

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

~~25057~~

HEFT C.

FÜR EISENBETON.

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

EIGENSCHAFTEN VON STAMPFBETON.

Von

M. GARY,

und

M. RUDELOFF,

Geh. Regierungsrat, Professor
Abteilungsvorsteher im Kgl. Material-
prüfungsamt Berlin-Lichterfelde.

Geh. Regierungsrat, Professor
Direktor des Kgl. Materialprüfungsamtes
Berlin-Lichterfelde.

Teil I.

Teil II.

MIT 8 ABBILDUNGEN UND 8 TABELLEN.

BERLIN 1917

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.



19a
5a

Alle Rechte vorbehalten.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000297145

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON.

EIGENSCHAFTEN VON STAMPFBETON.

Von

M. GARY,

Geh. Regierungsrat, Professor
Lehrstuhlvorsteher im Kgl. Material-
prüfungsamt Berlin-Lichterfelde.

Teil I.

und

M. RUDELOFF,

Geh. Regierungsrat, Professor
Direktor des Kgl. Materialprüfungsamtes
Berlin-Lichterfelde.

Teil II.

MIT 8 ABBILDUNGEN UND 8 TABELLEN.



BERLIN 1917

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.



1101
1199.75 a



1-301586

~~I 25057~~

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

Akc. Nr.

~~30151~~

TRU-B-105/1997

Vorwort.

Der Wunsch, sichere Unterlagen für die zulässige Beanspruchung des Betons im Bauwerke zu schaffen und die Beziehungen der Betonfestigkeiten untereinander einwandfrei und planmäßig festzustellen, veranlaßten schon im Jahre 1904 den Deutschen Beton-Verein, dem Herrn Minister der öffentlichen Arbeiten in Preußen einen umfangreichen Arbeitsplan vorzulegen, der in einem besonderen Ausschusse, dem späteren Deutschen Ausschuß für Eisenbeton, beraten wurde und im Mai 1906 die Gestalt annahm, die den hier zu besprechenden Versuchen zugrunde gelegt wurde. Dieser Arbeitsplan umfaßte 2812 große Versuchskörper, von denen 852 unter Anwendung von Feinmeßvorrichtungen bei verschiedenem Alter auf elastische Formänderungen geprüft werden mußten. Die Kosten dieser Versuche waren auf 54 000 M. angesetzt worden.

Bei diesem außerordentlichen Umfang des Arbeitsplanes füllt der ausführliche Bericht über die Versuche 167 Seiten des Heftes 17 des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton und es ist ganz unmöglich, in der Form einer kurzen Übersicht den ganzen Stoff erschöpfend zu behandeln. Nur kurze Hinweise auf die wichtigsten Beobachtungen und die zutage getretenen Gesetze können gegeben werden. Wegen aller Einzelheiten ist auf Heft 17 zu verweisen.

Die Versuche sind im Kgl. Materialprüfungsamt in Berlin-Lichterfelde zum Teil in der Abteilung für Baumaterialprüfung, zum Teil in der Abteilung für Metallprüfung ausgeführt worden. Teil I umfaßt die Beschaffung und Verarbeitung sowie Prüfung der Grundstoffe, die Herstellung der Probekörper und die Prüfung auf Druckfestigkeit ohne Feinmessungen, Teil II Druck-, Biege-, Zugversuche sowie Dreh- und Scherversuche, sämtlich unter Messung der elastischen Formänderungen. Alle Versuche sind mit denselben Baustoffen durchaus einheitlich ausgeführt worden.

Gary.

Inhalts-Verzeichnis.

Teil I.

Versuche zur Bestimmung der Druckfestigkeit.

	Seite
I. Umfang der Versuche	7
II. Probenherstellung	9
III. Auswertung der Ergebnisse der Druckversuche	10
IV. Versuchsergebnisse	15
Einfluß des Alters	15
Einfluß der Zuschlagstoffe, des Magerungsgrades und Wasserzusatzes	16
Vergleich des Betons mit Mörtel	18
Beziehungen der 1 Jahr alten Betonmischungen untereinander	24
Einfluß verschiedener Sande auf Mörtel und Beton	27

Teil II.

Versuche unter Bestimmung der elastischen Eigenschaften.

I. Druckversuche	31
II. Biegeversuche	34
III. Zugversuche	37
IV. Versuche mit Zug- und Druck-Wechsel	39
V. Drehversuche	40
VI. Scherversuche	40
VII. Zusammenfassung der Ergebnisse	41
A. Die Formänderungen	41
B. Die Festigkeiten	42
C. Vergleich der verschiedenartigen Festigkeiten desselben Betons	43

Teil I.

I. Umfang der Versuche.

Die Versuche erstreckten sich im wesentlichen auf zwei Betonmischungen, nämlich:

1 R.-T. Zement + $2\frac{1}{2}$ R.-T. Sand + 5 R.-T. Zuschlag,
 1 R.-T. „ + 4 „ „ + 8 R.-T. „ .

Als Bindemittel wurden zwei Portlandzemente A und B verwendet, die beide nahezu gleiche Abbindezeit (A 6, B $7\frac{1}{4}$ Stunden Erhärtungsanfang), gleiches Gewicht und gleiche Mahlfeinheit hatten (A $21,6\%$, B $24,0\%$ Rückstand auf dem 5000 Maschensieb), von denen A aber wesentlich höhere Festigkeiten aufwies als B.

Nach den Normen geprüft, betrug im Mittel bei Erhärtung unter Wasser die:

	Zugfestigkeit		Druckfestigkeit		
	7 Tage alt	28 Tage alt	7 Tage alt	28 Tage alt	
für A	23,5	28,2	230	314	} kg/qcm.
„ B	13,0	16,6	88	134	

Die Sande wurden durch das 7 mm Maschensieb gegeben und teilweise im Urzustande, teilweise nachdem man sie gewaschen oder ihnen das Feinste auf dem Siebe von 120 Maschen auf 1 qcm entzogen hatte, verwendet.

Zur Verwendung gelangten:

Isarsand,

Rheinsand,

Quetschsand aus Odenwald-Basalt,

gekörnte Hochofenschlacke *x* (Schlackensand),

„ „ *y* („ „),

Die gröberen Zuschlagstoffe bestanden aus Kies und Steinschlag und waren gesichtet nach Korngrößen zwischen 7 und 25 mm und 25 und 40 mm.

Zur Verwendung gelangen:

Isarkies,
Rheinkies,
Schlesischer Granit.

In einigen Reihen wurden Isarkies und Rheinkies gemischt mit Steinschlag im Verhältnis:

1,5 Kies : 3,5 Steinschlag,
2,4 „ : 5,6 „

verwendet.

Über die Eigenschaften der verwendeten Materialien enthält der ausführliche Bericht¹⁾ alle erforderlichen Angaben. Einige Erläuterungen müssen aber hier über die verwendeten Wasserzusätze gegeben werden. Die Mischungen gelangten teils „erdfeucht“, teils „weich“ zur Verarbeitung. Diese Begriffe sind durchaus keine feststehenden, und es wurden deshalb durch einen besonderen Ausschuß von Fachleuten die für jede Mischung zu wählenden Wasserzusätze auf Grund von Vorversuchen festgelegt, bei denen die Meinungen, namentlich der Betonbauer aus Norddeutschland und Süddeutschland, beträchtlich auseinander gingen. In Süddeutschland arbeitet man namentlich mit Rücksicht auf das dort vorwiegende kalksteinhaltige Zuschlagmaterial im allgemeinen mit mehr Wasser und stampft weniger als in Norddeutschland, wo meist viel trockener gemischt und stärker gestampft wird. Da aber der Menge des Wassers bei der Beurteilung der Betonfestigkeit eine entscheidende Rolle zufällt, ist es notwendig, bei Beurteilung von Festigkeitszahlen von Beton sich stets die verwendete Wassermenge gegenwärtig zu halten. Seit Jahren ist bekannt, daß innerhalb gewisser Grenzen, d. h. unterhalb des flüssigen Zustandes des Betons, der Beton mit dem geringeren Wasserzusatz die höhere Festigkeit erreicht.

Als „erdfeucht“ gilt gemeinhin eine Mischung, die, in der Hand geballt, eben noch etwas Feuchtigkeit an die Handfläche abgibt, als „weich“ ein Beton, der zwar von der Kelle

¹⁾ Heft 17 der Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton. Versuche mit Stampfbeton, ausgeführt im Königlichen Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde 1905 bis 1910. Bericht von Rudeloff und Gary. Berlin 1912. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

noch abfließt, sich aber mit der Mauerkelle noch aufnehmen läßt. (Kann er nicht mehr mit der Kelle geschöpft werden, so gilt er als „flüssig“.) Selbstverständlich gibt es zwischen diesen drei Zuständen noch zahlreiche Zwischenstufen. Näheres Eingehen hierauf erübrigt sich.

II. Probenherstellung.

In den angegebenen Mischungen wurden sowohl die Mörtel als auch der Beton geprüft, für erstere wurde aber nur der Zement A verwendet. Als Probekörper kamen Würfel von 10 und 30 cm Seitenlänge für die Versuche in Teil I zur Anwendung. Über die Körper, die zu den in Teil II dieses Berichtes zusammengefaßten Versuchen gehören, sind die erforderlichen Angaben weiter unten mitgeteilt. Alle Körper wurden einheitlich gefertigt.

Zement und Sand wurden auf der Betonmischmaschine (Bauart Hüser) $\frac{1}{2}$ Minute trocken und dann unter Anwendung des vorher festgelegten Wasserzusatzes $2\frac{1}{2}$ Minuten naß gemischt. Die 10 cm-Formen wurden mit einem Male gefüllt und der Mörtel mit dem Spatel an der Formenwand heruntergestoßen. Dann wurde der Mörtel mit 12 Schlägen auf den Setzer mit einem Hammer von 2,6 kg Gewicht eingerammt. Die Mörtelwürfel in den 30 cm-Formen wurden wie die Betonwürfel gefertigt.

Für die Betonkörper aller Art galten die „Bestimmungen zur Herstellung und Prüfung von Stampfbeton“. Die Mischung in der Maschine erfolgte, wie oben angegeben; die Betonmasse wurde in 2 Schichten von je 15 cm Höhe unter Anwendung von 108 Schlägen des Normalstampfers in die eisernen Formen eingerammt.

Alle Probekörper erhärteten zwei Tage an der Luft, die übrige Zeit unter feuchtem Sande und wurden nach 28 Tagen, 3 Monaten, 1, 2 und 5 Jahren geprüft.

Von sämtlichen Probekörpern ist das Gewicht nach der Herstellung und vor der Prüfung festgestellt worden.

III. Auswertung der Ergebnisse der Druckversuche.

Um die Versuchsergebnisse der sehr umfangreichen Versuchsreihen für die Druckversuche richtig bewerten zu können, muß man sich zunächst über die Beschaffenheit der Mischung, die Art der Zusammensetzung jeder einzelnen Mischung tunlichst Klarheit verschaffen.

