282]	[471]	[645]	[852]	[1100]	86	76	84	80	80	77	
				20 × 20	45	157	290	429	575	739	935	13 300	100	157	290	429	575	739	935	100	100	100	100	100	100	
				30 × 16	53	214	405	615	836	1075	1374	10 240	77	168	312	474	644	820	1059	103	108	110	112	112	113	
				60 × 11	59	[329]	[633]	[955]	[1300]	[1696]	[2158]	6 655	50	[165]	[317]	[478]	[650]	[848]	[1079]	105	109	111	113	115	115	
	Rhein	ungewaschen	28	20 × 20	46	183	349	537	752	1119	—	13 300	100	183	349	537	752	1119	—	100	100	100	100	100		
				30 × 16	54	—	—	—	—	—	—	10 240	77	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				60 × 11	60	—	—	—	—	—	—	6 655	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				20 × 20	46	167	311	440	576	712	992	13 300	100	167	311	440	576	712	992	100	100	100	100	100		
				30 × 16	54	204	383	569	768	1063	—	10 240	77	157	295	438	592	820	—	94	95	100	103	115	—	
				60 × 11	60	352	664	977	1346	—	—	6 655	50	176	332	489	673	—	—	105	107	111	117	—	—	
Isar	ungewaschen	28	20 × 20	49	238	380	563	818	1072	—	13 300	100	238	380	563	818	1072	—	100	100	100	100	100			
			30 × 16	55	277	534	836	1202	1597	—	10 240	77	213	411	644	925	1230	—	90	108	114	113	115	—		
			60 × 11	61	419	808	1266	1884	—	—	6 655	50	210	494	633	942	—	—	88	106	112	115	—	—		
			20 × 20	49	—	—	—	—	—	—	13 300	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
			30 × 16	55	245	467	704	985	1414	—	10 240	77	189	359	542	758	1090	—	—	—	—	—	—	—		
			60 × 11	61	369	712	1121	1571	2087	—	6 655	50	185	356	561	786	1044	—	—	—	—	—	—	—		
Rhein	entfent	28	20 × 20	50	266	519	806	1260	—	13 300	100	266	519	806	1260	—	—	100	100	100	100	100				
			30 × 16	56	277	541	873	1410	—	10 240	77	213	417	672	1085	—	—	80	80	83	86	—	—			
			60 × 11	62	463	923	1370	—	—	—	6 655	50	232	462	785	—	—	—	87	89	97	—	—			
			20 × 20	50	243	437	710	1039	—	—	13 300	100	243	437	710	1039	—	—	100	100	100	100	100			
			30 × 16	56	219	435	702	1108	—	—	10 240	77	168	335	541	898	—	—	69	77	76	86	—	—		
			60 × 11	62	412	806	1262	1810	—	—	6 655	50	206	403	631	905	—	—	85	92	89	87	—	—		

Tabelle 37.

Elastizitätszahlen der Proben gleichen Materials bei verschiedenen Querschnittsabmessungen.

Mischungsverhältnis	Sand		Alter der Proben in Tagen	Querschnittsabmessungen cm	Elastizitätszahlen E in $\text{kg/qcm} \cdot 10^3$ bei den übergeschriebenen Belastungen in kg				Verhältniszahlen, die E -Zahlen der Proben mit 20×20 cm Querschnitt = 100 gesetzt, bei den übergeschriebenen Belastungen in kg					
	Art	Zustand			120	220	320	420	120	220	320	420		
1:2,5:5	Isar	ungewaschen	28	20 × 20	297	291	288	281	100	100	100	100		
				30 × 16	308	303	300	296	104	104	104	105		
				60 × 11	296	296	293	289	100	102	100	103		
			90	20 × 20	299	302	295	289	100	100	100	100		
					30 × 16	327	320	320	314	109	106	108	109	
					60 × 11	301	298	293	290	101	99	99	100	
	Rhein	ungewaschen	28	20 × 20	285	276	269	265	100	100	100	100		
				30 × 16	—	—	—	—	—	—	—	—		
				60 × 11	264	256	252	247	93	93	94	93		
			90	20 × 20	317	312	308	303	100	100	100	100		
						30 × 16	294	292	288	283	93	94	94	93
						60 × 11	269	264	257	250	85	85	83	83
entfeint		28	20 × 20	215	207	201	193	100	100	100	100			
			30 × 16	228	224	219	214	106	108	109	111			
	60 × 11		239	235	228	216	111	114	113	112				
	90	20 × 20	259	256	252	249	100	100	100	100				
				30 × 16	250	244	240	232	97	95	95	93		
				60 × 11	235	231	226	221	91	90	90	89		
1:4:8	Isar	ungewaschen	28	20 × 20	215	214	208	200	—	—	—	—		
				30 × 16	—	—	—	—	—	—	—	—		
				60 × 11	—	—	—	—	—	—	—	—		
			90	20 × 20	[269]	[267]	[262]	[260]	[100]	[100]	[100]	[100]		
					30 × 16	256	253	248	244	[95]	[95]	[95]	[94]	
					60 × 11	252	248	247	240	[94]	[93]	[94]	[92]	
	Rhein	ungewaschen	28	20 × 20	236	229	224	217	100	100	100	100		
				30 × 16	230	213	204	189	97	92	91	87		
				60 × 11	210	202	195	182	89	88	87	84		
			90	20 × 20	—	—	—	—	—	—	—	—		
						30 × 16	236	229	223	216	—	—	—	
						60 × 11	235	226	215	205	—	—	—	
entfeint		28	20 × 20	169	164	156	143	100	100	100	100			
			30 × 16	200	194	185	176	118	118	119	123			
	60 × 11		195	188	176	—	115	115	113	—				
	90	20 × 20	186	183	175	165	100	100	100	100				
				30 × 16	232	225	218	199	125	123	125	121		
				60 × 11	208	202	195	185	112	110	111	112		

Tabelle 38.

Einfluß des Alters auf die Elastizitätszahl beim Biegeversuch.
(Verhältniszahlen, die Beobachtungswerte bei 28 Tagen Alter = 100 gesetzt.)

Reihe	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen				Art des Sandes		Verhältnis der Elastizitätszahlen										
							bei 90 Tagen Alter				b. 365 Tag. Alter				Mittel- werte für das Alter		
	zu denen bei 28 Tagen Alter und den folgenden Belastungen in kg																
	Zement	Sand	Kies	Stein- schlag			120	220	320	420	120	220	320	420	90	365	
41	1	2,5	5	—	Isar	roh	101	106	105	107	117	119	118	121	105	119	
42						gewaschen	125	118	117	116	128	122	124	124	119	125	
43						entfeint	102	103	104	108	117	118	120	119	106	118	
44					Rhein	roh	110	112	111	112	115	117	118	120	111	117	
45						entfeint	108	110	110	114	114	117	118	121	110	117	
46	1	4	8	—	Isar	roh	124	121	120	121	151	149	149	151	122	150	
47						gewaschen	106	104	105	107	115	115	117	119	106	117	
48						entfeint	107	106	106	106	123	124	128	128	106	126	
49					Rhein	roh	(95)	(90)	(85)	(81)	116	117	116	117	(87)	117	
50						entfeint	113	117	121	—	121	127	133	—	117	127	
63	1	2,5	—	5	Isar	roh	109	110	111	113	117	121	122	123	111	121	
64						Rhein	roh	114	115	118	118	127	131	134	132	116	131
65							entfeint	117	118	117	120	140	139	140	141	118	140
66	1	4	—	8	Isar	roh	119	121	121	123	155	154	147	158	121	153	
67						Rhein	roh	110	116	116	120	133	145	148	154	116	145
68							entfeint	112	115	113	—	128	131	133	—	113	131
69	1	2,5	—	5	Quetschsand	roh	111	113	114	114	143	136	140	140	113	140	
70						entfeint	113	114	116	118	147	148	149	153	115	149	

Tabelle 39.

**Verhältnis zwischen den Elastizitätszahlen des mageren Betons
zu denen des fetten aus dem gleichen Material.**

Beton- Art	Verwendeter Sand		Verhältniszahlen, die Werte für den fetten (1:2,5:5) Beton = 100											
			Alter in Tagen											
	28				90				365					
	Art	Zustand	Belastungen in kg											
120			220	320	420	120	220	320	420	120	220	320	420	
Kies	Isar	ungewaschen	72	74	74	74	88	85	85	84	93	93	93	92
		gewaschen	93	91	90	86	85	86	86	85	92	92	91	91
		entfeint	100	100	99	99	104	102	101	100	105	104	106	107
	Rhein	ungewaschen	81	82	82	81	70	65	62	58	81	82	80	79
		entfeint	79	77	75	—	83	83	82	80	84	84	84	83
Stein- schlag	Isar	ungewaschen	77	77	76	76	84	84	84	83	100	98	98	98
	Rhein	ungewaschen	89	83	84	80	87	84	83	82	94	92	92	93
		entfeint	74	73	72	—	71	71	69	67	68	69	68	68
	Quetschsand	—	87	88	87	86	88	88	88	88	89	95	93	93

III. Zugversuche.

Die Zugproben hatten bei den aus Abb. 27 ersichtlichen Einzelabmessungen rund $20 \times 20 \text{ cm} = 400 \text{ qcm}$ Querschnitt. Die Länge des prismatischen Teiles betrug 70 cm , die Meßlänge zur Ermittlung der Dehnung 40 cm . Die Proben sind in eisernen Formen (s. Abb. 28) flachliegend in 2 Schichten gestampft. Sie standen zunächst 48 Stunden in der Form an der Luft und lagerten dann nach dem Entformen bis zur Prüfung bei 28, 90 und 365 Tagen Alter unter feuchtem Sande. Bei jeder der 3 Altersstufen sind 5 gleichartige Proben geprüft. Untersucht ist lediglich Kiesbeton und zwar in den auch zu den Biegeversuchen (s. Tab. 20) verwendeten Mischungen I, VII, VIII, II, III in den beiden Gewichtsverhältnissen $1:2,5:5$, sowie $1:4:8$. Zu den Mischungen I, VII und VIII diente Isarsand: I ungewaschen, VII gewaschen und VIII entfemt, und zu den Mischungen II und III Rheinsand: II ungewaschen, III entfemt.

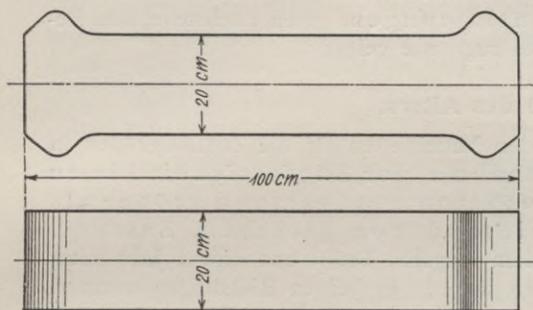


Abb. 27. Zugprobe.

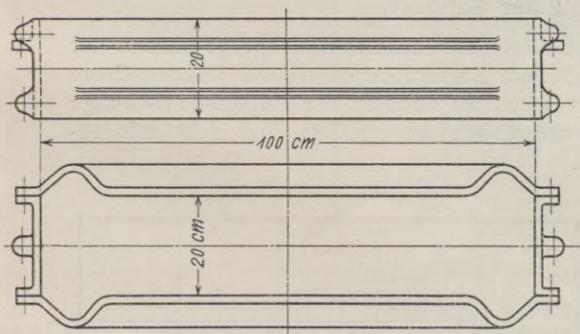


Abb. 28. Form zum Einstampfen der Zugproben.

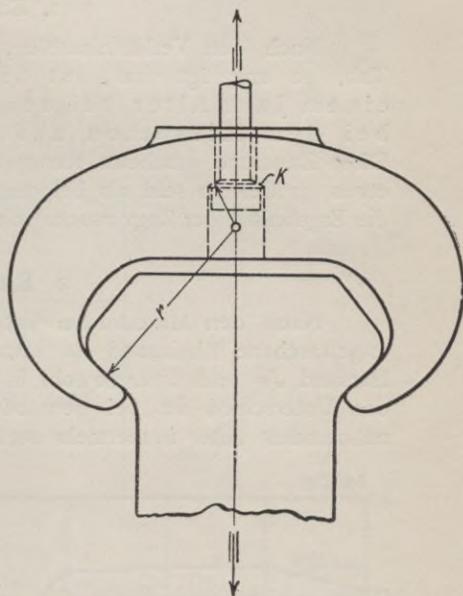


Abb. 29. Einspannung der Zugproben.

Bei der Prüfung lagen die Köpfe der Proben in Einspannklauien nach Abb. 29. Zur Erzielung möglichst zentrischer Beanspruchung waren die Klauen um Kugelhöpfe k drehbar, deren Mittelpunkt auch den Krümmungsmittelpunkt der Auflageflächen für die Probenköpfe bildete.

Zur Bestimmung der Dehnung wurde die Belastung in Stufen von je 400 kg gesteigert. Bei dreien der 5 gleichartigen Proben sind die Versuche ohne Entlastungen durchgeführt und die Dehnungen sofort nach dem Anheben der Belastung festgestellt. Bei den beiden anderen Proben ist von jeder Laststufe aus wiederholt, in der Regel 10 mal auf Null entlastet; bei den letzten 3 bis 4 Lastwechseln war dann die Dehnung gleichbleibend und die elastische Dehnung eben so groß wie die gesamte.

A. Zugfestigkeit.

Die bei den je 5 Parallelversuchen ermittelten Einzelwerte und die sich hieraus ergebenden Mittel sind aus Tab. 40 zu ersehen. Von den Einzelwerten stehen diejenigen aus den Versuchen mit wiederholtem Entlasten stets voran und die Einzelergebnisse aus den Versuchen ohne Entlastungen sind zur leichteren Unterscheidung von den ersteren außerdem in liegender Schrift gesetzt.

Die Mittelwerte aus den Versuchen mit Entlastungen sind bei dem fetteren Beton (Mischung 1:2,5:5) im Allgemeinen etwas kleiner als bei den Versuchen ohne Entlastung. Der Unterschied tritt bei den Jahresproben mehr hervor als bei den jüngeren. Bei dem mageren Beton (Mischung 1:4:8) ist überhaupt kein gesetzmäßiger Unterschied zu erkennen. Hiernach tritt der Einfluß des wiederholten Entlastens auf die Zugfestigkeit bei dem fetteren Beton in Abnahme der Festigkeit zwar zutage, er beträgt aber auch hier im Mittel aus allen 15 Reihen (13,0:13,8) nur etwa 6% und bei dem mageren Beton ergeben die Versuche mit Entlastungen sogar im Mittel um 3% höhere Festigkeit als die Versuche ohne Entlastungen. Den nachstehenden Betrachtungen sind daher die Gesamtmittel zugrunde gelegt.

1. Einfluß des Alters.

Nach den Verhältniszahlen, die den Mittelwerten für die Zugfestigkeiten in Tab. 40 angefügt sind, ist die Zunahme der Zugfestigkeit bis zu einem Jahr Alter bei dem Kiesbeton aus Isarsand größer als bei dem Kiesbeton aus Rheinsand von gleichem Zustand. Diese Zunahme erscheint ferner bei dem mageren Beton und einem Jahr Alter etwas größer zu sein als bei dem fetten Beton. In beiden Richtungen stimmen die Ergebnisse der Zugversuche mit denen der Biegeversuche überein. (s. Seite 92.)

2. Einfluß der Sandart.

Nach den Mittelwerten Tab. 40 und den Schaulinien Abb. 30 lieferte der ungewaschene Rheinsand *Ru* etwas größere Zugfestigkeiten als der ungewaschene Isarsand *Ju* und zwar sowohl in der fetten als auch in der mageren Mischung; der Unterschied ist bei den 28 Tagesproben am größten und geht mit zunehmendem Alter immermehr zurück.

