

# DER BAUINGENIEUR

21. Jahrgang

20. August 1940

Heft 31/32

## ÜBER DIE KORNZUSAMMENSETZUNG DES BETONS.

Von Dr.-Ing. habil. Erich Friedrich, Berlin.

DK 691.33

### 1. Einleitung.

Für die meisten Eisenbetonbauten ist ein geringes Eigengewicht erstrebenswert. Diesem Ziel dient die Steigerung der zulässigen Betondruckspannung. Dazu ist aber die Erhöhung der Druckfestigkeit, und aus konstruktiven Gründen auch der Zugfestigkeit des Betons erforderlich. Man muß den Grundsatz vertreten, daß es für unsere Eisenbetonbauten richtiger ist, eine höhere zulässige Beanspruchung des Betons vorzuschreiben und dafür einen hochwertigen Beton zu fordern, als umgekehrt, beide Werte, wenn auch im gleichen Verhältnis, niedriger zu halten. Nicht nur der Baustoffaufwand ist dadurch kleiner, sondern die höhere Güte des Betons wirkt sich auch auf die Dauerhaftigkeit, auf die Rißsicherheit und den Rostschutz der Bewehrung vorteilhaft aus.

Heute können wir etwa die folgenden drei Stufen von Betonfestigkeiten unterscheiden:

- a) guter, normaler Eisenbeton mit 225 kg/cm<sup>2</sup> Festigkeit gemäß unseren Bestimmungen;
- b) Beton für die Reichsautobahnen und für besondere Bauten mit 400 kg/cm<sup>2</sup> Festigkeit;
- c) für Stahlsaitenbeton mit 650 kg/cm<sup>2</sup> Festigkeit.

Beim Entspannen der Drähte muß die Festigkeit des Betons bereits 450 kg/cm<sup>2</sup> sein. Wir haben also hierbei den Grundsatz vertreten, daß nur hochwertiger Beton und hochwertiger Stahl zu einem neuen Werkstoff zusammengebracht werden können.

Die Stufe der Betonfestigkeit, die wir in Zukunft erreichen müssen, liegt bei 1000 kg/cm<sup>2</sup> Würfelfestigkeit und nicht bei 100 kg/cm<sup>2</sup>. Dazu ist aber erforderlich, daß außer der richtigen Zementmenge und Zementgüte auch die Kornzusammensetzung richtig gewählt wird. Da das Größtkorn für Stahlsaitenbeton beispielsweise bei 10 mm liegt, bei Eisenbeton bei 30 mm und im Talsperrenbau bei 100 mm und mehr, ist erforderlich, das allgemeine Gesetz zu finden, in welcher Menge verschiedene Korngrößen gemischt werden müssen, um hochdruckfesten und dichten Beton zu erhalten, denn die in den Bestimmungen angegebenen Sieblinien gelten für 30 mm Korngröße und nicht für 10 mm oder 100 mm als Größtkorn.

Zwei Methoden sind heute bekannt, um zu zweckmäßigen Kornzusammensetzungen zu kommen. Die erste Methode ist die der sog. stetigen Kornverteilung, wie sie in unseren Bestimmungen durch die Sieblinien angegeben ist. Wie die Versuche zeigen, gibt es auch noch andere Kornzusammensetzungen, die ebenfalls gute Dichte und hohe Festigkeiten liefern, wobei nicht alle Korngrößen vertreten sind, sondern nur ganz bestimmte Größen ausgewählt werden. Dies zeigt bereits, daß die aufgestellten Gesetze nicht allgemein genug sind, denn sonst könnten nicht zwei Methoden zum gleichen Ziel führen. Dieses allgemeine Gesetz zu finden, soll Aufgabe der nachfolgenden Zeilen sein; eine Klarstellung dieser Gesetzmäßigkeiten ist für den Eisenbetonbau von großer Wichtigkeit.

### 2. Die aufeinanderfolgenden Korngrößen.

a) Der Siebsatz in unseren Bestimmungen hat die Korngrößenfolge 0,2; 1; 3; 7; 15; 30 mm. Das nachfolgende Korn hat stets die doppelte Korngröße wie das vorhergehende. Diese Annahme ist unter Beeinflussung durch den amerikanischen Siebsatz (den

Tyler-Siebsatz), der auch von Abrams verwendet wurde, gewählt worden. Die Korngrößenfolge ist beim Tyler-Siebsatz 0,147; 0,295; 0,590; 1,18; 2,37; 4,75; 9,52; 19,00; 38,1 mm.

b) Nach der „Schlüpfkugeltheorie“ wird die Kornfolge auf folgende Weise berechnet: In einem Haufwerk aus Kugeln mit dem Durchmesser  $D_0$  sollen kleinere Kugeln eingefüllt werden, die die Hohlräume ausfüllen. Diese kleineren Kugeln haben einen Durchmesser, der so bemessen wird, daß sie zwischen den größeren Kugeln durchschlüpfen können. Die Aufeinanderfolge  $D_0; D_0 \cdot 0,14; D_0 \cdot 0,14^2$  usw. ergibt sich aus der Berechnung<sup>1</sup>.

Schon die Gegenüberstellung dieser beiden Reihen zeigt, daß eine Vielzahl von Kornfolgen möglich ist und keine hinsichtlich der Festigkeit einen Vorteil gegenüber den übrigen bietet. Beiden gemeinsam ist die Kornfolge:

$$(1) \quad D_{n-1} = \alpha D_n,$$

wobei  $D_{n-1}$  und  $D_n$  zwei Durchmesser aufeinanderfolgender Korngrößen sind und  $\alpha$  ein Festwert ist. Im ersten Fall ist  $\alpha = 0,5$ ; im zweiten Fall ist  $\alpha = 0,14$ ; je größer  $\alpha$  ist, desto stetiger ist unsere Kornfolge. An drei Beispielen wollen wir uns dies klarmachen.

