



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296927



**Beschaffenheit,
zweckmäßige Mischungsverhältnisse
und Ausbeute
hydraulischer Baustoffe**

Von

Dipl.-Ing. **B. SAFIR**

MIT 9 DIAGRAMMEN.

F. Nr. 28486



BERLIN 1909

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN.

Nachdruck verboten.

Alle Rechte vorbehalten.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

130114

877 22 273

Akc. Nr. _____

814/50

Zweckmäßige Mischungsverhältnisse der hydraulischen Baustoffe. — Ausbeute.

I. Beschaffenheit der Einzelstoffe.

Die Begriffe „Mörtel“ und „Beton“ bedürfen wohl kaum einer eingehenden Klarlegung. In vorliegender Abhandlung werden wir uns zunächst mit Zementmörtel und Zementbeton befassen und diese mit „hydraulische Baustoffe“ bezeichnen.

Mit dem Fortschritt der Portlandzementfabrikation haben die „hydraulischen Baustoffe“ eine vielseitige Verwendung gefunden und sind im Bauwesen unentbehrlich geworden.

Hat Mörtel von jeher nur dazu Verwendung gefunden, als Kittmasse für das aus Steinen zusammengesetzte Mauerwerk zu dienen und die Unebenheiten der Lagerflächen im Mauerwerk auszugleichen, so bildet der Zementmörtel einen Hauptbestandteil des Zementbetons, welchem er die bindende (hydraulische) Eigenschaft verleiht und letzteren dadurch als Baustoff für die Erstellung tragender Konstruktionsteile geeignet macht. In diesem Sinne kann man den Zementbeton als eine Evolution des Zementmörtels ansehen.

Als vielseitig angewandter Baustoff ist der Zementbeton mit seinen Eigenschaften bereits genug bekannt.

Eine der wichtigsten Eigenschaften des Zementbetons ist nun die, daß die Zugfestigkeit des Zementbetons verschwindend gering ist im Verhältnis zur Druckfestigkeit desselben und daß dieser negativen Eigenschaft dadurch abgeholfen wird, daß man die auf Zug beanspruchten Teile des Betons durch Eiseneinlagen verstärkt — armiert. Den durch Eiseneinlagen

verstärkten Zementbeton nennt man „Eisenbeton“ (béton armé, reinforced Concrete). Eisenbeton ist demnach eine weitere Evolution des Zementbetons.

In letzterer Zeit hat der Eisenbeton eine derartige Entwicklung erfahren, daß es fast kein Bauwerk mehr gibt, wo derselbe noch nicht Anwendung findet oder finden könnte.

Die Güte der hydraulischen Baustoffe hängt von verschiedenen Faktoren ab:

1. Von der Beschaffenheit der Einzelstoffe, aus welchen sie zusammengesetzt werden.

2. Von der Sorgfalt, mit welcher das Mischen und die weitere Verarbeitung der einzelnen Bestandteile vor sich geht, also von der Geschicklichkeit der Arbeiter, falls die Bereitung mittels Hand geschieht, und außerdem auch von der Güte der verwendeten Maschinen, falls die Bereitung maschinell erfolgt.

3. Von den besonderen Verhältnissen, unter welchen die Erhärtung oder, wie man sagt, das Abbinden der hydraulischen Baustoffe stattfindet, wie: Jahreszeit, geographische Lage, Witterung und Temperatur.

4. In großem Maßstab aber von dem Mischungsverhältnis. Die Bestandteile der hydraulischen Baustoffe sind:

1. der Binstoff
2. das Wasser
3. der Sand
4. der Kies oder Steinschotter.

Die beiden ersteren bilden die eigentliche Kittmasse, die Kohäsion, mittels der die beiden letzteren Bestandteile in dem hydraulischen Baustoff zusammengehalten werden.

Was die Beschaffenheit dieser Bestandteile zwecks Erzeugung eines guten hydraulischen Baustoffs betrifft, ist nichts Neues zu sagen. So sind die meisten deutschen Zemente von vorzüglicher Güte und gelten auf dem neuen Weltteil sogar als vorbildlich.

Was das Wasser betrifft, so ist dieses fast überall so zu haben, wie es sich für die Herstellung eines guten hydraulischen Baustoffs eignet. Die Eigenschaften, denen das Wasser in dieser Hinsicht zu entsprechen hat, sind sehr wenige und

auch von den Laien leicht zu beurteilen. Zu warnen ist vor der Verwendung von Brackwasser, sumpfigem, gashaltigem Wasser und solchem aus Tümpeln, die zum Flachsreinigen dienen. Reines weiches Flußwasser ist besser als salziges Quellwasser.

Ueber die Beschaffenheit des Sandes und des Kieses bezw. Steinschotters als Bestandteile der hydraulischen Baustoffe wollen wir nur folgendes hervorheben:

Eine scharfe Grenze zwischen Sand und Kies gibt es eigentlich in Wirklichkeit nicht. Der Unterschied liegt nur in der Größe des Kornes und weil diese alle denkbaren Werte, von „Mehlfinheit“ bis zu Blockstärke annehmen kann, bleibt die Unterscheidung zwischen Sand und Kies Sache der Vereinbarung.

Man ist übereingekommen, mit Sand dasjenige Steinmaterial zu bezeichnen, dessen Korngröße 5 mm nicht überschreitet. Liegt die Korngröße zwischen 5 und 80 mm und sind die einzelnen Körner abgerundet, so nennt man solches Steinmaterial Kies; sind die Stücke aber eckig und scharfkantig, so spricht man von Steinschotter oder kurzweg Schotter oder Kleinschlag.

Man unterscheidet weiter je nach Korngröße zwischen Feinsand, Grobsand, Feinkies und Grobkies.

Sand und Kies, die zur Betonbereitung Verwendung finden sollen, müssen rein sein, weil nur dann die Verkittung dieser Bestandteile durch das Bindemittel eine vollständige werden kann. Haftet Ton oder Lehm an den Sandkörnern, so ist der Sand zur Betonbereitung unbrauchbar, falls er nicht vorher einer Reinigung (Waschen) unterzogen wird.

Hingegen haben in letzterer Zeit Versuche dargetan, daß ein Sand, dem Lehm in sehr feiner Verteilung beigemischt wird, einen Mörtel bezw. Beton ergibt, dessen Festigkeit mit dem Prozentsatz des zugesetzten Lehmmaterials zunimmt, solange dieser Zusatz etwa 6 vH. nicht überschreitet.

Enthält nun ein natürlicher Sand nicht mehr als etwa 6 vH. lehmiges Material in feinsten Verteilung zwischen seinen Körnern, ohne daß aber dieser Lehm an den Sandkörnern

haftet, so ist es verfehlt, einen solchen Sand waschen zu wollen oder gar ihn von der Verwendung zu hydraulischem Baustoff auszuschließen.

Es ist dies ein sehr wichtiger Punkt, welcher über ein zweckmäßiges und rationelles Mischungsverhältnis bei gegebenem Sand- und Kiesmaterial Aufschluß zu geben geeignet ist.

Der Kies wird in Gruben oder in Flüssen gewonnen, daher auch die Bezeichnung Grubenkies und Flußkies (Geschiebe). Letzterer hat glattere Flächen als ersterer, und ist aus diesem Grunde die Haftfestigkeit des Mörtels auf Flußkies geringer als auf Grubenkies.

Die Haftfestigkeit des Mörtels auf dem Steinmaterial wird gesteigert, wenn man zerschlagenes Steinmaterial, sog. Kleinschlag oder Schotter statt Geschiebe oder Grubenkies zur Betonbereitung verwendet.

II. Zweckmäßige Mörtel- und Betonmischungen.

Hat man aus vorhandenen Kies- und Sandstoffen Beton bzw. Mörtel zu bereiten und soll der bereite hydraulische Baustoff seinem Zwecke in bezug auf Festigkeit angepaßt sein, so tritt in erster Reihe die Frage auf, wie das „Mischungsverhältnis“ zwischen Zement, Sand und Steinen gewählt werden muß, um den technischen Anforderungen zu genügen. Ist das Mischungsverhältnis für den vorliegenden Fall und für das gegebene Material festgestellt, so bleibt nun noch die „Ausbeute“ zu ermitteln und danach die erforderlichen Materialmengen für das zu verbauende Quantum hydraulischen Baustoffs zu bestimmen und so auch den wirtschaftlichen Forderungen gerecht zu werden.

Jedes Betonmaterial wird in die Konstruktionsteile der Bauwerke im allgemeinen durch mehr oder minder starkes Stampfen eingebaut und nur ausnahmsweise wird es sozusagen gegossen oder geschüttet. Danach unterscheidet man: erdfeuchten Beton und weichen oder nassen Beton. Ersterer wird mit so wenig Wasser angemacht, daß er nur erdfeucht ist, sich aber in der Hand noch ballen läßt;

er soll nur dann Anwendung finden, wenn er beim Einbauen genügend gestampft werden kann. Die Grenze für die Stampfarbeit solchen Betons ist durch das Erscheinen von Wasser an der Oberfläche der gestampften Betonmasse gegeben. (Man stampft den erdfeuchten Beton, bis er schwitzt).

Der weiche oder nasse Beton wird mit bedeutend mehr Wasserzusatz als der erdfeuchte Beton bereitet und gelangt da zur Anwendung, wo gar nicht oder nur sehr wenig gestampft werden kann, hauptsächlich bei Eisenbeton. Ebenso kann Beton, der unter Wasser eingebracht wird (Schüttbeton), auch nicht gestampft werden.

Das kräftige Stampfen beim Beton hat zwar insofern Vorteile, weil die Betonmasse durch Einstampfen dichter wird und mit der Dichtigkeit der Masse auch die Festigkeit derselben zunimmt. In dieser Beziehung würde also der erdfeuchte Beton dem nassen Beton überlegen sein.

Die höhere Festigkeit des ersteren tritt aber nur in der ersten Zeit des Erhärtens stärker hervor, so daß nach Ablauf von einem gewissen Zeitraum nasser Beton bei gleichem Mischungsverhältnis, bei gleichen Einzelstoffen und gleich sachgemäßer Mischarbeit nahezu dieselbe Festigkeit wie erdfeuchter Beton aufweist.

Ausschließlicher Anhänger des erdfeuchten oder des nassen Betons zu sein, ist aber verfehlt. Je nach Zweck und Umständen wird man dem einen oder dem anderen den Vorzug geben.

So z. B. bei Eisenbeton, bei welchem das Betonmaterial nicht nur große Druckfestigkeit, sondern auch eine tunlichst große Haftfestigkeit an der Eiseneinlage aufweisen muß, kann man erdfeuchten Beton nicht gut anwenden, weil die Haftfestigkeit dabei einbüßen würde. Für Eisenbeton ist also dem nassen Beton der Vorzug zu geben.

Hingegen wird man z. B. bei Kunststeinfabrikation, Zementröhrenfabrikation und dergl. erdfeuchten Beton mit großem Erfolg anwenden.

Eine dichte Betonmasse ist aber unter allen Umständen zu erstreben. Je dichter der Beton ist, um so fester wird

auch das damit erstellte Bauwerk sein. Die dichtere Betonmasse wird auch eine höhere Haftfestigkeit aufweisen, was bei Eisenbeton besonders wichtig ist.

Die Herstellungsweise der Eisenbetonkörper sowie des Schüttbetons ist aber derart, daß hierbei vieles Stampfen oder das Stampfen überhaupt unanwendbar ist. Um aber auch in diesen Fällen die Betonmasse dicht zu machen, muß man das Mischungsverhältnis und die Korngröße der Einzelstoffe entsprechend wählen. Die Korngröße der Zusatzstoffe (Sand, Kies bzw. Steinschlag) übt einen wesentlichen Einfluß auf die Dichtigkeit und somit auch auf die Güte des hydraulischen Baustoffs aus. Diese Tatsache ist bereits durch verschiedenartige direkte Versuche festgestellt worden und kann theoretisch wie folgt begründet werden:

Denkt man sich einen Sand, der aus gleichgroßen, kugelförmigen Körnern besteht, und füllt man mit diesem Sande irgend ein Gefäß von z. B. nebenstehender Abb. 1, nimmt man ferner an, daß die einzelnen Körner am lockersten gelagert sind, wie in Abb. 2 dargestellt ist, so daß für 1 lfd. m n Körner neben- und übereinander gelegt werden, so beträgt die Anzahl der in dem Gefäß enthaltenen Körner:

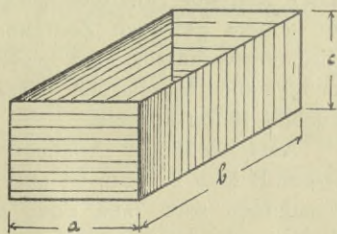


Abb. 1.

$$N = n a \cdot n b \cdot n c = n^3 a b c.$$

Der Inhalt des Gefäßes ist:

$$J = a b c.$$

Der Durchmesser eines Sandkornes beträgt:

$$d = \frac{1}{n}.$$



Abb. 2.

Somit ergibt sich der Rauminhalt der N Sandkörner zu:

$$J_s = N \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{6} = n^3 a b c \cdot \frac{\pi}{6} \cdot \frac{1}{n^3} = \frac{\pi}{6} a b c = \frac{\pi}{6} J$$

Mörtel von höherer Festigkeit als feiner Sand ergeben wird, oder umgekehrt: ein Mörtel, der aus feinem Sand bereitet wird, bei gleicher Zementmenge poröser sein wird als der grobkörnige Mörtel. Praktische Ergebnisse bestätigen diese Schlußfolgerung. Es wird daher unwirtschaftlich und auch vom technischen Standpunkte aus verfehlt sein, einen sehr feinen Sand als Mörtelsand zu verwenden. Praktisch ausgedrückt, hört man daher sagen: *Das ist ein guter scharfer grober Sand.*

Je dichter die Lagerung der Sandkörner ist, desto größer wird der Koeffizient k_1 in Gleichung (2), die auch zeigt, daß mit k_1 die Gesamtoberfläche F der Körner, die durch das Bindemittel zu verkitten ist, wächst. Es würde demnach die Menge des Bindemittels bei dichter Lagerung der Körner eine größere sein als bei lockerer Lagerung derselben.