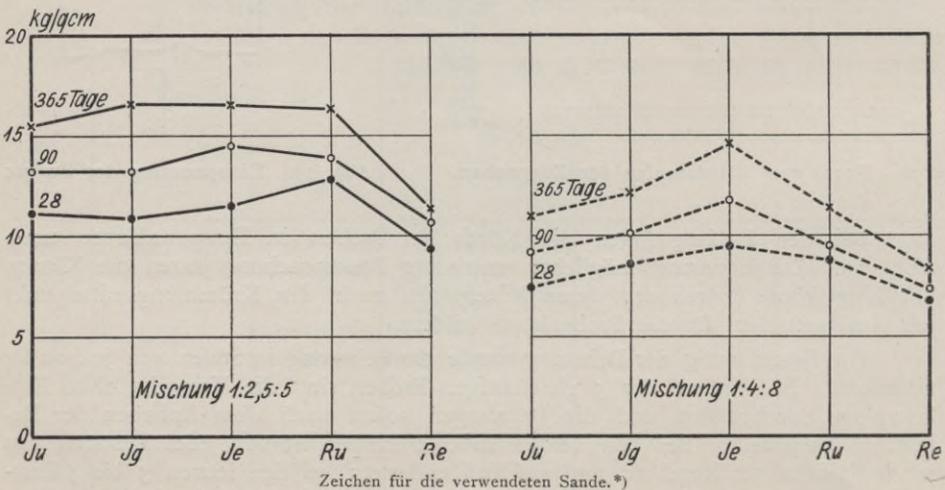


Abb. 30. Zugfestigkeiten des Kiesbetons aus den verschiedenen Sanden.

*) I = Isarsand; R = Rheinsand; u = ungewaschen; g = gewaschen; e = entfemt.

Beim Isarsande hatte das Waschen und noch mehr des Entfeinen Zunahme der Betonfestigkeit im Gefolge. Diese Zunahme ist bei dem mageren Beton größer als bei dem fetten; bei letzterem zeigen die 28 und 90 Tage alten Proben aus gewaschenem Sande sogar etwas geringere Festigkeit als die Proben aus ungewaschenem Sande.

Im Gegensatz zum Isarsand nahm die Festigkeit des Betons aus Rheinsand durch das Entfeinen des Sandes beträchtlich ab.

Die höchsten Zugfestigkeiten lieferte der entfeinte Isarsand. Seine Ueberlegenheit über die übrigen Sande tritt bei der mageren Mischung mehr hervor als bei der fetten.

Vergleicht man die Schaulinien Abb. 30 mit denen Abb. 23, so zeigt sich auch hinsichtlich des Einflusses der Sandart auf die Festigkeit eine außerordentliche Uebereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Zugversuche und denen der Biegeversuche.

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Der Einfluß des größeren Zusatzes von Sand und Kies zum Beton auf dessen Zugfestigkeit ergibt sich aus den nachstehenden Werten für das Verhältnis der Festigkeit des mageren Betons zu der gleich 100 gesetzten Festigkeit des fetteren Betons aus dem gleichen Material. Zum Vergleich sind auch die Verhältniszahlen für die Biegefestigkeiten in Klammern beigefügt.

Alter in Tagen	28	90	365	Mittel
Isarsand ungewaschen (<i>Ju</i>)	68 (58)	70 (61)	71 (72)	70 (64)
„ gewaschen (<i>Jg</i>)	[80] (64)	77 (69)	73 (62)	75 (65)
„ entfeint (<i>Je</i>)	83 (86)	81 (85)	88 (88)	84 (86)
Rheinsand ungewaschen (<i>Ru</i>)	69 (65)	68 (66)	70 (65)	69 (65)
„ entfeint (<i>Re</i>)	71 (72)	[67] (74)	74 (76)	73 (74)

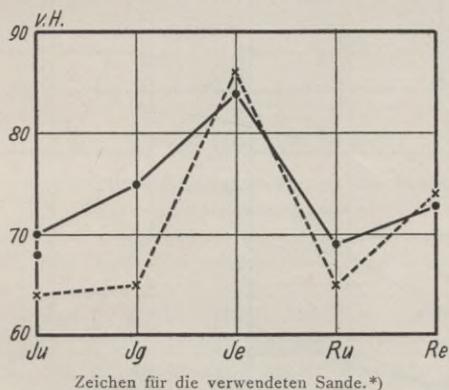


Abb. 31. Verhältnis zwischen den Festigkeiten des fetten und mageren Betons.

(Die Werte für den fetten = 100 gesetzt.)

• — Zugfestigkeit; x - - - - x Biegefestigkeit.

*) I = Isarsand; R = Rheinsand; u = ungewaschen; g = gewaschen; e = entfeint.

Diese Werte sowie die hiernach aufgetragenen Schaulinien Abb. 31 lassen in guter Uebereinstimmung zwischen den Zug- und Biegeversuchen erkennen, daß die Festigkeit des mageren Betons bei Verarbeitung der ungewaschenen Sande (*Ju* und *Ru*) mehr hinter der Festigkeit des fetteren Beton zurückblieb, als wenn die Sande entfeint waren (*Je* und *Re*). Ganz besonders gilt dies von dem Isarsande *Je*; bei ihm wurde der Unterschied zwischen fetterem und magerem Beton auch durch das Waschen etwas ausgeglichen.

Darauf hingewiesen möge noch sein, daß die Festigkeitsunterschiede bei den 3 Altersstufen als gleich groß erscheinen.

B. Die Formänderungen.

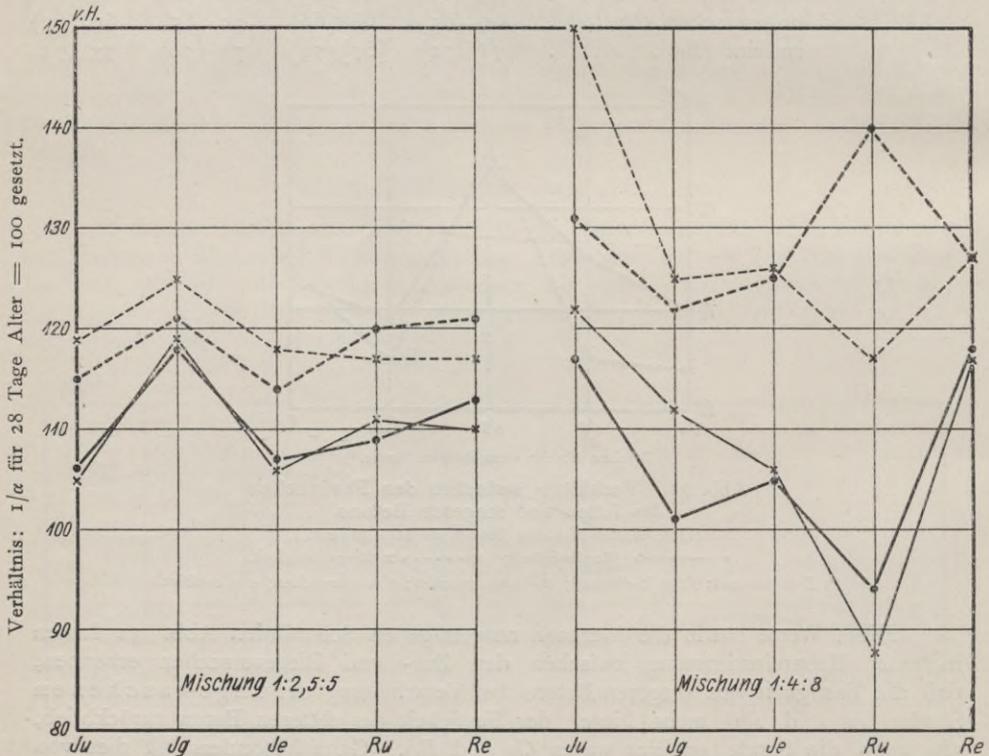
Die bei den einzelnen Versuchen beobachteten Dehnungen sind aus Tab. 41 und 42 zu ersehen. Zu unterscheiden sind die Werte nach den beiden Versuchsarten: mit und ohne Entlastungen. Bei der ersten ist immer diejenige Dehnung angegeben, die nach dem letzten Entlasten für die betreffende Laststufe erhalten ist; die vorher etwa bei dem wiederholten Lastwechsel eingetretenen bleibenden Dehnungen sind also vernachlässigt. Die Parallelversuche zeigen im allgemeinen gute Uebereinstimmung.

Die Tab. 41 und 42 erhalten außer den Dehnungen die mittleren Elastizitätszahlen. Für die Versuche mit Entlastungen sind sie aus den federnden Dehnungen berechnet, die sich bei derselben Laststufe nach mehrfachem Lastwechsel als gleichbleibend ergeben hatten. Für die Versuche ohne Entlastungen entsprechen sie den Gesamtdehnungen und sind zur besseren Uebersichtlichkeit in Schrägschrift gesetzt. Die letzteren sind naturgemäß, da sie die bleibenden Dehnungen mit enthalten, geringer als die ersteren; beide führen aber hinsichtlich der zu betrachtenden Einflüsse des Alters, der Sandart und des Magerungsgrades zu den gleichen Ergebnissen.

1. Einfluß des Alters.

Tab. 43 gibt die Verhältniszahlen für die Elastizitätszahlen bei 90 und 365 Tagen Alter zu denen bei 28 Tagen, wobei die letzteren gleich 100 gesetzt sind.

Abgesehen von der Reihe 79 bei 90 Tagen sind alle nicht etwa durch Klammern als unzuverlässig gekennzeichneten Werte größer als 100. Die Elastizitätszahl hat also mit dem Alter des Betons zugenommen.



Zeichen für die verwendeten Sande.*)

Abb. 32. Einfluß des Alters auf die Elastizitätszahl.

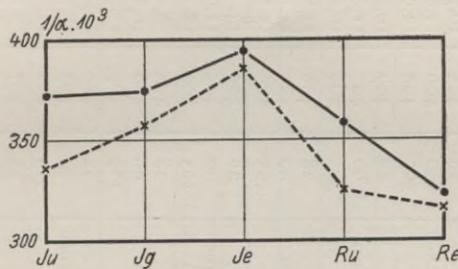
Zug: { ● ———— ● 90 Tage Alter. Biegung: { × ———— × 90 Tage Alter.
 ● - - - - ● 365 " " × - - - - × 365 " "

*) I = Isarsand; R = Rheinsand; u = ungewaschen; g = gewaschen; e = entfemt.

In Abb. 32 sind die Verhältniszahlen durch Schaulinien dargestellt, links für die Mischung 1:2,5:5 und rechts für die Mischung 1:4:8. In beiden Gruppen gehören die starken, vollauszogenen Linien den 90 Tage alten und die starken gestrichelten Linien den 365 Tage alten Zugproben an. Die feinen Linien in denselben Ausführungen geben die aus den Biegeversuchen Tab. 38 abgeleiteten Verhältniszahlen wieder. Aus dem Verlauf dieser Schaulinien ergibt sich, daß die Unterschiede im Einfluß des Alters auf die Elastizitätszahlen der aus den verschiedenen Sanden hergestellten Betonsorten beim Zugversuch in gleicher Weise hervortreten wie beim Biegeversuch und daß auch die Größe des Einflusses bei demselben Beton für beide Belastungsarten (Zug und Biegung) in den meisten Fällen annähernd die gleiche ist.

2. Einfluß der Sandart.

Bei den Unterschieden in den Werten, die bei wachsender Belastung für die Elastizitätszahlen beobachtet sind (s. Tab. 41 und 42), erschien es zur Erlangung eines möglichst zuverlässigen Vergleichs geboten, die Beobachtungswerte für die 5 Laststufen von 400—2000 kg zu Mittelwerten zusammenzufassen, wie es in Tab. 44 geschehen ist, und dem Vergleich das Gesamtmittel für die 3 Altersstufen zugrunde zu legen. In Abb. 33 sind diese Gesamtmittel, getrennt für die beiden Mischungen zu Schaulinien aufgetragen.



Zeichen für die verwendeten Sande.*)

Abb. 33. Mittlere Elastizitätszahlen des Kiesbetons aus verschiedenen Sanden.

● ——— ● Mischung 1:2,5:5; × - - - - × Mischung 1:4:8.

*) I = Isarsand; R = Rheinsand; u = ungewaschen; g = gewaschen; e = entfeint.

Aus diesen Schaulinien ergibt sich, daß von den beiden ungewaschenen Sanden der Isarsand (*Ju*) größere Elastizitätszahlen lieferte als der Rheinsand (*Ru*). Beim Isarsande wurde die Elastizitätszahl durch Waschen und noch mehr durch das Entfeinen vergrößert, beim Rheinsand dagegen durch das Entfeinen vermindert. Auch hierin stimmen die Ergebnisse der Zug- und Biegeversuche (vergl. Abb. 33 und 25) im allgemeinen überein.

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Der magere Beton in der Mischung 1:4:8 lieferte bei allen 5 Sandsorten geringere Elastizitätszahlen als der fettere Beton in der Mischung 1:2,5:5. Nach den Verhältniszahlen, die der Tab. 44 angefügt sind, beträgt der mittlere Unterschied bei beiden ungewaschenen Sanden 9⁰/₁₀ und bei den beiden entfeinten Sanden nur 2⁰/₁₀, bei dem gewaschenen Isarsand 4⁰/₁₀.

Tabelle 40.
Zugfestigkeiten der Proben aus Kiesbeton.
 Die Versuche, bei denen die Festigkeiten in liegender Schrift angegeben sind, sind ohne Entlastungen ausgeführt.

Reihe	Zusammensetzung des Betons				Sand		Alter der Proben in Tagen	Querschnitt f qcm	Bruchfestigkeiten in kg/qcm					Verhältniszahlen für den Einfluß des Alters		
	Zement	Sand	Kies	Wasser	Zustand	Art			bei Versuch					im Mittel		
Zeichen	Nr.							1	2	3	4	5	mit Entlastungen	ohne Entlastungen	Gesamt	
I	71			7,0		Isar	ungewaschen	10,7	11,6	10,5	11,3	11,5	11,2	11,1	11,1	100
								12,8	13,7	12,6	13,2	13,6	13,3	13,1	13,2	119
VII	72			6,8		Isar	gewaschen	12,9	14,9	16,8	16,4	16,5	13,9	16,6	15,5	140
								10,8	9,8	—	11,8	10,9	10,3	11,4	10,8	100
VIII	73	I	2,5	6,5		Isar	entfeint	11,8	12,8	13,3	12,1	16,0	12,3	13,8	13,2	122
								16,2	16,4	17,7	16,0	16,9	16,3	16,9	16,6	154
II	74			6,0		Rhein	ungewaschen	13,8	10,8	11,6	9,9	11,6	12,3	12,0	11,5	100
								14,8	10,8	13,3	18,7	15,0	12,8	15,7	14,5	126
III	75			4,5		Rhein	entfeint	15,5	13,7	17,8	17,4	18,4	14,6	17,9	16,6	144
								13,4	13,3	11,9	12,0	13,7	13,4	13,2	12,8	100
Ia	76			6,5		Isar	ungewaschen	11,9	12,8	15,6	14,3	15,0	13,4	15,0	13,9	108
								15,3	17,7	16,6	16,0	16,7	17,1	16,4	16,4	128
VIIa	77			6,5		Isar	gewaschen	9,8	9,9	8,8	9,0	—	9,9	8,9	9,4	100
								10,8	10,9	9,8	13,0	8,9	10,5	11,0	10,7	114
VIIIa	78	I	4	6,4		Isar	entfeint	13,7	13,6	11,0	7,0	11,9	13,7	10,0	11,4	121
								7,8	6,9	8,0	7,4	7,5	7,4	7,6	7,5	100
IIa	79			5,5		Rhein	ungewaschen	8,8	9,2	10,0	9,0	9,0	9,0	9,4	9,2	123
								11,9	11,8	10,3	10,2	10,7	11,9	10,4	11,0	147
IIIa	80			4,0		Rhein	entfeint	8,8	8,8	8,5	8,9	7,8	8,8	8,4	8,6	100
								8,8	11,2	9,8	9,7	11,2	10,0	10,2	10,1	117
VIIIa	78	I	4	6,4		Isar	entfeint	—	10,8	12,7	11,3	13,6	12,5	11,8	12,1	141
								9,8	9,8	8,8	10,7	8,6	9,8	9,4	9,5	100
IIa	79			5,5		Rhein	ungewaschen	11,8	10,8	12,2	12,8	11,6	11,3	12,2	11,8	124
								14,8	13,7	15,3	15,0	13,6	14,3	14,6	14,6	154
IIIa	80			4,0		Rhein	entfeint	9,8	7,8	9,1	9,1	8,3	8,8	8,8	8,8	100
								8,9	7,9	10,5	10,3	9,9	8,4	10,2	9,5	108
IIIa	80			4,0		Rhein	entfeint	12,5	12,2	9,3	11,8	11,4	12,4	10,8	11,4	130
								6,9	7,9	4,9	6,8	6,9	6,6	6,9	6,7	100
IIIa	80			4,0		Rhein	entfeint	9,8	8,8	5,0	5,1	—	9,3	5,1	7,2	108
								5,0	10,2	10,7	9,9	6,0	7,6	8,9	8,4	126

Tabelle 41. Gesamtdehnungen und Elastizitätszahlen bei stufenweiser Belastung.
Reihe 71 :- 73: Erdfeuchter Kiesbeton aus 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies.