Vielfach ist es üblich — und auch bei den vorliegenden Versuchen ist so verfahren — die Mischungsverhältnisse nicht bezogen auf Hundertteile, sondern einfach durch Zahlen anzugeben. Vergleicht man die zu diesen Versuchen verwendeten Mischungen

$$\begin{aligned} 1 &: 2\frac{1}{2} : 5, \\ 1 &: 4 : 8, \end{aligned}$$

so gewinnt man den Eindruck, als wenn die zweite Mischung erheblich magerer wäre, als die erste, weil sie scheinbar fast die doppelte Menge an Sand und Kies enthält.

Rechnet man aber die angegebenen Mischungen nach Hundertteilen des Raumes um, so ergeben sich folgende Zahlen:

$$\begin{aligned} 11,8 \text{ Zement} : 29,4 \text{ Sand} : 58,8 \text{ Kies} & (17,6 + 41,2 \text{ Kies und Steinschlag}), \\ 7,7 \text{ " } : 30,8 \text{ " } : 61,5 \text{ " } & (18,4 + 43,1 \text{ " " " "}). \end{aligned}$$

Aus Abb. 1, in der diese Verhältniszahlen nebeneinander aufgetragen sind, wird noch deutlicher, daß das Steinskelett der mageren Mischung 1 : 4 : 8 gegenüber der anderen 1 : 2 $\frac{1}{2}$: 5 nur geringe Abweichungen aufweist.

Die Zementmenge ist in der ersteren Mischung geringer; ihren Raum nimmt wesentlich Sand ein. Die größere Magerung liegt also hauptsächlich in der größeren Mörtelmenge, während die Menge des groben Zuschlagmaterials verhältnismäßig nur geringe Änderung erfahren hat. Das muß man sich gegenwärtig halten, wenn man die Versuchsergebnisse beurteilt, denn diesem Umstande ist es z. B. zuzuschreiben, daß die die Festigkeit herabmindernde Wirkung des schlechteren Zementes B größer ist als die der geringeren Mischung. Z. B. wird die 2 Jahresfestigkeit der Mischung 1 : 2 $\frac{1}{2}$: 5 (Zement A) aus Isarmaterial erdfeucht eingestampft durch Verwendung des schlechteren Zementes B um 26 % herabgesetzt, während

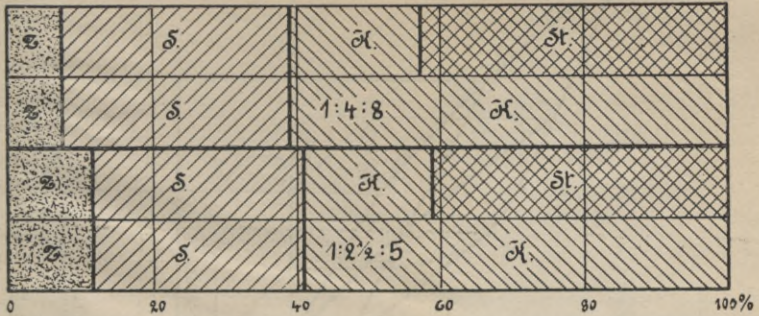


Abb. 1. Zement-Sand-Kies-(und Kies-Steinschlag-)Mischung mager und fett in Raumteilen bezogen auf hundert aufgetragen.

durch Veränderung der Mischung auf $1:4:8$ die Festigkeitsverminderung nur 19% beträgt.

In dem ausführlichen Bericht ist versucht worden, die Gesetze, die sich aus dem Vergleich der einzelnen Reihen untereinander ergeben, zeichnerisch zur Darstellung zu bringen. Die Einzelwerte aller Versuche sind außerdem mitgeteilt. Auf die Wiedergabe dieses umfangreichen Materials muß in diesem kurzen Bericht verzichtet werden. Tab. 1, S. 14, enthält nur die Mittelwerte aller Haupt-Versuche und Abb. 2 bis 5 ein Beispiel für die gewählte Darstellung. Die Linien stellen die Festigkeitsänderung der erdfeucht eingestampften Isarkiesmischungen $1:2\frac{1}{2}:5$ und $1:4:8$ bis zu 2 Jahren Alter dar und lassen gleichzeitig den Einfluß des Waschens und der Entfernung des feinsten Staubes aus dem Gemisch erkennen. Der Vergleich der Abb. 2 und 4 mit Abb. 3 und 5 ergibt den Einfluß der Zemente verschiedener Güte A und B.

Ähnlich sind in dem Hauptbericht auch für die anderen Mischungen die Ergebnisse teilweise in zweifarbigem Druck zur Anschauung gebracht.

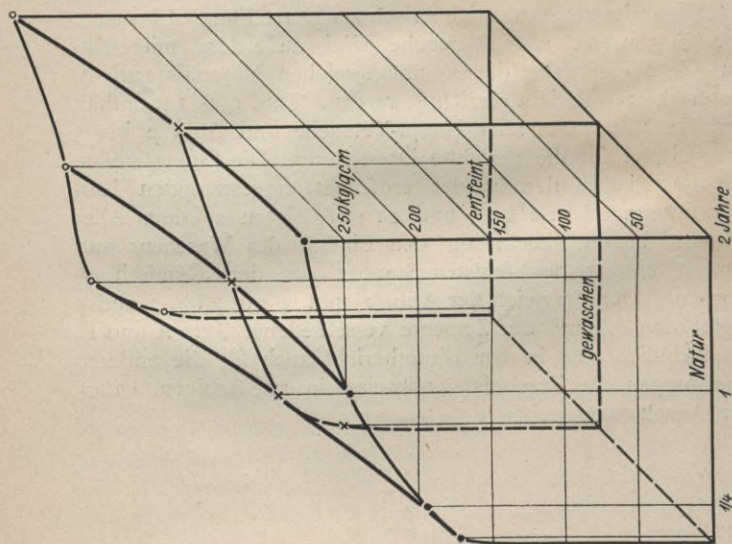


Abb. 2. Druckfestigkeit von Beton 1 : 2 $\frac{1}{2}$: 5 Zement A und Isarsand (bezw. Kies) erdfeucht eingestampft.

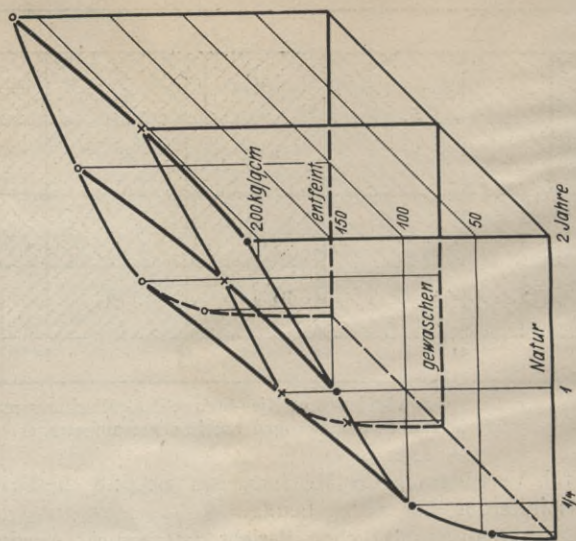


Abb. 3. Druckfestigkeit von Beton 1 : 2 $\frac{1}{2}$: 5 Zement B und Isarsand (bezw. Kies) erdfeucht eingestampft.

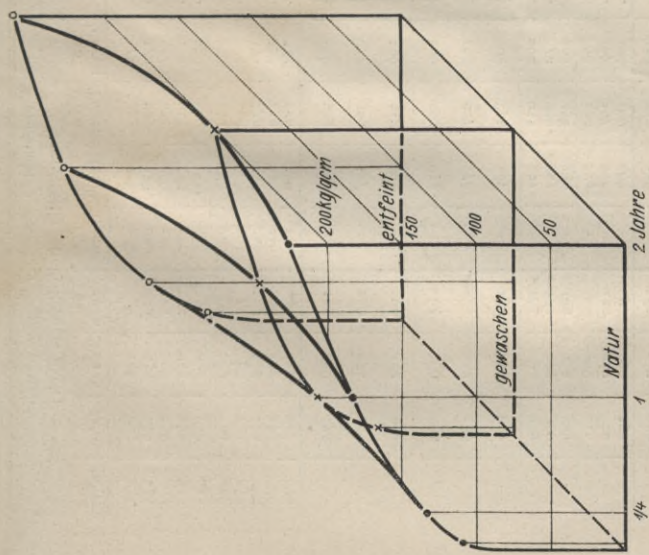


Abb. 4. Druckfestigkeit von Beton 1 : 4 : 8 Zement A und Isarsand (bezw. Kies) erdfeucht eingestampft.

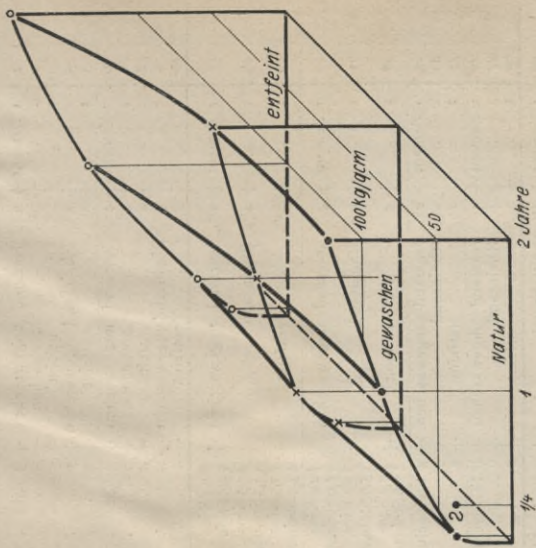


Abb. 5. Druckfestigkeit von Beton 1 : 4 : 8 Zement B und Isarsand (bezw. Kies) erdfeucht eingestampft.

Tab. 1. Druckfestigkeit von 28 Betonmischungen. Mittelwerte aus je 5 Einzelversuchen.