In Zahlentafel 1 ist für  $\alpha = 0,14; 0,50$  und  $0,80$  die Kornfolge berechnet, und in Abb. 1 sind diese Größen aufgetragen. Die Zahl  $\alpha$  ist stets kleiner als 1. Wir werden später hinsichtlich des Zementbedarfs und in bezug auf die Verarbeitbarkeit besondere  $\alpha$ -Werte ermitteln. Kleine  $\alpha$ -Werte ergeben jene Kornfolgen,

die unter dem Namen „Ausfallkörnungen“ bekannt geworden sind. Wir haben nun die allgemeine Grundlage gefunden und stellen fest, daß  $\alpha$  die Stetigkeit angibt. Wir wollen sie Stetigkeitszahl nennen.

c) Bedingungen für die Anteile der einzelnen Korngrößen.

Bei richtiger Durchmischung des Betons müssen die einzelnen groben Körner von kleineren Körnern gleichmäßig umgeben sein. Hierbei ist es nicht notwendig, daß die groben Körner sich berühren, wie dies die Schlüpfkugeltheorie verlangt. Damit zwei Körner benachbarter Korngrößen  $D_{n-1}$  und  $D_n$  nebeneinander liegen oder aneinander vorbei können, muß die lichte Weite zwischen zwei Körnern  $D_n$  gleich sein, dem Korn  $D_{n-1}$  (Abb. 2) Somit kann man die Entfernung der Kugelmittelpunkte voneinander berechnen. Sie ergibt sich zu

$$(2) \quad E = (D_{n-1} + D_n) = D_n (1 + \alpha).$$

Die Anzahl der Kugeln mit dem Durchmesser  $D_0$ , die in einem Raum mit dem Volumen  $V$  vorhanden sein können, damit sie die in (2) angegebene Entfernung  $E = D_0 (1 + \alpha)$  voneinander haben, ergibt sich, indem man sich den Raum mit sich berührenden Kugeln vom Durchmesser  $E$  ausgefüllt denkt.

<sup>1</sup> Hummel, Alfred: Das Beton-ABC, 3. Aufl., Berlin 1939.

$$(3) \quad n = \frac{V}{\frac{4}{3} \cdot E^3 \pi \frac{1}{8}} = \frac{V}{\frac{1}{6} \cdot (1 + \alpha)^3 D_0^3 \pi}$$

Die Kugeln  $D_0$  füllen somit den Raum  $V_0$  aus.

$$(4) \quad V_0 = n \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{D_0^3}{8} \pi = \frac{V}{\frac{1}{6} \cdot (1 + \alpha)^3 D_0^3 \pi} \cdot \frac{1}{6} D_0^3 \pi$$

oder vereinfacht

$$(5) \quad V_0 = \frac{V}{(1 + \alpha)^3}$$

Vom Gesamtraum  $V$  wird der Anteil  $V_0 = \frac{V}{(1 + \alpha)^3}$  von den Kugeln  $D_0$  ausgefüllt. Für die noch übrigbleibenden Kornfolgen bleibt der Raum

$$(6) \quad V'_0 = V - V_0 = V \left( 1 - \frac{1}{(1 + \alpha)^3} \right) = \beta V$$

zur Verfügung. Da  $\alpha$  stets eine positive Zahl kleiner als 1 ist, ist auch  $\beta$  eine Zahl kleiner als 1.

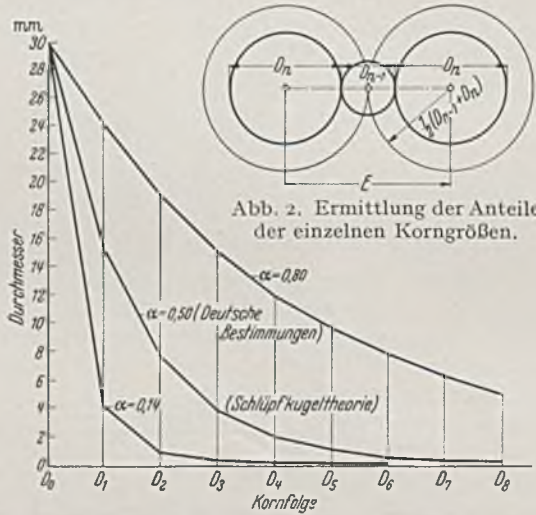


Abb. 2. Ermittlung der Anteile der einzelnen Korngrößen.

Abb. 1. Drei Beispiele von Korngrößen.

Die eben für das Größtkorn angestellte Überlegung kann weiter auf die übrigen Korngrößen sinngemäß übertragen werden. Der verbleibende Raum  $V'_0$  wird von den Kugeln  $D_1 = \alpha D_0$  zu einem Volumen  $V_1$

$$(6a) \quad V_1 = \frac{V'_0}{(1 + \alpha)^3} = \frac{\beta V}{(1 + \alpha)^3}$$

ausgefüllt. Das Restvolumen

$$(7) \quad V'_1 = V'_0 - V_1 = V'_0 - \frac{V'_0}{(1 + \alpha)^3} = V'_0 \left( 1 - \frac{1}{(1 + \alpha)^3} \right) = \beta V'_0 = \beta^2 V$$

steht den nachfolgenden Korngrößen zur Verfügung.