Reihe	Wasserzuzatz	Sand		Alter der Proben in Tagen	Probe	Art des Versuches bezügl. Entlasten	Querschnitt f	Gesamtdehnung ¹⁾ in cm 10 ⁻⁵ auf 40 cm Meßlänge bei den überschriebenen Belastungen in kg										Mittlere Elastizitätszahlen E in kg/qcm · 10 ³ bei den überschriebenen Belastungen in kg															
		Art	Zustand					400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000						
I	7,0		unge-waschen	28	6	mit	406	10	24	34	47	59	70	83	96	113	127	[360]	353	344	344	340	343	339	337	334	317						
							404	11	21	34	45	57	68	81	92	107	125																
							405	11	23	36	49	62	74	87	101	116	130																
							404	11	22	34	46	61	75	86	99	114	126																
							404	13	25	36	48	60	73	87	100	117	134																
							406	10	20	30	41	53	65	75	87	99	111																
							406	11	22	31	44	50	63	75	86	99	109																
							405	6	21	32	42	56	69	84	97	108	123																
							406	9	17	24	34	44	55	65	77	87	111																
							406	9	22	32	41	52	62	75	86	98	112																
							40	10	20	30	38	49	60	70	80	90	103																
							402	12	22	30	40	50	59	72	82	92	103																
							406	10	20	31	41	51	62	73	82	94	105																
							404	9	20	30	40	53	61	72	84	94	104																
402	9	21	31	42	52	63	73	83	94	105																							
408	11	23	34	47	58	71	83	93	110	124																							
408	12	25	39	51	64	77	92	103	121	—																							
406	13	26	37	49	61	73	86	98	111	125																							
406	12	24	37	50	64	78	92	106	—	135																							
—	13	25	37	49	62	76	89	102	115	130																							
407	10	20	32	41	51	59	73	84	95	110																							
407	10	18	31	39	49	60	70	81	90	104																							
406	10	20	30	39	49	58	68	77	87	99																							
405	11	22	33	43	55	67	79	92	104	116																							
409	11	21	30	41	52	62	74	86	97	108																							
404	10	18	27	37	47	56	67	78	91	102																							
406	10	21	30	42	52	64	78	86	98	110																							
407	10	22	34	46	56	70	85	97	113	122																							
406	10	22	35	47	60	73	87	100	114	128																							
406	12	25	40	56	72	89	108	131	161	199																							
407	10	21	33	42	52	64	77	90	103	115																							
405	9	18	29	39	48	59	69	76	90	98																							
406	12	20	32	43	56	66	77	85	100	115																							
405	9	21	34	46	58	70	82	97	111	125																							
406	10	19	28	37	48	58	69	78	89	100																							
404	8	17	28	37	47	57	67	80	91	104																							
408	11	20	29	36	47	56	65	74	83	92																							
408	10	18	26	37	47	58	65	75	85	94																							
402	10	18	27	36	45	56	65	76	88	100																							
408	10	22	32	43	55	67	82	97	111	125																							
406	10	20	28	39	48	58	68	78	90	108																							
406	10	20	28	39	48	58	68	78	90	108																							

¹⁾ Bei den mit wiederholtem Lastwechsel geprüften Proben die Dehnung nach dem letzten Entlasten, die vorher etwa eingetretenen bleibenden Dehnungen sind also vernachlässigt.

Tabelle 41. (Fortsetzung.)
Gesamtdehnungen und Elastizitätszahlen bei stufenweiser Belastung.

Reihe	Wasser- zusatz %	Sand		Alter der Proben in Tagen	Probe Nr.	Art des Versuches bezügl. Entlasten	Quer- schnitt f qcm	Gesamtdehnung ¹⁾ in cm 10^{-5} auf 40 cm Meßlänge bei den überschriebenen Belastungen in kg										Mittlere Elastizitätszahlen E in kg/qcm $\cdot 10^3$ bei den überschriebenen Belastungen in kg																										
		Art	Zustand					400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000																	
II	74	6,0			28	mit	408	11	25	38	48	62	76	90	104	121	141	343	328	319	324	335	346	316	310	304	300	291																
							404	12	24	36	49	62	74	88	102	117	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
							405	12	25	37	51	67	82	96	112	134	151	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
							405	12	25	38	55	70	87	102	118	138	159	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
							406	12	24	36	48	61	76	89	104	120	139	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
							404	11	20	34	43	58	70	84	96	110	123	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
							406	10	20	34	44	58	68	81	93	106	118	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
							406	11	22	37	50	63	74	90	103	119	134	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
							405	10	21	33	44	57	68	81	94	108	121	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
							406	10	21	32	43	55	68	83	97	113	129	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
							402	11	22	33	43	53	65	77	91	101	115	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
							403	10	21	30	40	50	61	71	87	97	109	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
							403	10	21	31	43	54	67	79	93	108	124	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
							405	12	—	39	47	63	74	89	100	116	134	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
405	12	25	36	49	60	73	86	98	110	125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
III	75	4,5		28	mit	406	11	27	38	55	73	86	104	123	147	173	308	302	303	283	272	270	262	242	233	218	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
						403	14	26	40	57	72	89	108	128	148	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
						409	14	28	43	58	75	97	120	145	178	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						412	14	27	41	55	71	89	106	125	147	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						—	17	30	46	63	81	99	121	144	172	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						407	11	23	36	48	60	74	88	105	118	137	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						405	10	23	34	48	59	73	87	103	116	131	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						406	12	26	39	54	68	83	100	118	136	158	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						407	12	25	39	52	66	82	98	114	132	152	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						406	13	26	40	54	69	84	101	120	140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						407	12	22	36	45	58	73	82	95	109	123	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						403	11	22	34	45	56	67	80	94	108	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						408	14	31	51	80	100	115	137	161	192	236	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
						409	15	32	49	74	100	104	130	164	204	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
407	14	29	41	56	72	89	106	124	143	167	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						

¹⁾ Bei den mit wiederholtem Lastwechsel geprüften Proben die Dehnung nach dem letzten Entlasten, die vorher etwa eingetretenen bleibenden Dehnungen sind also vernachlässigt.

Tabelle 43.

Einfluß des Alters auf die Elastizitätszahl beim Zugversuch.

Verhältniszahlen, die Beobachtungswerte bei 28 Tagen Alter = 100 gesetzt.

Reihe	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen			Art des Sandes		Verhältnis der Elastizitätszahlen $1/\alpha$									
						bei 90 Tagen Alter				bei 365 Tagen Alter				Mittel- werte für das Alter	
	zu denen bei 28 Tagen Alter und den folgenden Belastungen in kg										90	365			
	Zement	Sand	Kies			400	1200	2000	2800	400			1200	2000	2800
71	1	2,5	5	Isar	ungewaschen	103	112	[109]	109	109	115	118	116	106	115
72					gewaschen	115	114	122	122	[109]	118	122	124	118	121
73					entfeint	102	106	106	114	100	116	124	124	116	114
74				Rhein	ungewaschen	111	110	108	108	113	122	123	123	109	120
75					entfeint	117	103	116	116	116	112	126	130	113	121
76	1	4	8	Isar	ungewaschen	113	120	117	—	123	132	137	—	117	131
77					gewaschen	[87]	104	95	104	[98]	126	117	—	101	122
78					entfeint	105	103	105	105	114	125	124	125	105	125
79				Rhein	ungewaschen	84	97	95	99	[119]	135	145	[141]	94	140
80					entfeint	119	117	[111]	[115]	127	[114]	[120]	118	127	

Tabelle 44.

Mittlere Elastizitätszahlen bis 2000 kg Belastung.

Sand		Mischung 1 : 2,5 : 5				Mischung 1 : 4 : 8				Verhältnis der Mittelwerte; diejenigen für die Mischung 1 : 2,5 : 5 = 100 gesetzt
		Mittlere Elastizitätszahlen in $\text{kg/qcm } 10^3$								
Art	Zustand	bei Alter in Tagen			Mittel	bei Alter in Tagen			Mittel	
		28	90	365		28	90	365		
Isar	ungewaschen	345	375	397	372	290	344	377	337	91
	gewaschen	330	394	391	375	345	332	398	358	96
	entfeint	371	395	419	395	356	374	428	386	98
Rhein	ungewaschen	326	366	386	359	297	287	394	326	91
	entfeint	293	328	349	323	287	329	335	317	98

IV. Versuche mit Zug- und Druckwechsel.

Die Proben hatten die gleichen Abmessungen wie die Zugproben zu Reihe III, s. Abb. 27, und sind wie diese eingestampft und in gleicher Weise bis zur Prüfung gelagert. Die Einspannung bei den Beanspruchungen auf Zug erfolgte wieder mit Hilfe der Klauen, Abb. 29. Für die Druckbeanspruchungen wurden die Endflächen mit Gips abgeglichen.

Die Längenänderungen wurden bei beiden Beanspruchungen innerhalb derselben Meßstrecke von 40 cm mit Martensschen Spiegelapparaten ermittelt.

Die Untersuchung erstreckte sich lediglich auf erdfeuchten Kiesbeton, und zwar nur auf die 3 Mischungen I bis III, Tab. 1, aber wieder in den beiden Gewichtsverhältnissen 1 : 2,5 : 5, sowie 1 : 4 : 8. Die gleichen Mischungen finden sich auch unter Reihe III mit reiner Zugbeanspruchung. Zu Mischung I diente ungewaschener Isarsand, zu Mischung II ungewaschener Rheinsand und zu Mischung III entfeyter Rheinsand.

Die Laststeigerung erfolgte bei den Druckbeanspruchungen in Stufen von je 5000 kg und bei den Zugbeanspruchungen in Stufen von je 500 kg. Bei jeder Stufe wurde meist 10 mal, jedenfalls aber so oft belastet und auf Null wieder entlastet, bis die Längenänderungen beim Be- und Entlasten gleich groß waren und für 2 aufeinander folgende Wechsel die gleichen Werte für die Längenänderungen erhalten wurden.

Bei einem Teil der Proben ist mit der Beanspruchung auf Druck begonnen, bei dem anderen mit der Beanspruchung auf Zug. Gewechselt wurde mit den beiden Beanspruchungen nach jeder neuen Laststufe und nach dem Wechsel wurde zunächst die Längenänderung für die vorher bereits erreichte höchste Laststufe nochmals ermittelt, bevor die Belastung auf die neue Stufe gesteigert wurde. Hiernach ergeben sich, wenn man die Druckbeanspruchungen mit negativem und die Zugbeanspruchungen mit positivem Vorzeichen versieht, nachstehende Lastfolgen, je nachdem mit Druck- oder Zugbeanspruchung begonnen wurde:

Lastfolgen.

a) beginnend mit Druck	b) beginnend mit Zug
Reihe 1: 0 bis — 5000,	Reihe 1: 0 bis + 500,
„ 2: 0 „ + 500,	„ 2: 0 „ — 5000,
„ 3: 0 „ — 5000,	„ 3: 0 „ + 500,
„ 0 „ — 10000,	„ 0 „ + 1000,
„ 4: 0 „ + 500,	„ 4: 0 „ — 5000,
„ 0 „ + 1000,	„ 0 „ — 10000,
„ 5: 0 „ — 10000,	„ 5: 0 „ + 1000,
„ 0 „ — 15000,	„ 0 „ + 1500,
usw. bis	usw.
„ 11: 0 bis — 25000,	„ 11: 0 bis + 2500,
„ 0 „ — 30000.	„ 0 „ + 3000.

Einige Proben gingen bereits bei diesem Lastwechsel, d. h. bei 30000 kg Druckbeanspruchung oder 3000 kg Zugbeanspruchung, oder bei geringeren Belastungen zu Bruch. Die Proben, die den Lastwechsel bis zu den Reihen 11 aushielten, wurden dann bei stetiger Laststeigerung, ohne weitere Beobachtung der Längenänderungen, teils zerrissen, teils zerdrückt unter Ermittlung der höchsten erreichten Beanspruchungen.

Die bei den einzelnen Versuchen für die verschiedenen Laststufen erzielten Endwerte der Längenänderungen (elastische = gesamte) sind nach den untersuchten Mischungen getrennt in Tab. 45 bis 50 zusammengestellt. Aus den vor den Dehnungswerten angegebenen Reihennummern ist zu ersehen, ob die Probe zuerst (ungerade Nummer) auf Druck oder Zug beansprucht worden ist.

Der Vergleich der paarweise zusammengehörigen Zahlenwerte zeigt, daß die Längenänderungen derselben Probe bei derselben Belastung vor (oberer Wert) und nach dem Lastwechsel (unterer Wert), von wenigen Ausnahmen abgesehen, befriedigend übereinstimmen. Hiernach ist also die elastische Längenänderung des Betons bei Druck- oder Zugbeanspruchung durch die voraufgegangene Beanspruchung in entgegengesetzter Richtung innerhalb der Grenzen des Versuchs nicht nennenswert beeinflußt worden.

Zu dem gleichen Ergebnis führen naturgemäß die in Tab. 51 gegenübergestellten Mittelwerte für die ausgeführten je 3 Parallelversuche.

In Tab. 52 und 53 sind nun die aus den nach dem Lastwechsel beobachteten elastischen Dehnungen berechneten mittleren Elastizitätszahlen für Druck (Tab. 52) und für Zug (Tab. 53) den Elastizitätszahlen gegenübergestellt, die aus den früher besprochenen Versuchen mit ausschließlich Druckbeanspruchung, Abschnitt II, und ausschließlich Zugbeanspruchung, Abschnitt III, erhalten worden sind. Die den Beobachtungswerten ferner zugefügten Verhältniszahlen lassen erkennen, daß die Elastizitätszahlen für Druck (Tab. 52) für die fette Mischung I (1 : 2,5 : 5) aus ungewaschenem Isarsand bei den Versuchen mit Spannungswechsel um einige Hundertteile geringer sich ergaben, als bei den reinen Druckversuchen; bei allen anderen Reihen, d. h. sowohl bei den fetten Mischungen II aus ungewaschenem und III aus entfemttem Rheinsand als auch bei allen drei mageren Mischungen Ia bis IIIa aus denselben Sanden wie bei I bis III, waren die Elastizitätszahlen für die Versuche mit Spannungswechsel recht erheblich größer als bei den reinen Druckversuchen.

Bei allen drei fetten Mischungen (I bis III) waren die Unterschiede für die 90 Tage alten Proben größer als für die 28 Tage alten; bei den mageren Mischungen (Ia bis IIIa) ist dieser Einfluß des Alters nicht zu erkennen.

Bei den Zugversuchen (Tab. 53) äußerte sich der Einfluß des Spannungswechsel auf die Elastizitätszahl bei den drei fetten Mischungen in gleicher Weise wie bei den Druckversuchen; auch hier waren die Werte durch den Spannungswechsel bei Mischung I erniedrigt, bei den Mischungen II und III dagegen erhöht und der Unterschied war wieder bei den 90 Tage alten Proben größer als bei den 28 alten Proben. Die mageren Mischungen zeigen im Gegensatz zu den Druckproben mit einer Ausnahme (90 Tage alte Proben der Reihe IIa) durchweg Erniedrigung der Elastizitätszahl durch den Spannungswechsel.

Ganz überraschend ist das Ergebnis hinsichtlich der Bruchfestigkeiten. Nach Tab. 52 sind die Druckfestigkeiten in allen Reihen durch die Spannungswechsel nennenswert gesteigert, und zwar anscheinend bei den 90tägigen Proben mehr als bei den 28 Tage alten. Die Zugfestigkeiten der 28 Tage alten Proben scheinen durch den Spannungswechsel gelitten zu haben, bei den 90 Tage alten Proben haben sie dagegen nicht gelitten, sondern sogar, wie die Druckfestigkeit, eine Steigerung erfahren.

Tabelle 51.
Mittelwerte aus den Versuchen mit Druck- und Zugwechsel.