Reihe	Nr.	Mischung	erdfeucht				weich			
			Druckfestigkeit in kg/cm ² nach:							
			28 Tagen	90 Tagen	1 Jahr	2 Jahren	28 Tagen	90 Tagen	1 Jahr	2 Jahren
A	1	Zement + 2 1/2 Isarsand ungewaschen	171	193	248	278	130	146	225	235
	2	" + 2 1/2 " gewaschen	179	223	258	289	113	152	172	204
	3	" + 2 1/2 " " entfeint	224	274	290	326	165	206	230	334
	4	" + 2 1/2 Rheinsand ungewaschen	270	315	359	387	191	253	280	325
	5	" + 2 1/2 " entfeint	266	310	(281)	326	239	300	320	353
	6	Zement + 4 Isarsand ungewaschen	110	134	183	226	68	83	134	156
	7	" + 4 " gewaschen	92	132	172	201	72	98	127	162
	8	" + 4 " entfeint	130	170	226	259	103	135	163	188
	9	" + 4 Rheinsand ungewaschen	157	179	240	246	128	137	173	196
	10	" + 4 " entfeint	121	126	130	167	149	177	217	226
C	17	Zement + 2 1/2 Isarsand ungewaschen	156	203	305	—	125	176	275	—
	18	" + 2 1/2 Rheinsand "	277	329	407	—	219	271	356	—
	19	" + 2 1/2 " entfeint	196	242	296	—	196	242	319	—
	20	Zement + 4 Isarsand ungewaschen	126	155	238	—	84	99	163	—
	21	" + 4 Rheinsand "	163	207	276	—	105	148	188	—
	22	" + 4 " entfeint	108	135	167	—	122	156	202	—
	23	Zement + 2 1/2 Isarsand ungewaschen	202	255	327	—	155	191	249	—
	24	" + 2 1/2 Rheinsand "	272	320	397	—	172	229	300	—
	25	" + 2 1/2 " entfeint	208	258	330	—	189	225	322	—
	26	Zement + 4 Isarsand ungewaschen	98	120	174	—	60	68	110	—
27	" + 4 Rheinsand ungewaschen	167	197	268	—	133	162	220	—	
28	" + 4 " entfeint	100	109	168	—	94	99	191	—	
E	35	Zement + 2 1/2 Quetschsand	229	281	358	—	160	207	310	—
	36	" + 4 " "	120	154	245	—	110	141	211	—
	37	Zement + 2 1/2 Hochofenschlacke	163	226	285	—	125	139	220	—
	38	" + 4 " "	97	140	206	—	1)	1)	1)	—
	39	" + 2 1/2 " "	106	261	368	—	113	177	258	—
	40	" + 4 " "	111	107	256	—	96	151	230	—

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

IV. Versuchsergebnisse.

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

Es seien daher zunächst die Ergebnisse der Versuche, welche ohne Feinmessung der Formänderungen, lediglich auf Druckfestigkeit ausgeführt wurden, kurz besprochen, wobei folgende Einflüsse zu beachten sind.

1. Einfluß des Alters;
2. Einfluß der Art des Zuschlagstoffes;
 - a) Isarkies
 - b) Rheinkies
 - c) Kies mit Steinschlag;
 - d) Steinschlag allein.

Unter Verwendung dieser Stoffe:

3. Einfluß des Magerungsgrades des Betons;
4. Einfluß des Wasserzusatzes;
5. Vergleich der beiden verwendeten Zemente;
6. Vergleich des Betons mit dem zugehörigen Mörtel.

Der Einfluß des Alters.

Die Art der Entwicklung der Betonfestigkeit mit wachsendem Alter ist bekannt genug; es erübrigt sich, auf diesen Punkt in diesem kurzen Bericht erläuternd einzugehen, um so mehr, als Tab. 1 die etwa gewünschten Aufschlüsse liefert und auch Abb. 2 bis 5 die Fortentwicklung der Druckfestigkeiten des mit Isarsand und Isarkies eingestampften Betons bei verschiedener Beschaffenheit des Kieses verdeutlichen. (Es sei hier darauf hingewiesen, daß sich mit wachsendem Alter auch das elastische Verhalten der Betonmischungen ändert. Vgl. S. 32.)

Einfluß der Zuschlagstoffe, des Magerungsgrades und Wasserzusatzes.

Kiese im Naturzustand, nach Waschung und
Entfeinung.

Aus dem Vergleich der Druckfestigkeiten, wie sie mit Natursanden und -kiesen und mit den gleichen Stoffen, gewaschen und entfeint, gefunden wurden, lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

a) Isarkies in fetter und magerer Mischung.

Abb. 2 zeigt für den erdfeuchten Beton, 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 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 dieser Einfluß nicht so deutlich zutage. 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 gewaschenen und dem entfeinten geringer.

Es ergibt sich also:

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

Das scheint bisherigen Erfahrungen zu widersprechen. Man unterläßt in der Praxis häufig das Waschen des Kiesel in der Annahme, daß der feine Staub darin die Poren des Betons füllen hilft, also zu seiner Verdichtung und damit zur Erhöhung der Festigkeit beiträgt.

Nun ist zu berücksichtigen, daß der aus der Grube (nicht aus dem Fluß) gewonnene Isarsand sehr viel feinsten Kalkstaub enthält, der beim Anrühren des Betons mit Wasser die Kiesel als Schlamm überzieht und das Anbinden des Zementes hindert. Wenn das nicht der Fall wäre, wenn der Staub nicht als Schlamm 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 fortfallen.

Die Betrachtung der Versuchsergebnisse mit der mageren Mischung 1 : 4 : 8, Abb. 4 und 5, führt aber zu demselben Ergebnis: die Körper aus staubfreiem Sand ergeben die besten Druckfestigkeiten.

Schluß: Im Isarsande ist das feinste Material der Entwicklung der Druckfestigkeit des Betons in den geprüften Mischungen schädlich.

b) Rheinkies in fetter und magerer Mischung.

Der Rheinkies liefert in der gleichen Mischung 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.

Die in Tab. 1 zusammengefaßten Mittelwerte beweisen:

Die Entfeinung des Rheinsandes in den erdfeucht gestampften Mischungen 1 : 2¹/₂ : 5 und 1 : 4 : 8 wirkt 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. (Vgl. auch die an Prismen ermittelten Druckfestigkeiten, Seite 33.)

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, das Wasser (oder der Staub) auflockernd wirken müssen, wenn sie keinen Platz in den Poren zwischen den Sandkörnern finden. Gibt man dem Wasser Zutritt zu diesen Poren, indem man die feinsten Staubteile entfernt, so können sich die übrigen Teile des Zement-Sand-Kiesgemisches dichter als vorher lagern und die Festigkeit wird höher.

Hingewiesen wurde schon unter Bezugnahme auf die Isarkiesmischung, wie außerordentlich groß der Einfluß guten

Zementes auf die Druckfestigkeit des Betons ist. Diese Wirkung tritt noch mehr zutage, wenn der Beton weich eingestampft wird. Mit der mageren Mischung 1 : 4 : 8 aus Zement A erzielt man fast dieselben Festigkeiten, wie mit der fetten 1 : 2 $\frac{1}{2}$: 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.

Vergleich des Betons mit Mörtel.

Wenn man nur die Mörtel gleicher Zusammensetzung, wie sie im Beton Anwendung fanden, betrachtet, also Gemische, denen die größten Teile fehlen, so zeigt sich für Isarsand¹⁾:

Die fetten Mörtel 1 : 2 $\frac{1}{2}$ mit Isarsand verhalten sich, soweit die Proben aus kleinen Würfeln (10 cm Seitenlänge) bestehen, gerade entgegengesetzt, wie die gleichartigen Betonmischungen. Für die mageren Mörtel 1 : 4 mit Isarsand gilt das gleiche, nur treten hier die Einflüsse weniger zutage.

Während das Auswaschen und Aussieben der feinsten Teile des Isarsandes die Festigkeit des Betons erhöht, setzen die gleichen Behandlungsweisen die Festigkeit des Mörtels herab.

In fetteren 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.

Vergleicht man hiermit aber die Druckfestigkeitswerte der 3 Monate alten Mörtelproben (große Würfel mit 30 cm Seitenlänge), so ergeben sich zwei überraschende Tatsachen:

¹⁾ Von der Wiedergabe der Mittelwerte aus den Versuchen mit den Mörteln ist in diesem Bericht abgesehen worden.

1. 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;
2. die großen Mörtelwürfel erlangen nach 3 Monaten höhere Festigkeiten als die kleineren.

Beide Tatsachen lassen sich wohl nur durch die größeren Raumgewichte der großen Körper infolge stärkerer Rammung erklären.

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 Rheinsand 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.

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.

c) Kies und Steinschlag¹⁾.

Der Betrachtung unterliegen die Betonmischungen, in denen etwa $\frac{2}{3}$ des Isarkieses bzw. des Rheinkieses durch Steinschlag (durch Oberstreiter Granit-Kleinschlag) ersetzt wurde. Der Steinschlag bestand zu gleichen Teilen aus Grobgrus von 7 bis 15 mm und aus Schötter von 15 bis 35 mm.

Fettete Mischung 1 : 2,5 : 1,5 : 3,5.

Für Isarkies ergibt sich:

Auf den erdfeuchten sowohl wie auf den weichen Beton wirkt der teilweise Ersatz des Kieses durch Granitsteinschlag die Festigkeit begünstigend. Bis zu einem 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, im Naturzustande, durch Granitsteinschlag¹⁾ die Festigkeit des Betons (bis zu 1 Jahre Alter) beträchtlich erhöhend, ausgenommen den Beton aus Zement B, bei dem mit Steinschotterzuschlag und mit Naturkies fast dieselben Ergebnisse erzielt wurden. Wird indessen entfemter Rheinkies verwendet, so dreht sich das Verhältnis um. Der Beton mit Granitschötter als Ersatz erlangt geringere Festigkeiten als der nur aus entfemtem Rheinkies bestehende.

Das Gefüge des Betons wird in diesem Falle wohl durch die eckigen Schötterstücke zu sehr aufgelockert; es ist möglich, daß diese Abweichung sich nach längerer Erhärtung als 1 Jahr wieder ausgleicht.

¹⁾ Obgleich die Versuche nur mit Granitschötter ausgeführt sind, und die gezogenen Schlußfolgerungen nur für diesen Gültigkeit haben, so ist doch anzunehmen, daß bei Verwendung von Schötter aus anderen vulkanischen Gesteinen ähnliche Ergebnisse zu erwarten sind. Über den Zusatz gebrochenen Steinmaterials zu Kiesmischungen siehe auch Gary: Zweckmäßige Zusammensetzung des Betongemenges für Eisenbeton. Heft 29 der Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton, S. 29 und 30.

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

Magere Mischung 1 : 4 : 2,4 : 5,6.

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

Auf den erdfeuchten wie auf den weichen Beton wirkt der teilweise Ersatz des Kieses durch Granitsteinschlag die Druckfestigkeit erhöhend.

Für Rheinkies ergibt sich:

Der Naturkies und der entfinte 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.

Schluß: Auch magerer Beton (erdfeucht und weich) kann durch teilweisen Ersatz des Isar- und des Rheinkieses durch Granitsteinschotter gleicher Körnung wie die des Kieses beträchtlich verbessert werden. Diese Wirkung tritt indessen vorwiegend erst bei höherem Alter des Betons zutage.

d) Steinschlag.

Wenn der grobe Kies in den Mörteln durch Granitsteinschlag gleicher Körnung völlig ersetzt wird, also statt der runden, mehr oder weniger glatten Kiesel im Beton die

eckigen und rauheren Granitstücke annähernd gleicher Körnung auftreten, so ergeben sich folgende Bilder.