Diesem Umstand ist aber entgegenzuhalten, daß bei dichter Lagerung der Körner die Hohlräume sich bedeutend vermindern — Koeffizient k der Gleichung (1) wird kleiner —, und für die Menge an Bindemittel ist der Koeffizient k ausschlaggebend.

Will man nun dem wirtschaftlichen Umstand Rechnung tragen, daß man die zu verkittende Oberfläche der Sandkörner auch bei dichtester Lagerung auf ein Minimum herabsetzt, so kann man das nicht mehr mit gleichgroßen Sandkörnern erreichen, sondern man muß Körner von verschiedener Größe nehmen, am zweckmäßigsten so, daß die Körner einer Größe in die Hohlräume der Körner nächster Größe hineinpassen. Dadurch wird erstens die dichteste Lagerung der Körner ineinander erreicht, zweitens wird die durch das Bindemittel zu verkittende Oberfläche der Körner auf das geringste reduziert.

Die Dichtigkeit trägt, wie bereits erwähnt, in hohem Grade zur Festigkeit des hydraulischen Baustoffes bei.

So hat man z. B. die Festigkeit eines Zementmörtels der Mischung 1 Raumteil Zement zu 3 Raumteilen Sand durch Zusatz von Lehm bis zu 6 vH. in feiner Verteilung unter der Sandmenge bedeutend gesteigert. Das kann nur

dadurch erklärt werden, daß der Zementmörtel 1 : 3, wie bekannt, porös ist, das heißt, der Zement füllt bei diesem Mischungsverhältnis noch nicht sämtliche Hohlräume des Sandes aus; die verbleibenden Hohlräume werden durch den Lehmzusatz ausgefüllt und dadurch die Mörtelmasse gedichtet. Der Lehm an und für sich könnte nicht im geringsten zur Festigkeit des Zementmörtels beitragen und diese erhöhen. Infolgedessen kann man bei einer gegebenen Mörtelmischung nur so viel Lehm mit Erfolg dem Sande zusetzen, als zur vollständigen Ausfüllung der im Mörtel verbleibenden Hohlräume erforderlich ist. Ueber dieses Maß hinaus würde der Lehmzusatz die Festigkeit des Mörtels nicht mehr erhöhen und somit nicht mehr vorteilhaft sein, sondern würde sogar schädlich wirken, indem dabei der Mörtel an Festigkeit einbüßen würde.

Ebenso wird die Festigkeit eines mageren Zementmörtels durch Kalkzusatz erhöht, weil der Kalk, trotzdem sein Kittvermögen im Vergleich zu dem des Zements gering ist, die Hohlräume im Mörtel ausfüllt und denselben dichtet. Die Höhe des nutzbringenden Kalkzusatzes ist durch das vollständige Dichten des Mörtels beschränkt; geht man mit dem Kalkzusatz über diese Grenze hinaus, so verringert sich auch hier wieder die Festigkeit des Mörtels.

Durch das Ausfüllen der Hohlräume im Sande wird aber auch der Bedarf an Zement geringer. Aus diesem Grunde wird ein Steinschotter, der auf Brechmaschinen hergestellt ist und infolgedessen viel Grus enthält, bei dem also Körner aller Größen vertreten sind, ein vorzügliches Betonmaterial vom Standpunkte der Festigkeit liefern. Solcher Betonschotter wird auch wirtschaftlich sehr vorteilhaft sein, weil durch die verschiedenen Korngrößen desselben die Hohlräume gering werden und deshalb auch der Bedarf an Zement ein geringerer ist.

Ein hydraulischer Baustoff wird demnach bei gegebenem Sand- bzw. Kiesmaterial die größte relative Festigkeit aufweisen, wenn dieses Sand- bzw. Kiesmaterial am wirtschaftlichsten ausnutzbar ist, d. i. wenn die Ausbeute ihr Maximum

erreicht, und das trifft, wie bereits erörtert, nur dann zu, wenn in dem Mörtel- oder Betonmaterial sämtliche Korngrößen derart vertreten sind, daß die Körner einer Größe in die Hohlräume der nächsten Korngröße hineinpassen.

Die technische und die wirtschaftliche Frage der hydraulischen Baustoffe schließen sich demnach nicht gegenseitig aus, sie ergänzen sich vielmehr, so daß, wenn die erste erfüllt werden soll, auch die zweite erfüllt sein muß. Man kann also immer durch die richtige Wahl der Korngrößen des Sandes bezw. Kieses die höchste Festigkeit sowie die größte Wirtschaftlichkeit der hydraulischen Baustoffe gleichzeitig erzielen.

Ein zweckmäßiger Mörtel bezw. Beton wird also derjenige sein, bei dem das Mischungsverhältnis derart gewählt ist, daß der Zement sämtliche Hohlräume des Mörtelsandes bezw. die Mörtelmasse die Hohlräume des zur Betonbereitung zur Verfügung stehenden Steinmaterials ausfüllt und daß in jedem Falle noch ein gewisser Ueberschuß an Zement bezw. Mörtel vorhanden bleibt, damit es satte Berührung zwischen den Körnern gibt, mit anderen Worten, damit die Sand- bezw. Steinkörner sich nicht unmittelbar berühren, sondern immer noch von einer Zement- bezw. Mörtelhaut umhüllt werden.

Hieraus folgt, daß ein Mischungsverhältnis, welches für einen bestimmten Sand bezw. Kies zweckentsprechend ist, für ein anderes Zusatzmaterial anders gewählt werden muß, um denselben Anforderungen des hydraulischen Baustoffs zu genügen.

Will man nun bei gegebenem Sand und Kies das Mischungsverhältnis zweckentsprechend treffen, so muß man vor allem die Hohlräume der gegebenen Zusatzstoffe feststellen.

Die Hohlräume des Kieses bezw. Steinschlags können von jedermann auf der Baustelle ohne Schwierigkeit ermittelt werden. Zu diesem Zweck füllt man ein Gefäß von bekanntem Inhalt mit dem Steinmaterial, dessen Hohlräume zu ermitteln sind, und man füllt darauf so viel Wasser hinzu, bis das Gefäß voll wird. *Die zugesetzte Wassermenge, geteilt durch den Gefäßinhalt, gibt die Größe der Hohlräume im Steinmaterial.*

Die Hohlräume des Sandes sind nicht mehr so leicht zu ermitteln, weil der Sand für gewöhnlich Feuchtigkeit in sich enthält und bei feuchtem Sande verbleiben in der Sandmasse viele Luftblasen, welche das Eindringen von Wasser in sämtliche Hohlräume verhindern. Hierbei kann man aus diesem Grunde nicht mehr dasselbe Verfahren wie bei Kies anwenden, sondern man muß den Sand vorher trocknen und das Raumgewicht g des getrockneten Sandes feststellen. Als dann sind die Hohlräume durch

$$H = 1 - \frac{g}{\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

gegeben, wo γ das spezifische Gewicht des Sandes bedeutet. Als guten Durchschnittswert kann man nehmen $\gamma = 2,65$.

1. Beispiel. Wiegt 1 Liter trockner Sand 1,5 kg, so betragen die Hohlräume dieses Sandes

$$H = 1 - \frac{1,5}{2,65} = 1 - 0,57 = 0,43 = 43 \text{ vH.}$$

2. Beispiel. Der Zement hat trotz seiner feinen Mahlung Hohlräume, die, wie bereits für kugelförmige gleich große Körner nachgewiesen wurde, unabhängig von der Korngröße sind und nur von der Art der Lagerung der Körner gegeneinander abhängig bleiben. Wird der Zement in das Gefäß eingerüttelt, so werden die Hohlräume geringer. Auf der Verwendungsstelle wird der Zement für gewöhnlich nur lose geschüttet und wiegt dann etwa 1400 kg auf 1 cbm; das spezifische Gewicht des Zements beträgt im Durchschnitt 3,2, so daß die Hohlräume des Zements bei loser Schüttung

$$H = 1 - \frac{1400}{3200} = 0,56 = 56 \text{ vH.}$$

betragen.

Die Grundbedingungen für ein zweckmäßiges Mischungsverhältnis eines hydraulischen Baustoffs (Zement-Beton oder -Mörtel), der zugleich dicht und für die gewünschte Festigkeit möglichst billig sein soll, können sonach wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die zur Herstellung des hydraulischen Mörtelstoffs erforderliche Zementmenge muß zum mindesten sämtliche Hohlräume im Sande ausfüllen.

2. Die Hohlräume im Kies oder Kleinschlag müssen vollständig vom Mörtel (Gemisch von Zement und Sand) ausgefüllt werden.

Was die Hohlräume, die im Zement selbst enthalten sind, betrifft, so werden diese von dem zur Bereitung des hydraulischen Baustoffs erforderlichen Wasser ausgefüllt. Die Wassermenge, die erforderlich ist, um den Zement zum Abbinden zu bringen, deckt sich ungefähr mit der Wassermenge, die zur Ausfüllung der Hohlräume in der verwendeten Zementmenge notwendig ist.

3. Um eine innige Verkittung der einzelnen Sandkörner des Mörtels untereinander zu bewirken, müssen diese mit einer Zementhaut umhüllt sein, damit sie nicht unmittelbar miteinander in Berührung kommen; es muß satte Berührung sein. Außer der Zementmenge, die zur Ausfüllung der Hohlräume des Sandes ausreicht, muß noch ein Ueberschuß an Zement genommen werden. Dieser Ueberschuß u , dividiert durch das Volumen der Hohlräume H der verwendeten Sandmenge, also

$$\frac{u}{H} = \mu,$$

wird das „Maß des Verkittungsgrades“ darstellen und wird eine gewisse Grenze nicht überschreiten dürfen, denn, sind die Hohlräume im Sand einmal mit Zement vollständig ausgefüllt und sind außerdem die Sandkörner von einer Zementhaut derart umhüllt, daß sie innig miteinander verkittet werden können, so würde ein weiterer Zusatz an Zement keine höhere Dichtigkeit bewirken, sondern nur dazu beitragen, die Kosten des Mörtels unnütz zu vergrößern und den Mörtel rissig zu machen.

4. Was vom Zement mit Bezug auf den Mörtel unter 3. gesagt wurde, gilt auch für den Mörtel mit Bezug auf den Kies oder Kleinschlag: Die Mörtelmenge im Beton muß derart

gewählt werden, daß sämtliche Hohlräume des Kieses bezw. Kleinschlags mit Mörtel ausgefüllt werden und daß außerdem die Kieskörner bezw. Steinstücke in einer dünnen Mörtelschicht eingehüllt bleiben.

5. Die Hohlräume des Zusatzmaterials (Sand und Kies) können, wie bereits erwähnt, vor dem Zusammenstampfen des damit bereiteten hydraulischen Baustoffs leicht ermittelt werden. Nachdem aber das Zusatzmaterial zu hydraulischem Baustoff verarbeitet und letzterer eingestampft wurde, vermindern sich die Hohlräume des Sand- bezw. Steinmaterials. Legt man nun die vor der Verarbeitung ermittelten Hohlräume dem gesuchten Mischungsverhältnis zugrunde, so rechnet man dadurch noch mit einem gewissen Sicherheitsgrad, denn, wenn die Bedingungen 1 bis 4 erfüllt sind und sämtliche Hohlräume des Betons mit Mörtel bezw. die des Mörtels mit Zement und Wasser ausgefüllt sind, so müßte die so erzeugte Masse theoretisch schon so dicht sein, daß das Stampfen das Volumen derselben nicht mehr vermindern könnte; in Wirklichkeit aber werden die einzelnen Steine innerhalb der Mörtelmasse so gelagert sein, daß die Betonmasse noch stampffähig bleibt und durch das Stampfen die Betonmasse noch dichter aneinander gebracht wird, so daß die Dichte und damit die Festigkeit durch das Stampfen noch erhöht wird.