Reihe	Zusammensetzung des Betons				Sand	Alter der Proben in Tagen	Mittlerer Querschnitt f qcm	Mittleres Gewicht G kg	Elastische Längenänderungen in cm 10^{-5} auf 40 cm Meßlänge bei							Bruchspannung								
	Zement	Sand	Kies	Wasser					Zustand	Druckbelastung in kg			Zugbelastung in kg				Druck	Zug						
Zeichen Nr.					Art			Belastungsreihe	5000	10000	15000	20000	25000	30000	500	1000	1500	2000	2500	3000	kg/qcm	kg/qcm		
I	81			7,0	Isar	unge-waschen	28	407	105,0	a	156	325	505	698	876	1121	15	32	46	65	82	105	130	10,3
										b	159	328	506	705	883	—	16	30	49	67	84	—		
II	82	I	2,5	5,0	6,0	unge-waschen	90	407	105,5	a	131	287	438	594	762	937	14	27	42	58	74	93	185	13,3
										b	142	287	439	597	769	—	13	24	44	57	75	—		
III	83			4,5	Rhein	ent-fein	28	408	104,1	a	144	302	466	644	842	1039	13	28	43	59	79	101	190	12,1
										b	143	302	471	654	842	—	14	28	45	66	82	—		
IIIa	86			4,0	ent-fein	90	405	103,7	100,9	a	123	250	389	532	680	830	12	25	34	51	62	[83]	221	17,0
										b	[123]	253	398	533	682	—	11	24	35	52	[64]	—		
Ia	84			6,5	Isar	unge-waschen	28	408	105,9	a	177	374	601	863	1182	—	17	34	54	75	[109]	—	—	6,7
										b	177	376	605	874	—	—	17	35	56	[83]	—			
IIa	85	I	4	5,5	Rhein	unge-waschen	90	412	104,7	a	154	317	496	[673]	[885]	[1146]	15	33	46	[62]	[81]	[106]	116	9,7
										b	152	317	[484]	[678]	[915]	—	15	32	[52]	[64]	[87]	—		
IIIa	86			4,0	ent-fein	28	407	99,3	100,9	a	163	348	570	[823]	[1180]	—	16	35	55	82	[98]	[129]	—	6,1
										b	165	352	578	[875]	—	—	17	36	57	93	[105]	—		

Tabelle 52.

Vergleich der mittleren Elastizitätszahlen.
Druckfestigkeiten aus den Druckversuchen und den Versuchen mit Zug- und Druckwechsel.

1. Bei den Reihen 11—16 herrschten lediglich Druckbeanspruchung, bei den Reihen 81—86 Wechsel zwischen Zug- und Druckbeanspruchungen.
2. Material: Erdfeuchter Kiesbeton; seine Zusammensetzung ergibt sich an Hand der Zeichen I—III aus Tabelle 1.

Reihe		Alter in Tagen	Mittlere Elastizitätszahlen in kg/qcm 10 ⁸ für Druckbeanspruchung											Druckfestigkeiten kg/qcm	
Zeichen	Nr.		Beobachtungswerte bei den Druckspannungen in kg/qcm						Verhältniszahlen, die Werte für die Reihen 11—16 ohne Beanspruchungswechsel = 100					beobachtet	Verhältnis %
			12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5		
I	11 81	28	300 309	303 300	295 292	288 279	284 278	275 —	103	99	99	97	98	123 130	105
	11 81	90	368 346	364 342	356 336	350 329	338 319	332 —	94	94	94	94	94	148 185	125
II	12 82	28	278 342	281 324	274 312	264 300	258 291	250 —	123	115	114	114	113	134 190	142
	12 82	90	289 399	287 387	284 370	276 368	272 359	267 —	138	135	130	134	132	158 221	140
III	13 83	28	[294] 352	[280] 342	[270] 332	[261] 324	[252] 288	[245] —	[120]	[122]	[123]	[124]	[114]	136 170	125
	13 83	90	320 393	300 381	286 372	278 362	270 352	261 —	123	127	130	130	130	147 225	153
Ia	14 84	28	256 277	237 260	207 243	183 225	— —	— —	108	110	117	123	—	69 —	—
	14 84	90	310 324	294 311	273 [306]	251 [292]	229 —	— —	105	106	[112]	[116]	—	88 116	132
IIa	15 85	28	206 296	193 277	192 254	177 [223]	168 —	— —	144	144	132	[126]	—	77 (190)	[247]
	15 85	90	[288] 332	[245] 314	[256] 300	[243] 283	[220] [267]	[217] —	[115]	[128]	[117]	[116]	[121]	105 143	136
IIIa	16 86	28	196 260	193 244	181 233	166 [214]	— —	— —	133	126	129	[129]	—	71 —	—
	16 86	90	220 298	205 286	(207) 271	(193) 259	(177) —	— —	135	139	[140]	[134]	—	70 122	175

Tabelle 53.

Vergleich der mittleren Elastizitätszahlen und Zugfestigkeiten aus den Zugversuchen und den Versuchen mit Zug- und Druckwechsel.

1. Bei den Reihen 71, 74, 75, 76, 79 und 80 herrschten lediglich Zugbeanspruchungen; bei den Reihen 81—86 Wechsel zwischen Zug- und Druckbeanspruchungen.
2. Material: Erdfeuchter Kiesbeton; seine Zusammensetzung ergibt sich an Hand der Zeichen I—III aus Tabelle 1.

Reihe		Alter in Tagen	Mittlere Elastizitätszahlen in kg/qcm 10^3 für Zugbeanspruchung										Zugfestigkeiten kg/qcm	
Zeichen	Nr.		Beobachtungswerte bei den Zugspannungen in kg/qcm					Verhältniszahlen, die Werte für die Reihen 71—80 ohne Beanspruchungswechsel = 100					beobachtet	Verhältnis o/o
			1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25		
I	71 81	28	[360] 327	353 327	344 301	344 293	340 392	[91]	93	88	85	86	11,1 10,3	93
	71 81	90	370 352	376 409	385 336	372 345	[372] 328	95	108	87	93	[88]	13,2 13,3	100
II	74 82	28	343 350	328 351	319 327	324 297	315 299	102	107	102	92	95	12,8 12,1	95
	74 82	90	381 445	395 410	350 420	362 377	340 [383]	117	104	120	104	[113]	13,9 17,0	122
III	75 83	28	308 377	302 351	303 342	283 327	272 318	122	116	113	115	117	[9,4] 14,7	[156]
	75 83	90	360 410	330 409	313 399	319 378	317 356	114	124	127	119	112	10,7 13,9	130
Ia	76 84	28	366 288	285 280	285 262	289 [236]	278 —	91	98	92	[82]	—	7,5 6,7	89
	76 84	90	356 329	352 309	343 [285]	346 [309]	324 [284]	93	88	[83]	[89]	[88]	9,2 9,7	105
IIa	79 85	28	335 287	296 271	291 256	287 [210]	277 [232]	86	92	88	[73]	[84]	8,8 6,1	75
	79 85	90	282 [324]	291 [313]	281 297	279 282	264 258	[115]	108	106	101	98	9,5 9,5	100
IIIa	80 86	28	288 273	328 252	276 231	255 205	[289] [192]	95	77	84	81	[66]	6,7 6,8	101
	80 86	90	343 308	336 283	324 285	323 264	320 237	90	84	88	82	74	[7,2] 7,5	[104]

V. Drehversuche.

Die Versuche erstrecken sich wieder auf die 6 Mischungen:

I.	1	Zement	+ 2 $\frac{1}{2}$	Isarsand, ungewaschen,	+ 5	Kies,
II.	1	„	+ 2 $\frac{1}{2}$	Rheinsand, „	+ 5	„
III.	1	„	+ 2 $\frac{1}{2}$	„ entfemt,	+ 5	„
Ia.	1	„	+ 4	Isarsand, ungewaschen,	+ 8	„
IIa.	1	„	+ 4	Rheinsand, „	+ 8	„
IIIa.	1	„	+ 4	„ entfemt,	+ 8	„

Die Proben von 20 × 20 cm Querschnitt und 150 cm Länge waren aus erdfeuchtem Beton in Betonformen liegend in 2 Schichten gestampft und mit Abgleichsicht versehen. Sie lagerten nach dem Stampfen zunächst 1 Tag in der Form und dann bis zur Prüfung bei 28, 90 und 365 Tagen Alter im gedeckten Raum unter nassem Sande.

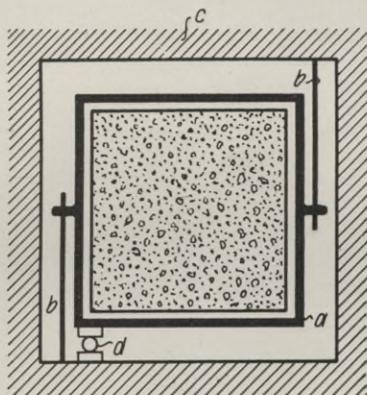


Abb. 34. Einspannung der Drehproben.

Zu dem Probematerial ist zu bemerken, daß Zement aus 2 verschiedenen Lieferungen *A* und *B* zur Verwendung gelangte. Beide Lieferungen stammten von der Firma Lossius-Delbrück; ihre Prüfung ergab aber, wie die folgende Gegenüberstellung zeigt, für die Lieferung *B* höhere Festigkeiten als für *A*.

Zement	Zug		Druck	
	7 Tage	28 Tage	7 Tage	28 Tage
<i>A</i>	23,5	28,2	230	314
<i>B</i>	25,7	32,1	308	416

Die Verwendung zu den einzelnen Reihen ergibt sich aus Tab. 55.

Die Prüfung erfolgte auf der Maschine Bauart Martens. Hierzu war das eine Ende der Proben in der mit Schneckenantrieb versehenen Drehvorrichtung festgelegt. Auf dem anderen Ende war 1 Hebel mit 2 Armen gleicher Länge angebracht. Der eine Arm stützte sich mittels Schneide gegen ein festes Widerlager, während der andere Arm mittels Schneide auf eine Dezimalwaage zur Bestimmung des Drehmomentes wirkte.

Um Biegungsspannungen tunlichst zu vermeiden, waren die Einspannungen nach dem Vorschlage von Panzerbieter, wie folgt, nachgiebig angeordnet. Ueber die Probenenden waren quadratische Ringe *a*, Abb. 34, von 15 cm Länge geschoben,

die an den symmetrisch angeordneten Stahlbändern *b* in dem Einspanngehäuse *c* so aufgehängt wurden, daß die Achse der Probe an dem einen Ende mit der Drehachse der Antriebsvorrichtung und an dem anderen Ende mit der Mitte des Wiegehebels zusammenfiel. Die Stahlbänder *b* übertrugen somit durch 2 gleichweit von der Achse der Probe entfernte Zugkräfte an dem einen Ende die Drehung auf die Probe und an dem anderen Ende das an der Probe erzeugte Drehmoment auf die Wage. Die Einrichtung hat sich gut bewährt. Der Bruch der Proben (s. Abb. 35) zeigte im allgemeinen den normalen spiraligen Verlauf.



Abb. 35. Bruchfläche einer Torsionsprobe.

Die freie Länge der Proben zwischen den Einspannungen betrug 130 cm. Die Verdrehung wurde auf 50 cm Länge mit dem für diesen Zweck besonders hergerichteten Apparat, Abb. 36, wie folgt gemessen. In gegenseitigem Abstande von 50 cm (= Meßlänge) waren die beiden Rahmen *A* und *B* um das Versuchsstück gelegt und fest mit letzterem verschraubt. Die Verdrehung dieser Rahmen um die gemeinsame Achse gegen einander entsprach somit der Verdrehung des Versuchsstückes auf 50 cm Länge. Um sie zu messen, waren mit dem Rahmen *A* die beiden Arme *C* und *D* verbunden und zwischen deren freien Enden und dem

Rahmen *B* die Martensschen Spiegelapparate *E* und *F* eingesetzt, deren Kippen wie bei Zerreiversuchen in der bekannten Weise mit Fernrohren beobachtet wurde.

Jeder der beiden Rahmen *A* und *B* bestand aus den beiden Laschen *a* und *b*, von denen *a* mit zwei und *b* mit einer Spitze an die Probe sich anlegte und die mit den Schrauben *c* und *d* zusammengehalten wurden. Die Anordnung dieser Rahmen bezweckte, rein örtliche Bewegungen infolge Loslsens einzelner Steine aus dem Beton und deren Verschiebung von den Beobachtungen tunlichst fernzuhalten.

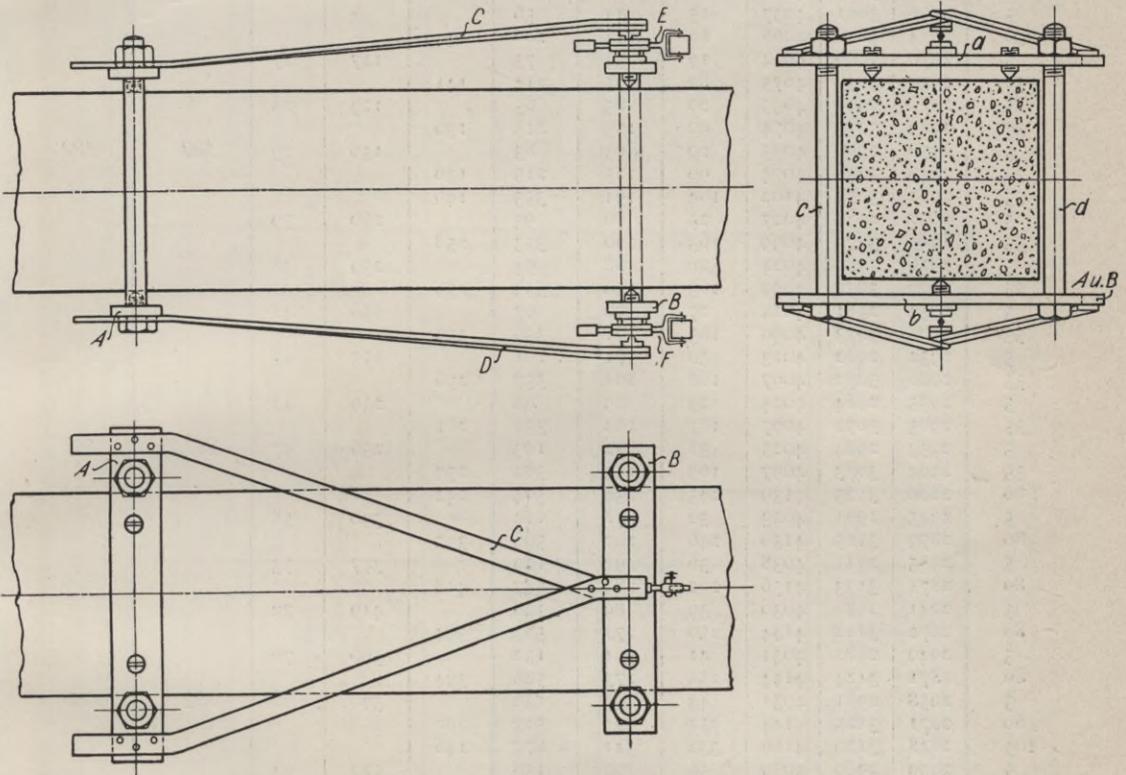


Abb. 36. Verdrehungsmesser.

Der Rahmen *B*, der die Widerlager für die beiden Spiegelapparate *E* und *F* bildete, lag nach dem mit dem Wiegehebel verbundenen Ende der Probe hin. Seine Verdrehung um die Achse des Versuchsstckes war hierdurch zwar möglichst gering gestaltet, aber doch nicht ganz beseitigt, sie war bedingt durch die Verdrehung des Versuchsstckes innerhalb der Länge von dem Rahmen bis zum Wiegehebel, so daß die Bewegungen der Spiegelapparate um entsprechende Beträge größer ausfielen, als die zu messende Verdrehung zwischen den beiden Rahmen *A* und *B*. Um diesen Fehler aus den Beobachtungen ausschalten zu können, wurde die Verdrehung des Rahmens *B* durch einen daran angebrachten festen Spiegel für sich gemessen und dieser Betrag von der Verdrehung der beiden Spiegelapparate *E* und *F* in Abzug gebracht. Tab. 54 gibt als Beispiel das Protokoll von den Beobachtungen an der Probe 87/3.