Der Gesamtraum  $V$  wird also in eine Reihe von Teilräumen zerlegt, die natürlich in ihrer Gesamtheit wiederum  $V$  ergeben müssen. Dies ist einfach zu beweisen:

$$(8) \quad V = \frac{V}{(1 + \alpha)^3} + \frac{\beta V}{(1 + \alpha)^3} + \frac{\beta^2 V}{(1 + \alpha)^3} + \dots \text{ in inf.}$$

Setzt man für diese geometrische Reihe die Summenformel ein, so erhält man:

$$V = \frac{V}{(1 + \alpha)^3} \frac{1}{1 - \beta}$$

Wenn man für  $\beta$  nun den Wert einsetzt, so erhält man für

$$\frac{1}{1 - \beta} = (1 + \alpha)^3,$$

und somit ist die frühere Behauptung bewiesen.

Wenn man für  $V$  den Wert 100 setzt, so erhält man die prozentualen Anteile der einzelnen Korngrößen.

In Zahlentafel 2 sind die Formeln und die Auswertung derselben für  $\alpha = 0,14$ ;  $0,50$  und  $0,80$  zusammengestellt.

Diese drei Stetigkeitsziffern werden im Nachfolgenden immer zum Vergleich herangezogen. Für  $\alpha = 0,14$  erhalten wir eine

sog. Ausfallkörnung, u. zw. diejenige, die den größten Kornunterschied gibt, denn dabei ist angenommen, daß das Größtkorn den Raum so ausfüllt, daß sich die Körner berühren und das nachfolgende Korn zwischen den großen Körnern durchschlüpft (Schlüpfkugeltheorie). Für  $\alpha = 0,50$  erhalten wir die Kornfolgen, wie sie in dem deutschen Siebsatz gewählt sind. Wir können somit die Sieblinien nach unseren Bestimmungen mit den hier gewonnenen Ergebnissen vergleichen. Der obere Grenzwert ist mit  $\alpha = 0,80$  gewählt, wobei also die einzelnen Körner nur wenig voneinander verschieden sind. Auf diese Weise bekommen wir einen allgemeinen Überblick über die zu den einzelnen Kornfolgen zugehörigen Kornanteile.

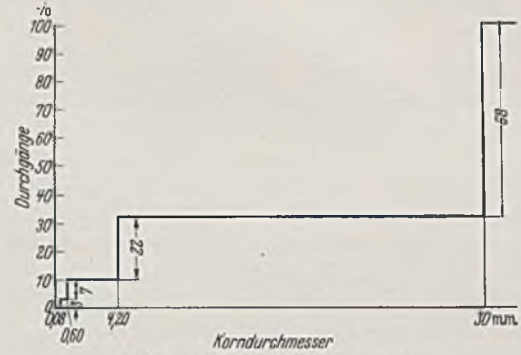


Abb. 3. Sieblinie für  $\alpha = 0,14$ .



Abb. 4. Sieblinie für  $\alpha = 0,50$ .

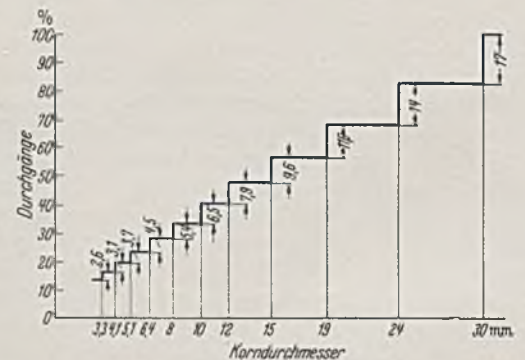


Abb. 5. Sieblinie für  $\alpha = 0,80$ .

In den Abb. 3, 4 und 5 sind die Sieblinien in der bekannten Weise aufgetragen, indem man als Ordinate die Durchgänge durch die Siebe über den jeweiligen Korndurchmesser aufträgt. Abb. 3 ist die Sieblinie für die Ausfallkörnungen. Die Sieblinie besagt: hat man eine große Menge von Größtkörnern, z. B. von 30 mm, dann kann man zu guten Ergebnissen kommen, wenn man zu diesen nur Korn von wesentlich kleinerem Durchmesser (4 mm) hinzufügt. Der Bedarf an Größtkorn ist 68%, während für die kleineren Körner (4 mm, 0,60 mm ...) 32% verbleiben. Abb. 4 zeigt die Sieblinie für  $\alpha = 0,50$  für den deutschen Siebsatz. Die Kornverteilung ist gegenüber Abb. 3 viel gleichmäßiger. Vom Größtkorn sind nur mehr 30% erforderlich, vom nachfolgenden Korn sind 21% notwendig. Eine noch viel größere Aufteilung ergibt sich nach Abb. 5 für  $\alpha = 0,80$ . Nun sind auch die einzelnen Anteile viel gleichmäßiger.

Alle drei Kornfolgen mit den richtigen Anteilen derselben gemengt, geben dichte Betone. Sie unterscheiden sich nur hinsichtlich des Zementbedarfes und der Verarbeitbarkeit. Wir sind nun auch in der Lage, unsere natürlichen Kiesvorkommen besser auszunutzen, da wir uns anpassen können. Man wird sich auch in Zukunft hinsichtlich des Siebsatzes mehr Freiheiten gestatten und mehrere Siebsätze verwenden, wodurch auch mehrere Sieblinien sich ergeben, die gute Betonfestigkeiten liefern.