Bezeichnet man in Raumeinheiten mit:

C die Zementmenge,

S die Sandmenge,

K die Steinmenge,

welche zusammen vermengt eine Raumeinheit V Beton erzeugen; bedeuten außerdem

α die Hohlräume des Sandes,

β die Hohlräume des Kieses,

bezogen auf die Raumeinheit, dann betragen die Hohlräume der verwendeten Sandmenge

$$H_s = \alpha S (4)$$

die Hohlräume der verwendeten Kiesmenge

$$H_k = \beta K (5)$$

Soll nun Bedingung I erfüllt werden, d. i. soll der Zement sämtliche Hohlräume des Sandes nur ausfüllen, so müßte sein

$$C = H_s.$$

Bezeichnet man, nach Bedingung 3, mit μ den Verkittungsgrad des Mörtels, so muß sein:

$$C = H_s + \mu H_s = H_s \cdot (1 + \mu) \dots (6)$$

oder unter Berücksichtigung von Gleichung (4):

$$C = (1 + \mu) \alpha S \dots (7)$$

Ist nun in Raumeinheiten M die Mörtelmenge, die mit der Zementmenge C und Sandmenge S nach vorstehenden Angaben hergestellt wurde, so muß sein:

$$\begin{aligned} M &= C + S - H_s \\ &= (1 + \mu) \alpha S + S - \alpha S \\ &= (1 + \alpha \mu) S \dots (8) \end{aligned}$$

Die Erfüllung der Bedingung 2 (der Mörtel muß die Hohlräume des Steinmaterials ausfüllen) erfordert:

$$M = H_k.$$

Um aber auch der Bedingung 4, dem Verkittungsgrad μ_1 des Betons, Rechnung zu tragen und unter der Annahme, daß der Verkittungsgrad des Betons $\mu_1 = \mu$, d. h. dem Verkittungsgrad des Mörtels gleich ist, was sonst ohne weiteres gerechtfertigt erscheint, muß sein:

$$M = H_k + \mu H_k = (1 + \mu) H_k \dots (9)$$

oder mit Rücksicht auf Gleichung (5):

$$M = (1 + \mu) \beta K \dots (10)$$

Aus Gleichung (7) folgt:

$$\frac{S}{C} = \frac{1}{(1 + \mu) \alpha} \dots (11)$$

Setzt man den Wert von M aus Gleichung (8) in Gleichung (10) ein, so wird:

$$(1 + \mu) \beta K = (1 + \alpha \mu) S \dots (12)$$

Daraus folgt:

$$K = \frac{1 + \alpha \mu}{(1 + \mu) \beta} S \dots (13)$$

Dividiert man Gleichung (13) durch Gleichung (7), so erhält man:

$$\frac{K}{C} = \frac{\frac{1 + \alpha \mu}{(1 + \mu) \beta} S}{(1 + \mu) \alpha S} = \frac{1 + \alpha \mu}{\alpha \beta (1 + \mu)^2} \dots (14)$$

Die Betonmenge V berechnet sich zu:

$$V = M + K - H_k \dots (15)$$

Führt man die Werte von M und H_k aus Gleichung (10) und (5) in vorstehende Gleichung (15) ein, so wird:

$$\begin{aligned} V &= (1 + \mu) \beta K + K - \beta K \\ &= (1 + \mu \beta) K \dots (16) \end{aligned}$$

woraus sich ergibt:

$$K = \frac{V}{1 + \mu \beta} \dots (17)$$

Aus Gleichungen (13) und (17) folgt:

$$S = \frac{(1 + \mu) \beta}{(1 + \mu \alpha) \cdot (1 + \mu \beta)} V \dots (18)$$

Setzt man den Wert von S aus Gleichung (18) in Gleichung (7) ein, so erhält man:

$$C = \frac{(1 + \mu)^2 \alpha \beta}{(1 + \alpha \mu) \cdot (1 + \beta \mu)} V \dots (19)$$

Die Gleichungen (11) und (14) geben Aufschluß über das zweckmäßige Mischungsverhältnis bei den gegebenen Hohlräumen α und β und bei gegebenem Verkittungsgrad μ .

Mit Hilfe der Gleichungen (19), (18) und (17) lassen sich die Zement-, Sand- und Kiesmengen bestimmen, die erforderlich sind, um eine Raumeinheit V rationellen Betons zu ergeben. Mit anderen Worten, die Ausbeute der Betonmaterialien bei zweckmäßigem Mischungsverhältnis ist durch letztere drei Gleichungen gegeben.

Die Festigkeit eines hydraulischen Baustoffs, der nach vorstehenden Gesichtspunkten gemischt und hergestellt wurde, wächst mit dem Verkittungsgrade μ . Mit dem Zwecke, zu welchem man den hydraulischen Baustoff verwenden will, wechselt auch der Verkittungsgrad μ .

Es empfiehlt sich zu nehmen:

Bei Stampfbeton für Fundamente . .	$\mu = 0,10 = 10$	vH.
„ „ „ aufgehendes Mauerwerk . .	$\mu = 0,15 = 15$	„
„ Eisenbeton, starke Querschnitte .	$\mu = 0,20 = 20$	„
„ „ schwache „ . .	$\mu = 0,25 = 25$	„

Faßt man in Gleichung (11) die Größen $\frac{S}{C}$ und α als zugehörige Veränderliche auf und trägt man auf ein rechtwinkliges Achsenkreuz die Werte von $\frac{S}{C}$ auf, die den verschiedenen Werten von α entsprechen, so erhält man für jeden Wert des Verkittungsgrades μ je eine Kurve, welche für die verschiedenen Werte der Hohlräume α im Sande die zu 1 Raumteil Zement erforderlichen Raumteile Sand angeben. Diese Kurven sind Hyperbeln, deren Asymptoten die Koordinatenachsen sind.

Verfährt man in derselben Weise mit Gleichung (14) indem man $\frac{K}{C}$ und die Hohlräume des Sandes α als zugehörige Veränderliche ansieht und die zueinander gehörenden Werte von $\frac{K}{C}$ und α ebenfalls auf ein Achsenkreuz aufträgt, so erhält man für jeden Wert von μ und für die verschiedenen Werte β der Hohlräume im Steinmaterial je eine Kurve, die bei gegebenen Hohlräumen des Sandes (α) und der Steine (β) für bestimmte Verkittungsgrade μ die Raumteile Steinmaterial für 1 Raumteil Zement ergeben.

Gleichung (14) mit $\frac{K}{C}$ und α als zugehörige Veränderliche stellt ebenfalls eine Hyperbel dar.

In nachstehenden Tabellen sind für verschiedene Werte von α , β und μ die Rechnungsergebnisse der zugehörigen Werte von $\frac{S}{C}$ und $\frac{K}{C}$, d. i. die Anzahl der Raumteile von Sand und Steinen auf 1 Raumteil Zement zusammengefaßt. Ebendasselbst sind die Mengen an Zement, Sand und Steinen

angegeben, die erforderlich sind, um 1 cbm Beton zu ergeben. Diese Mengen sind mit Hilfe der Gleichungen (19), (18) und (17) ausgerechnet. Dabei wurde als Raumgewicht für den Zement 1,4 angenommen, d. i. 1 cbm Zement, lose geschüttet, so wie er auf der Baustelle verwendet wird, wiegt 1400 kg.

Die Rechnungsergebnisse, welche in vorstehenden Tabellen enthalten sind, werden auch in nachstehenden Diagrammen I, II, III und IV graphisch wiedergegeben. Letztere bieten den Vorteil der Uebersichtlichkeit und der Stetigkeit der gewünschten Resultate, d. i. man kann mit Hilfe dieser Diagramme nicht nur die in den Tabellen ausgerechneten Werte wiederfinden, sondern auch die dazwischen liegenden Werte von C , S , K , $\frac{S}{C}$ und $\frac{K}{C}$ unmittelbar ablesen. Der Gebrauch der Diagramme bedarf wohl kaum einer näheren Erläuterung. Die Hohlräume im Sand sind jeweilen in vH. als Ordinaten auf der senkrechten Achse aufgetragen. Die Sandkurve und die Kurven des Steinmaterials verschiedener Hohlräume geben, durch ihre Abszissen, die Raumteile an Sand bzw. Steinmaterial, bezogen auf 1 Raumteil Zement, $\left(\frac{S}{C} \text{ und } \frac{K}{C}\right)$ für jeden Wert der Hohlräume — α — im Sand (Ordinate).

Ferner geben die Zementkurven durch ihre Abszissen im zweiten Teil der Diagramme in Kilogramm und in Liter den Bedarf an Zement für 1 cbm Beton bei gegebener Ordinate — α — (Hohlräume im Sand) und entsprechend den gegebenen Hohlräumen im Steinmaterial — β , welche direkt über den Zementkurven eingeschrieben sind. Den Bedarf an Sand und Steinen erhält man, indem man den auf dem zweiten Teil des Diagramms abgelesenen Zementbedarf in Liter mit dem im ersten Teil des Diagramms abgelesenen $\frac{S}{C}$ und $\frac{K}{C}$ multipliziert.

Beispiel: Es sind Säulen aus Eisenbeton herzustellen. Der zur Verfügung stehende Sand enthält $\alpha = 35$ vH. Hohlräume und der Kies $\beta = 50$ vH. Hohlräume.

I. Stampfbeton für Fundamente. $\mu = 10$ vH.

Hohl- räume im Sand α vH.	Raumteile Sand für 1 Raumteil Zement $S : C$		Raumteile Steine für 1 Raumteil Zement $\left(\frac{K}{C}\right)$, sowie Materialbedarf an Zement — C — in kg, Sand — S — in m^3 und Steinmaterial — K — in m^3 für 1 m^3 Beton, wenn die Hohlräume — β — im Steinmaterial in vH. betragen:												
	$\beta = 30$		$\beta = 35$				$\beta = 40$				$\beta = 45$				$\beta = 50$
	$\frac{K}{C} = 18,65$		16,00				14,00				12,42				11,18
	C	S	K	C	S	K	C	S	K	C	S	K	C	S	K
	kg	m^3	m^3	kg	m^3	m^3	kg	m^3	m^3	kg	m^3	m^3	kg	m^3	m^3
15	6,06	73	0,315	84	0,365	0,966	96	0,416	0,960	108	0,467	0,957	119	0,515	0,952
20	4,55	14,05	11,75	115	0,373	0,966	128	0,414	0,960	143	0,465	0,957	158	0,501	0,952
25	3,64	11,29	9,68	140	0,363	0,966	159	0,410	0,960	178	0,462	0,957	197	0,510	0,952
30	3,03	9,45	8,12	167	0,360	0,966	190	0,410	0,960	213	0,460	0,957	235	0,510	0,952
35	2,60	8,14	6,97	194	0,360	0,966	220	0,409	0,960	248	0,459	0,957	274	0,507	0,952
40	2,27	7,15	6,14	220	0,357	0,966	250	0,405	0,960	280	0,455	0,957	310	0,503	0,952
45	2,02	6,40	5,48	247	0,356	0,966	280	0,404	0,960	314	0,452	0,957	347	0,501	0,952

II. Stampfbeton für aufgehendes Mauerwerk. $\mu = 15$ vH.

Hohl- räume im Sand α vH.	Raumteile Sand für i Raumteil Zement $S : C$	Raumteile Steine für i Raumteil Zement $\left(\frac{K}{C}\right)$, sowie Materialbedarf an Zement — C — in kg, Sand — S — in m ³ und Steinmaterial — K — in m ³ für i m ³ Beton, wenn die Hohlräume — β — im Steinmaterial in vH. betragen:																													
		$\beta = 30$			$\beta = 35$			$\beta = 40$			$\beta = 45$			$\beta = 50$																	
15	5,79	$\frac{K}{C} = 17,20$						12,85						11,42						10,30											
		C	S	K	C	S	K	C	S	K	C	S	K	C	S	K	C	S	K	C	S	K									
		kg	m ³	m ³	kg	m ³	m ³	kg	m ³	m ³	kg	m ³	m ³	kg	m ³	m ³	kg	m ³	m ³	kg	m ³	m ³									
		78	0,322	0,957	91	0,374	0,950	103	0,426	0,944	115	0,474	0,936	127	0,523	0,930															
20	4,34	12,97						11,10						9,73						8,65						7,78					
		103	0,320	0,957	120	0,371	0,950	136	0,421	0,944	152	0,470	0,936	168	0,518	0,930															
25	3,48	10,45						8,96						7,83						6,97						6,27					
		128	0,318	0,957	149	0,368	0,950	169	0,420	0,944	188	0,466	0,936	208	0,516	0,930															
30	2,90	8,78						7,52						6,59						5,86						5,27					
		153	0,316	0,957	177	0,366	0,950	201	0,416	0,944	224	0,463	0,936	247	0,512	0,930															
35	2,48	7,58						6,50						5,68						5,05						4,55					
		177	0,313	0,957	205	0,363	0,950	233	0,412	0,944	260	0,459	0,936	286	0,507	0,930															
40	2,17	6,67						5,72						5,00						4,44						4,00					
		201	0,312	0,957	232	0,360	0,950	265	0,411	0,944	295	0,457	0,936	326	0,506	0,930															
45	1,93	5,97						5,12						4,48						3,98						3,58					
		225	0,310	0,957	260	0,358	0,950	295	0,407	0,944	329	0,453	0,936	364	0,501	0,930															

III. Eisenbeton für Bauteile mit starken Abmessungen. $\mu = 20$ vH.

Hohl- räume im Sand α vH.	Raumteile Sand für I Raumteil Zement $S : C$		Raumteile Steine für I Raumteil Zement $\left(\frac{K}{C}\right)$, sowie Materialbedarf an Zement — C — in kg, Sand — S — in m^3 und Steinmaterial — K — in m^3 für I m^3 Beton, wenn die Hohlräume — β — im Steinmaterial in vH. betragen:														
	$\beta = 30$		$\beta = 35$		$\beta = 40$		$\beta = 45$		$\beta = 50$								
15	$\frac{K}{C} = 15,85$		13,60		11,89		10,58		9,52								
	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	
	kg	m^3	kg	m^3	kg	m^3	kg	m^3	kg	m^3	kg	m^3	kg	m^3	kg	m^3	
	83	0,330	0,943	96	0,381	0,934	109	0,432	0,926	122	0,482	0,917	134	0,530	0,909		
20	4,17	12,13		10,40		9,10		8,10		7,28							
	109	0,325	0,943	126	0,375	0,934	143	0,425	0,926	159	0,472	0,917	175	0,521	0,909		
25	3,33	9,73		8,34		7,30		6,49		5,83							
	136	0,323	0,943	157	0,373	0,934	178	0,422	0,926	198	0,470	0,917	219	0,520	0,909		
30	2,78	8,18		7,01		6,13		5,46		4,91							
	162	0,321	0,943	187	0,371	0,934	212	0,420	0,926	236	0,467	0,917	260	0,516	0,909		
35	2,38	7,06		6,06		5,30		4,70		4,24							
	187	0,318	0,943	216	0,367	0,934	245	0,417	0,926	274	0,465	0,917	300	0,511	0,909		
40	2,08	6,23		5,35		4,68		4,16		3,74							
	212	0,315	0,943	245	0,363	0,934	277	0,412	0,926	309	0,459	0,917	340	0,506	0,909		
45	1,85	5,60		4,80		4,20		3,73		3,36							
	236	0,312	0,943	273	0,360	0,934	309	0,408	0,926	344	0,455	0,917	379	0,501	0,909		

IV. Eisenbeton für Bauteile mit geringen Abmessungen, Pfähle und Spundbohlen.

$\mu = 25$ vH.