Isarsand und Steinschlag in fetter und magerer Mischung.

Die Mischungen liefern mit beiden Zementen A und B annähernd parallel laufende Ergebnisse, 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 genügend fett ist und stark verdichtet wird (erdfeucht gestampft), dagegen wird diese günstige Wirkung geringer in weichem 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.

Rheinsand und Steinschlag in fetter und magerer Mischung.

α) Rheinsand im Naturzustand.

Der Beton aus Zement A zeigte hier in den erdfeuchten Mischungen 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 lieferte das Gemisch, dann folgt der Schotter, zuletzt der Kies.

Der Zement-B-Beton, erdfeucht gestampft, übertrifft als Schotterbeton sowohl in fetter als in magerer

Mischung auch absolut die Festigkeit der anderen Betonarten mit Zement B, zu denen Kies und Kies-Schottergemisch verwendet wurde.

(In den weich eingefüllten Mischungen mit Zement A und B traten Unstimmigkeiten auf, die sich nicht aufklären ließen.)

β) Rheinsand, vom Feinsten befreit.

Zement-A-Beton und Zement-B-Beton verhielten sich annähernd gleich.

Erdfecht 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.

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

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 entfeynten Sand enthält, liefert aber auch an sich geringere Festigkeiten als der mit im Naturzustand belassenen Sande, wenigstens soweit der erdfecht 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.

Schluß: Feinste Teile im Rheinsand können den gleichen Erfolg haben wie höherer Zementzusatz. Im weichen Beton sind sie leichter zu missen als im erdfeucht gestampften.

Verschiedenartige, grobe Zuschläge gleicher Körnung verhalten sich im Beton auch bei gleicher Mörtelart in Erhärtung und Festigkeit je nach Mischung und Zubereitungsart des Betons verschieden.

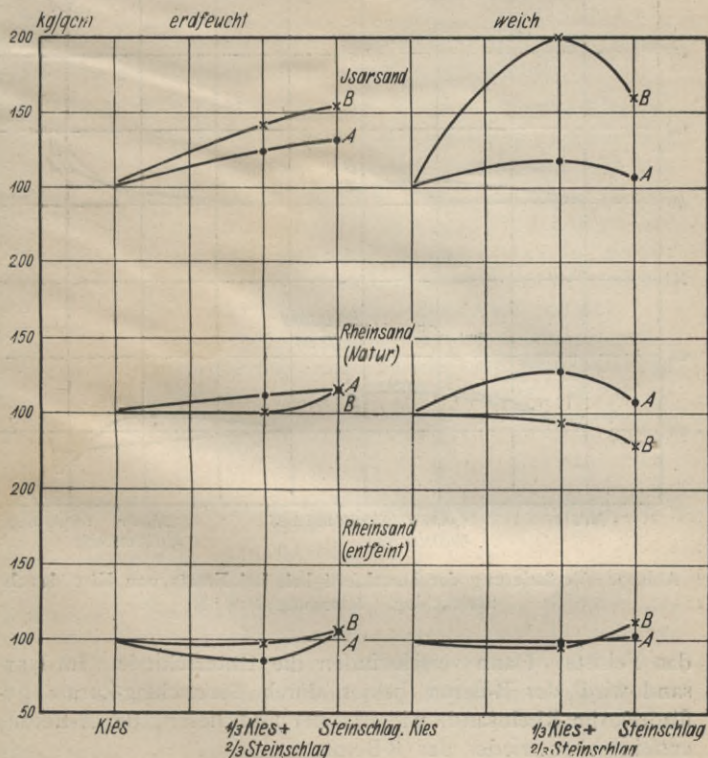
Unter gewissen Voraussetzungen erzielt Schotterbeton oder Kies-Schotterbeton günstigere, schnellere und länger fortschreitende Erhärtung als reiner Kiesbeton. Die Wirkung tritt im erdfeucht gestampften Beton schärfer zutage als im weich eingefüllten, in fetter Mischung deutlicher als in magerer. Mörtel,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

Beziehungen der Betonmischungen aus 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 (Reihe A_1 bis A_{10} Tab. 1, S. 14) = 100 und rechnet die Mittelwerte der gleichen Mischungen, die Kies-Steinschlag (Reihen C_{17} bis C_{22}) und nur Steinschlag (Reihen C_{23} bis C_{28}) enthalten, hierauf um, so ergeben sich die in Tab. 2 enthaltenen Verhältniszahlen, die in Abb. 6 und 7 aufgetragen sind, das gesetzmäßige Verhalten der Beton-Druckfestigkeit in verschiedenen Zuständen beim Wechsel zwischen Kies- und Steinschotter-Zuschlag nach ausreichender Erhärtung darstellen und auch ein deutliches Bild von dem Einflusse der verschiedenen Sande und beider Zemente geben.

Tab. 2. Verhältniszahlen der Beton-Druckfestigkeiten.

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. 6. Veränderung der Druckfestigkeit bei Ersatz von Kies durch Steinschlag. Mischung 1 : 2 $\frac{1}{2}$: 5.

In fetter Mischung sind die Unterschiede in der Wirkung des A-Zementes gegenüber dem B-Zemente gering, wenn der Beton erdfeucht gestampft wurde, sehr beträchtlich aber, wenn er weich eingefüllt wird, es sei denn, dem Sande fehlt

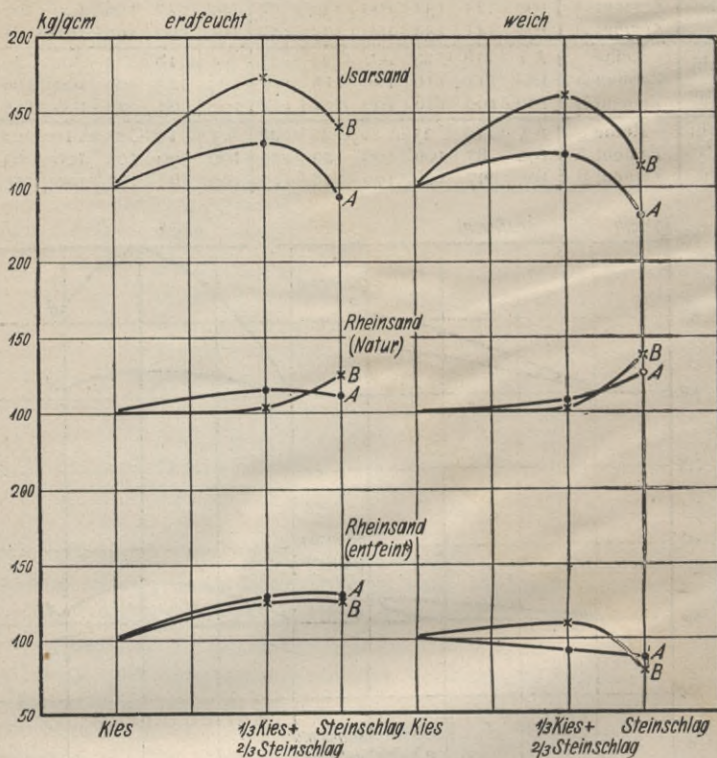


Abb. 7. Veränderung der Druckfestigkeit bei Ersatz von Kies durch Steinschlag. Mischung 1 : 4 : 8.

das Feinste. Dann verschwinden die Unterschiede. Im Isarsand wird der B-Beton besser durch Steinschlag-Zusatz gefördert, im Rheinsand, wie ihn der Fluß liefert, der A-Beton, entfemt aber wieder der B-Beton.

Die Entfeinung des Sandes hebt sowohl die Unterschiede der Zemente wie die der Zuschläge nahezu auf.

In magerer Mischung wirkt A-Zement und B-Zement im erdfeucht gestampften und weich eingefüllten Beton nahezu gleich. Der Isarsand verträgt am besten die Kies-Schottermischung, der Rheinsand im natürlichen Zustande den reinen Schotterzusatz. Im Mörtel aus entfeintem 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 geringere 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 Zuschlagstoffen bei bestimmtem Alter der Proben nicht ziehen. Jedes Material hat seine Eigenarten und bringt diese unter verschiedenen Umständen verschiedenen zur Geltung. Daraus folgt:

„Jede Betonmischung, d. h. jede Mischung von Grundstoffen zum Zwecke der Betonbereitung, 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 2 Mörteln $1:2\frac{1}{2}$ und $1:4$ Festigkeitsversuche angestellt worden. Auf die Mitteilung der Einzelwerte wird hier verzichtet. Die Mittelwerte sind in Abb. 8 aufgetragen.

Aus dem Mörtelvergleich ergibt sich mit Hinweglassung alles Nebensächlichen:

Die Eigenschaften der Sande beeinflussen die Mörtelfestigkeit ganz außerordentlich.

Die Mörtel ordnen sich nach der Höhe ihrer Druckfestigkeit in folgender Reihe: Rheinsand, Isarsand, Quetschsand, Schlackensand *x*, Schlackensand *y*.

Schluß: Sande mit verschiedenen Eigenschaften ergeben auch Mörtel verschiedener Güte. Insbesondere Schlackensande sind vor der Verwendung zu Mörtel auf Eignung zu den bestimmten Zwecken zu prüfen.

b) Beton.

(Die Zahlenergebnisse und ihre zeichnerische Darstellung entnehme man aus dem Hauptbericht.)

Im Beton treten die Unterschiede der einzelnen Sande nicht so deutlich in die Erscheinung wie in den Mörteln, aber die verschiedenen Eigenschaften der Sande wirken im Beton anders als im Mörtel.

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 fetten Beton an die zweite Stelle gerückt, und der Isarsand, der im Mörtel sich hervorragend bewährt, nimmt im erdfeuchten fetten Beton die vierte Stelle ein.

Im weich eingebrachten Beton machen sich die Eigenschaften der Sande in anderer Weise geltend. Hier erweist sich der Quetschsand als 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 Schlacken-

sand *y* eine beträchtlich höhere Endfestigkeit als der Beton aus den meisten anderen Sanden.

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.

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

Teil II.

Versuche mit Elastizitätsmessungen.

Die Probekörper sind in der Abteilung für Baumaterialprüfung aus dem Zement A und im übrigen aus den gleichen Materialien und in der gleichen Weise hergestellt und gelagert wie die Probewürfel zu Teil I.

I. Druckversuche (s. Tabelle 3).

Probenform: Prismen von 100 cm Länge und 20×20 cm Querschnitt f , stehend in 3 Schichten gestampft.

Beton: Zusammensetzung sowie Art und Zustand der verwendeten Sande, s. Tab. 3.