Die Bilder zeigen uns aber folgendes besonders deutlich:

1. Eine Kornfolge mit wenig grobem Korn und viel Feinsand ist zu vermeiden.
2. Die Sieblinien hängen wesentlich vom Größtkorn ab und von der durch das Vorkommen zur Verfügung stehenden Kornfolge.

Zahlentafel 2.

Kornfolge	Durchmesser	Anteil	$\alpha = 0,14$		$\alpha = 0,50$		$\alpha = 0,80$	
			D mm	A %	D mm	A %	D mm	A %
$D_0$	$D_0$	$\frac{100}{(1+\alpha)^3} = A$	30	68	30	30	30	17,1
$D_1$	$D_0\alpha$	$\frac{100}{(1+\alpha)^3} \cdot \left(1 - \frac{1}{(1+\alpha)^3}\right) = A \cdot \beta$	4,20	22	15	21	24	14,1
$D_2$	$D_0\alpha^2$	$A \beta^2$	0,60	7,1	7,5	14,7	19	11,6
$D_3$	$D_0\alpha^3$	$A \beta^3$	0,08	2,3	3,8	10,3	15	9,6
$D_4$	:	:	0,01	0,8	1,9	7,2	12	7,9
$D_5$	:	:	—	—	0,95	5,0	10	6,5
$D_6$	:	:	—	—	0,48	3,5	8	5,4
$D_7$	:	:	—	—	0,24	2,5	6,4	4,5
$D_8$	:	:	—	—	0,12	1,7	5,1	3,7
$D_9$	$D_0\alpha^9$	$A \beta^9$	—	—	0,06	1,2	4,1	3,1
$D_{10}$	$D_0\alpha^{10}$	$A \beta^{10}$	—	—	0,03	0,8	3,3	2,6
Summenwerte			—	100	—	97,9	—	86,1

Die Verarbeitbarkeit ist für  $\alpha = 0,50$  am leichtesten. Bei kleinem  $\alpha$  wie z. B. nach Abb. 3 muß man den Beton sehr lange und gut mischen und auch beim Einbringen gut durchrütteln, damit tatsächlich die gewollte Wirkung der Einbettung der groben Körner eintritt. Die Gefahr des Entmischens ist besonders groß. Darauf ist beim Einbringen des Betons zu achten. Diese Gefahr ist bei einer Kornfolge mit großem  $\alpha$  (Abb. 5) geringer.

Aber auch diese Mischung braucht eine gute Einrüttelung.

In den Kornfolgen ist der Zement als Feinstanteil mit enthalten. Außer zur Füllung ist aber auch noch Zement zur Bindung erforderlich. Die einzelnen Anteile werden später noch besonders berechnet. Die Umrechnung der Linien ohne Zementanteil ist stets einfach (vgl. Zahlentafel 3).

Zahlentafel 3.

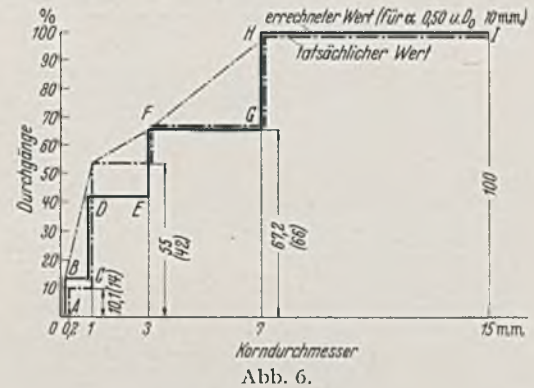
Durchmesser	Anteile der Korngrößen %	Siebsatz nach den Bestimmungen mm	Anteil mit Zement % Rückstand auf dem Sieb	Anteil ohne Zement % Rückstand auf dem Sieb	Sieblinie % Durchgang
10	30	15	0	0	100
5	21	7	30	34	66
2,5	15	3	21	24	42
1,25	10	1	25	28	14
0,62	7	0,2	12	14	0
0,31	5	Zementanteil	12	—	—
0,15	3,5				
0,08	2,5				
$\geq 0,04$	6				
Summe	100,0		100	100	222

Da bei den natürlichen Kiesvorkommen die Anteile unter 1 mm meist aus verwitterten Gesteinsrückständen bestehen, die geringe Festigkeit besitzen und dadurch die Gesamtfestigkeit

herabmindern, ist darauf zu achten, daß dieses staubfeine Gemenge vollständig durch Zement ersetzt wird.

Für Stahlsaitenbeton ist das Größtkorn durch die Entfernung der Stahlsaiten voneinander gegeben. Sie beträgt etwa 10 mm. In Zahlentafel 3 sind die erforderlichen Anteile hierfür berechnet und die gewonnenen Ergebnisse mit den Sieblinien für den Beton verglichen, wie er zum Bau der Stahlsaitenbetonhalle in Hamburg verwendet wurde.

Die Kornzusammensetzung für den Beton zu den 32 m langen Trägern wurde so gewählt, daß man sich dieser errechneten Kurve gut anpaßte. In Abb. 6 ist die errechnete und die gewählte Kornfolge zum Vergleich aufgetragen.



Zur Verfügung standen:

- a) Heidesand mit etwa 80% Korn zwischen 1—3 mm (Zahlentafel 4a). Der Heidesand wurde, um die staubfreien Anteile zu entfernen, gewaschen. Die Kornzusammensetzung ist in Zahlentafel 4 angegeben.

Zahlentafel 4a und b.

Sieblinie von Heidesand und Rheinkies.