Raumteile Steine für 1 Raumteil Zement $\left(\frac{K}{C}\right)$, sowie Materialbedarf an Zement — C — in kg, Sand — S — in m^3 und Steinmaterial — K — in m^3 für 1 m^3 Beton, wenn die Hohlräume — β — im Steinmaterial in vH. betragen:

Hohl- räume im Sand α vH	Raumteile Sand für 1 Raumteil Zement $S : C$	Raumteile Steine für 1 Raumteil Zement $\left(\frac{K}{C}\right)$, sowie Materialbedarf an Zement — C — in kg, Sand — S — in m^3 und Steinmaterial — K — in m^3 für 1 m^3 Beton, wenn die Hohlräume — β — im Steinmaterial in vH. betragen:									
		$\beta = 30$		$\beta = 35$		$\beta = 40$		$\beta = 45$		$\beta = 50$	
15	5,33	$\frac{K}{C} = 14,75$		12,62		11,05		9,82		8,84	
		C kg	S m^3	C kg	S m^3	C kg	S m^3	C kg	S m^3	C kg	S m^3
20	4,00	88	0,336	102	0,388	115	0,438	128	0,487	141	0,535
25	3,20	116	0,332	134	0,384	152	0,434	168	0,482	185	0,528
30	2,67	143	0,327	165	0,377	188	0,428	208	0,476	228	0,522
35	2,28	170	0,324	196	0,372	222	0,422	246	0,469	271	0,515
40	2,00	196	0,320	227	0,370	257	0,419	285	0,465	313	0,511
45	1,78	222	0,316	256	0,365	290	0,414	321	0,458	353	0,504

Gesucht wird:

1. Das zweckmäßige Mischungsverhältnis.
2. Der Bedarf an Zement, Sand und Kies für 1 cbm fertigen Beton.

Hierfür ist Diagramm IV mit $\mu = 25$ vH. zu benutzen. Man bestimmt auf der Ordinatenachse den Wert $\alpha = 35$ und zieht durch diesen Punkt eine Parallele zur Abszissenachse. Der Schnittpunkt letzterer mit der Sandkurve gibt die Abszisse 2,28, mit der Kurve für Steinmaterial mit $\beta = 50$ vH., die Abszisse 3,97 und mit der Zementkurve für $\beta = 50$ vH., 313 kg = 224 Liter. Demnach ist:

1. Das zweckmäßige Mischungsverhältnis für diesen Fall:
1 Raumteil Zement : 2,28 Raumteilen Sand : 3,97 Raumteilen Kies.

2. Der Bedarf für 1 cbm fertigen Beton beträgt:
 - a) an Zement **313** kg = 224 Liter
 - b) an Kies $224 \cdot 3,97 = 888$ Liter = 0,888 cbm
 - c) an Sand $224 \cdot 2,28 = 510$ Liter = 0,510 cbm

Zweckmäßige Mörtelmischungen.

Hierunter fallen nicht nur die Mörtelmischungen, sondern auch die Betonmischungen, bestehend aus 1 Raumteil Zement und n Raumteilen sogenanntem Betonkies, wie solcher aus manchen Kiesgruben unmittelbar gewonnen wird und der das erforderliche Quantum Sand in sich bereits enthält.

Dieser ist ein Sonderfall des vorhin erörterten Themas. Bezeichnet man wie dort in Raumeinheiten mit:

C die Zementmenge,

K die Sand- bzw. Kiesmenge,

V die Menge des aus C und K erzeugten Mörtels bzw. Betons, ferner mit

γ die Hohlräume im Sand bzw. Kies

μ den Verkittungsgrad,

so gelangt man auf ähnlichem Wege wie dort zu:

$$\frac{K}{C} = \frac{1}{\gamma \cdot (1 + \mu)} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (20)$$

V. $\mu = 10$ vH.

Hohlräume α in	15	20	25	30	35	40	45	50	vH.
Raumteile Kies $\frac{K}{C}$									R. T.
I R. T. Zement	6,07	4,53	3,64	3,03	2,60	2,27	2,02	1,82	
Kiesbedarf für 1 m ³ Beton bezw. Mörtel	0,985	0,980	0,975	0,970	0,965	0,960	0,956	0,951	m ³
Zementbedarf für 1 m ³ Beton bezw. Mörtel	227	303	375	447	520	592	662	733	kg

VI. $\mu = 15$ vH.

Raumteile Kies $\frac{K}{C}$									R. T.
I R. T. Zement	5,79	4,33	3,47	2,90	2,48	2,17	1,93	1,74	
Kiesbedarf für 1 m ³ Beton bezw. Mörtel	0,977	0,970	0,962	0,956	0,949	0,943	0,936	0,930	m ³
Zementbedarf für 1 m ³ Beton bezw. Mörtel	237	314	388	462	537	610	678	748	kg

VII. $\mu = 20$ vH.

Raumteile Kies $\frac{K}{C}$									R. T.
I R. T. Zement	5,56	4,17	3,33	2,77	2,38	2,08	1,85	1,66	
Kiesbedarf für 1 m ³ Beton bezw. Mörtel	0,970	0,961	0,952	0,943	0,933	0,926	0,917	0,909	m ³
Zementbedarf für 1 m ³ Beton bezw. Mörtel	245	323	400	477	550	624	694	765	kg

VIII. $\mu = 25$ vH.

Raumteile Kies $\frac{K}{C}$									R. T.
I R. T. Zement	5,33	4,00	3,20	2,67	2,29	2,00	1,78	1,60	
Kiesbedarf für 1 m ³ Beton bezw. Mörtel	0,962	0,952	0,940	0,930	0,920	0,909	0,898	0,890	m ²
Zementbedarf für 1 m ³ Beton bezw. Mörtel	253	333	412	487	562	638	707	777	kg

$$K = \frac{V}{1 + \gamma \mu} \dots \dots \dots (21)$$

$$C = \frac{\gamma(1 + \mu)}{1 + \gamma \mu} V \dots \dots \dots (22)$$

Gleichung (20) entspricht der Gleichung (11), Gleichung (21) der Gleichung (17) und Gleichung (22) erhält man aus den Gleichungen (11) und (16), wenn $\alpha = \beta = \gamma$ und $S = K$.

Gleichung (20) gibt das zweckmäßige Mischungsverhältnis, Gleichungen (21) und (22) den Bedarf an Kies und Zement für die Raumeinheit V des Mörtels oder Betons an.

In umstehenden Tabellen sind für verschiedene Werte von γ und μ die zugehörigen Werte von $\frac{K}{C}$, K und C eingetragen.

Die Rechnungsergebnisse der Tabellen V, VI, VII und VIII sind durch die Diagramme V, VI, VII und VIII ebenfalls graphisch zusammengefaßt. Die Anwendung dieser Diagramme erfolgt genau wie bei den Diagrammen I, II, III und IV.

Versuchsergebnisse.

Einige Versuche haben die theoretischen Erörterungen bestätigt.

1. Versuch. 6 Probewürfel von 10 cm Seitenlänge wurden am selben Tage und aus gleichen Betonmaterialien hergestellt. 2 Liter von dem zur Verfügung stehenden Sand haben 3820 g gewogen. Die Hohlräume im Sand ergeben sich somit nach Gleichung (3) zu

$$1 - \frac{3,82}{2 \cdot 2,65} = 0,28 = 28 \text{ vH.}$$

Ein 2 Litergefäß, das mit dem zur Verfügung stehenden Kies gefüllt wurde, faßte noch 800 g Wasser, so daß die Hohlräume im Kies

$$\frac{0,8}{2} = 0,4 = 40 \text{ vH.}$$

betragen.

Nach Diagramm III ($\mu = 20$ vH.) z. B. ergibt sich für diese Verhältnisse ein zweckmäßiges Mischungsverhältnis von 1 : 3 : 6,6.

Drei der 6 Probewürfel wurden nach diesem Mischungsverhältnis hergestellt, während die anderen 3 Probewürfel die Mischung 1 : 2,5 : 6 erhielten.

Zu den ersten 3 Würfeln wurden 6 kg Zement verbraucht, während für die letzteren 3 6,55 kg Zement nötig waren. Sämtliche Probewürfel haben die ersten 48 Stunden unter Wasser abgebunden und dann bis zum Alter von 28 Tagen in der Luft.

Vorgenommene Druckversuche nach 28 Tagen ergaben für die 3 Würfel der Mischung 1 : 3 : 6,6 eine durchschnittliche Druckfestigkeit von 128,4 kg/qcm und für die 3 Würfel der Mischung 1 : 2,5 : 6 nur 103,7 kg/qcm, trotzdem bei diesen der Zementverbrauch erheblich größer war (etwa 28 kg/cbm mehr) als bei den ersteren.

2. Versuch. Hierbei wurden ebenfalls 6 Probewürfel hergestellt. 2 Liter von dem zur Verfügung stehenden Sand hatten 3980 g, so daß die Hohlräume nach Gleichung (3) sich zu

$$1 - \frac{3,980}{2 \cdot 2,65} = 0,25 = 25 \text{ vH.}$$

ergaben.

In dem 2 Litergefäß voll Versuchskies konnten noch 700 g Wasser aufgefüllt werden, somit die Hohlräume im Kies

$$\frac{0,700}{2} = 0,35 = 35 \text{ vH.}$$

Nach Diagramm II ($\mu = 15$ vH.) z. B. ergibt sich hierfür ein Mischungsverhältnis von 1 : 3,5 : 8,9.

Drei Probewürfel von 10 cm Seitenlänge wurden nach diesem Mischungsverhältnis eingestampft, wobei 4,47 kg Zement verbraucht wurden, die andern 3 Würfel erhielten eine Mischung von 1 : 2,5 : 8 und erforderten 5,19 kg Zement. Nachdem diese 6 Probekörper die ersten 48 Stunden unter Wasser und dann in der Luft erhärteten, wurden sie nach 28 Tagen geprüft.

Die Probekörper der Mischung 1:3,5:8,9 wiesen eine durchschnittliche Druckfestigkeit von 96,7 kg/qcm, während die Probekörper der Mischung 1:2,5:8 nur 88,4 kg/qcm durchschnittliche Druckfestigkeit ergaben, trotzdem hierbei der Zementverbrauch um 24 kg/cbm größer war.

3. Versuch. Es standen zwei Sorten Betonkies zur Verfügung:

Kies A, dessen Hohlräume zu 28 vH. und

Kies B, „ „ „ 42 „

ermittelt wurden.

Mit Kies A sind nach Diagramm VI 3 Probekörper von 10 cm Seitenlänge im Mischungsverhältnis 1:3,1 hergestellt. Andere 3 Probewürfel wurden mit Kies B im Mischungsverhältnis 1:2,5 eingestampft.

Bei den ersten 3 Probekörpern wurden 13 kg Zement verbraucht und bei den letzteren 3 17,16 kg. Nach 28 Tagen vorgenommene Druckversuche ergaben:

Für die Probekörper mit Kies A 253,37 kg/qcm

„ „ „ „ „ B 215,53 „

durchschnittliche Druckfestigkeit.

Nach Diagramm VI hätte das Mischungsverhältnis der Probekörper mit Kies B zu 1:2 gewählt werden müssen und hätte alsdann eine höhere Festigkeit als die Versuchskörper der Mischung 1:3,1 (Kies A) aufgewiesen.

Aus diesen 3 Versuchsergebnissen geht zur Genüge hervor, wie wichtig es ist, die Hohlräume der Betoneinzelstoffe (Kies und Sand) vorher zu bestimmen, um darnach das jeweilige Mischungsverhältnis anzupassen. Die Versuchsergebnisse beweisen ferner, daß mit der dichteren Lagerung der Einzelstoffe ineinander die Druckfestigkeit des Betons zunimmt.

III. Ausbeute bei Herstellung hydraulischer Baustoffe.

Wird 1 Raumteil Zement mit m Raumteilen Sand und n Raumteilen Kies oder Schotter zu hydraulischem Baustoff verarbeitet, so entstehen nach Hinzufügung der erforderlichen Wassermenge p Raumteile hydraulischen Baustoffs. Da aber die einzelnen Bestandteile — Zement, Sand und Kies — Hohl-

räume enthalten, so füllen ganz oder teilweise die Körner der einen die Hohlräume der anderen Bestandteile aus. Außerdem ist das Gemisch von Zement, Sand und Kies in den meisten Fällen auch noch stampffähig, d. h. der Abstand der einzelnen Körner wird durch das Stampfen verringert. Aus diesen Gründen ist immer das Volumen p des hergestellten hydraulischen Baustoffs kleiner als die Summe der Raumteile $1 + m + n$ seiner einzelnen Bestandteile. Das Verhältnis

$$k = \frac{p}{1 + m + n} \quad \dots \quad (23)$$

nennt man Ausbeutekoeffizient oder kurz Ausbeute.

Von denselben Faktoren, von welchen die Güte des hydraulischen Baustoffs abhängig ist, hängt auch die Ausbeute desselben ab. Die Kenntnis des Ausbeutekoeffizienten k ist aber von großer Wichtigkeit, weil nur mit Hilfe dieser Zahl der Bedarf an Zement, Sand und Kies bei gegebenem Mischungsverhältnis sich bestimmen läßt.