A. Die Formänderungen.

Ermittelt sind für die Meßlänge l die gesamten, bleibenden und elastischen Verkürzungen für verschiedene Belastungen — P durch wiederholten Lastwechsel. Bei geringen Beanspruchungen — $\sigma = P/f$ ergaben sich hierbei schließlich gleichbleibende Werte für die elastischen Formänderungen — λ . Mit letzteren sind zur Beurteilung des elastischen Verhaltens des Betons die

Elastizitätszahlen (Modul), $E = \frac{\sigma \cdot l}{\lambda}$, berechnet (s. Tab. 3)¹⁾.

Sofern für $\sigma < 50$ kg/qcm kein gleichbleibendes — λ erreicht worden ist, sind die Werte für E in kleinerem Druck gesetzt.

¹⁾ In Heft 17 sind alle Beobachtungen mitgeteilt.

1. Mit wachsender Druckspannung — σ nimmt E ab.
2. Einfluß des Alters.

Mit zunehmendem Alter des Betons nimmt E bei dem gleichen — σ zu. Beim Steinschlag-Beton trat diese Erscheinung um so mehr hervor, je größer — σ war.

3. Einfluß der Sandart.

a) Im erdfeuchten Kies-Beton (fett = 1 : 2,5 : 5 und mager 1 : 4 : 8) lieferte der rohe (ungewaschene) Isarsand größeres E als der rohe Rheinsand; durch Entfeinen des letzteren wuchsen die Unterschiede noch, besonders bei dem mageren Beton.

b) Für den weichen Kies-Beton der fetteren Mischung gilt das unter a) Gesagte; in der mageren Mischung aber nur für die Jahresproben, während bei geringerem Alter hier die Rheinsande die größeren Werte für E lieferten.

c) Beim Steinschlag-Beton lieferte der rohe Rheinsand die größten Werte für E . Nach dem Entfeinen dieses Sandes war E geringer und jetzt nur noch beim weichen Beton größer als für den rohen Isarsand, beim erdfeuchten aber kleiner.

4. Einfluß des Magerungsgrades.

Der magere Beton lieferte in allen untersuchten Mischungen kleineres E als der fettere.

Der Unterschied nahm mit wachsendem — σ zu, ferner besonders beim Kies-Beton mit wachsendem Alter ab und war im allgemeinen beim weichen Beton größer als beim erdfeuchten.

5. Einfluß des erhöhten Wasserzusatzes.

a) Magerer Kies-Beton 1 : 4 : 8 aus den beiden Rohsanden zeigte bis zu 365 Tagen Alter weich kleineres E als erdfeucht. Bei der fetteren Mischung 1 : 2,5 : 5 bestand der gleiche Unterschied nur bis zu einem gewissen Alter, dann nahm er ab und bei 365 Tagen Alter war E bei dem weichen Beton sogar größer als bei dem erdfeuchten.

b) Kies-Beton aus entfeyntem Rheinsand zeigte sowohl in der mageren als auch in der fetten Mischung

schon bei 28 Tagen Alter weich größeres E als erdfeucht.

- c) Für Steinschlag-Beton liegen Beobachtungen nur bis 90 Tage Alter vor. Bis dahin zeigte der weiche Beton aus rohem Isarsand in beiden Mischungen, mager und fett, kleineres E als der erdfeuchte. Der rohe Rheinsand lieferte in der fetteren Mischung (1 : 2,5 : 5) das kleinere E ebenfalls beim weichen Beton, in der mageren Mischung (1 : 4 : 8) war E dagegen beim weichen und erdfeuchten Beton gleich groß. Der entfainte Rheinsand zeigte wie beim Kies-Beton weich größeres E als erdfeucht.

B. Die Druckfestigkeit (s. Tab. 3).

1. Einfluß des Alters.

Die Zunahme der Prismenfestigkeit mit wachsendem Alter bis zu 365 Tagen war wie die der Würfel festigkeit (s. S. 15) beim Kies-Beton in der weichen Anmachung größer als bei der erdfeuchten, ferner bei der mageren Mischung größer als bei der fetteren. Beim Steinschlag-Beton liegen keine Jahresproben vor.

2. Einfluß der Sandart.

Der ungewaschene (rohe) Rheinsand lieferte bei allen Reihen höhere Prismenfestigkeit als der rohe Isarsand (s. a. S. 17). Der Unterschied war bei der fetteren Mischung (1 : 2,5 : 5) geringer als bei der mageren (1 : 4 : 8) und in der mageren Mischung bei dem weichen Beton größer als bei dem erdfeuchten.

Der entfainte Rheinsand lieferte im weichen Kies-Beton (mager und fett) wesentlich höhere Prismenfestigkeit als der rohe Rheinsand, in allen anderen Betonsorten aber geringere Festigkeit.

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Die Prismenfestigkeit des mageren Betons (1 : 4 : 8) betrug 37 bis 83⁰/₁₀₀ von der des fetteren Betons (1 : 2,5 : 5).

4. Einfluß des Wasserzusatzes.

Die Prismenfestigkeit war durch vermehrten Wasserzusatz bei dem Beton aus den beiden rohen Sanden vermindert, bei dem Beton aus entfaintem Rheinsand gesteigert worden.

II. Biegeversuche (s. Tab. 4 und 5).

Probenform: Balken von 150 m Länge, bei 20×20 cm, 30×16 cm und 60×11 cm Querschnitt (Breite $b \times$ Höhe h). Trägheitsmomente $J = 13\,300$, $10\,240$ und 6655 cm³.

Beanspruchung: Einzellast P in der Mitte bei 130 cm Stützweite l . Stufenweise Laststeigerung, teils ohne Entlastungen bis zum Bruch, teils mit wiederholten Ent- und Belastungen bei derselben Laststufe.

Beton: Nur erdfeuchter Beton untersucht; Zusammensetzung s. Tab. 4.

A. Die Formänderungen (s. Tab. 4).

Die Beurteilung der Biegeelastizität der untersuchten Betonsorten erfolgt nachstehend an Hand der Elastizitätszahlen

$$E = \frac{P \cdot l^3}{\lambda \cdot J \cdot 48},$$

die sich mit den elastischen Durchbiegungen λ beim wiederholten Lastwechsel ergaben. Tab. 4 enthält nur die Werte bis 420 kg Belastung (Biegungsspannungen $\sigma = 10$ bis 11 kg/qcm); wegen der Ergebnisse bei höheren Belastungen sei auf die Tabellen 25 bis 33 Heft 17 verwiesen.

1. Einfluß der Querschnittsabmessungen.

Für die beiden Probenformen mit rechteckigem Querschnitt (30×16 und 60×11 cm) war E bei derselben Betonmischung für die Proben mit $b:h = 1,9$ größer als bei $b:h = 5,5$. Dagegen lieferten die Proben mit quadratischem Querschnitt ($b:h = 1$) bei einigen Betonmischungen unter allen die kleinsten, bei anderen die größten Werte für E .

2. Einfluß des Alters.

Mit wachsendem Alter nimmt E für dieselbe Spannung σ zu. Die Zunahme betrug im Mittel:

beim Alter in Tagen	90		365	
für die Mischung	1:2,5:5 und 1:4:8		1:2,5:5 und 1:4:8	
beim Kies-Beton	10	13	19	27%
„ Steinschlag-Beton	15	17	31	43%

sie war also durchschnittlich bei der mageren Mischung größer als bei der fetteren und beim Steinschlag-Beton größer als beim Kies-Beton.

3. Einfluß der Sandart.

Von den beiden ungewaschenen Sanden lieferte im allgemeinen der Isarsand im Kies-Beton und der Rheinsand im Steinschlag-Beton das größere E .

Durch das Waschen des Isarsandes ist E des fetteren Kies-Betons verringert, des mageren vergrößert.

Durch das Entfeinen ist E beim Isarsande sowohl für den fetteren als auch für den mageren Kies-Beton vergrößert, beim Rheinsand dagegen verringert.

4. Einfluß des Magerungsgrades.

Der magere Beton besaß kleineres E als der fettere.

5. Unterschied zwischen Kies- und Steinschlag-Beton.

Im allgemeinen besaß der Steinschlag-Beton das größere E ; der Unterschied tritt in der fetteren Mischung mehr hervor als in der mageren.

B. Die Biegefestigkeit (σ_b) (s. Tab. 5).

1. Durch wiederholtes Be- und Entlasten bei den einzelnen Laststufen ist σ_b nicht gesetzmäßig beeinflusst worden. Den nachstehenden Betrachtungen sind daher die Mittelwerte aus allen Versuchen, mit und ohne Lastwechsel, zugrunde gelegt.

2. Einfluß der Querschnittsabmessungen (s. a. Tab. 8).

Ein gesetzmäßiger Einfluß der Querschnittsabmessung auf σ_b ist bei den Versuchen, die sich nur auf Kies-Beton erstreckten, nicht zutage getreten.

Im weiteren sind daher die Mittelwerte in Betracht gezogen und zur Bildung der Verhältniszahlen, Tab. 5, verwendet.

3. Einfluß des Alters.

Die Zunahme von σ_b bis zu einem Jahr Alter war

a) bei dem gleichen Mischungsverhältnis des Betons beim Isarsande größer als beim Rheinsande und am größten beim Quetschsande;

- b) bei demselben Sande beim Steinschlag-Beton größer als beim Kies-Beton;
- c) bei dem mageren Beton im allgemeinen größer als bei dem fetteren.

4. Einfluß der Sandart.

- a) Von den beiden ungewaschenen Sanden lieferte in der sonst gleichartigen Mischung (fett I und II, mager Ia und IIa) der Rheinsand bei 28 Tagen Alter um 8⁰/₀ und 21⁰/₀ höhere Biegefestigkeiten als der Isarsand. Mit wachsendem Alter nahm der Unterschied ab, und bei einem Jahr Alter war σ_b bei dem Kies-Beton aus Isarsand größer als bei dem aus Rheinsand. Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Steinschlag-Beton.
- b) Die Wirkung des Waschens auf σ_b tritt bei dem Isarsande nicht gesetzmäßig zutage.
- c) Durch das Entfeinen ist σ_b bei dem Isarsande gesteigert, besonders für die magere Mischung, bei dem Rheinsande dagegen erheblich vermindert, und zwar derart, daß von den beiden Sanden der entfeynte Isarsand die größten und der entfeynte Rheinsand die geringsten Biegefestigkeiten lieferte.
- d) Quetschsand lieferte von allen Sanden in der fetten Mischung bei höherem Alter die höchsten Werte für σ_b und in der mageren Mischung annähernd die gleichen Werte wie der ungewaschene Rheinsand.

5. Einfluß des Magerungsgrades.

Die Abnahme von σ_b infolge stärkerer Magerung des Betons (Mischung 1 : 2,5 : 5 gegen 1 : 4 : 8) war bei den beiden rohen Sanden und auch bei dem Quetschande durchschnittlich für alle Altersstufen gleich groß (30 bis 35⁰/₀). Am größten war sie bei dem Steinschlag-Beton aus entfeyntem Rheinsand (38⁰/₀) und am geringsten bei dem Kies-Beton aus entfeyntem Isarsand (12 bis 19⁰/₀).