Durchmesser	a		b	
	Anteile % Heidesand	Durchgang % Heidesand	Anteile % Rheinkies	Durchgang % Rheinkies
15	0	100	0	100
7	0	100	65,3	34,7
3	0,7	99,3	33,2	1,5
1	79,1	20,2	1,5	0
0,2	19,9	0,30	0	0
> 0,2	0,3		0	0

b) Dieser Heidesand wurde mit Rheinkiesel (Zahlentafel 4 b) mit 65% Anteilen zwischen 10 und 7 mm und 33% zwischen 7 und 3 mm gemischt. Die Zusammensetzung erfolgte zu gleichen Gewichtteilen von Heidesand und Rheinkies, wodurch man die Anpassung der Sieblinie des Korngemenges an die errechnete Linie erreichte. Der etwas zu große Anteil des Kornes zwischen 1 und 3 mm wurde in den Bereichen, wo die Bewehrung sehr dicht lag, also im Untergurt, für das Einbringen des Betons als gut befunden, so daß eine Korrektur nicht erfolgte. In diesem Bereich wurde nur die Zementmenge etwas erhöht.

Beim Zeichnen der Sieblinie wird vielfach an Stelle der stufenförmigen Linie A B C D ... J (Abb. 6) die Verbindungslinie B D F H ... gewählt. Gegen dieses Verfahren ist nichts einzuwenden, solange man sich an die Abmachung hält, daß die Sieblinie die Verbindungslinie der vorspringenden Ecken ist. Richtiger ist jedoch, die tatsächliche stufenförmige Linie zu zeichnen. Besonders für Kornfolgen mit kleinem  $\alpha$  gibt die Verbindungslinie B D ... zu Irrtümern Anlaß. Auch entspricht die Linie nicht den Tatsachen. Man sollte daher diese alte Zeichenweise verlassen.

Die Betonfestigkeit, die mit dieser Zusammensetzung erreicht wurde, lag in der Höhe von 900—1000 kg/cm<sup>2</sup> im Alter von 28 Tagen, geprüft an Würfeln mit 20 cm Kantenlänge (Würfel-festigkeit  $W_{b,28}$ ).

3. Merkmale der Kornfolge.

Wir haben nun erkannt, daß die Sieblinien je nach der Größe der Stetigkeitsziffer und dem Größtkorn verschieden sind. Wie kann man nun in einfacher Weise das Ergebnis einer Siebprobe auswerten um den Schluß zu ziehen, welche Verbesserungen an dem Gemenge noch vorgenommen werden müssen, um zu gutem Beton zu kommen? Eine solche Wertungsziffer ist z. B. der von Abrams eingeführte Feinheitsmodul, der mit dem von Hummel gewählten F-Modul in Zusammenhang gebracht werden kann. Beim Abrams'schen Feinheitsmodul wird die Kornfolge im log. Maßstab aufgetragen und die Ordinaten als Durchgänge durch die Siebe in Prozenten im metrischen Maßstab. Die Fläche der Siebrückstände wird dann als Wertungsziffer angegeben (Abb. 7). Der

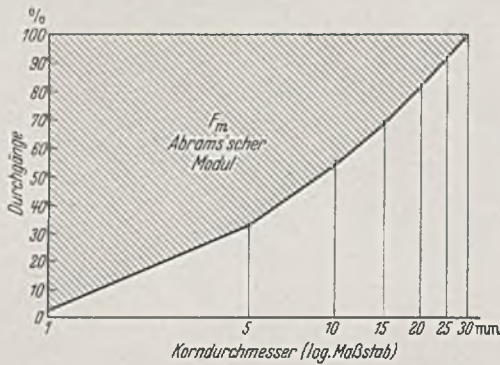


Abb. 7. Der Abrams'sche Modul.

log. Maßstab wird deshalb gewählt, um den Feinanteilen gegenüber den Grobanteilen einen Vorzug zu geben. Prof. Hummel hat sich vom Maßstab unabhängig gemacht und eine Beziehung zur Ermittlung einer neuen Kennziffer gefunden. Der von Hummel angewendete F-Wert steht mit dem Abramsschen  $F_m$ -Wert in der Beziehung:

$$F = 30,1 F_m$$

und hat den Vorteil der einfacheren und rascheren Ermittlung an Hand von Tafeln.

Wir wollen nun für beliebige Werte der Stetigkeitszahlen (der Abrams'sche Wert gilt nur für  $\alpha = 0,50$ ) eine Kennziffer finden und diese zur Beurteilung der Güte eines Korngemenges verwenden und dann noch einmal auf die beiden früheren F-Werte zurückkommen.

Wir wollen, um diese Wertungsziffer zu finden, die Ordinaten der Siebdurchgänge addieren. Diese Berechnung erfolgt zweckmäßig in Tafelform (Zahlentafel 5). Wir werden sehen, daß die Summe  $\Sigma$  sämtlicher Ordinaten eine Zahl ist, die nur von der Stetigkeitsziffer  $\alpha$  abhängig ist. Somit gibt es für jedes beliebige  $\alpha$  nur eine Zahl  $\Sigma$ , die wir als Kennziffer ansehen können. Die Berechnung ist einfach und wird im nachfolgenden gebracht.

Zahlentafel 5.

Berechnung der Kennziffer  $\Sigma$ .