Nach dem vorhin erörterten bleibt die Ausbeute eine Erfahrungszahl, welche nur durch direkte Versuche von Fall zu Fall genau ermittelt werden kann.

Andererseits aber kann man annehmen, daß der Zement und das Wasser mit Bezug auf die Güte des hydraulischen Baustoffs, zu welchem sie verarbeitet werden, von unveränderlichen Eigenschaften bleiben, so daß die Ausbeute nur noch von dem Sand- und Steinmaterial abhängiger Faktor bleibt, und zwar von der Korngröße und von den Hohlräumen desselben. Da aber die Ermittlung der Materialmengen bei gegebenem Mischungsverhältnis, sowohl bei Verdingungen als auch für die Beschaffung der Einzelstoffe auf der Baustelle, eine sehr wichtige Frage ist, so muß man zu Durchschnittswerten für den Ausbeutekoeffizienten greifen, d. h. man muß voraussetzen, daß die Korngröße des Sand- und Steinmaterials, die Hohlräume desselben sowie die Art der Verarbeitung dieser Bestandteile zu hydraulischem Baustoff unveränderlich den gedachten Durchschnittswert haben.

Als guter Wert für die Durchschnittszahl der Ausbeute sämtlicher zu hydraulischem Baustoff verarbeiteten Materialien,

das Wasser inbegriffen, kann man bei der Zahl $k = 0,60$ stehen bleiben.

Die Wassermenge, die zum Nässen des Sand- und Steinmaterials, zum Ausfüllen der Hohlräume im Zement sowie zum chemischen Abbindeprozeß erforderlich ist, beträgt im Durchschnitt 25 vH. von den Raumteilen der Bestandteile $(1 + m + n)$, so daß die Gesamtanzahl Raumteile der losen Materialien, die zu hydraulischem Baustoff verarbeitet werden sollen, einschließlich des Wassers, sich wie folgt berechnet:

Zement	1	Raumteil
Sand	m	„
Kies	n	„
Wasser	$0,25 \cdot (1 + m + n)$	„
Zusammen	$1 + m + n + 0,25 (1 + m + n)$	Raumteile
	$= 1,25 (1 + m + n)$.	

Das Volumen des damit hergestellten hydraulischen Baustoffs beträgt laut Gleichung (23)

$$p = 0,60 \cdot 1,25 \cdot (1 + m + n) \\ = 0,75 \cdot (1 + m + n) \quad \dots \quad (24)$$

Gleichung (24) zeigt, daß, wenn man das Wasser nicht mitrechnet, die Ausbeutezahl 0,75 im Durchschnitt beträgt.

Ist die Ausbeute k bekannt, so stellt sich der Bedarf an Zement, Sand und Kies für 1 Raumeinheit V hydraulischen Baustoffs laut Gleichung (23) zu

$$\text{Zement:} \quad C = \frac{V}{k \cdot (1 + m + n)} \cdot 1 \quad \dots \quad (25)$$

$$\text{Sand:} \quad S = \frac{V}{k \cdot (1 + m + n)} \cdot m \quad \dots \quad (26)$$

$$\text{Kies:} \quad K = \frac{V}{k \cdot (1 + m + n)} \cdot n \quad \dots \quad (27)$$

Beispiel: Wie groß ist der Bedarf an Zement und Sand für 1 cbm Mörtel der Mischung 1 : 3?

Laut Gleichung (25) und (26) mit

$$V = 1,00 \text{ cbm, } k = 0,75 \text{ cbm, } m = 3 \text{ und } n = 0$$

wird

$$C = \frac{1,00}{0,75(1+3)} = 0,333 \text{ cbm} = 0,333 \cdot 1400 = 465 \text{ kg}$$

$$S = \frac{1,00}{0,75(1+3)} \cdot 3 = 1,00 \text{ cbm.}$$

Setzt man in Gleichung (25) und (26)

$$V = 1,00, k = 0,75 \text{ und } n = 0,$$

so gehen diese über in

$$C = \frac{1,333}{1+m} \cdot 1 \dots \dots \dots (28)$$

$$S = \frac{1,333}{1+m} \cdot m \dots \dots \dots (29)$$

Formeln (28) und (29) ergeben folgende einfache praktische Regel für die Bestimmung des Materialbedarfs für 1 cbm Mörtel oder Beton der Mischung 1 Raumteil Zement zu m Raumteilen Sand bzw. Kies: „Die erforderliche Zementmenge für 1 Volumeneinheit Mörtel oder Beton der Mischung 1 Zement zu m Sand bzw. Kies erhält man, indem man die konstante Zahl $1,333 = \text{rd. } 1,35$ durch die Gesamtzahl Raumteile $1+m$ dividiert“.

Die entsprechende Sand- bzw. Kiesmenge ergibt sich aus dem Verhältnis:

$$\frac{\text{Sand bzw. Kies}}{\text{Zement}} = \frac{m}{1}$$

Beispiel: Es soll der Materialbedarf für 1 cbm Mörtel der Mischung 1 : 4 bestimmt werden.

Nach obiger Regel ist:

$$\text{Zement: } C = \frac{1,35}{1+4} = 0,27 \text{ cbm}$$

$$\text{Sand: } S = 4 \cdot C = 4 \cdot 0,27 = 1,08 \text{ cbm.}$$

Formeln (28) und (29), aus welchen vorerwähnte Regel hergeleitet wurde, zeigen, daß die Gesamtmenge der Bestandteile, d. i. Zement und Sand bzw. Kies, welche zur Herstellung eines Kubikmeters Mörtel bzw. Beton erforderlich ist, $1,333 = \text{rd. } 1,35$ cbm beträgt.

Beispiel: Welches ist der Materialbedarf für 1 cbm Beton der Mischung 1,47 Raumteile Zement zu 5,3 Raumteilen Kies?

$$\text{Zement: } C = \frac{1,35}{1,47 + 5,3} \cdot 1,47 = 0,293 \text{ cbm}$$

$$\text{Kies: } K = 0,293 \cdot \frac{5,3}{1,47} = 1,057 \text{ cbm}$$

$$\text{oder } K = 1,35 - 0,293 = 1,057 \text{ cbm}$$

$$\text{oder } K = \frac{1,35}{1,47 + 5,3} \cdot 5,3 = 1,057 \text{ cbm.}$$

Der Materialbedarf für 1 cbm hydraulischen Baustoffs für verschiedene Mörtel- bzw. Betonmischungen der Form 1 Zement zu *m* Sand bzw. Kies ist auf Grund der Konstanten 1,35 nach der vorhin erwähnten Regel in nachstehender Tabelle zusammengefaßt:

Tabelle A.

Materialbedarf für 1 m³ hydraulischen Baustoffs bei einem Mischungsverhältnis der Form 1 : *m*.

Mischungsverhältnis	Materialbedarf für 1 m ³ Mörtel bzw. Beton		Mischungsverhältnis	Materialbedarf für 1 m ³ Mörtel bzw. Beton	
	Zement kg	Sand bzw. Kies m ³		Zement kg	Sand bzw. Kies m ³
1 : 1	944	0,675	1 : 8,5	199	1,21
1 : 1,5	755	0,810	1 : 9	188	1,21
1 : 2	630	0,90	1 : 9,5	180	1,22
1 : 2,5	540	0,96	1 : 10	171	1,23
1 : 3	472	1,01	1 : 11	157	1,24
1 : 3,5	420	1,05	1 : 12	145	1,25
1 : 4	376	1,08	1 : 13	135	1,25
1 : 4,5	343	1,10	1 : 14	126	1,26
1 : 5	314	1,12	1 : 15	118	1,27
1 : 5,5	290	1,14	1 : 16	111	1,27
1 : 6	270	1,16	1 : 17	105	1,28
1 : 6,5	252	1,17	1 : 18	99	1,28
1 : 7	235	1,18	1 : 19	94	1,28
1 : 7,5	222	1,19	1 : 20	90	1,29
1 : 8	210	1,20			

Formeln (25), (26) und (27) geben bei einem Ausbeutekoeffizienten $K = 0,75$ den Materialbedarf bei Betonmischungen der Form: 1 Zement : m Sand : n Kies. Mit Rücksicht aber auf die verschiedenen Materialverluste, welche auf der Baustelle unvermeidlich sind, empfiehlt es sich, vom Nenner der genannten Formeln die Anzahl Raumteile Zement nicht zu berücksichtigen und den Faktor

$$\frac{V}{k} = \frac{1,00}{0,75}$$

mit rd. 1,35 anzunehmen, so daß der Materialbedarf für 1 cbm fertigen Beton durch nachstehende Formeln gegeben ist.

$$\text{Zement:} \quad C = \frac{1,35}{m + n} \cdot 1 \quad . \quad . \quad . \quad (30)$$

$$\text{Sand:} \quad S = \frac{1,35}{m + n} \cdot m \quad . \quad . \quad . \quad (31)$$

$$\text{Kies:} \quad K = \frac{1,35}{m + n} \cdot n \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

Aus Formeln (30), (31) und (32) ist ersichtlich, daß die erforderliche Menge an Zusatzmaterial (Sand + Kies) für 1 cbm Beton, 1,35 cbm beträgt und daraus kann man nachstehende, praktisch einfache Regel herleiten:

„Die erforderliche Zementmenge für 1 Volumeneinheit Beton der Mischung 1 Zement : m Sand : n Kies erhält man, indem man die konstante Zahl 1,35 durch die Anzahl Raumteile des Zusatzmaterials $m + n$ dividiert.“
Die entsprechende Sand- bzw. Kiesmenge ergibt sich aus:

$$\frac{S}{C} = \frac{m}{1}, \quad \frac{K}{C} = \frac{n}{1}$$

Beispiel: Es soll der Materialbedarf für 1 cbm Beton der Mischung 1 : $2\frac{1}{2}$: $3\frac{3}{4}$ ermittelt werden.

Nach obiger Regel ist:

$$C = \frac{1,35}{2,5 + 3,75} = 0,216 \text{ cbm} = 0,216 \cdot 1400 = 303 \text{ kg}$$

$$S = 2,50 \cdot 0,216 = 0,54 \text{ cbm}$$

$$K = 3,75 \cdot 0,216 = 0,81 \text{ „}$$

Zur Kontrolle: $S + K = 1,35$ cbm.

Beispiel: Wie stellt sich der Materialbedarf für 1 cbm Beton der Mischung: 0,85 : 1,73 : 3,56?

$$C = \frac{1,35}{1,73 + 3,56} \cdot 0,85 = 0,217 \text{ cbm} = 0,217 \cdot 1400 = 305 \text{ kg}$$

$$S = 0,217 \cdot \frac{1,73}{0,85} = 0,443 \text{ cbm}$$

$$K = 0,217 \cdot \frac{3,56}{0,85} = 0,443 \cdot \frac{3,56}{1,73} = 0,907 \text{ „}$$

$$S + K = \text{Zusatzmaterial} = \underline{\underline{1,350}} \text{ cbm}$$

zur Kontrolle.

Wie bereits an anderer Stelle gesagt wurde, ist der Beton gut, wenn er tunlichst satt ist, das ist, wenn die Hohlräume in dem grobkörnigen Material — Kies oder Schotter (Kleinschlag) — durch das feinkörnige Material — Sand und Bindestoff — ausgefüllt sind. Diese Bedingung wird annähernd erfüllt, wenn man, bei Verwendung von Kies, die Anzahl Raumteile Kies doppelt so groß wie die des Sandes und bei Verwendung von Schotter die Anzahl Raumteile Schotter $1\frac{1}{2}$ fach so groß wie die des Sandes nimmt.

Darnach unterscheidet man: Kiesbeton bei welchem das Mischungsverhältnis von der Form 1 Zement : q Sand : 2 q Kies gewählt werden muß und Schotter- oder Kleinschlagbeton, bei welchem das Mischungsverhältnis 1 Zement : r Sand : 1,5 r Schotter genommen werden muß, um satten Beton zu bekommen.

Steht uns ein Kiesmaterial zur Verfügung, welches Sand in seinen Hohlräumen bereits enthält, so läßt sich durch Aussieben das Verhältnis zwischen Kies und Sand feststellen und darnach das noch fehlende Material (Sand oder Kiesel) zwecks Erreichung des gewünschten Mischungsverhältnisses bestimmen.

Wird nun bei Verwendung von Kies zur Betonbereitung das Mischungsverhältnis in der Form 1 : q : 2 q gewählt, so berechnet sich der Bedarf an Sand und Kies für 1 cbm Beton nach Formeln (31) und (32) zu:

$$S = \frac{1,35}{m+n} \cdot m = \frac{1,35}{q+2q} \cdot q = \frac{1,35}{3} = \mathbf{0,45} \text{ cbm} \quad (33)$$

$$K = 2 S = 2 \cdot 0,45 = \mathbf{0,90} \text{ cbm} \quad (34)$$

und der Bedarf an Zement berechnet sich dann aus:

$$C = \frac{0,45}{q} \quad (35)$$

Bei Verwendung von Schotter soll das Mischungsverhältnis in der Form $1 : r : 1,5 r$ gewählt werden, so daß der Bedarf an Sand und Schotter nach denselben Formeln (31) und (32) sich wie folgt berechnet:

$$S = \frac{1,35}{m+n} m = \frac{1,35}{r+1,5r} \cdot r = \frac{1,35}{2,5r} \cdot r = 0,54 \text{ cbm} \quad (36)$$

$$K = 1,5 S = 1,5 \cdot 0,54 = 0,81 \text{ cbm} \quad (37)$$

und der Bedarf an Zement berechnet sich dann aus:

$$C = \frac{0,54}{r} \quad (38)$$

Beispiel: Wie stellt sich der Materialbedarf für 1 cbm Kiesbeton der Mischung $1 : 3 : 6$?

$$C = \frac{0,45}{3} = 0,150 \text{ cbm} = 0,15 \cdot 1400 = 210 \text{ kg} \\ \text{(laut Formel (35))}$$

$$S = 0,45 \text{ cbm}$$

$$K = 0,90 \text{ cbm.}$$

Beispiel: Es soll der Materialbedarf für 1 cbm Schotterbeton der Mischung $1 : 5 : 7\frac{1}{2}$ ermittelt werden.