6. Vergleich zwischen Kies- und Steinschlag-Beton.

Der Steinschlag-Beton lieferte in allen untersuchten Mischungen größeres σ_b als der Kies-Beton. Der Unterschied wächst im allgemeinen mit dem Alter des

Betons. Er ist am kleinsten beim entfeynten Rheinsand (2 bis 8 ‰) und am größten beim ungewaschenen Rheinsand (25 bis 71 ‰).

III. Zugversuche (s. Tab. 6).

Probenform: Prismen von 20×20 cm Querschnitt und 100 cm Länge mit verstärkten Köpfen. Prismatische Länge = 70 cm.

Beton: Zusammensetzung sowie Art und Zustand der verwendeten Sande s. Tab. 6.

A. Die Formänderungen.

Die Dehnung wurde bei Steigerung der Belastung P in Stufen von je 400 kg für die Meßlänge $l = 40$ cm ermittelt. Bei jeder Laststufe wurde so oft be- und entlastet, bis die elastische oder federnde Dehnung λ sich nicht mehr änderte; mit dem erzielten endlichen Wert λ ist die Elastizitätszahl

$E = \frac{P}{f} \cdot \frac{l}{\lambda}$ für die betreffende Laststufe berechnet. In Tab. 6

sind zunächst die mittleren Werte E für die verschiedenen Betonsorten und Altersstufen für jede zweite Laststufe angegeben, diese dann bis 6 kg/qcm Zugspannung zu Mittelwerten zusammengefaßt und aus letzteren Verhältniszahlen gebildet. Aus letzteren ergibt sich folgendes:

1. Einfluß des Alters.

Mit wachsendem Alter nahm E zu. Die Zunahme ist bei den verschiedenen Betonarten annähernd die gleiche wie bei den Biegeversuchen.

2. Einfluß der Sandart.

Die höchsten Elastizitätszahlen E lieferte in beiden Mischungen (1 : 2,5 : 5 und 1 : 4 : 8) der entfeynte Isarsand.

Von den beiden ungewaschenen Sanden lieferte in der fetten Mischung der Isarsand das größere E ; in der mageren Mischung anscheinend der Rheinsand.

Durch das Waschen erscheint E beim Isarsande vergrößert; das Ergebnis ist aber wegen schwankender Werte unsicher.

Durch das Entfeinen nahm E beim Isarsande zu, und zwar bei der mageren Mischung mehr (16%) als bei der fetteren (5%), beim Rheinsande in der fetteren Mischung ab (11%).

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Der magere Beton zeigt kleineres E als der fettere. Der Unterschied ist bei den beiden rohen Sanden größer (10%) als bei dem gewaschenen (5%) und entfeinten (2%) Isarsande.

B. Die Zugfestigkeit (σ_B) (s. Tab. 6).

1. Einfluß des Alters.

Die Zunahme von σ_B war sowohl bei dem fetten als auch bei dem mageren Kies-Beton aus Isarsand größer als bei dem aus Rheinsand von gleichem Zustande.

2. Einfluß der Sandart.

a) Von den beiden ungewaschenen Sanden lieferte in der sonst gleichartigen Mischung, und zwar sowohl in der fetten als auch in der mageren, der Rheinsand etwas höheres σ_B als der Isarsand.

b) Durch das Waschen des Isarsandes wurde σ_B bei beiden Mischungen erhöht.

c) Das Entfeinen lieferte beim Isarsande, besonders in der mageren Mischung, erhebliche Steigerung von σ_B , beim Rheinsande nennenswerte Abnahme von σ_B .

Nach abnehmender Zugfestigkeit der Jahresproben geordnet ergibt sich folgende Reihenfolge, übereinstimmend für beide Mischungen:

Sandart	σ_B fette Mischung	σ_B magere Mischung
entfeinter Isarsand	16,6	14,6
gewaschener „	16,6	12,1
ungewaschener Rheinsand	16,4	11,4
„ Isarsand	15,5	11,0
entfeinter Rheinsand	11,4	8,4

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Die Abnahme von σ_B infolge stärkerer Magerung des Betons war bei den beiden rohen Sanden überein-

stimmend mit 30 ‰ bei den Jahresproben, am größten; beim gewaschenen Isarsande und dem entfeynten Rheinsande betrug sie 26 und 27 ‰, beim entfeynten Isarsande aber nur 12 ‰.

IV. Versuche mit Zug- und Druckwechsel.

Probenform: Prismen wie bei den Zugversuchen (s. S. 37).

Beton: Erdfeuchter Kies-Beton aus ungewaschenem Isarsand sowie ungewaschenem und entfeyntem Rheinsand in den beiden Mischungen 1 : 2,5 : 5 und 1 : 4 : 8.

Beanspruchung: Stufenweise Laststeigerung, beginnend teils mit Druck, teils mit Zug. Laststufen für Druck = 5000 kg = 12,5 kg/qcm, für Zug = 500 kg = 1,25 kg/qcm.

Ergebnisse:

1. Die elastischen Längenänderungen, also auch E des Betons, sind weder für Druck noch für Zug durch die voraufgegangene Beanspruchung in entgegengesetzter Richtung, d. h. auf Zug und Druck, innerhalb der Grenzen des Versuches (Druckbelastung bis 30000 kg = 75,0 kg/qcm und Zugbelastung bis 3000 kg = 7,5 kg/qcm) nennenswert beeinflusst worden.
2. Die Druckfestigkeiten des Betons sind in allen Reihen durch die Spannungswechsel zwischen Druck und Zug, gegenüber den Versuchen ohne Zwischenbelastung durch Zug, nennenswert gesteigert worden. Die Steigerung beträgt:

bei der Mischung (s. Tab. 3)	I	II	III	Ia	IIa	IIIa	Mittel
für die 28-Tages-Proben in ‰	5	42	25	—	—	—	24
" " 90- " " " "	25	40	53	32	36	75	44

3. Die Zugfestigkeiten erfuhren folgende Veränderungen durch den Lastwechsel:

bei der Mischung (s. Tab. 3)	I	II	III	Ia	IIa	IIIa	Mittel
für die 28-Tages-Proben in ‰	-7	-5	-	-11	-25	+1	-9
" " 90- " " " "	±0	+22	+30	+5	±0	+4	+10

Die Zugfestigkeit der 28-Tages-Proben hat abgenommen, die der 90-Tages-Proben zugenommen.

V. Drehversuche (s. Tab. 7).

Probenform: Prismen von 20×20 cm Querschnitt und 150 cm Länge.

Beton: Erdfeuchter Kies-Beton; Zusammensetzung s. Tab. 7.

A. Die Formänderungen.

Bei stufenweiser Steigerung des Drehmomentes ist die Umdrehung auf 50 cm Länge gemessen.

1. Einfluß des Alters.

Die Gleitzahl G wuchs im allgemeinen mit zunehmendem Alter und nahm mit wachsender Beanspruchung ab.

2. Einfluß der Sandart.

In beiden Mischungen 1:2,5:5 und 1:4:8 lieferte der ungewaschene Isarsand die größten Werte für G .

Durch das Entfeinen nahm G beim Rheinsande ab, ganz besonders in der mageren Mischung (s. a. die Verhältniszahlen Tab. 7).

3. Einfluß des Magerungsgrades.

Der magere Beton lieferte kleinere Gleitzahlen als der fettere.

B. Die Drehfestigkeit.

1. Einfluß der Sandart.

In beiden Mischungen (fett und mager) lieferte der ungewaschene Rheinsand größere, der entfeinte Rheinsand kleinere Drehfestigkeit als der ungewaschene Isarsand.

2. Einfluß des Magerungsgrades.

Der magere Beton besaß kleinere Drehfestigkeit als der fettere; besonders groß ist der Unterschied beim entfeinten Rheinsand.

VI. Scherversuche (s. Tab. 7).

Probenform: Prismen von 20×20 cm Querschnitt; zweischnittig geprüft, gegenseitiger Abstand der beiden Scherflächen 20 cm.

Beton: Erdfeuchter Kies-Beton.

Die Einflüsse der Sandart und des Magerungsgrades auf die Scherfestigkeit τ' waren im allgemeinen die gleichen wie auf die Drehfestigkeit τ (s. Tab. 7).

VII. Zusammenfassung der Ergebnisse.

A. Die Formänderungen.

a) Erdfeuchter Kies-Beton.

1. Für alle Beanspruchungsarten (Druck, Biegung, Zug, Schub) lieferte von den beiden ungewaschenen Sanden der Isarsand größere Elastizitätszahlen (E und G) als der Rheinsand.
2. Durch Entfeinen nahmen E und G beim Rheinsande ab (für alle Beanspruchungsarten), beim Isarsande zu (für Biegung und Zug)¹⁾.

Die Ergebnisse unter 1 und 2 gelten für beide Mischungen, mager (1 : 4 : 8) und fett (1 : 2,5 : 5).

3. Durch Waschen des Isarsandes nahm E für Biegung bei der fetten Mischung ab, bei der mageren Mischung blieb das Waschen ohne Einfluß auf E und beim Zugversuch bewirkte es anscheinend Zunahme von E .

b) Weicher Kies-Beton.

Für Druckbeanspruchung¹⁾ lieferte

4. der ungewaschene Isarsand (wie unter 1) größeres E als der ungewaschene Rheinsand.
5. Durch das Entfeinen nahm E beim Rheinsande (wie unter 2) ab.

c) Erdfeuchter Steinschlag-Beton.

Für Druck- und Biegungs-Beanspruchung¹⁾ lieferte

6. von den beiden ungewaschenen Sanden der Isarsand kleineres E als der Rheinsand, umgekehrt wie beim erdfeuchten Kies-Beton.
7. Durch das Entfeinen nahm auch hier E beim Rheinsande ab, und zwar bis unter den Wert für rohen Isarsand.

¹⁾ Andere Versuche liegen nicht vor.

d) Weicher Steinschlag-Beton.

8. Für Druck¹⁾ wie unter 6 und 7, nur daß *E* auch beim entfeinten Rheinsand größer blieb als beim ungewaschenen Isarsand.

Einfluß des Magerungsgrades.

Für den mageren Beton waren *E* und *G* stets kleiner als für den fetteren.

Bei Druckbeanspruchung wuchsen die Unterschiede mit der Belastung, nahmen mit wachsendem Alter ab und waren für den weichen Beton größer als für den erdfeuchten.

Bei Zugbeanspruchung waren die Unterschiede bei den beiden ungewaschenen Sanden am größten, beim entfeinten Isarsande am kleinsten.

Einfluß des Wasserzusatzes.

Versuche liegen nur für Druckbeanspruchung vor. Ergebnisse s. Seite 32 unter Absatz 5.