Durchmesser	Anteil %	Ordinaten der Siebdurchgänge
$D_0$	$\frac{100}{(1+\alpha)^3} = A$	$100 - A$
$D_1 = \alpha D_0$	$A \cdot \beta$	$100 - A - A\beta$
$D_2 = \alpha^2 D_0$	$A \cdot \beta^2$	$100 - A - A\beta - A\beta^2$
$D_3 = \alpha^3 D_0$	$A \beta^3$	$100 - A - A\beta - A\beta^2 - A\beta^3$
$D_4 = \alpha^4 D_0$	$A \beta^4$	$100 - A - A\beta - A\beta^2 - A\beta^3 - A\beta^4$
$D_5 = \alpha^5 D_0$	$A \beta^5$	$100 - A - A\beta - A\beta^2 - A\beta^3 - A\beta^4 - A\beta^5$
:	:	:
Summe	100	$n \cdot 100 - n \cdot A - (n-1) A\beta - (n-2) A\beta^2 - (n-3) A\beta^3 \dots$

Wir erhalten als Summe  $\Sigma$ , wenn wir annehmen, daß wir n Durchmesser von Kornfolgen ausgewählt haben, die Beziehung:

$$(9) \Sigma = n \cdot 100 - n \cdot A - (n-1) A\beta - (n-2) A\beta^2 - (n-3) A\beta^3 \dots$$

die wir nun vereinfachen wollen. Dazu ziehen wir jene Glieder, die mit n versehen sind, zusammen und zerlegen (9) in zwei Einzelreihen  $\Sigma_1$  und  $\Sigma_2$

$$(10) \Sigma_1 = n (100 - A - A\beta - A\beta^2 - A\beta^3 \dots)$$

$$(11) + \Sigma_2 = A\beta + 2 A\beta^2 + 3 A\beta^3 + 4 A\beta^4 + 5 A\beta^5 + \dots + n A\beta^n$$

Die erste Reihe ist wesentlich von n abhängig. Setzen wir für A den Wert  $\frac{100}{(1+\alpha)^3}$  so erkennen wir, daß die Summe  $\Sigma_1$  zu Null wird, denn sie ist nur eine andere Schreibweise der Gl. (8). Die Summe  $\Sigma$  ist daher gleich  $\Sigma_2$ . Multiplizieren wir Gl. (11) rechts und links mit  $\beta$  so erhalten wir

$$(12) \Sigma \cdot \beta = A\beta^2 + 2 A\beta^3 + 3 A\beta^4 + 4 A\beta^5 + \dots + (n-1) A\beta^n + n A\beta^{n+1}$$

und ziehen diese neue Reihe von der vorhergehenden ab, so erhält man:

$$(13) \Sigma (1 - \beta) = A\beta + A\beta^2 + A\beta^3 + \dots + A\beta^n + n \cdot A\beta^{n+1}$$

Das letzte Glied dieser Reihe ist, da  $\beta$  stets kleiner als 1 ist, für große n-Werte zu vernachlässigen, da wenn auch n selbst groß ist, der Bruch  $\beta$  rasch dem Null zustrebt, da das n dies nicht aufwiegt. (Man kann dies auch mathematisch einfach beweisen. Für n gleich Unendlich erhält man zunächst den unbestimmten Ausdruck  $\infty \cdot 0$ , der jedoch bei Differentiation zeigt, daß er Null ist.) Die übrige Reihe ist nun eine geometrische, wofür man die Summenformel setzen kann:

$$(14) \Sigma = \frac{1}{(1-\beta)} \cdot A\beta \frac{1}{1-\beta} = \frac{A\beta}{(1-\beta)^2}$$

Setzt man in Gl. (14) für A den Wert  $\frac{100}{(1+\alpha)^3}$  und für  $\beta$  den in Gl. (6) ermittelten Wert ein, so erhält man

$$(15) \Sigma = 100 [(1+\alpha)^3 - 1]$$

Diese Summe  $\Sigma$ , die wir Kennziffer nennen wollen, ist nur abhängig von  $\alpha$  und kennzeichnet daher tatsächlich ein Kiesgemenge. In Zahlentafel 6 ist die Kennziffer für unsere drei verschiedenen  $\alpha$ -Werte angegeben.

Zahlentafel 6.

Stetigkeitsziffer $\alpha$	Kennziffer $\Sigma$
0,14	48
0,50	238
0,80	485

Ist die Ordinatensumme der Sieblinie z. B. für ein Gemenge nach dem deutschen Siebsatz größer als 238, so besagt dies, daß der Feinanteil zu groß ist. Ist die Zahl hingegen kleiner, so ist dies ein Zeichen dafür, daß zuviel Grobkorn vorhanden ist. Die Ordinate der Sieblinie sinkt zu rasch ab.

Wir wollen nun die drei Sieblinien D, E, F unserer Bestimmungen untersuchen, indem wir die Kennziffer  $\Sigma$  bestimmen (Zahlentafel 7). In Abb. 8 sind die Sieblinien nach unseren Bestimmungen aufgetragen.

Zahlentafel 7. Ermittlung der Kennziffer für die Sieblinien nach den Bestimmungen.

Durchmesser	Sieblinien		
	F	E	D
30	92	82	63
15	81	62	42
7,5	73	47	26
3,75	63	33	14
1,88	56	24	8
0,94	27	13	3
0,47	17	9	2
0,24	8	4	1
0,12	4	2	0,5
$\Sigma$	421	276	159,5

In Zahlentafel 7 sind die Kennziffern für die drei Sieblinien ermittelt. Wir erkennen, daß die Kennziffer für E dem Werte  $\Sigma_{0,5}$  tatsächlich am nächsten kommt. Der zwischen E und F eingeschlossene Bereich ergibt tatsächlich die zweckmäßigsten Kornzusammensetzungen mit Kennziffern bei 240. Im Bereiche D und E ist bereits zu wenig Feinmaterial vorhanden.