Tabelle 54. Prüfung einer Betonprobe auf Drehfestigkeit.

(Protokoll - Abschrift.)

Belastung der Wage in kg	Ableseungen am			Ableseungen am Spiegel des Verdrehungsmessers, berichtigt um die Ablese- ung am festen Spiegel			Beobachtungen für die Verdrehung = Bogenlänge in cm 10^{-6}			Beobach- tung für die mittlere Federung Bogenlänge in cm 10^{-6}	Federnde Ver- drehung arc θ in cm 10^{-8}
	festen Spiegel	Verdrehungs- messer: Spiegel		$a =$ $B - A$	$b =$ $C - A$	$a + b$	Gesamt	federnd	blei- bend		
		A	oben B								
0	3000	3000	4000	—	—	—					
5	2996	3011	4037	15	41	56					
30	2954	3040	4068	86	114	200	144				
5	2970	2989	4024	19	54	73		127	17		
30	2950	3039	4075	89	125	214	141				
5	2970	2990	4035	20	65	85		129	29		
30	2949	3039	4074	90	125	215	130				
5	2970	2990	4035	20	65	85		130	29	130	192
30	2949	3039	4074	90	125	215	130				
55	2911	3075	4102	164	191	355	140				
5	2957	2982	4027	25	70	95		260	39		
55	2909	3072	4099	163	190	353	258				
5	2956	2982	4024	26	68	94		259	38		
55	2909	3072	4099	163	190	353	259				
5	2954	2981	4024	27	70	97		256	41		
55	2908	3073	4099	165	191	356	259				
5	2952	2982	4023	30	71	101		255	45		
55	2906	3072	4097	166	191	357	256				
5	2955	2984	4024	29	69	98		259	43		
55	2905	3072	4097	167	192	359	261				
5	2953	2984	4025	31	72	103		256	47	257,7	381
55	2904	3073	4097	169	193	362	259				
80	2880	3125	4139	245	259	504	142				
5	2945	2981	4023	36	78	114		390	58		
80	2879	3125	4139	246	260	506	392				
5	2945	2981	4038	36	93	129		377	73		
80	2871	3133	4156	262	285	547	418				
5	2941	2980	4030	39	89	128		419	72		
80	2872	3122	4144	250	272	522	394				
5	2940	2981	4031	41	91	132		390	76		
80	2871	3124	4144	253	273	526	394				
5	2938	2981	4031	43	93	136		390	80	392	580
80	2871	3125	4144	254	273	527	391				
105	2848	3180	4189	332	341	673	146				
5	2930	2980	4030	50	100	150		523	94		
105	2845	3181	4190	336	345	681	531				
5	2927	2980	4029	52	102	155		526	99		
105	2841	3181	4190	340	349	689	534				
5	2925	2980	4030	55	105	160		529	104		
105	2840	3180	4190	340	350	690	530				
5	2920	2977	4026	57	106	163		527	107	529,5	783
105	2840	3180	4192	340	352	692	529				
130	2818	3241	4237	423	419	842	150				
5	2911	2979	4024	68	113	181		661	125		
130	2812	3242	4237	430	425	855	674				
5	2909	2979	4024	70	115	185		670	129		
130	2809	3242	4237	433	428	861	676				
5	2907	2980	4024	73	117	190		671	134		
130	2808	3248	4240	440	432	872	682				
5	2908	2985	4024	77	116	193		679	137	675,3	999
130	2806	3248	4238	442	432	874	681				
155	2787	3318	4292	531	505	1036	162				
5	2901	2991	4018	90	117	207		829	151		
155	2781	3320	4286	539	505	1044	837				
5	2895	2991	4017	96	122	218		826	162		
155	2779	3325	4287	546	508	1054	836				
5	2893	2996	4016	103	123	226		828	170		
155	2776	3330	4287	554	511	1065	839				
5	2891	2997	4015	106	124	230		835	174	833,5	1233
155	2773	3330	4288	557	515	1072	842				
180	2753	3411	4355	Wage sinkt langsam ab.							

Bruch bei 240 kg, frei, innerhalb der Meßlänge.

Tabelle 55. Drehfestigkeiten der erdfeuchten Beton-Mischungen bei drei Altersstufen.

Die mit * versehenen Mittelwerte sind mit den anderen Mittelwerten nicht unmittelbar streng vergleichbar, da die den beiden Gruppen mit und ohne * zugehörigen Proben aus Zement von verschiedenen Lieferungen gefertigt sind; die Proben ohne * aus Lieferung A, die Proben mit * aus Lieferung B (s. S. 145).

Reihe Nr.	I (87)				II (88)				III (89)				Ia (90)				IIa (91)				IIIa (92)			
	Mischungsverhältnis	I Zement 2 1/3 Isarsand, ungewaschen 5 Kies 7 0/10 Wasser	I Zement 2 1/3 Rhainsand, ungewaschen 5 Kies 6 0/10 Wasser	I Zement 2 1/3 Rhainsand, entfemt 5 Kies 4,5 0/10 Wasser	Mischungsverhältnis	I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 6,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 6,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Rhainsand, ungewaschen 8 Kies 5,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Rhainsand, entfemt 8 Kies 4 0/10 Wasser	Mischungsverhältnis	I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 6,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 6,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Rhainsand, ungewaschen 8 Kies 5,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Rhainsand, entfemt 8 Kies 4 0/10 Wasser	Mischungsverhältnis	I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 6,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 6,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Rhainsand, ungewaschen 8 Kies 5,5 0/10 Wasser	I Zement 4 Rhainsand, entfemt 8 Kies 4 0/10 Wasser					
Probe Nr.	Bruchgrenze		Alter der Probe in Tagen	Bruchgrenze		Alter der Probe in Tagen	Bruchgrenze		Alter der Probe in Tagen	Bruchgrenze		Alter der Probe in Tagen	Bruchgrenze		Alter der Probe in Tagen	Bruchgrenze		Alter der Probe in Tagen	Bruchgrenze		Alter der Probe in Tagen			
	Drehmoment cm/kg	τ _B kg/qcm		Drehmoment cm/kg	τ _B kg/qcm		Drehmoment cm/kg	τ _B kg/qcm		Drehmoment cm/kg	τ _B kg/qcm		Drehmoment cm/kg	τ _B kg/qcm		Drehmoment cm/kg	τ _B kg/qcm		Drehmoment cm/kg	τ _B kg/qcm		Drehmoment cm/kg	τ _B kg/qcm	Drehmoment cm/kg
3	48 000	26,5	28	63 000	36,2	28	40 600	23,1	3	31 000 ³⁾	17,5 ³⁾	29 600	16,5	25 000	14,0	29 600	16,5	25 000	14,0					
6	50 040 ⁴⁾	28,3 ⁴⁾	28	63 000	35,1	28	46 000	25,3	6	26 000 ³⁾	14,3 ³⁾	36 000	21,0	26 000 ³⁾	14,3	36 000	21,0	26 000 ³⁾	14,3					
9	47 400	26,7	30	61 000	34,5	30	52 000	28,6	9	36 000	19,7	40 000	22,6	26 000	14,3	40 000	22,6	26 000	14,3					
12	55 400	31,4	30	60 000	33,4	28	46 000 ³⁾	26,3 ³⁾	12	36 000	19,9	38 000	20,9	20 000	11,1	38 000	20,9	20 000	11,1					
15	46 000 ³⁾	25,9 ³⁾	29	54 000	31,0	29	59 000	31,0	15	33 600	19,3	30 600	17,1	20 800	11,4	30 600	17,1	20 800	11,4					
Mittel	—	27,7*	29	—	34,0*	29	—	26,9*	Mittel	—	18,3*	—	19,6*	—	13,0*	—	19,6*	—	13,0*					
2	56 000 ³⁾	31,6 ³⁾	—	63 000	36,2	—	43 800	24,0	2	36 000 ³⁾	21,0 ³⁾	49 200	27,4	26 000 ³⁾	14,5 ³⁾	49 200	27,4	26 000 ³⁾	14,5 ³⁾					
5	56 000 ³⁾	32,6 ³⁾	—	60 000	32,5	—	— ¹⁾	— ¹⁾	5	41 000	22,2	170	22,5	— ⁸⁾	—	41 000	22,5	— ⁸⁾	—					
8	61 000	34,5	—	65 000	36,8	—	36 000 ³⁾	21,5 ³⁾	8	42 400	24,0	168	26,1	— ⁸⁾	—	42 400	26,1	— ⁸⁾	—					
11	56 000 ³⁾	31,7 ³⁾	—	60 000	33,9	—	46 800	24,6	11	43 200	23,7	113	18,0	26 000 ³⁾	14,1 ³⁾	43 200	18,0	26 000 ³⁾	14,1 ³⁾					
14	56 000 ³⁾	31,7 ³⁾	90	70 000	39,0	90	36 000 ³⁾	19,7 ³⁾	14	40 400	22,8	122	16,5 ³⁾	26 000 ³⁾	14,1 ³⁾	40 400	16,5 ³⁾	26 000 ³⁾	14,1 ³⁾					
Mittel	—	32,4*	—	—	35,7*	—	—	22,5	Mittel	—	22,7*	—	[25,3] ⁶⁾	—	[14,5] ⁶⁾	—	[25,3] ⁶⁾	—	[14,5] ⁶⁾					
1	61 600	34,3	—	65 600	36,6	—	63 400	34,3	1	46 000 ³⁾	25,6 ³⁾	46 000	25,3	37 000	20,6	46 000	25,3	37 000	20,6					
4	56 400	31,5	—	61 000	33,5	—	51 000 ³⁾	27,9 ³⁾	4	39 000	21,4	46 000	25,3	31 000	18,3	46 000	25,3	31 000	18,3					
7	56 000 ³⁾	31,3 ³⁾	—	56 000	30,7	—	61 000	33,1	7	41 000	23,1	41 000 ³⁾	22,2 ³⁾	30 000	16,2	41 000 ³⁾	22,2 ³⁾	30 000	16,2					
10	53 600	29,9	365	—	—	365	(31 000) ³⁾	(18,9) ³⁾	10	36 000 ³⁾	19,5 ³⁾	43 000	25,4	26 000 ³⁾	15,6 ³⁾	43 000	25,4	26 000 ³⁾	15,6 ³⁾					
13	64 000	35,1	—	—	—	—	51 600	27,9	13	(31 100) ³⁾	(17,1) ³⁾	—	—	(21 000) ³⁾	(12,6) ³⁾	—	—	(21 000) ³⁾	(12,6) ³⁾					
Mittel	—	32,4	—	—	[33,6]	—	—	30,8	Mittel	—	22,4	—	24,6	—	17,7	—	24,6	—	17,7					

1) Bei $\tau = 24,9$ kg/qcm Bruch eines Stahlbandes im Einspannkopf; bei Wiederbelastung Bruch der Probe bei $\tau = 23,3$ kg/qcm. — 2) Last war nicht ganz angehoben, Wert von Mittelbildung ausgeschlossen. — 3) Bruch der Probe nach wiederholtem Anheben zur Bestimmung der federnden Verdrehung bei dem angegebenen Drehmoment. — 4) Bruch der Probe in der Einspannung. — 5) Die in () gesetzten Werte sind von der Mittelbildung ausgeschlossen. — 6) Mittel für Probe 11-14 (118 oder 170 Tage). — 7) Mittel für Probe 11-14 (118 oder 170 Tage). — 8) Probe zu Versuchen verwendet.

A. Drehfestigkeit.

Die beobachteten Drehmomente M_d beim Bruch und die hieraus berechneten Schubspannungen τ_B sind in Tab. 55 zusammengestellt. Die Berechnung erfolgte nach der Gleichung

$$\tau_B = \gamma \frac{M_d}{bh^2}$$

hierbei ist γ nach Saint-Venant = 4,8 gesetzt.

1. Einfluß des Alters.

Abb. 37 zeigt in dem Verlauf der einzelnen Linien die Veränderungen der Schubfestigkeiten τ_B der 6 Betonmischungen mit wachsendem Alter, indem die Festigkeit der frischen Körper unmittelbar nach dem Einstampfen gleich Null angenommen ist. Zu beachten ist die Stärke der Schaulinien; sie läßt erkennen, welche der bei verschiedenem Alter geprüften Proben derselben Mischung aus Material derselben Lieferung gefertigt sind.

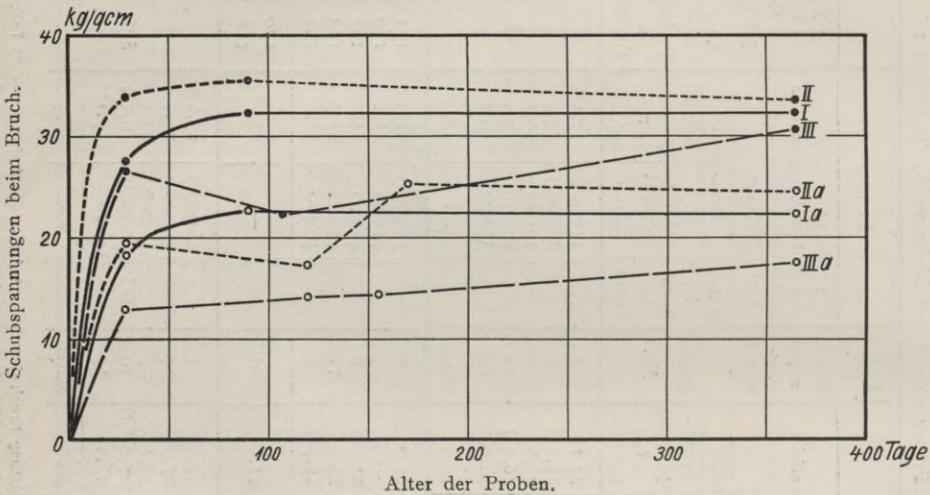


Abb. 37. Schubfestigkeit der verschiedenen Mischungen bei zunehmendem Alter.

- I = Isarsand, ungewaschen
 - II = Rheinsand, ungewaschen
 - III = „ entfeint
 - Ia—IIIa wie bei I—III: 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies.
- } 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies.

Bemerkung: Die Proben, denen die starken Linien angehören, sind aus Material einer späteren Lieferung gefertigt, als die Proben zu den feinen Linien.

Aus dem Verlauf der starken Linien ergibt sich, daß die Festigkeitszunahme zwischen 28 und 90 Tagen Alter nicht erheblich war. Nach den in Tab. 56 gegenübergestellten Verhältniszahlen, die Werte für 28 Tage gleich 100 gesetzt, beträgt diese Zunahme zwischen 5 und 24 0/0. Die weiteren Festigkeitssteigerungen mit wachsendem Alter lassen die Versuche nicht erkennen, da die Jahresproben aus dem Zement A gefertigt waren, der allem Anschein nach entsprechend seiner geringeren Eigenfestigkeit auch geringere Betonfestigkeiten lieferte als Zement B mit größerer Eigenfestigkeit.

Tabelle 56.

Verhältniszahlen für die Aenderung der Schubfestigkeit mit wachsendem Alter von 28 auf 90 Tage.

Mischung	I	Ia	II	IIa	III	IIIa
90 Tage	117	124	105	[92]	[87]	106

2. Einfluß der Sandart.

Aus der Lage der Schaulinien Abb. 37 zueinander ergibt sich ferner und zwar übereinstimmend für die Materialien der beiden Lieferungen folgendes:

1. der ungewaschene Rheinsand lieferte sowohl in der fetten Mischung (1 : 2,5 : 5) als auch in der mageren (1 : 4 : 8) (Linien II und IIa) höhere Schubfestigkeiten als der ungewaschene Isarsand (Linien I und Ia).
2. die Schubfestigkeit des Kiesbetons aus entfeyntem Rheinsande (Linien III und IIIa) war geringer als die des Kiesbetons aus ungewaschenem Rheinsande (Linien II und IIa).

Ordnet man die 6 Mischungen nach fallender Schubfestigkeit und bildet die Verhältniszahlen bei gleichem Alter, indem man die Werte für die festeste Mischung II gleich 100 setzt (s. Tab. 57), so ergibt sich:

3. aus dem Vergleich der Werte II mit I und IIa mit Ia, daß die Ueberlegenheit des ungewaschenen Rheinsandes über den ungewaschenen Isarsand (s. Punkt 1) bei der fetten Mischung (1 : 2,5 : 5) mit wachsendem Alter abnimmt und durchschnittlich ebenso groß ist als bei der mageren (1 : 4 : 8).
4. zeigt der Vergleich von II mit III und von IIa mit IIIa, daß die Festigkeit des Betons durch das Entfeinen des Sandes (s. Punkt 2) bei der mageren Mischung mehr abnahm als bei der fetten.