B. Die Festigkeiten.

Einfluß des Alters.

Die Zunahme der Festigkeit des Betons mit wachsendem Alter war nach 1 Jahr besonders bei den Druckversuchen, im allgemeinen aber auch bei den Biege- und Zugversuchen, bei der mageren Mischung größer als bei der fetteren und bei den Biegeversuchen für den Steinschlag-Beton größer als für den Kies-Beton, ferner bei den Druckversuchen besonders für den Kies-Beton weich größer als erdfeucht.

Einfluß der Sandart.

Der ungewaschene Rheinsand lieferte, abgesehen von den 1 Jahr alten Biegeproben, bei allen Beanspruchungsarten größere Festigkeiten als der ungewaschene Isarsand.

Durch das Entfeinen nahmen die Festigkeiten des Betons aus Rheinsand, abgesehen von der Druckfestigkeit des weichen Kies-Betons, ab, beim Isarsande dagegen nahm die Biegefestigkeit sowohl durch das Ent-

¹⁾ Andere Versuche liegen nicht vor.

feinen als auch durch das Waschen zu, besonders in der mageren Mischung.

Einfluß des Magerungsgrades.

Die Abnahme der Festigkeit durch größere Magerung des Betons war am größten bei den Druckversuchen, sie betrug hier 37 bis 83 $\frac{0}{10}$, bei den Biege- und Zugversuchen dagegen nur 12 bis 35 $\frac{0}{10}$; am geringsten war sie beim entfeynten Isarsand.

Vergleich zwischen Kies- und Steinschlag-Beton.

Der Steinschlag-Beton lieferte größere Festigkeiten als der Kies-Beton von sonst derselben Zusammensetzung. Nur der entfeynte Rheinsand ergab bei den Druckversuchen in der fetten Mischung bei 28 Tagen Alter und in der mageren Mischung bis zu 90 Tagen Alter für den Steinschlag-Beton die geringere Festigkeit.

C. Vergleich der verschiedenartigen Festigkeiten desselben Betons.

Diesen Vergleich liefert Tab. 8. Nach ihr beträgt für die untersuchten Mischungen im Mittel aus den befriedigend übereinstimmenden Einzelwerten:

die Biegefestigkeit	18,7 $\frac{0}{10}$	der Druckfestigkeit
„ Zugfestigkeit	9,2 „	„ „
„ Schubfestigkeit	18,3 „	„ „
„ Zugfestigkeit	50,4 „	„ Biegefestigkeit.

Tabelle 3. Mittelwerte aus den

Misch- ung Zeichen	Beton enthaltend			Sand		Zu- stand des Betons	Alter der Proben in Tagen	Mittlere Elastizitäts- bei den folgenden Druckspan-						
	in Gewichts- teilen auf 1 Zement		Wasser ¹⁾ in %					Art	Zustand	12,5	25,0	37,5	50,0	
	Sand	Kies oder Stein- schlag												
Art des Betons											Kies-Beton			
I	2,5	5	7,0 (7,7)	Isar	unge- waschen	erd- feucht	28	300	303	295	288			
II			90				386	379	374	365				
			365				404	400	396	386				
III			4,5 (5,2)	Rhein	entfeint		28	[294]	[280]	[270]	[261]			
							90	318	313	302	293			
							365	333	325	318	307			
Ia	4	8	6,5 (7,5)	Isar	unge- waschen	erd- feucht	28	256	237	207	(183)			
IIa			90				310	294	273	251				
			365				376	369	361	349				
IIIa			4,0 (5,0)	Rhein	entfeint		28	207	193	192	178			
							90	[288]	[245]	[256]	[243]			
							365	330	316	303	288			
IV	2,5	5	8,5 (9,5)	Isar	unge- waschen	erd- weich	28	281	288	285	279			
V			90				360	350	339	331				
			365				432	410	397	386				
VI			7,5 (8,2)	Rhein	unge- waschen		28	253	250	239	230			
							90	281	290	285	278			
							365	363	352	337	326			
IVa	4	8	6,0 (7,5)	Isar	unge- waschen	erd- weich	28	275	291	273	265			
Va			90				329	319	310	303				
			365				364	353	342	334				
VIa			8,0 (9,3)	Rhein	entfeint		28	184	132	—	—			
							90	242	202	153	—			
							365	339	315	301	274			
IVa	4	8	6,8 (7,0)	Isar	unge- waschen	erd- weich	28	198	187	163	135			
Va			90				241	231	206	186				
			365				327	303	282	262				
VIa			5,3 (6,8)	Rhein	entfeint		28	209	208	193	183			
							90	247	229	217	204			
							365	312	296	284	268			

¹⁾ Die in Klammern () stehenden Werte gelten für den Steinschlag-Beton.

Druckversuchen mit Prismen.

zahlen E in $\text{kg}/\text{qcm} \cdot 10^3$ nungen — σ in kg/qcm				Mittlere Druck-(Prismen-)festig- keiten σ_{-B} kg/qcm		Verhältniszahlen für σ_{-B} in % für den Einfluß						
12,5	25,0	37,5	50,0			des Alters		der Sandart		des Magerungs- grades	des Wasser- zusatzes	
				Steinschlag-Beton	Kies- Beton	Stein- schlag- Beton	Kies	Stein- schlag	Kies	Stein- schlag	Kies	Stein- schlag
292	268	253	237	123	156	100	100					
333	317	300	283	148	191	120	122	100	100			
—	—	—	—	173	—	140	—					
322	304	284	266	134	196	100	100	109	126			
354	342	326	307	158	195	118	100	107	102	100	100	
—	—	—	—	187	—	140	—	108	—			
256	242	225	210	136	128	100	100	111	82			
304	290	275	259	147	174	118	136	100	91			
—	—	—	—	182	—	134	—	105	—			100
244	215	190	167	69	93	100	100			56	60	
293	273	254	233	88	110	128	119	100	100	60	58	
—	—	—	—	122	—	177	—			71	—	
256	231	212	189	77	112	100	100	112	120	57	57	
283	270	251	230	105	129	136	115	119	117	66	66	
—	—	—	—	143	—	186	—	117	—	77	—	
171	155	139	117	71	65	100	100	103	70	52	51	
202	184	169	154	70	79	99	122	80	72	48	46	
—	—	—	—	73	—	103	—	89	—	40	—	
252	237	221	203	112	123	100	100					91
[306]	276	262	248	147	140	131	114	100	100			100
—	—	—	—	178	—	159	—					103
290	272	254	232	125	144	100	100	112	117			93
320	305	289	272	146	160	117	111	100	114	100	100	92
—	—	—	—	181	—	145	—	102	—			97
[274]	250	241	224	144	127	100	100	129	103			106
334	314	299	284	185	156	129	123	126	112			126
—	—	—	—	205	—	142	—	115	—			113
206	167	137	99	43	65	100	100			39	53	62
[246]	219	195	168	54	86	126	132	100	100	37	61	61
—	—	—	—	94	—	219	—			53	—	77
270	244	214	190	71	106	100	100	165	163	57	74	92
310	291	266	244	80	133	113	125	148	155	55	83	76
—	—	—	—	111	—	157	—	118	—	61	—	78
220	196	171	150	86	73	100	100	200	112	60	58	121
241	217	195	176	97	80	113	110	180	93	53	51	138
—	—	—	—	137	—	160	—	146	—	67	—	188

Tabelle 5. Mittlere Biegezugfestigkeiten σ_b . Erdfeuchter Beton.
Balken von 20 \times

Mischung Zeichen	Beton enthaltend			Sand		Alter in Tagen
	in Gewichtsteilen auf 1 Zement		Wasser ¹⁾ in % 0/0	Art	Zustand	
	Sand	Kies oder Stein- schlag				
Art des Betons						
I			7,0 (7,7)	Isar	ungewaschen	28 90 360
VII			6,8		gewaschen	28 90 360
VIII	2,5	5	6,5		entfeint	28 90 360
II			6,0 (6,2)	Rhein	ungewaschen	28 90 360
III			4,5 (5,2)		entfeint	28 90 360
Ia			6,5 (7,5)		ungewaschen	28 90 360
VIIa			6,5	Isar	gewaschen	28 90 360
VIIIa	4	8	6,4		entfeint	28 90 360
IIa			5,5 (5,5)	Rhein	ungewaschen	28 90 360
IIIa			4,0 (5,0)		entfeint	28 90 360
IX	2,5	5	(6,5)		Quetschsand	28 90 365
IXa	4	8	(6,3)	28 90 365		

¹⁾ Die in Klammern () stehenden Werte gelten für den Steinschlag-Beton.

keiten σ_b . Erdfeuchter Beton.

20 cm Querschnitt.

Mittlere Biegezugfestigkeit σ_b kg/qcm		Verhältniszahlen für σ_b in % für den Einfluß						
		des Alters		der Sandart		des Magerungs- grades		der Beton- art, Kies=100
		Kies	Stein- schlag	Kies	Stein- schlag	Kies	Stein- schlag	
23,1	30,0	100	100	100	100			130
27,5	38,3	119	127	100	100			139
32,6	42,6	141	142	100	100			130
22,9		100		99				
27,3	—	119	—	99	—			—
35,1		153		108				
23,2		100		100		100	100	
28,0	—	121	—	102	—			—
33,3		144		102				
24,9	30,2	100	100	108	101			121
27,5	37,1	110	123	100	97			135
30,7	42,2	123	140	94	99			137
18,7	23,2	100	100	81	77			124
22,2	26,9	119	116	81	70			121
24,9	32,6	123	141	76	76			131
13,4	18,3	100	100	100	100	58	61	137
16,7	23,2	125	127	100	100	61	61	139
23,4	33,3	174	182	100	100	72	78	142
14,6		100		109		64		
18,9	—	130	—	113	—	69	—	—
21,9		150		94		62		
19,9		100		149		81		
23,8	—	120	—	143	—	81	—	—
29,4		148		126		88		
16,2	20,3	100	100	121	111	65	67	125
18,1	25,8	112	127	108	111	66	70	143
19,8	33,8	122	166	85	102	64	80	171
13,4	14,1	100	100	100	77	72	61	105
16,5	16,8	123	119	99	72	74	62	102
19,0	20,5	142	145	81	62	76	62	108
—	28,5		100		95			
	38,7	—	136	—	101	—	100	
	48,6		171		114			
—	20,3		100		111		71	
—	25,2	—	124	—	109	—	65	
	35,3		174		106		73	

Tabelle 6. Mittelwerte aus den Zug-

Mischung Zeichen	Beton enthaltend			Alter der Proben in Tagen	Sand		Mittlere Elastizitätszahlen E in $\text{kg/qcm} \cdot 10^8$ bei den überschriebenen Zugspannungen σ in kg/qcm				
	in Gewichtsteilen auf 1 Zement		Wasser in %								
	Sand	Kies					Art	Zustand	2	4	6
I			7,0	28 90 365	Isar	unge- waschen	353	344	343	337	317
				376			372	370	364	358	
				392			402	398	390	388	
VII			6,8	28 90 365	Isar	ge- waschen	336	321	319	315	301
				415			394	397	382	368	
				396			386	386	386	384	
VIII	2,5	5	6,5	28 90 365		entfeint	366	359	354	346	328
				409			386	378	385	375	
				427			430	418	423	422	
II			6,0	28 90 365	Rhein	unge- waschen	328	324	316	304	291
				395			362	343	334	328	
				381			386	379	356	355	
III			4,5	28 90 365	Rhein	entfeint	302	283	270	253	—
				330			319	310	291	281	
				356			348	337	—	—	
Ia			6,5	28 90 365	Isar	unge- waschen	285	289	270	—	—
				352			346	325	311	—	
				364			372	378	374	368	
VIIa			6,5	28 90 365	Isar	ge- waschen	350	325	322	296	—
				330			335	322	315	—	
				414			393	383	384	373	
VIIIa	4	8	6,4	28 90 365		entfeint	365	352	345	337	—
				402			362	356	345	343	
				428			429	427	422	420	
IIa			5,5	28 90 365	Rhein	unge- waschen	296	287	276	253	—
				291			279	270	—	—	
				385			393	401	—	—	
IIIa			4,0	28 90 365	Rhein	entfeint	328	255	—	—	—
				336			323	303	288	—	
				—			—	—	—	—	

1) Die eingeklammerten [] Werte sind Mittel aus 4 Versuchen, die übrigen

versuchen. Erdfeuchter Kies-Beton.