Nun wollen wir noch die Kennziffer des Zuschlagstoffes bestimmen, der für den Stahlsaitenbetonträger verwendet worden ist (Abb. 6). Die Ordinatensumme ergibt 222, wobei noch berücksichtigt werden muß, daß die Ordinatensumme genau genommen noch korrigiert werden müßte, weil der verwendete Siebsatz mit dem tatsächlich verwendeten nicht übereinstimmt.

Doch sind geringe Schwankungen überhaupt nicht wichtig. Bei den ganzen Überlegungen kommt es nicht auf Einzelheiten an. Die Kennziffer soll einen Anhalt geben, nach dem man sich zu richten hat. Diese Kennziffer des Zuschlagstoffes wollen wir nun mit dem Feinheitsmodul  $F_m$  in eine Beziehung bringen. Würde

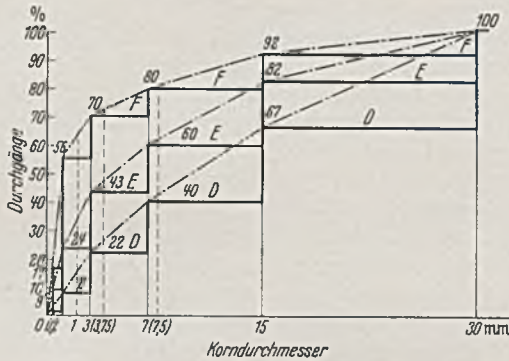


Abb. 8. Sieblinie nach unseren Bestimmungen.

man die Sieblinie ebenfalls als eine Funktion der Logarithmen der Korndurchmesser auftragen, so ist für  $\alpha = 0,5$  der Abstand zweier aufeinanderfolgender Korndurchmesser gleich  $\log_2 2$ . Die Fläche, die die Sieblinie mit der x-Achse einschließt, ist dann  $\Sigma \cdot \log_2 2$ . Diese Fläche ergänzt sich mit der Abramsschen Fläche zu einem Rechteck mit n mal  $\log_2 2$  Flächeninhalt, wenn n die Anzahl der Kornfolgen ist.

$$(16) \quad 100 \log_2 2 \cdot F_m + \Sigma \cdot \log_2 2 = n \cdot \log_2 2 \cdot 100.$$

Dadurch ist auch die Beziehung von  $F_m$  und  $\Sigma$  gegeben. Doch gilt dies, wie überhaupt  $F_m$ , nur für den Sonderfall der Stetigkeitsziffer  $\alpha = 0,50$ .

Der Nachteil der log. Teilung ist, daß der Koordinatenursprung im Unendlichen liegt. Außerdem kommt es nicht so sehr darauf an, wie das Feinkorn verteilt ist, sondern gerade auf die drei größten Kornfolgen. Diese müssen übereinstimmen. Da bei  $\Sigma$  das Größtkorn einen größeren Einfluß hat, wurde diese Zahl auch als Kennziffer gewählt. Für acht Kornfolgen gibt die Beziehung (16)

$$100 F_m = 800 - 238 = 562.$$

Da der Hummelsche Modul  $F$  mit  $F_m$  in Beziehung steht, kann man auch  $F$  und  $\Sigma$  in Beziehung bringen.

$$(17) \quad F = 30,1 F_m = 30,1 \cdot 5,62 = 170.$$

#### 4. Der Zementbedarf.

Zement ist notwendig

- a) zur Einbettung der Körner in eine Schicht, die später erhärtet,
- b) zur Ausfüllung der kleinen Hohlräume.

Der Anteil b kann weitgehend durch Zuschlagstoffe ersetzt werden. Doch wird ein Anteil von 10–15% des Volumens hierfür die untere Grenze sein, weil ja der Zuschlagstoff nicht aus Kugeln besteht, sondern aus verschiedenartigen Körpern. Dabei gilt die untere Zahl für Flußkiesel und die obere Zahl für gebrochenen Sand und Kies, wo wir bessere Übereinstimmung von Rechg. und tatsächlichem Korn haben.

Der Anteil a hängt von der Oberfläche des Zuschlagstoffes ab, da ja jedes Korn mit seiner Oberfläche in Zementmilch eintauchen muß.

Die Berechnung der Oberfläche wird nun für Kugelkörner ausgeführt und dann durch Zahlenangaben für andere Körper ergänzt.

Die Oberfläche für Kugeln mit dem Durchmesser  $D_n$ , die den Raum  $V_n$  ausfüllen, ist:

$$(18) \quad O_n = \frac{8 V_n}{4/3 \cdot D_n^3 \pi} \cdot D_n^2 \pi = \frac{6 V_n}{D_n}.$$

Zahlentafel 8. Ermittlung der Oberfläche.