Laut Formeln (36), (37) und (38) ist:

$$S = 0,54 \text{ cbm}$$

$$K = 0,81 \quad ,,$$

$$C = \frac{0,54}{5} = 0,108 \text{ cbm} = 0,108 \cdot 1400 = 151 \text{ kg}$$

Der Materialbedarf für 1 cbm Kiesbeton bzw. Schotterbeton ist unter Zugrundelegung der Formeln (30), (31) und (32) in nachstehenden Tabellen B und C für verschiedene Mischungsverhältnisse zusammengefaßt.

Tabelle B.

Materialbedarf für 1 m³ Kiesbeton bei einem Mischungsverhältnis der Form 1 : q : 2 q.

Mischungs- verhältnis	Materialbedarf für 1 m ³ Beton			Mischungs- verhältnis	Materialbedarf für 1 m ³ Beton		
	Zement kg	Sand m ³	Kies m ³		Zement kg	Sand m ³	Kies m ³
1 : 1 : 2	560	0,40	0,80	1 : 6 : 12	105	0,45	0,90
1 : 1,5 : 3	402	0,43	0,86	1 : 6,5 : 13	97	0,45	0,90
1 : 2 : 4	315	0,45	0,90	1 : 7 : 14	90	0,45	0,90
1 : 2,5 : 5	252	0,45	0,90	1 : 7,5 : 15	84	0,45	0,90
1 : 3 : 6	210	0,45	0,90	1 : 8 : 16	79	0,45	0,90
1 : 3,5 : 7	180	0,45	0,90	1 : 8,5 : 17	74	0,45	0,90
1 : 4 : 8	158	0,45	0,90	1 : 9 : 18	70	0,45	0,90
1 : 4,5 : 9	140	0,45	0,90	1 : 9,5 : 19	66	0,45	0,90
1 : 5 : 10	126	0,45	0,90	1 : 10 : 20	63	0,45	0,90
1 : 5,5 : 11	115	0,45	0,90				

Tabelle C.

Materialbedarf für 1 m³ Schotterbeton bei einem Mischungsverhältnis der Form 1 : r : 1,5 r.

Mischungs- verhältnis	Materialbedarf für 1 m ³ Beton			Mischungs- verhältnis	Materialbedarf für 1 m ³ Beton		
	Zement kg	Sand m ³	Schotter m ³		Zement kg	Sand m ³	Schotter m ³
1 : 1 : 1,5	672	0,48	0,72	1 : 6 : 9	126	0,54	0,81
1 : 1,5 : 2,25	487	0,52	0,78	1 : 6,5 : 9,75	116	0,54	0,81
1 : 2 : 3	378	0,54	0,81	1 : 7 : 10,5	108	0,54	0,81
1 : 2,5 : 3,75	302	0,54	0,81	1 : 7,5 : 11,25	101	0,54	0,81
1 : 3 : 4,5	252	0,54	0,81	1 : 8 : 12	94	0,54	0,81
1 : 3,5 : 5,25	216	0,54	0,81	1 : 8,5 : 12,75	88	0,54	0,81
1 : 4 : 6	189	0,54	0,81	1 : 9 : 13,5	84	0,54	0,81
1 : 4,5 : 6,75	168	0,54	0,81	1 : 9,5 : 14,25	80	0,54	0,81
1 : 5 : 7,5	151	0,54	0,81	1 : 10 : 15	75	0,54	0,81
1 : 5,5 : 8,25	138	0,54	0,81				

Bemerkungen zu den Tabellen B und C. Bei der Mischung 1:1:2 der Tabelle B und 1:1:1,5 der Tabelle C ist mit 1,20 cbm Zusatzmaterial statt 1,35 für 1 cbm Beton gerechnet. Ebenso ist bei der Mischung 1:1,5:3 der Tabelle B und 1:1,5:2,25 der Tabelle C mit 1,30 cbm Zusatzmaterial für 1 cbm Beton gerechnet.

Die Tabellen A, B und C sind in Diagramm IX auch graphisch dargestellt. Im dieser graphischen Darstellung sind als Ordinaten jeweiligen die Raumteile m (Tabelle A), q (Tabelle B) und r (Tabelle C) des Sandes für das gegebene Mischungsverhältnis aufgetragen und als Abszissen der Zementbedarf in Kilogramm und in Liter für 1 cbm hydraulischen Baustoffs, wobei als Raumbgewicht des Zementes die Zahl 1400 kg/cbm zugrunde gelegt wurde. Der Bedarf an Sand und Kies für 1 cbm hydraulischen Baustoffs wird ermittelt, indem man die auf dieser Kurve bei dem gegebenen Mischungsverhältnis abgelesenen Abszissen in Liter mit der entsprechenden Anzahl Raumteile multipliziert.

Beispiel: Mit Hilfe des Diagramms IX soll der Materialbedarf für 1 cbm Beton der Mischung 1:6 festgestellt werden.

Der Ordinate 6 entspricht auf der Mörtelkurve die Abszisse 270 kg = 193 Liter, so daß sich der Materialbedarf wie folgt ergibt:

$$\text{Zement: } C = 193 \text{ Liter} = 270 \text{ kg}$$

$$\text{Kies: } K = 6 \cdot 193 = 1160 \text{ Liter} = 1,16 \text{ cbm.}$$

Beispiel: Es soll mit Hilfe des Diagramms IX der Materialbedarf für 1 cbm Beton der Mischung 1:3,5:5,25 festgestellt werden.

Das Mischungsverhältnis ist von der Form 1:r:1,5 r, demnach ist die Kleinschlagbetonkurve zu verwenden.

Der Ordinate 3,5 entspricht die Abszisse 154 Liter, so daß der Materialbedarf ist:

$$\text{Zement: } C = 154 \text{ Liter} = 216 \text{ kg}$$

$$\text{Sand: } S = 3,5 \cdot 154 = 540 \text{ Liter} = 0,54 \text{ cbm}$$

$$\text{Schotter: } K = 5,25 \cdot 154 = 810 \text{ Liter} = 0,81 \text{ cbm.}$$

Im Anschluß hieran soll nun noch manches Verfahren zur Berechnung des Materialbedarfs bei gegebenem Mischungsverhältnis, wie es noch gemacht wird oder gemacht werden kann, hier angegeben werden.

1. Verfahren. Bezeichnet β die Hohlräume für 1 Raumeinheit Steinmaterial, $1:m$ das Mischungsverhältnis zwischen Zement und Sand für den Mörtel, den man bei der Betonbereitung haben will, k die Ausbeute dieses Mörtels und μ den Verkittungsgrad des Betons (s. S. 12), so muß sein für 1 cbm Beton:

$$\text{Kies:} \quad K = 1,00 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (39)$$

$$\text{Hohlräume im Kies:} \quad H = \beta K = \beta \cdot 1,00 = \beta$$

$$\text{Mörtelmenge:} \quad M = (1 + \mu) H = (1 + \mu) \beta.$$

Laut Formeln (25) und (26) ist dann:

$$\text{Zement:} \quad C = \frac{M \cdot 1}{k \cdot (1 + m)} = \frac{(1 + \mu) \beta}{k (1 + m)} \cdot 1 \quad (40)$$

$$\text{Sand:} \quad S = \frac{M}{k \cdot (1 + m)} \cdot m = \frac{(1 + \mu) \beta}{k \cdot (1 + m)} \cdot m \quad (41)$$

Beispiel: Es soll Beton hergestellt werden mit einem Schottermaterial, dessen Hohlräume $\beta = 50$ vH. betragen; der zur Anwendung gelangende Mörtel soll das Mischungsverhältnis 1 Zement:3 Sand erhalten und für satte Berührung soll der Verkittungsgrad $\mu = 15$ vH. gewählt werden. Es wird vorausgesetzt, daß der Ausbeutekoeffizient dieses Mörtels $k = 0,75$ beträgt. Wie berechnet sich der Materialbedarf für 1 cbm Beton?

Laut Formeln (39), (40) und (41) ist:

Schotter:

$$K = 1,00 \text{ cbm}$$

Zement:

$$C = \frac{(1 + 0,15) \cdot 0,50}{0,75 \cdot (1 + 3)} = 0,192 \text{ cbm}$$

Sand:

$$S = \frac{(1 + 0,15) \cdot 0,50}{0,75 \cdot (1 + 3)} \cdot 3 = 3 \cdot C = 3 \cdot 0,192 = 0,576 \text{ cbm.}$$

Die Berechnung des Materialbedarfs nach diesem Verfahren also mit Hilfe der Formeln (39), (40) und (41), hat gegenüber der Berechnung mit Hilfe der Formeln (25), (26) und (27) den Vorteil, daß erstere außer dem Ausbeutekoeffizienten auch die Hohlräume des Steinmaterials sowie den Verkittungsgrad des Betons berücksichtigt.

Dieses Verfahren ist demnach vollständiger. Trotzdem gibt die Rechnungsmethode nach den Formeln (25), (26) und (27) sehr brauchbare Durchschnittswerte.

2. Verfahren. Es bedeute $1:m:n$ das gegebene Mischungsverhältnis, g_c , g_s und g_k die Raumgewichte des Zementes, Sandes und Kieses (Gewichte für 1 Raumeinheit dieser Materialien in lockerem Zustand, wie sie auf der Baustelle zur Verwendung gelangen) und G das Raumgewicht des fertigen Betons bzw. Mörtels, C , S und K den Bedarf in Kubikmetern an Zement, Sand und Kies für 1 cbm fertiger Masse, so muß sein:

$$Cg_c + Sg_s + Kg_k = G \quad . \quad . \quad . \quad (42)$$

oder:
$$C \cdot \left(g_c + \frac{S}{C} g_s + \frac{K}{C} g_k \right) = G$$

nun ist:
$$\frac{S}{C} = m \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (43)$$

und
$$\frac{K}{C} = n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (44)$$

So daß:
$$C \cdot (g_c + mg_s + ng_k) = G$$

Hieraus folgt:
$$C = \frac{G}{g_c + mg_s + ng_k} \quad . \quad . \quad . \quad (45)$$

und aus Formeln (43) und (44) ergibt sich:

$$S = mC \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (46)$$

$$K = nC \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (47)$$

Nun ist G abhängig vom Sand- bzw. Kiesmaterial, das man zur Verfügung hat, und außerdem noch vom Wasser, welches in der Formel (42) außer acht gelassen wurde.

Als gute Durchschnittszahlen darf man nehmen:

$$G = 2200 \text{ kg/cbm für Beton}$$

$$G = 2000 \text{ kg/cbm für Mörtel}$$

$$g_s = g_k = 1500 \text{ kg/cbm}$$

$$g_e = 1400 \text{ kg/cbm.}$$

1. Beispiel: Für die Mischung 1 : 3 : 6 sollen die Materialmengen für 1 cbm Beton ermittelt werden.

Laut Formeln (45), (46) und (47) bei Anwendung obiger Durchschnittswerte für G , g_e , g_s und g_k ergibt sich:

$$C = \frac{2200}{1400 + 3 \cdot 1500 + 6 \cdot 1500} = 0,148 \text{ cbm}$$

$$S = 3 \cdot C = 3 \cdot 0,148 = 0,444 \text{ cbm}$$

$$K = 6 \cdot C = 0,888 \text{ cbm.}$$

2. Beispiel: Es sollen die Materialmengen für 1 cbm Mörtel der Mischung 1 : 3 berechnet werden

$$C = \frac{2000}{1400 + 3 \cdot 1500} = 0,339 \text{ cbm} = 475 \text{ kg}$$

$$S = 3C = 3 \cdot 0,339 = 1,017 \text{ cbm.}$$

3. Beispiel: Wie groß ist der Materialbedarf für 1 cbm Beton der Mischung 1 Zement : $\frac{1}{2}$ Wasserkalk : 3 Sand : 6 Kies? Das Raumgewicht des Wasserkalks ist $g_w = 700 \text{ kg/cbm}$. Darnach ist

$$\begin{aligned} \text{Zement: } C &= \frac{2200}{1400 + \frac{1}{2} \cdot 700 + 3 \cdot 1500 + 6 \cdot 1500} \\ &= 0,144 \text{ cbm} = 202 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wasserkalk: } W &= \frac{1}{2} C = \frac{1}{2} \cdot 0,144 = 0,072 \text{ cbm} \\ &= 0,072 \cdot 700 = 50 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Sand: } S = 3C = 3 \cdot 0,144 = 0,432 \text{ cbm}$$

$$\text{Kies: } K = 6C = 0,864 \text{ cbm.}$$

3. Verfahren. Ist das Mischungsverhältnis 1 : m : n und bedeuten außerdem α die Hohlräume für 1 Raumeinheit Sand,

β die Hohlräume für 1 Raumeinheit Kies, so wird der Zement in die Hohlräume des Sandes eindringen und sich mit letzterem zu Mörtel verarbeiten. Dieser Mörtel wird dann die Hohlräume des Kieses ausfüllen, um den Beton zu bilden. Dieses ist der Vorgang, der beim Mischprozeß vor sich geht.