Tabelle 57. Verhältniszahlen für die Schubfestigkeiten.

Mischung	1 : 2,5 : 5			1 : 4 : 8		
	II	I	III	IIa	Ia	IIIa
28 Tage	100	81	79	58	54	38
90 „	100	91	[63] ¹⁾	[62] ¹⁾	64	[40] ¹⁾
365 „	100	96	92	73	67	53
28 Tage	—	—	—	100	93	66
90 „	—	—	—	—	—	—
365 „	—	—	—	100	91	72

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Tab. 58 gibt die Verhältniszahlen zwischen den Festigkeiten der fetten Mischungen I ÷ III (1 : 2,5 : 5) zu denen der mageren Mischungen Ia ÷ IIIa (1 : 4 : 8). Bei der Berechnung sind die Werte der ersteren gleich 100 gesetzt. Nach diesen Werten nimmt die Schubfestigkeit durch vermehrten Zusatz von Sand und Kies zum Beton ab.

Tabelle 58. Verhältnis der Festigkeiten der mageren Mischungen Ia bis IIIa zu denen der fetten I bis III.

Alter in Tagen	Reihe Nr.		
	Ia	IIa	IIIa
28	66	58	48
90	70	[50]	[62]
365	69	73	57

Die Abnahme ist bei dem Beton aus entfeyntem Rheinsand (Reihe IIIa) am größten und bei den beiden Betonsorten aus den ungewaschenen Sanden (Reihe Ia und IIa) annähernd gleich groß.

¹⁾ Unsicher, da Zement anderer Lieferung verwendet ist als zu den 90 Tage alten Proben II u. I.

Auffallende Abweichungen zeigen die 90 Tage alten Proben der Reihe II sowie die 170- und 155-Tagesproben der Reihen IIa und IIIa. Eine bestimmte Erklärung hierfür hat nicht gefunden werden können.

Den weiteren Betrachtungen sind die in Tab. 61 gegenübergestellten Gleitzahlen zugrunde gelegt, die aus den in Tab. 60 enthaltenen elastischen Verdrehungen berechnet sind.

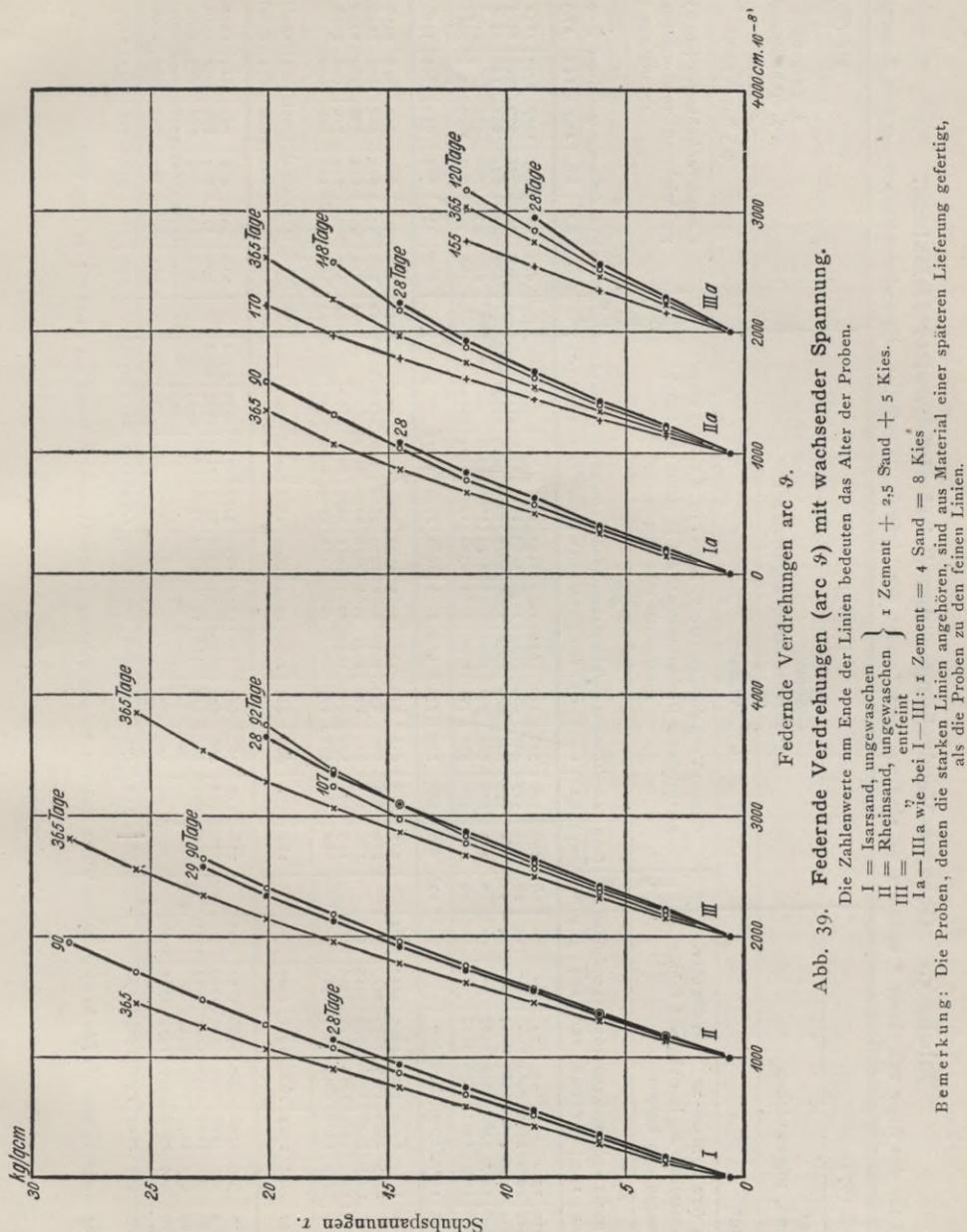


Abb. 39. Federnde Verdrehungen (arc φ) mit wachsender Spannung.

Die Zahlenwerte am Ende der Linien bedeuten das Alter der Proben.

- I = Isarsand, ungewaschen
- II = Rheinsand, ungewaschen
- III = entfeint
- Ia-IIIa wie bei I-III: 1 Zement = 4 Sand = 8 Kies
- 1 Zement + 2,5 Sand + 5 Kies.

Bemerkung: Die Proben, denen die starken Linien angehören, sind aus Material einer späteren Lieferung gefertigt, als die Proben zu den feinen Linien.

Aus dem Vergleich dieser Werte ergibt sich folgendes:

1. von den beiden ungewaschenen Sanden lieferte der Isarsand größere Gleitzahlen als der Rheinsand und durch das Entfeinen des letzteren nehmen die Gleitzahlen noch weiter ab. Dies gilt, abgesehen von den 29-Tagesproben bei Reihe II, für alle 3 Altersstufen, also für beide verwendeten Zemente, sowie für den fetten (1 : 2,5 : 5) als auch für den mageren (1 : 4 : 8) Beton.
2. bei der mageren Mischung waren die Gleitzahlen kleiner als bei der fetten.

Tabelle 59. Gesamt-Verdrehungen arc ϑ bei stufenweiser Belastung.

Die Proben, bei denen die Zahl für das Alter mit einem * versehen ist, sind aus dem Zement der Lieferung B gefertigt, die anderen Proben aus dem Zement der Lieferung A (s. S. 145).

Reihe Nr.	I (87)										II (88)										III (89)														
	I Zement 2 1/2 Isarsand, ungewaschen 5 Kies 7 0/10 Wasser										I Zement 2 1/2 Rheinsand, ungewaschen 5 Kies 6 0/10 Wasser										I Zement 2 1/2 Rheinsand, entfett 5 Kies 4,5 0/10 Wasser														
Mischungsverhältnis	Gesamt-Verdrehungen (arc ϑ) in cm · 10 ⁻⁸ bei den über- geschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schub- spannungen τ in kg/qcm										Gesamt-Verdrehungen (arc ϑ) in cm · 10 ⁻⁸ bei den über- geschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schub- spannungen τ in kg/qcm										Gesamt-Verdrehungen (arc ϑ) in cm · 10 ⁻⁸ bei den über- geschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schub- spannungen τ in kg/qcm														
	Probe	$M_d =$										$M_d =$										$M_d =$													
Nr.	6000	11 000	16 000	21 000	26 000	31 000	36 000	41 000	46 000	51 000	56 000	6000	11 000	16 000	21 000	26 000	31 000	36 000	41 000	46 000	51 000	56 000	6000	11 000	16 000	21 000	26 000	31 000	36 000	41 000	46 000	51 000	56 000		
Alter in Tagen	$\tau=3,3$	6,1	8,9	11,7	14,5	17,3	20,1	22,8	25,6	28,4	31,2	$\tau=3,3$	6,1	8,9	11,7	14,5	17,3	20,1	22,8	25,6	28,4	31,2	$\tau=3,3$	6,1	8,9	11,7	14,5	17,3	20,1	22,8	25,6	28,4	31,2		
3	235	452	606	940	1210	1502	—	—	—	—	—	28	158	327	516	723	954	1199	1452	1727	—	—	—	239	484	747	1047	1390	1852	2534	—	—	—	—	
6	168	357	561	781	1011	1279	1619	1960	—	—	—	28	146	317	487	662	857	1058	1280	1526	1816	2111	—	—	210	450	697	970	1278	1584	2003	—	—	—	—
9	151	336	523	721	933	1150	1386	1688	2066	—	—	30	181	382	585	804	1038	1318	1605	1900	2239	2769	3273	—	188	400	633	861	1140	1403	1717	—	—	—	—
12	187	393	603	825	1046	1285	1560	1848	2188	—	—	30	173	376	588	791	1019	1240	1445	1666	2010	—	—	—	210	450	700	953	1265	1595	1952	—	—	—	—
15	186	363	560	772	976	1221	1463	1778	2225	—	—	29	187	378	572	791	1009	1263	1526	1833	2204	3101	—	—	187	399	642	879	1149	1446	1741	—	—	—	—
Mittel	185	381	589	808	1035	1287	1597	1819	—	—	—	29*	169	356	550	754	975	1216	1462	1730	2067	—	—	—	207	438	684	942	1244	1576	1989	—	—	—	—
2	159	341	531	728	951	1144	1390	1615	1905	2242	2564	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5	185	365	553	744	943	1163	1392	1615	1870	2177	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8	149	305	482	664	847	1038	1246	1466	1725	2015	2403	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
11	176	377	572	785	1011	1251	1491	1755	2031	2375	2777	90*	175	304	570	866	1031	1289	1581	1871	2197	2822	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	176	362	549	756	956	1175	1402	1648	1963	2324	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Mittel	169	350	537	735	942	1154	1384	1620	1911	2227	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	133	299	455	622	781	946	1126	1337	1566	1854	2226	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4	146	300	459	619	782	965	1142	1324	1510	1726	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
7	140	291	447	623	788	965	1152	1337	1529	1754	2031	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10	141	281	420	566	725	875	1049	1230	1434	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
13	139	282	432	584	740	904	1107	1277	1474	1761	2040	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Mittel	144	290	443	603	763	931	1115	1301	1503	1774	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

1) Anfangsmoment = 1000 cmkg = 0,56 kg/qcm. 2) Die in () gesetzten Werte sind von der Mittelbildung ausgeschlossen. 3) Mittel aus 2 und 8 (107 Tage).

Tabelle 59. (Fortsetzung.)

Reihe Nr.	Ia (90)			IIa (91)			IIIa (92)		
	I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 6,5% Wasser			I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 5,5% Wasser			I Zement 4 Rheinsand, entfint 8 Kies 4% Wasser		
Probe Nr.	Gesamt-Verdrehungen (arc ϑ) in $\text{cm} \cdot 10^{-8}$ bei den überschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schubspannungen τ in kg/qcm			Gesamt-Verdrehungen (arc ϑ) in $\text{cm} \cdot 10^{-8}$ bei den überschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schubspannungen τ in kg/qcm			Gesamt-Verdrehungen (arc ϑ) in $\text{cm} \cdot 10^{-8}$ bei den überschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schubspannungen τ in kg/qcm		
	Alter der Probe in Tagen	M_d =	τ =	M_d =	τ =	M_d =	τ =	M_d =	τ =
3	225	455	704	963	1285	—	—	—	—
6	189	388	619	856	1126	—	—	—	—
9	198	412	638	878	1167	—	—	—	—
12	196	409	635	878	1185	28*	1519	1549	—
15	218	425	673	915	1219	—	1634	—	—
Mittel	205	418	654	898	1196	—	—	—	—
2	229	445	700	972	1312	171	147	302	462
5	177	391	568	796	1106	170	154	312	484
8	212	426	644	888	1142	168	148	291	454
11	204	401	616	853	1120	113	216	430	693
14	202	418	647	884	1154	122	180	398	642
Mittel	205	410	635	879	1182	170	150	392	467
1	145	302	474	644	824	118	198	444	668
4	166	348	538	744	973	156	318	492	739
7	157	322	491	665	850	169	348	533	727
10	209	404	609	822	1043	182	383	589	816
13	(267)	(563)	(899)	(1296)	(1907) ²⁾	198	560	803	1076
Mittel	169	344	528	719	923	176	402	604	840

1) Anfangsmoment = 1000 cmkg = 0,56 kg/qcm . — 2) Die in () gesetzten Werte sind von der Mittelbildung ausgeschlossen. — 3) Mittel aus Probe 2 ÷ 8 (155 und 170 Tage).

4) Mittel aus Probe 11 ÷ 14 (118 und 120 Tage).

Tabelle 60. Federnde Verdrehungen arc ϑ bei stufenweiser Belastung.

Die Proben, bei denen die Zahl für das Alter mit einem * versehen ist, sind aus dem Zement der Lieferung B gefertigt, die anderen Proben aus dem Zement der Lieferung A (s. S. 145).

Reihe Nr.	I (87)			II (88)			III (89)				
	I Zement 2 1/2 Isarsand, ungewaschen 5 Kies 7 0/10 Wasser			I Zement 2 1/2 Rheinsand, ungewaschen 5 Kies 6 0/10 Wasser			I Zement 2 1/2 Rheinsand, entfemt 5 Kies 4,5 0/10 Wasser				
Probe der Alter	Federnde Verdrehungen (arc ϑ) in cm · 10 ⁻⁸ bei den über- geschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schub- spannungen τ in kg/qcm			Federnde Verdrehungen (arc ϑ) in cm · 10 ⁻⁸ bei den über- geschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schub- spannungen τ in kg/qcm			Federnde Verdrehungen (arc ϑ) in cm · 10 ⁻⁸ bei den über- geschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schubspannungen τ in kg/qcm				
	M_d =	M_d =	M_d =	M_d =	M_d =	M_d =	M_d =	M_d =	M_d =		
Nr.	6000	11 000	16 000	21 000	26 000	31 000	36 000	41 000	46 000	51 000	56 000
	τ = 3,3	6,1	8,9	11,7	14,5	17,3	20,1	22,8	25,6	28,4	31,2
3	192	381	580	783	999	1233	—	—	—	—	—
6	167	346	532	732	936	1156	1397	1680	—	—	—
9	168	340	522	705	882	1073	1281	1511	1786	—	—
12	170	349	538	723	922	1117	1338	1563	1815	—	—
15	170	343	524	709	897	1100	1311	1544	1839	—	—
Mittel	173	352	539	734	927	1136	1332	1575	—	—	—
2	165	340	509	692	882	1067	1268	1460	1677	1942	2196
5	154	336	496	678	856	1039	1225	1427	1641	1869	—
8	149	306	482	647	819	995	1182	1386	1596	1804	2074
11	158	347	524	723	919	1121	1329	1554	1799	2051	—
14	176	352	535	721	910	1111	1322	1541	1781	2054	—
Mittel	160	336	509	692	877	1057	1265	1474	1699	1944	—
1	155	301	457	619	768	930	1103	1293	1492	1722	2008
4	149	304	456	613	769	926	1089	1248	1421	1607	—
7	141	290	438	605	762	920	1100	1266	1443	1641	1847
10	138	282	422	570	723	865	1020	1187	1377	—	—
13	138	276	429	571	726	874	1036	1200	1372	1578	1792
Mittel	144	291	440	596	749	905	1070	1239	1421	1637	—

1) Anfangsmoment = 1000 cmkg = 0,56 kg/qcm. — 2) Die in () gesetzten Werte sind von der Mittelbildung ausgeschlossen. — 3) Mittel aus 2 und 8-14 (107 Tage).