Mittel bis $\sigma = b$	Einzelwerte für die drei Altersstufen			Mittelwerte			Mitt- lere ¹⁾ beo- bachtete Zug- festig- keit σ_B kg/qcm	Verhältniszahlen für σ_B in % für den Einfluß		
	Verhältniszahlen für E in % für den Einfluß							des Alters	der Sand- art	des Mage- rungs- grades
	des Alters	der Sand- art	des Mage- rungs- grades	beo- bacht- et	der Sand- art	des Mage- rungs- grades				
347	100	100					11,1	100	100	
373	108	100		372	100		13,2	119	100	
397	115	100					15,5	140	100	
325	100	94					[10,8]	100	97	
402	124	108		372	100		13,2	122	100	
390	120	98					16,6	154	107	
360	100	104					11,5	100	104	
391	108	105	100	392	105	100	14,5	126	110	100
425	118	107					16,6	144	107	
323	100	93					12,8	100	115	
367	114	98		357	96		13,9	108	105	
382	118	96					16,4	128	106	
285	100	82					[9,4]	100	85	
320	112	86		317	85		10,7	114	81	
347	122	87					11,4	121	74	
281	100	100	81				7,5	100	100	68
341	121	100	92	331	100	89	9,2	123	100	70
371	132	100	94				11,0	147	100	71
332	100	118	102				8,6	100	115	80
329	99	96	82	353	107	95	10,1	117	110	72
397	119	107	102				[12,1]	141	110	73
354	100	126	98				9,5	100	127	83
373	105	109	95	385	116	98	11,8	124	128	81
428	121	115	101				14,6	154	133	88
286	100	102	89				8,8	100	117	69
280	98	82	76	320	97	90	9,5	108	103	68
393	137	106	103				11,4	130	104	70
[292]	100	104	102				6,7	100	89	71
[330]	113	97	103	[311]	—	—	7,2	108	78	67
—	—	—	—				8,4	126	71	74

Mittel aus 5 Versuchen.

Tabelle 7. Mittelwerte aus den Dreh- und
Alter der Proben

Misch- ung Zeichen	Beton enthaltend			Sand		Mittlere Gleit Zahlen G in bei den überschriebenen Schub- τ in				
	in Gewichtsteilen auf 1 Zement		Wasser in %							
	Sand	Kies		Art	Zustand	3,3	6,1	8,9	11,7	14,5
I	2,5	5	7,0	Isar Rhein ")	unge- waschen entfeint	140	138	137	135	134
II			6,0			134	135	133	131	130
III			4,5			125	122	123	120	117
Ia	4	8	6,5	Isar Rhein ")	unge- waschen entfeint	123	121	119	117	115
IIa			5,5			116	115	112	109	102
IIIa			4,0			93	87	84	78	—

Scherversuchen. Erdfeuchter Kies-Beton.
= 1 Jahr.

kg/qcm · 10 ³ spannungen kg/qcm		Mittlere Ver- hältniszahlen für G in % bis $\tau = 8,9$ kg/qcm für den Einfluß		Dreh- festig- keit τ kg/qcm	Mittlere Ver- hältniszahlen für τ in % für den Einfluß		Scher- festig- keit τ' kg/qcm	Mittlere Ver- hältniszahlen für τ' in % für den Einfluß	
17,3	20,1	der Sandart	des Mage- rungs- grades		der Sandart	des Mage- rungs- grades		der Sandart	des Mage- rungs- grades
134	132	100		32,4	100		79	100	
127	125	97	100	[33,6]	104	100	96	121	100
115	111	89		30,8	95		62	89	
111	105	100	89	22,4	100	69	54	100	68
95	88	94	85	24,6	110	73	74	137	77
—	—	73	71	17,7	79	58	50	93	81

Tabelle 8. Die Bruchfestigkeiten bei den verschieden-

Misch- ung Zeichen	Beton enthaltend			Sand		Alter der Proben in Tagen	Bruchfestigkeit in kg/qcm bei der Bean-					Zug	
	in Gewichtsteilen auf 1 Zement		Wasser ¹⁾ in %				Biegung an Proben mit den Querschnitts- abmessungen in cm						
	Sand	Kies oder Stein- schlag		Druck (Pris- ma)	an Proben mit den Querschnitts- abmessungen in cm				Mittel				
			20 × 20		30 × 16		60 × 11	Mittel					
Art des Betons													Kies-
I			7,0 (7,7)	Isar	unge- waschen	28 90 365	122,5 148,0 172,5	23,1 27,5 32,6	22,6 28,1 —	23,9 28,8 —	23,2 28,1 [32,6] ³⁾	11,1 13,2 15,5	
VII			6,8		ge- waschen	28 90 365	—	22,9 27,3 35,1	—	—	—	[10,8] 13,2 16,6	
VIII	2,5	5,0	6,5		entfeint	28 90 365	—	23,2 28,0 33,3	—	—	—	11,5 14,5 16,6	
II			6,0 (6,2)	Rhein	unge- waschen	28 90 365	134,0 158,0 187,0	24,9 27,5 30,7	26,3 28,4 —	28,4 23,7 —	26,5 26,5 [30,7]	12,8 13,9 16,4	
III			4,5 [5,2]		entfeint	28 90 365	136,0 146,5 181,5	18,7 22,2 24,9	20,7 21,7 —	19,8 22,2 —	19,7 22,1 [24,9]	[9,4] 10,7 11,4	
Ia			6,5 (7,5)	Isar	unge- waschen	28 90 365	69,1 87,5 121,5	13,4 16,7 23,4	— 16,7 —	— 15,3 —	[13,4] 16,2 [23,4]	7,5 9,2 11,0	
VIIa			6,5		ge- waschen	28 90 365	—	14,6 18,9 21,9	—	—	—	8,6 10,1 [12,1]	
VIIa	4	8	6,4		entfeint	28 90 365	—	19,9 23,8 29,4	—	—	—	9,5 11,8 14,6	
IIa			5,5 (5,5)	Rhein	unge- waschen	28 90 365	76,5 104,7 142,5	16,2 18,1 19,8	15,8 16,9 —	15,1 18,3 —	15,7 17,8 [19,8]	8,8 9,5 11,4	
IIIa			4,0 (5,0)		entfeint	28 90 365	70,5 70,0 72,5	13,4 16,5 19,0	14,5 17,6 —	12,7 14,7 —	13,5 16,3 [19,0]	6,7 [7,2] 8,4	

¹⁾ Die in Klammern () stehenden Werte gelten für den Steinschlag-Beton.

²⁾ Die in kleinerer Schrift gesetzten Werte sind von der Mittelbildung ausgeschlossen, da sie

³⁾ Die in [] stehenden Werte entstammen einer geringeren Anzahl Einzelwerte als die

artigen Beanspruchungen. Erdfeuchter Beton.

Beton	beanspruchung auf			Verhältniszahlen, Druck-(Prismen-)festigkeit = 100 gesetzt							Verhältnis von Biegungs- festigkeit = 100 gesetzt zu Zugfestigkeit	
	Dre- hen ²⁾	Druck (Pris- ma)	Bie- gung an Pro- ben mit dem Querschnitt 20 × 20 cm	bei verschiedenem Alter			im Mittel		Biegung		Ein- zeln	Mittel
				Bie- gung	Zug	Schub ³⁾ (Dre- hen)	Bie- gung	Zug	Schub (Dre- hen)	bei ver- schiedenem Alter		
	Steinschlag- Beton		Kies-Beton					Steinschlag- Beton		Kies-Beton		
29,7 32,4 32,4	156,0 191,0 —	30,0 38,3 42,6	19 19 19	9,1 8,9 9,0	23 22 19	19 9,0 19	19 — —	19 — —	19 — —	19 — —	48 47 48	48
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47 48 47	47
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50 52 50	51
34,0 35,7 33,6	196,3 194,7 —	30,2 37,1 42,2	20 17 16	9,5 8,8 8,8	25 23 18	18 9,0 18	18 — —	18 — —	18 — —	18 — —	48 52 53	51
26,9 22,5 30,8	128,3 174,3 —	23,2 26,9 32,6	14 15 14	6,9 7,3 6,3	20 15 17	14 6,8 16	14 — —	14 — —	14 — —	14 — —	48 48 46	47
18,3 22,7 22,4	92,7 110,0 —	18,3 23,2 33,3	19 19 19	10,9 10,5 9,1	26 26 18	19 10,2 18	19 — —	19 — —	19 — —	19 — —	56 57 47	53
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	59 53 55	56
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	48 50 50	49
19,6 17,3 14,6	112,0 129,0 —	20,3 25,8 33,8	21 17 14	11,5 9,1 8,0	26 17 17	17 9,5 17	17 — —	17 — —	17 — —	17 — —	56 53 58	56
13,0 14,1 17,7	65,0 79,0 —	14,1 16,8 20,5	19 23 26	9,5 10,3 11,6	18 20 24	19 23 24	19 10,5 22	19 — —	19 — —	19 — —	50 44 44	46

Proben angehören, die aus anderem Zement gefertigt sind als alle anderen Proben.
übrigen.



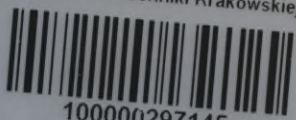
20.00

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301596

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297145

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301596

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297145