Die Hohlräume der m Raumeinheiten Sand betragen

$$H_{\alpha} = m\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (48)$$

Der Mörtel M , der durch das Hinzufügen und Vermengen von 1 Raumteil Zement mit den m Raumteilen Sand entsteht, wird dann in Raumeinheiten betragen

$$M = 1 - H_{\alpha} + m = 1 - \alpha m + m = 1 + m \cdot (1 - \alpha) \quad (49)$$

Die Hohlräume der n Raumeinheiten Kies betragen

$$H_{\beta} = \beta n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (50)$$

Wird der Mörtel M mit den n Raumeinheiten Kies vermengt, so ergeben sich B Raumeinheiten Beton. Die Betonmasse B berechnet sich zu

$$\begin{aligned} B &= M - H_{\beta} + n \\ &= 1 + m \cdot (1 - \alpha) - \beta n + n \\ &= 1 + m \cdot (1 - \alpha) + n \cdot (1 - \beta) \quad . \quad (51) \end{aligned}$$

Laut Formeln (25), (26) und (27) berechnet sich sodann der Bedarf an Zement, Sand und Kies für 1 Raumeinheit hydraulischen Baustoffs der Mischung 1 : m : n zu

$$\text{Zement: } C = \frac{1}{B} = \frac{1}{1 + m(1 - \alpha) + n \cdot (1 - \beta)} \quad . \quad (52)$$

$$\text{Sand: } S = \frac{m}{B} = \frac{m}{1 + m(1 - \alpha) + n \cdot (1 - \beta)} \quad . \quad (53)$$

$$\text{Kies: } K = \frac{n}{B} = \frac{n}{1 + m(1 - \alpha) + n \cdot (1 - \beta)} \quad . \quad (54)$$

1. Beispiel: Es ist die Mischung 1 : 3 : 6 vorgeschrieben und es steht uns zur Verfügung ein Sandmaterial mit $\alpha = 25$ vH. Hohlräumen und ein Kiesmaterial mit $\beta = 40$ vH. Hohlräumen. Wie berechnet sich der Materialbedarf für 1 cbm Beton dieser Mischung?

Laut Formeln (52), (53) und (54) ist

$$C = \frac{1}{1 + 3 \cdot (1 - 0,25) + 6 \cdot (1 - 0,40)} = 0,146 \text{ cbm}$$

$$= 204 \text{ kg}$$

$$S = 3C = 3 \cdot 0,146 = 0,438 \text{ cbm}$$

$$K = 6C = 6 \cdot 0,146 = 0,876 \text{ cbm.}$$

2. Beispiel: Wie groß ist der Bedarf an Zement und Sand für 1 cbm Mörtel 1:3, wenn die Hohlräume im Sand $\alpha = 25$ vH. betragen?

Laut Formeln (52) und (53) ist

$$\text{Zement: } C = \frac{1}{1 + 3 \cdot (1 - 0,25)} = 0,308 \text{ cbm}$$

$$= 0,308 \cdot 1400 = 431 \text{ kg}$$

$$\text{Sand: } S = 3C = 3 \cdot 0,308 = 0,924 \text{ cbm.}$$

3. Beispiel: Wie stellt sich der Materialbedarf für 1 cbm Mörtel derselben Mischung 1:3, wenn die Hohlräume im Sand $\alpha = 35$ vH. betragen?

Nach denselben Formeln ergibt sich

$$C = \frac{1}{1 + 3 \cdot (1 - 0,35)} = 0,339 \text{ cbm} = 0,339 \cdot 1400 = 475 \text{ kg}$$

$$S = 3C = 3 \cdot 0,339 = 1,017 \text{ cbm.}$$

Wie groß der Einfluß der Hohlräume auf die Ausbeute der hydraulischen Baustoffe ist, geht klar aus den vorerwähnten Beispielen 2 und 3 hervor.

Wie bekannt, ist der Zement bedeutend teurer als der Sand und der Kies. Es wird also am wirtschaftlichsten sein, solchen Sand bezw. Kies zu Mörtel und Beton zu verwenden, welche die tunlichst geringsten Hohlräume aufweisen.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Diagramm I ($\mu = 10\%$). Stampfbeton für Fundamente.

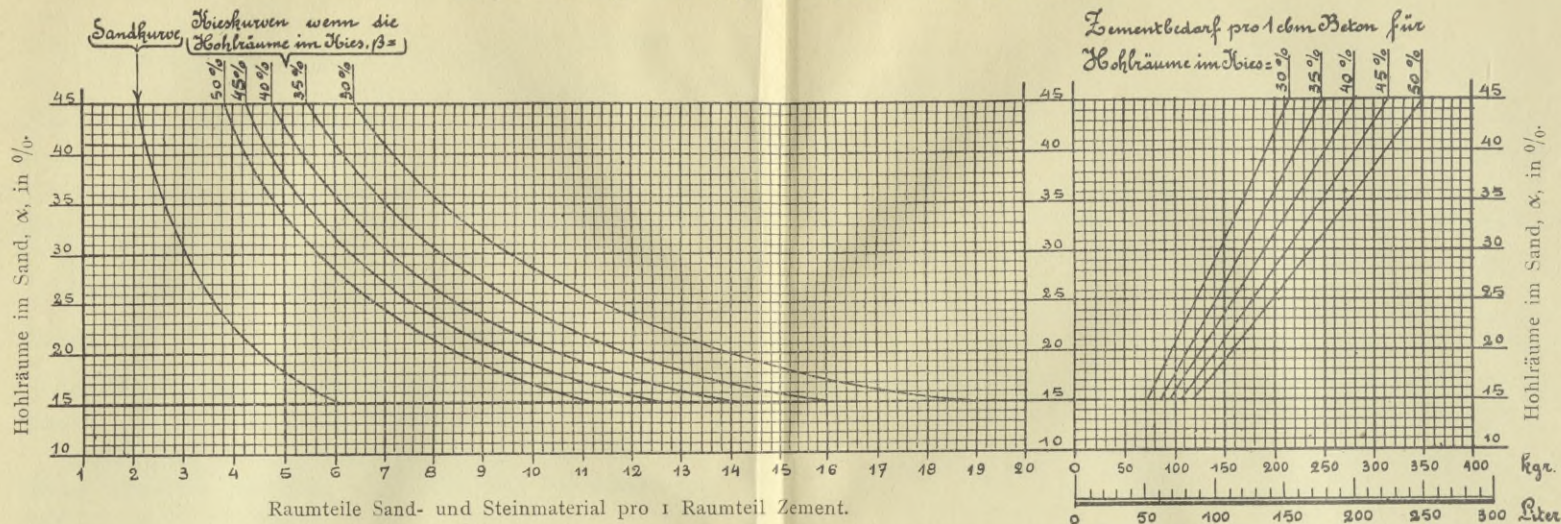
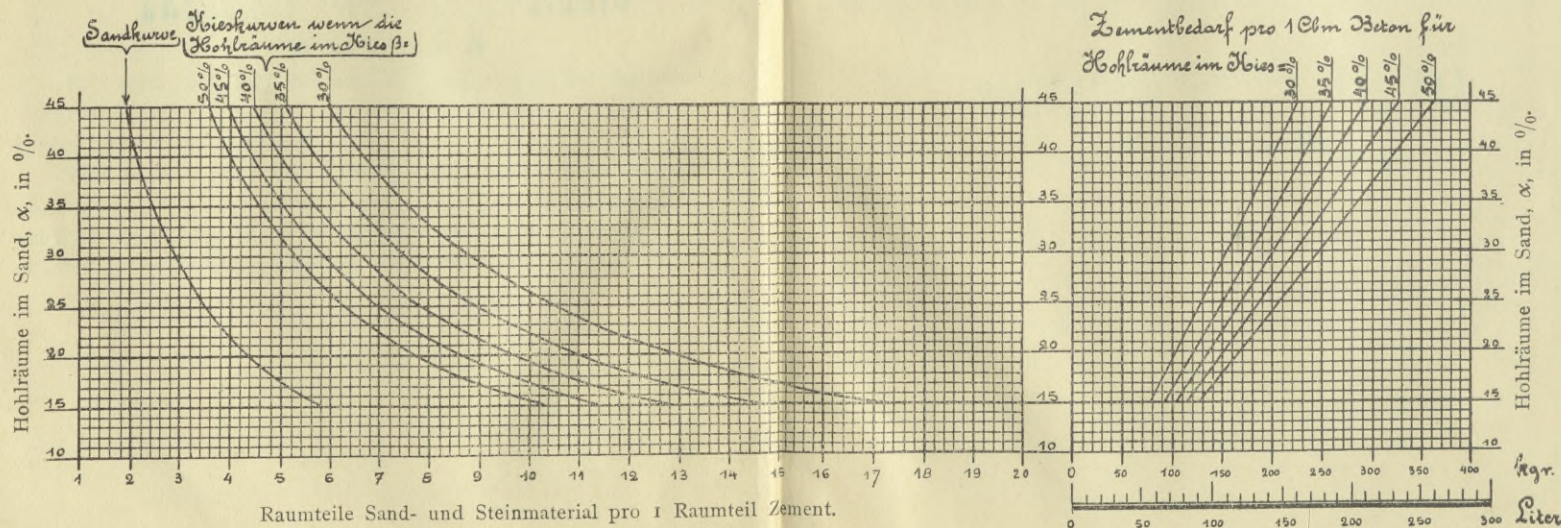


Diagramm II ($\mu = 15\%$). Stampfbeton für aufgehendes Mauerwerk.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Diagramm III ($\mu = 20\%$). Starke Eisenbetonteile wie: starke Decken, Platten usw.

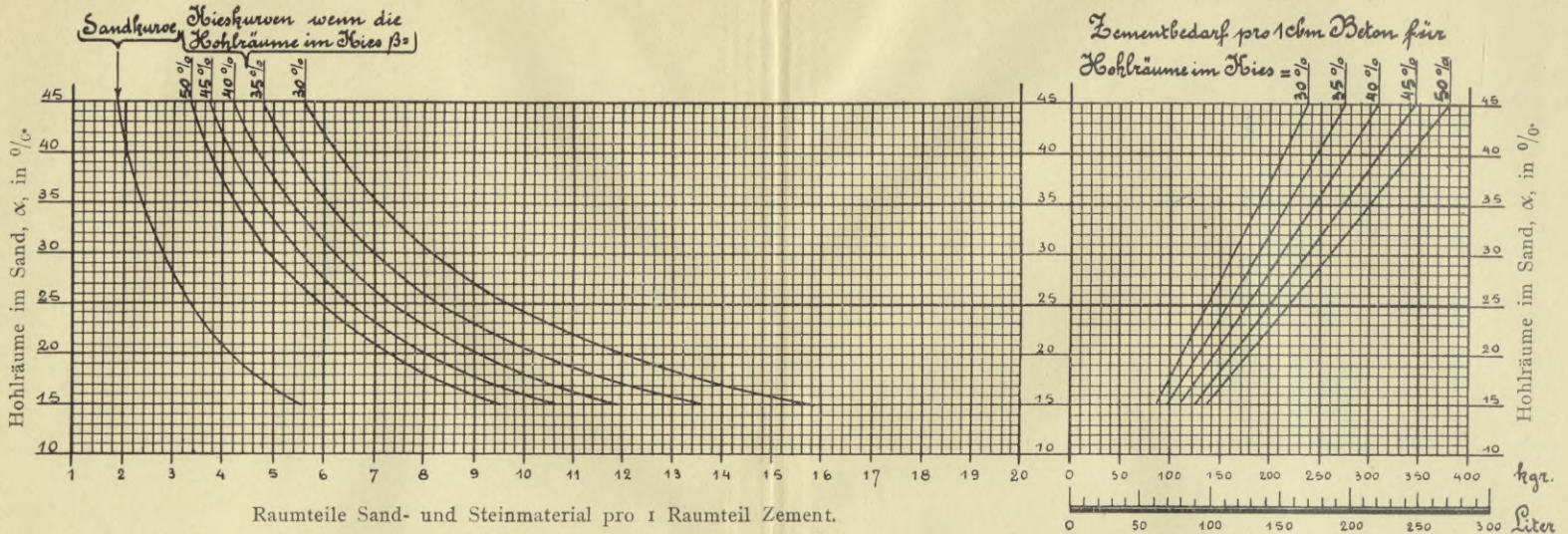
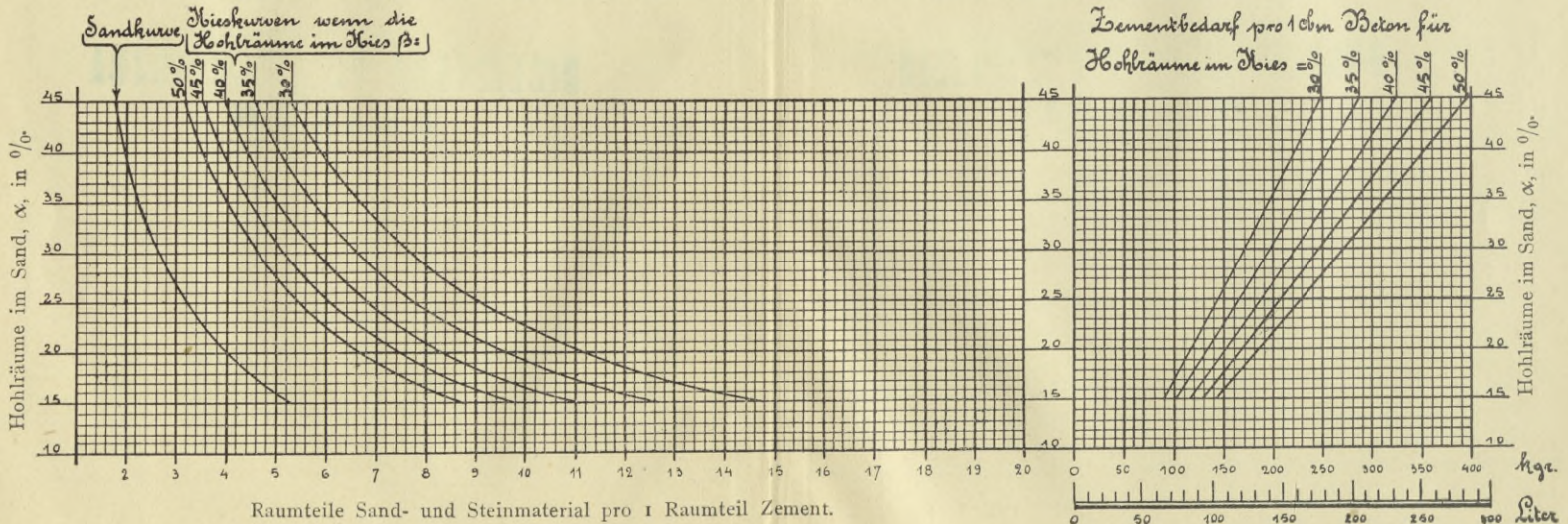