Tabelle 60. (Fortsetzung.)

Reihe Nr.	Ia (90)										IIa (91)										IIIa (92)														
	I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 6,5% Wasser										I Zement 4 Isarsand, ungewaschen 8 Kies 5,5% Wasser										I Zement 4 Rheinsand, entfett 8 Kies 4% Wasser														
	Federnde Verdrehungen (arc ϑ) in $\text{cm} \cdot 10^{-8}$ bei den überschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schubspannungen τ in kg/qcm										Federnde Verdrehungen (arc ϑ) in $\text{cm} \cdot 10^{-8}$ bei den überschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schubspannungen τ in kg/qcm										Federnde Verdrehungen (arc ϑ) in $\text{cm} \cdot 10^{-8}$ bei den überschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schubspannungen τ in kg/qcm														
Probe Nr.	Alter der Probe in Tagen			$M_d =$			$M_d =$			$M_d =$			Alter der Probe in Tagen			$M_d =$			$M_d =$			Alter der Probe in Tagen			$M_d =$										
	6000	11000	16000	21000	25000	31000	36000	41000	46000	6000	11000	16000	21000	26000	31000	36000	41000	6000	11000	16000	21000	26000	31000	36000	6000	11000	16000	21000	26000	31000	36000				
	$\tau=3.3$	6.1	8.9	11.7	14.5	17.3	20.1	22.8	25.6	$\tau=3.3$	6.1	8.9	11.7	14.5	17.3	20.1	22.8	$\tau=3.3$	6.1	8.9	11.7	14.5	17.3	20.1	$\tau=3.3$	6.1	8.9	11.7	14.5	17.3	20.1				
3	212	429	661	898	1167	—	—	—	—	197	415	646	900	1248	—	—	—	—	—	269	569	925	1421	—	—	—	—	—	—	—	—				
6	189	379	589	790	1022	—	—	—	—	268	423	652	898	1176	1499	—	—	—	—	237	506	802	1161	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
9	189	390	597	823	1062	1351	—	—	—	199	438	670	922	1224	1633	—	—	—	—	242	513	810	1199	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
12	196	394	604	820	1073	1360	—	—	—	189	379	588	818	1065	1375	—	—	—	—	312	658	1090	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
15	194	395	610	834	1068	1360	—	—	—	220	455	734	1051	1473	—	—	—	—	—	272	582	1008	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
Mittel	195	397	612	833	1078	[1357]	—	—	—	203	422	658	918	1238	—	—	—	—	—	266	566	927	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
2	191	378	593	817	1077	1377	—	—	—	143	289	438	602	773	958	1163	1415	—	—	155	163	335	518	736	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
5	168	345	533	733	—	—	1346	—	—	171	345	518	736	958	1163	1415	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
8	198	395	608	824	1047	1295	1585	—	—	170	345	518	736	958	1163	1415	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
11	184	365	566	776	988	1234	1538	—	—	168	338	511	736	958	1163	1415	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
14	202	403	613	828	1068	1320	1675	—	—	113	195	406	630	897	1232	1720	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Mittel	189	377	583	796	[1045]	[1307]	[1581]	—	—	170	[142]	[288]	[443]	[606]	[785]	[981]	[1205] ²⁾	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	148	299	468	630	796	973	1164	1380	1618	154	307	475	641	832	1281	1611	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4	165	341	516	707	919	1136	1457	—	—	171	345	518	736	958	1163	1415	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	154	315	475	644	818	997	1194	—	—	170	345	518	736	958	1163	1415	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	189	380	569	771	969	1221	1546	—	—	181	360	559	764	999	1248	1624	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	(237)	(491)	(766)	(1019)	(1496) ³⁾	—	—	—	—	365	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittel	164	334	507	688	876	1084	1340	—	—	173	350	541	736	983	1269	1610	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

¹⁾ Anfangsmoment = 1000 cmkg = 0,56 kg/qcm . ²⁾ Die in () gesetzten Werte sind von der Mittelbildung ausgeschlossen. ³⁾ Mittel aus Probe 2 : 8 (455 und 170 Tage). ⁴⁾ Mittel aus Probe 11 : 14 (118 und 120 Tage).

Tabelle 61.
Mittlere Gleitzahlen.

Die Werte in liegender Schrift gehören Proben an, die aus der späteren Zementlieferung B gefertigt sind; sie sind mit den anderen nicht unmittelbar vergleichbar.

Reihe		Alter der Proben in Tagen	Mittlere Gleitzahl G in $\text{kg/qcm} \cdot 10^3$ bei den übergeschriebenen Drehmomenten ¹⁾ M_d in cmkg und Schubspannungen τ in kg/qcm						
Zeichen	Nr.		$M_d = 6000$	11000	16000	21000	26000	31000	36000
			$\tau = 3,3$	6,1	8,9	11,7	14,5	17,3	20,1
I	87	28	116	114	112	110	109	106	[106]
		90	126	120	119	116	115	113	111
		365	140	138	137	135	134	134	132
II	88	29	123	118	116	114	111	108	106
		90	116	115	112	109	107	105	102
		365	134	135	133	131	130	127	125
III	89	28	103	101	97	96	93	90	86
		92	[109]	[104]	[101]	[97]	[93]	[88]	[82]
		107	111	110	108	106	103	[99]	—
		365	125	122	123	120	117	115	111
Ia	90	28	103	101	99	97	93	[89]	—
		90	107	107	104	101	[96]	[92]	[89]
		365	123	121	119	117	115	111	105
IIa	91	28	99	95	92	88	81	—	—
		118	[107]	[103]	[99]	[93]	[86]	[76]	—
		170	142	140	136	133	128	123	117
		365	116	115	112	109	102	95	88
IIIa	92	28	76	71	65	—	—	—	—
		120	[91]	[78]	[74]	[70]	—	—	—
		155	[124]	[120]	[117]	[109]	—	—	—
		365	93	87	84	78	—	—	—

¹⁾ Anfangsmoment = 1000 cmkg = 0,56 kg/qcm.

VI. Scheerversuche.

Die Betonmischungen waren die gleichen, wie sie zu den Drehversuchen verwendet sind; die Proben waren aber wieder sämtlich aus dem Zement erster Lieferung gefertigt. Sie hatten prismatische Form bei etwa 20×20 cm Querschnitt und 75 cm Länge. Die Prüfung erfolgte nach Abb. 40 zweischnittig; der gegenseitige Abstand der beiden Scheerquerschnitte betrug 20 cm. Dem Durchscheiden in den letzteren ging, von wenigen Versuchen abgesehen, Durchbrechen der Proben in der Mitte voraus; beobachtet sind die Belastungen beim Durchbrechen und beim Abscheeren. In Tab. 62 sind die ersteren neben den aus letzteren berechneten Schubspannungen mit angegeben.

Die Einzelwerte aus den je 5 gleichartigen Versuchen weichen bei den meisten Reihen ganz erheblich von einander ab. Zum Teil wird dies auf die zufällige Lage mehr oder weniger großer Steine in den Scheerflächen zurückzuführen sein; daneben dürften aber auch die verschiedenen großen Biegungsspannungen, die bei dem vorliegenden Verfahren des Scheerversuches nicht zu vermeiden sind, großen Anteil an den Unregelmäßigkeiten der Versuchsergebnisse haben.

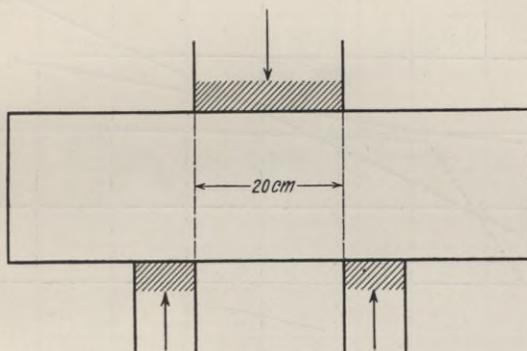


Abb. 40.

In Abb. 41 sind nun die Beziehungen zwischen Festigkeit und Alter für die 6 Versuchsreihen durch Schaulinien dargestellt. Die 3 unteren Linien I—III gelten für die fetten, die oberen Ia—IIIa für die mageren Mischungen. Untersucht man zunächst, wie die 3 Betonsorten gleichen Magerungsgrades (I—III oder Ia—IIIa) aber aus den 3 verschiedenen Sanden bei verschiedenem Alter nach wachsenden Scheerfestigkeiten sich einordnen, so ergeben sich nachstehende Reihenfolgen:

bei 28 Tagen	III	II	I	und	IIIa	IIa	Ia
„ 90 „	II	III	I	„	IIa	IIIa	Ia
„ 365 „	III	I	II	„	IIIa	Ia	IIa

Die Einordnungsfolgen wechseln demnach mit wachsendem Alter, sie sind aber bei demselben Alter für die fetten Mischungen (I—III) die gleichen wie für die mageren (Ia—IIIa). Ob diese Uebereinstimmung eine zufällige ist oder in der verschiedenartigen Zunahme der Scheerfestigkeit der verschiedenen Mischungen tatsächlich begründet ist, muß mit Rücksicht auf die bereits erwähnten großen Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Parallelversuche dahingestellt bleiben. Wohl aber möge darauf hingewiesen sein, daß die gleiche Einordnungsfolge, wie sie sich bei den Scheerversuchen für die 365 Tage alten Proben ergab, für die Zug- und Drehversuche bei allen 3 Altersstufen gefunden ist und auch bei den Druck- und Biegeversuchen vorherrschend war. Hiernach ergaben

wenigstens die 365 Tage alten Scheerproben in Uebereinstimmung mit den übrigen Belastungsweisen, daß von den beiden ungewaschenen Sanden der Rheinsand-Beton größere Scheerfestigkeit lieferte als der Isarsand, daß aber die Festigkeit des Betons durch das Entfeinen des Rheinsandes bis unter die Festigkeit des Betons aus dem ungewaschenen Isarsande zurückging.

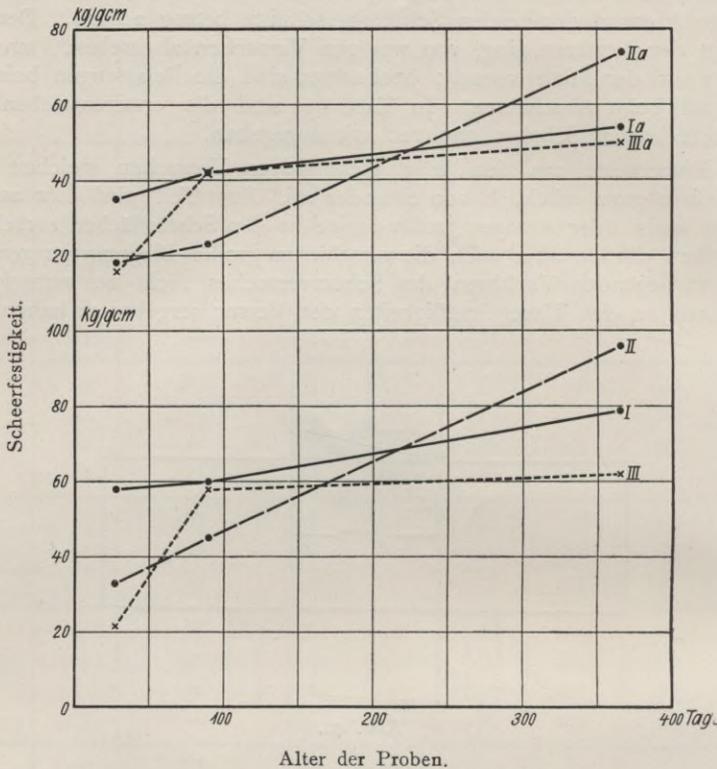


Abb. 41. Scheerfestigkeit der verschiedenen Mischungen bei zunehmendem Alter.

I = Isarsand, ungewaschen
 II = Rheinsand, ungewaschen
 III = „ entfeint

I Zement + 2,5 Sand + 5 Kies.
 Ia—IIIa wie bei I—III: 1 Zement + 4 Sand + 8 Kies.

Die mageren Mischungen lieferten durchweg geringere Scheerfestigkeit als die fetten. Berechnet man das Verhältnis zwischen beiden nach den Ergebnissen der 365 Tage alten Proben, indem man die Werte für die fetten Mischungen (I—III) = 100 setzt, so ergibt sich die Festigkeit der mageren Mischung

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{Ia ungewaschener Isarsand} = 68\% \\
 \text{IIa „ Rheinsand} = 77\% \\
 \text{IIIa entfeinter Rheinsand} = 81\%
 \end{array} \right\} \text{im Mittel} = 75\%$$

der Festigkeit der fetten Mischung.

Tabelle 62.
Ergebnisse der zwischmittigen Scheerversuche.

Reihe	I (93)		II (94)		III (95)		Ia (96)		IIa (97)		IIIa (98)	
	Belastung beim Bruch in der Mitte kg	Schubspannung τ kg/qcm	Belastung beim Bruch in der Mitte kg	Schubspannung τ kg/qcm	Belastung beim Bruch in der Mitte kg	Schubspannung τ kg/qcm	Belastung beim Bruch in der Mitte kg	Schubspannung τ kg/qcm	Belastung beim Bruch in der Mitte kg	Schubspannung τ kg/qcm	Belastung beim Bruch in der Mitte kg	Schubspannung τ kg/qcm
Sandart	Isarsand, ungewaschen		Rheinsand, ungewaschen		Rheinsand, entfeyt		Isarsand, ungewaschen		Rheinsand, ungewaschen		Rheinsand, entfeyt	
Mischungsverhältnis	I Zement + 2,5 Sand + 5 Kies		I Zement + 2,5 Sand + 5 Kies		I Zement + 4 Sand + 8 Kies		I Zement + 4 Sand + 8 Kies		I Zement + 4 Sand + 8 Kies		I Zement + 4 Sand + 8 Kies	
Alter in Tagen												
Probe												
Nr.												
3	25 000	55	—	—	14 500	27	1) 41	7 920	20	4 300	14	
6	15 000	52	10 350	32	7 310	17	1) 42	5 200	14	4 050	10	
9	30 000	58	8 170	32	5 570	21	10 500	4 490	16	5 420	17	
12	25 000	65	5 670	33	5 890	20	20 000	4 420	13	8 030	20	
15	28 000	59	7 300	[34]	8 740	25	20 000	5 750	28	5 430	17	
Mittel	24 600	58	11 600	[33]	8 400	22	[16 800]	5 560	18	5 450	16	
2	21 000	63	4 220	15	21 000	63	26 000	1) 43	28	10 000	30	
5	20 000	51	—	—	19 500	44	22 000	6 240	21	10 000	29	
8	30 000	66	6 320	39	18 000	70	27 000	4 910	22	1) 43	43	
11	—	—	12 800	46	10 000	55	18 000	6 980	23	32 800	48	
14	26 000	62	18 750	80	23 000	60	22 000	6 410	22	1) 62	62	
Mittel	24 600	60	13 500	45	18 300	58	23 000	6 140	23	(17 600)	42	
1	21 500	74	23 000	62	26 500	82	17 000	42 000	57	23 500	44	
4	21 400	81	26 000	105	25 000	54	17 000	27 000	79	20 000	39	
7	23 700	82	30 000	98	17 000	39	19 000	30 000	79	16 700	51	
10	27 300	72	24 000	115	37 000	86	16 500	12 000*	53	22 000	58	
13	20 700	84	26 000	99	34 000	50	18 000	23 000	100	25 000	58	
Mittel	22 900	79	25 800	96	27 900	62	17 500	26 800	74	21 400	50	

1) Nicht gebrochen.