Diagramm IV ($\mu = 25\%$). Dünne Eisenbetonteile wie: schwache Decken, Säulen, Pfähle usw.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Diagramm V. $\mu = 10\%$

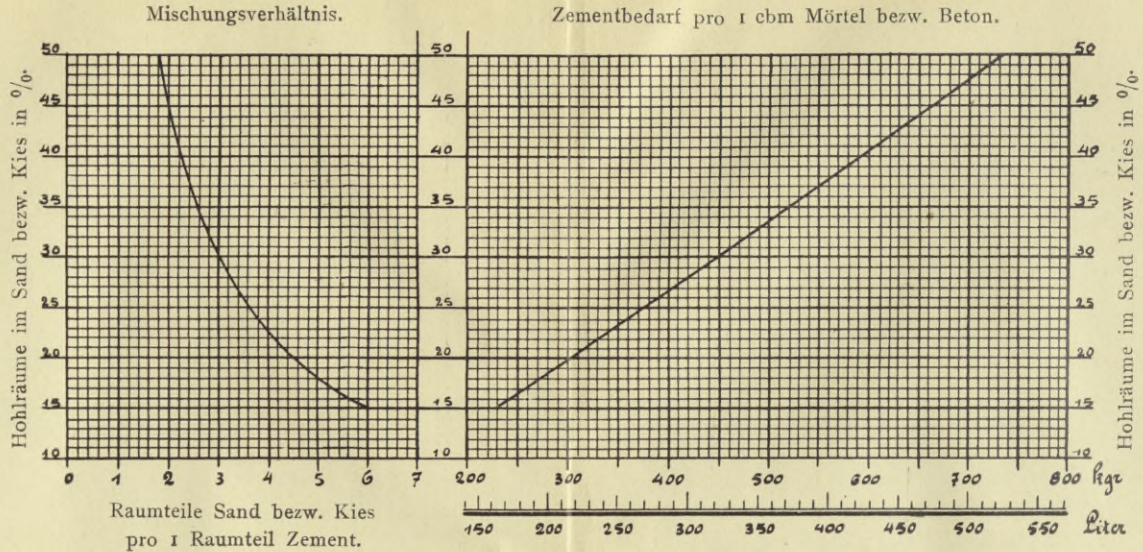
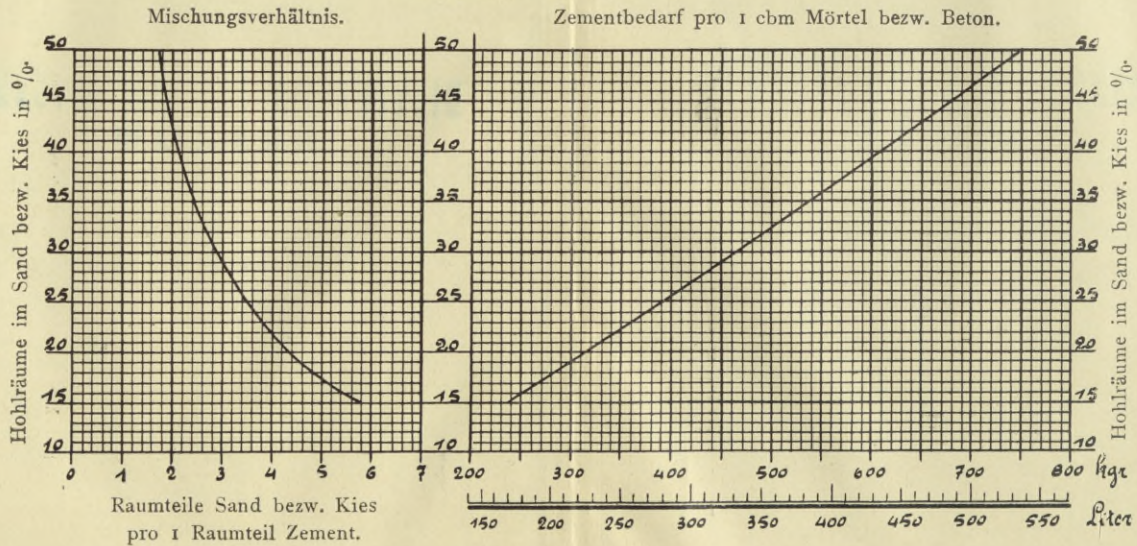


Diagramm VI. $\mu = 15\%$



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKOW

Diagramm VII. $\mu = 20\%$.

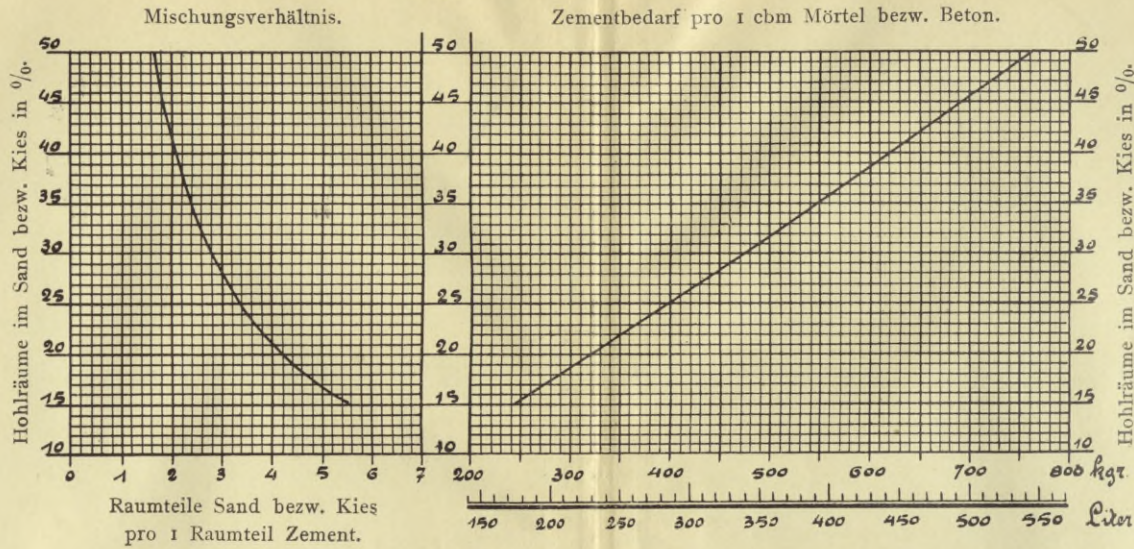
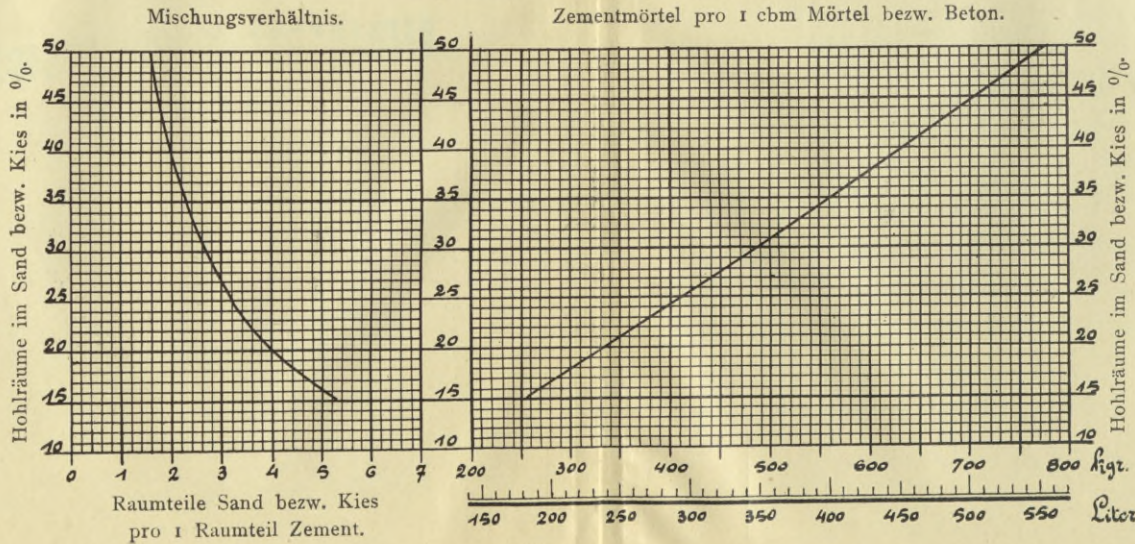
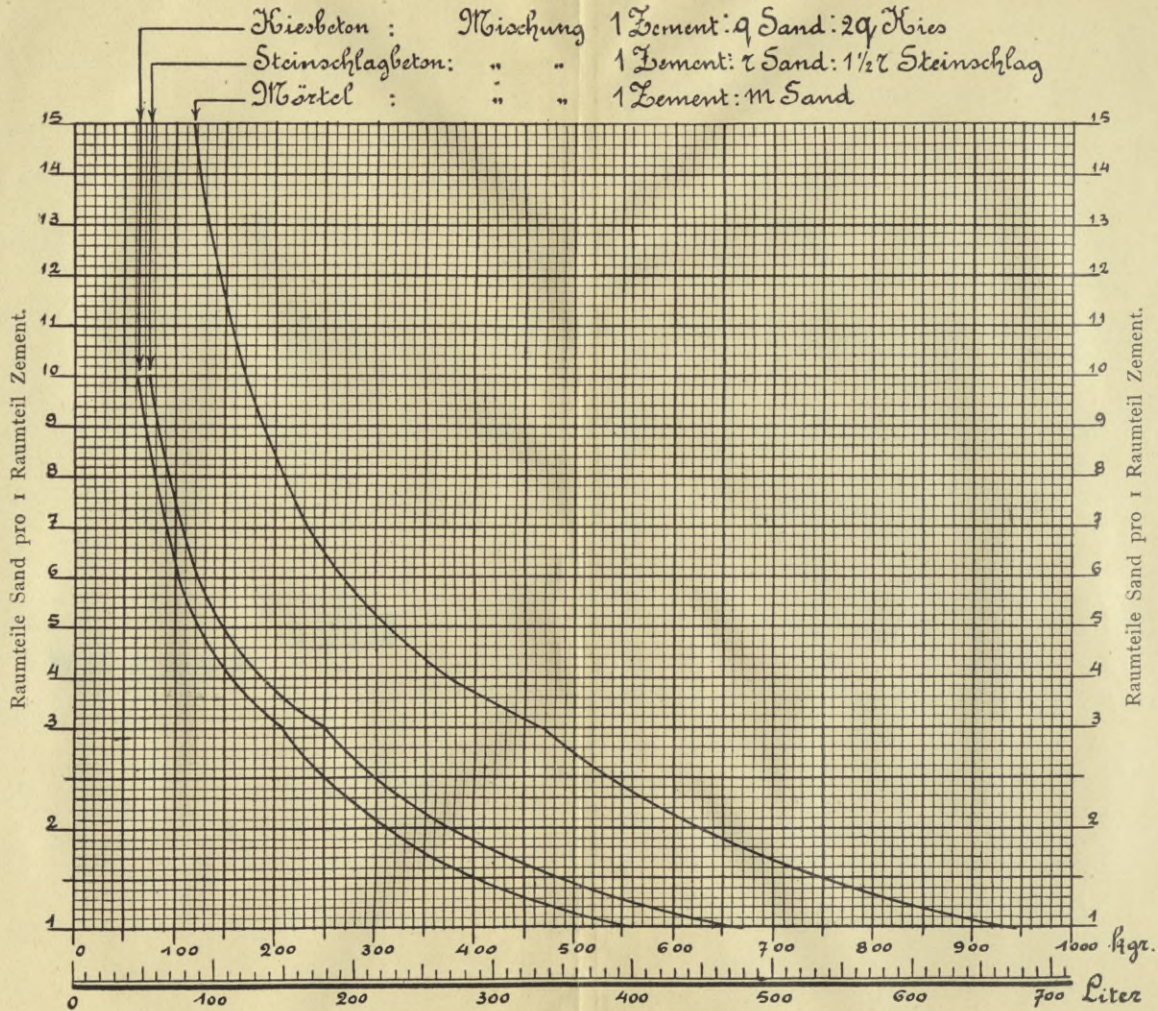


Diagramm VIII. $\mu = 25\%$.



BIBLIOTEKA MEDYCYNICZNA
KRAKOW

Diagramm IX. Zementbedarf pro 1 cbm hydraulischen Baustoffs.



S. E.

96-5

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw. 30114

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10,000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296927