VII. Vergleich der Druckfestigkeiten, ermittelt an Würfeln und an Prismen.

Die für diesen Vergleich vorliegenden Versuchsergebnisse sind aus Tab. 63 zu ersehen. Ganz besonders hervorzuheben ist aber hierzu, daß die Würfel 30 cm Kantenlänge besaßen, während die Querschnittskante der Prismen nur 20 cm betrug. Da nun die Würfelfestigkeit, wie auch die vorliegenden Versuche

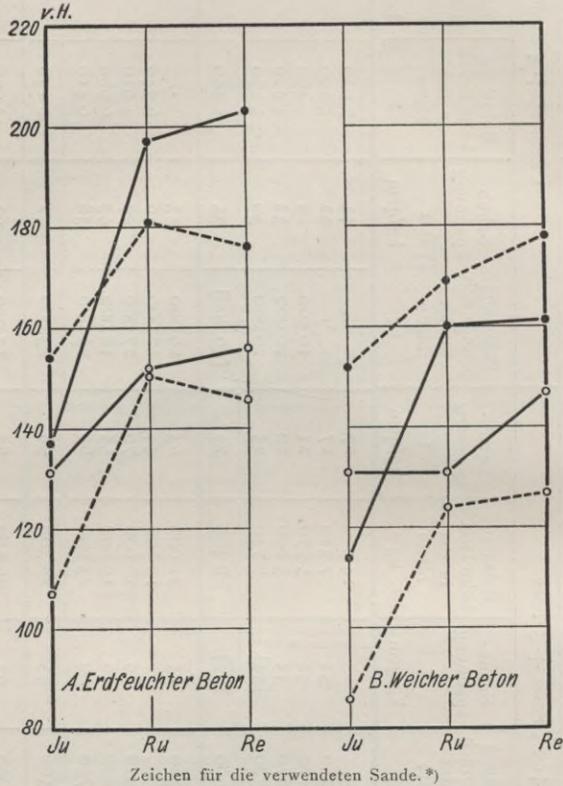


Abb. 42. Verhältnis der Druckfestigkeit der Prismen zu der Festigkeit der Würfel.

Kantenlänge der Würfel = 30 cm;
 Querschnittskante der Prismen = 20 cm; Länge = 100 cm.
 — Mischung 1:2,5:5; - - - - Mischung 1:4:8;
 • Kiesbeton; o Steinschlagbeton.

*) I = Isarsand; R = Rheinsand; u = ungewaschen; e = entfemt.

dartun, mit abnehmender Kantenlänge des Würfels zunimmt, so ist zu erwarten, daß die Verhältniszahlen (Tab. 63) durchweg größer ausgefallen wären, wenn der Vergleich mit Würfeln von 20 cm Kantenlänge hätte durchgeführt werden können.

Aus der zeichnerischen Darstellung der mittleren Verhältniszahlen für die verschiedenen Altersstufen aus derselben Betonmischung, Abb. 42, ergibt sich folgendes:

1. Die Druckfestigkeit der Prismen ist, wie zu erwarten war, kleiner als die der Würfel. (Die Verhältniszahlen sind größer als 100.) Die einzige vorkommende Ausnahme bildet der weiche

Steinschlagbeton aus ungewaschenem Isarsand (*Iu*) in der Mischung 1:4:8. Ob hier der oben erwähnte Einfluß des größeren Querschnittes der Würfel sich bemerkbar macht, muß dahingestellt bleiben.

2. Die Verhältniszahlen sind sowohl für die gleichen Mischungen aus verschiedenen Sanden als auch für denselben Sand in verschiedenen Mischungen außerordentlich weit voneinander abweichend, hieraus folgt, daß der Einfluß der Länge auf die Festigkeit der Druckproben bei den verschiedenen Betonarten verschieden groß ist. Um so bachtenswerter erscheint es, daß
3. die Prismenfestigkeit des Betons aus ungewaschenem Isarsand am meisten hinter der Würfelfestigkeit zurückblieb und zwar übereinstimmend bei allen Reihen, d. h. sowohl für den erdfeuchten als auch für den weichen Beton, ferner sowohl für den Kiesbeton als auch für den Steinschlagbeton und sowohl für die fette als auch für die magere Mischung.
4. Bei den beiden Rheinsanden, ungewaschen und entfeynt, ist das Verhältnis zwischen Prismen- und Würfelfestigkeit nahezu gleich groß. Das Entfeinen ist also auf dieses Verhältnis ohne wesentlichen Einfluß geblieben.

Tabelle 63. Vergleich der Druckfestigkeiten, ermittelt aus Würfeln und an Prismen.
 Abmessungen: Würfel: Kantenlänge = 30 cm Prisma: Querschnitt = 20 × 20 cm; Länge = 100 cm.

Mischung	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen				Zustand des Betons	Sand		Alter in Tagen	Mittlere Druckfestigkeit in kg/qcm			
	Zement	Sand	Kies oder Steinschlag	Wasser		Art	Zustand		Kiesbeton		Steinschlagbeton	
									Würfel k	Prisma k_1	Verhältnis k/k_1 100	Würfel s
I				7,0	Isar	ungewaschen	171	123	139	202	156	129
							148	130	255	191	133	
II	I	2,5	5 Kies	6,0	Rhein	ungewaschen	270	134	201	272	196	139
							158	199	320	195	164	
III				4,5		entfeint	266	136	196	208	128	163
							147	211	258	174	148	
Ia				6,5	Isar	ungewaschen	110	69	159	98	93	105
							134	88	120	110	109	
IIa	I	4	8 Kies	5,5		ungewaschen	183	122	150	167	112	149
							157	77	197	129	153	
IIIa				4,0	Rhein	entfeint	121	71	170	100	65	154
							126	70	109	79	138	
IV				8,5	Isar	ungewaschen	130	112	116	155	123	126
							146	147	191	140	136	
V	I	2,5	5 Stein-schlag	7,5	Rhein	ungewaschen	225	178	126	172	144	119
							191	125	229	160	143	
VI				6,0		entfeint	280	181	155	189	127	149
							239	144	225	156	144	
IVa				8,0	Isar	ungewaschen	68	43	158	60	65	92
							83	54	68	86	79	
Va	I	4	8 Stein-schlag	6,8	Rhein	ungewaschen	134	94	143	133	106	125
							128	71	162	133	122	
VIa				5,3		entfeint	173	111	156	94	73	129
							149	86	99	80	124	
							217	137	158			

VIII. Vergleich der verschiedenartigen Festigkeiten desselben Betons.

Um festzustellen, ob etwa zwischen den verschiedenartigen Festigkeiten (Druck, Biegung, Zug und Schub) bei verschiedenem Alter bestimmte Beziehungen bestehen, und ob diese Beziehungen bei allen untersuchten Mischungen die gleichen sind, sind die Mittelwerte für die genannten Festigkeitseigenschaften in Tab. 64 gegenübergestellt und das Verhältnis zwischen ihnen berechnet, indem immer für die Proben gleichen Alters und derselben Mischung die an den Prismen ermittelte Druckfestigkeit = 100 gesetzt ist.

Die Verhältniszahlen, die sich für dieselbe Mischung und die gleiche Eigenschaft bei den verschiedenen Altersstufen ergaben, stimmen teils miteinander überein, teils nehmen sie mit wachsendem Alter zu, teils ab. Hiernach machte sich ein gesetzmäßiger Einfluß des Alters auf das Verhältnis zwischen den verschiedenen Festigkeiten nicht bemerkbar. Daher erschien es zulässig, die Werte für die verschiedenen Altersstufen bei den einzelnen Mischungen zu Mittelwerten zusammenzufassen.

Für die Beziehungen zwischen Druck- und Biegefestigkeit ergaben sich die mittleren Verhältniszahlen

bei dem	Kiesbeton		Steinschlagbeton	
	1:2,5:5	1:4:8	1:2,5:5	1:4:8
in der Mischung				
für den rohen Isarsand zu:	19	19	19,5	20,5
„ „ „ Rheinsand zu:	18	17	17	19,0
„ „ entfeynten Rheinsand zu:	14	23	16,5	21,5

Sie sind für den rohen Isarsand bei allen vier Mischungen nahezu gleich groß, im Mittel = 19,5. Für den rohen Rheinsand sind sie unter sich ebenfalls nahezu übereinstimmend aber mit im Mittel 17,7 etwas kleiner als für den rohen Isarsand. Für den entfeynten Rheinsand schwanken sie untereinander mehr als bei den anderen Sanden und zwar scheinen sie sowohl bei dem Kiesbeton als auch bei dem Steinschlagbeton für die magere Mischung etwas größer als für die fetten. Im Mittel ergibt sich hier für den Kiesbeton 18,5 und für den Steinschlagbeton 19,0. Mit Rücksicht auf die Unterschiede in den Ergebnissen der ausgeführten Parallelversuche kann man die im vorstehenden ermittelten 4 Werte 19,5, 17,7, 18,5 und 19,0 als befriedigend übereinstimmend ansehen und sie zu einem Gesamtmittel zusammenfassen. Dann ergibt sich, daß für die untersuchten Mischungen die Biegefestigkeit im Mittel 18,7% der Druckfestigkeit beträgt.

Das von den Verhältniszahlen für die Biegefestigkeit Gesagte gilt auch für die Verhältniszahlen für die Zug- und Schubfestigkeit. Faßt man die letzteren in gleicher Weise zu Gesamtmittelwerten zusammen, so ergibt sich, daß die Zugfestigkeit im Mittel 9,2% und die Schubfestigkeit im Mittel 18,3% der Druckfestigkeit beträgt. Das Verhältnis von Druck: Schub ist also annähernd das gleiche wie das von Druck: Biegung.

Eine Verallgemeinerung dieser Werte ist zunächst noch nicht tunlich. Hierzu bleibt vor allem noch festzustellen, ob und inwieweit die ermittelten Verhältniszahlen durch die Unterschiede in den Eigenschaften verschiedener Zemente beeinflusst werden.

Tabelle 64.
Vergleich der Bruchfestigkeiten bei den verschiedenartigen Beanspruchungen.

Mischung Zeichen	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen			Sand		Alter in Tagen	Bruchfestigkeit in kg/qcm bei der Beanspruchung auf				Verhältniszahlen, Druckfestigkeit = 100 gesetzt bei verschiedenem Alter						Verhältnis von Biegeungs- (= 100) zu Zugfestigkeit																					
	Zement	Sand	Kies	Stein- schlag	Wasser		Art	Zustand	Druck		Biegung an Proben mit dem Querschnitt		Zug	Drehen*)	im Mittel			Schub (Drehen)	Einzeln	Mittel																		
						20x20			30x16	60x11	Mittel	Biegung			Zug	Biegung	Zug				Schub (Drehen)																	
															Biegung	Zug	Biegung	Zug	Schub (Drehen)																			
I	I	2,5	5,0	—	—	—	unge- waschen	28	122,5	23,1	22,6	23,9	23,2	11,1	27,7	19	9,1	19	9,0	19	19	9,1	23	48	48													
								90	148,0	27,5	28,1	28,8	28,1	13,2	32,4	19	8,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47	48							
								365	172,5	32,6	—	—	—	15,5	32,4	19	9,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48	48					
VII	I	2,5	5,0	—	—	—	ge- waschen	28	—	22,9	—	—	—	10,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47	47												
								90	—	27,3	—	—	—	13,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48	47						
								365	—	35,1	—	—	—	16,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47	47				
VIII	I	2,5	5,0	—	—	—	entfeint	28	—	23,2	—	—	—	11,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	51												
								90	—	28,0	—	—	—	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	52	51					
								365	—	33,3	—	—	—	16,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	50			
II	I	2,5	5,0	—	—	—	unge- waschen	28	134,0	24,9	26,3	28,4	26,5	12,8	34,0	20	9,5	18	9,0	18	18	9,5	25	48	48													
								90	158,0	27,5	28,4	23,7	26,5	13,9	35,7	17	8,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	52	51			
								365	187,0	30,7	—	—	—	16,4	33,6	16	8,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53	53		
III	I	2,5	5,0	—	—	—	ent- feint	28	136,0	18,7	20,7	19,8	19,7	9,4	26,9	14	6,9	14	6,8	16	16	6,9	20	48	48													
								90	146,5	22,2	21,7	22,2	22,1	10,7	22,5	15	7,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48	47			
								365	181,5	24,9	—	—	—	11,4	30,8	14	6,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	46	46		
Ia	I	2,5	5,0	—	—	—	unge- waschen	28	69,1	13,4	—	—	—	13,4	7,5	19	10,9	19	10,2	18	18	10,9	26	56	56													
								90	87,5	16,7	16,7	15,3	16,2	9,2	22,7	19	10,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57	53		
								365	121,5	23,4	—	—	—	11,0	22,4	19	9,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47	47	
VIIa	I	2,5	5,0	—	—	—	ge- waschen	28	—	14,6	—	—	—	8,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59	56												
								90	—	18,9	—	—	—	10,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53	56	
								365	—	21,9	—	—	—	12,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	55	55
VIIIa	I	2,5	5,0	—	—	—	ent- feint	28	—	19,9	—	—	—	9,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48	49												
								90	—	23,8	—	—	—	11,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	49
								365	—	29,4	—	—	—	14,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	50
IIa	I	2,5	5,0	—	—	—	unge- waschen	28	76,5	16,2	15,8	15,1	15,7	8,8	19,6	21	11,5	17	9,5	17	17	11,5	26	56	56													
								90	104,7	18,1	16,9	18,3	17,8	9,5	17,3	17	9,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53	56
								365	142,5	19,8	—	—	—	11,4	24,6	14	8,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58
IIIa	I	2,5	5,0	—	—	—	ent- feint	28	70,5	13,4	14,5	12,7	13,5	6,7	13,0	19	9,5	23	10,5	23	9,5	18	50	50														
								90	70,0	16,5	17,6	14,7	16,3	7,2	14,1	23	10,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44	46
								365	72,5	19,0	—	—	—	8,4	17,7	26	11,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44

*) Die in kleinerer Schrift gesetzten Einzelwerte sind von der Mittelbildung ausgeschlossen, da sie Proben angehören, die aus anderem Zement gefertigt sind als alle anderen Proben.

Tabelle 64. (Fortsetzung.)
Vergleich der Bruchfestigkeiten bei den verschiedenartigen Beanspruchungen.

Mischung Zeichen	Zusammensetzung des Betons in Gewichtsteilen				Sand Zustand	Alter in Tagen	Bruchfestigkeit in kg/qcm bei der Beanspruchung auf				Verhältniszahlen, Druckfestigkeit = 100 gesetzt bei verschiedenem Alter						Verhältnis von Biegungs- (= 100) zu Zugfestigkeit Einzeln Mittel				
	Zement	Sand	Kies	Stein- schlag			Wasser	Biegung an Proben mit dem Querschnitt		Zug	Drehen	im Mittel			Biegung	Zug		Schub (Drehen)			
								20×20	30×16			60×11	Mittel	Biegung					Zug	Schub (Drehen)	
																					20×20
I	I	2,5	—	5	7,7	Isar unge- waschen	28	156,0	30,0	—	—	19	—	—	—	—	—	—			
								90	38,3										20	—	[19,5]
								365	42,6												
II	I	2,5	—	5	6,2	Rhein unge- waschen	28	196,3	30,2	—	—	15	—	—	—	—	—	—			
								90	37,1										19	—	[17,0]
								365	42,2												
III	I	—	—	—	5,2	ent- feint	28	128,3	23,2	—	—	18	—	—	—	—	—	—			
								90	26,9										15	—	[16,5]
								365	32,6												
Ia	I	—	—	—	7,5	Isar unge- waschen	28	92,7	18,3	—	—	20	—	—	—	—	—	—			
								90	23,2										21	—	[20,5]
								365	33,3												
IIa	I	4	—	8	5,5	Rhein unge- waschen	28	112,0	20,3	—	—	18	—	—	—	—	—	—			
								90	25,8										20	—	[19,0]
								365	33,8												
IIIa	I	—	—	—	5,0	ent- feint	28	65,0	14,1	—	—	22	—	—	—	—	—	—			
								90	16,8										21	—	[21,5]
								365	20,5												

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307234

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313215

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE

BIBLIOTEKA

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307180

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307235

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313216

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300746

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307236

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313217

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307237

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313218

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307238

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313219

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307239

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



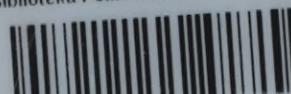
10000313220

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307240

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313221

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307241

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000313222