Korndurchmesser	Volumanteil %	Oberfläche
$D_0$	$A = \frac{V}{(1+\alpha)^3}$	$\frac{D_0}{6} \frac{V}{(1+\alpha)^3}$
$D_1 = \alpha D_0$	$A \cdot \beta$	$\frac{6}{D_0 \alpha} \frac{V}{(1+\alpha)^3} \cdot \beta = \frac{6}{D_0} \frac{V}{(1+\alpha)^3} \cdot \frac{\beta}{\alpha}$
$D_2 = \alpha^2 D_0$	$A \cdot \beta^2$	$\frac{6}{D_0 \alpha^2} \frac{V}{(1+\alpha)^3} \cdot \beta^2 = \frac{6}{D_0} \frac{V}{(1+\alpha)^3} \cdot \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2$
$D_3 = \alpha^3 D_0$	$A \beta^3$	:
$D_4 = \alpha^4 D_0$	$A \beta^4$	:
$D_5 = \alpha^5 D_0$	$A \beta^5$	$\frac{6}{D_0} \frac{V}{(1+\alpha)^3} \cdot \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^5$

In Zahlentafel 8 ist danach die Oberfläche der einzelnen Korngruppen berechnet. Die Summe der Oberfläche ist

$$(19) \quad O = \frac{6}{D_0} \cdot \frac{V}{(1+\alpha)^3} \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} + \frac{\beta^2}{\alpha^2} + \dots + \frac{\beta^{n-1}}{\alpha^{n-1}} \right)$$

eine geometrische Reihe, die jedoch nicht mehr konvergiert, da der Ausdruck  $\beta/\alpha$  nicht kleiner als 1 ist. Die Summe ist daher auch von der Anzahl der Glieder wesentlich abhängig, also von der Anzahl der Kornfolgen. Wir können die Summe für (19) bilden und erhalten:

$$(20) \quad O = \frac{6}{D_0} \frac{V}{(1+\alpha)^3} \cdot \frac{\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^n - 1}{\left(\frac{\beta}{\alpha}\right) - 1}.$$

Wählt man  $\alpha = 0,50$ , so ist  $\beta = 0,7$  und die Anzahl der Kornfolgen von 30 mm bis 0,24 mm zu 8 (vgl. Zahlentafel 2), so ist ( $V = 1000 \text{ cm}^3 = 1$ )

$$O = \frac{6}{3} \cdot \frac{1000}{1,5^3} \cdot \frac{1,4^8 - 1}{0,4} = 20\,400 \text{ cm}^2.$$

Die Dicke der Zementhaut sei gleich 0,007 cm, gleich dem mittleren Durchmesser eines Zementkornes, so ist der Zementanteil

$$Z_1 = 20\,400 \cdot 0,007 = 143 \text{ cm}^3 \text{ oder } 14,3\%.$$

Der Gesamtzementverbrauch für 1 m<sup>3</sup> Beton ist daher

- a) als Bindemittel . . . . . 14,3%
- b) zur Ausfüllung der verbl. Hohlräume (Zahlentafel 2)
- $Z_2 = 8,3 \cdot 0,857$  . . . . . 7,1%
- 21,4%

Die Zahl 0,857 ergibt sich, da der zur Festigung erforderliche Zement bereits 14,3% ausmacht, so daß dieser Anteil nicht noch einmal in Rechnung gestellt werden kann (8,3% Kornfolgen kleiner als 0,24 mm).

Bei würfelförmigen Körpern oder ähnlichem Korn (gebrochenes Material) ist die Oberfläche etwa um 25% größer, so daß dann  $21,4 + 5,3 = 26,7\%$  des Volumens der Zementanteil ist. Wir erhalten somit zur Erzeugung eines 1 m<sup>3</sup> guten Betons die Mindestmengen:

- a) für Beton aus Flußkiesel zu 300 kg/m<sup>3</sup>
- b) „ „ aus Splitt zu 350 kg/m<sup>3</sup>

Dies sind Mindestmengen, und wir erkennen, daß die in den Bestimmungen angegebenen Zahlenwerte tatsächlich nicht unterschritten werden können, ohne die Festigkeit herabzumindern.

Für Stahlsaitenbeton ergibt die Berechnung nach Zahlentafel 3, wobei festgelegt wurde, daß der Feinanteil unter 1 mm Korndurchmesser durch Zement ersetzt werden muß, die Zahlenwerte:

$$\alpha = 0,50; \quad \beta = 0,70; \quad n = 4; \quad D_0 = 10 \text{ mm}$$

$$O = \frac{6}{1} \cdot \frac{1000}{1,5^3} \cdot \frac{1,4^4 - 1}{0,4} = 12\,700 \text{ cm}^2.$$

Dies ergibt  $Z_1 = 9\%$ .

Zur Ausfüllung der Hohlräume ist erforderlich:  $Z_2 = 24.0.91 = 22\%$ , so daß die Mindestmenge gegeben ist zu  $9 + 22 = 31\%$ . Um zu berücksichtigen, daß man es hier nicht mit Kugeln zu tun hat, wurde der Anteil um 25% vergrößert, so daß sich 39% oder 550 kg Zement je  $m^3$  Beton ergab. Die Versuche zeigten auch, daß für die gewählten Zuschlagstoffe bei 550 kg Zement je  $m^3$  Beton die höchsten Festigkeiten erreicht wurden.

Die Berechnung zeigt weiter, daß man den geringsten Zementbedarf für kleine Stetigkeitsziffern erhält. Dort ist sowohl der Anteil des Zementes  $Z_1$  zur Verfestigung wie auch zur Füllung klein. Für die  $\alpha$ -Werte von 0,50—0,80 bleibt dann die Summe  $Z = Z_1 + Z_2$  ziemlich gleich. Der Verfestigungsanteil nimmt mit größerem  $\alpha$  ab, doch nimmt dann der Füllanteil zu. Bei Übergang von  $\alpha = 0,50$  zu  $\alpha = 0,14$  nimmt die Oberfläche bei gleichen Körnungsgrenzwerten um etwa  $1/2,4$  ab, so daß auch der Zementanteil für die Verfestigung um den gleichen Betrag abnimmt. Man erhält dann als unteren Grenzwert für Zement 200  $kg/m^3$ . Dies ist somit der kleinste Wert überhaupt, der jedoch nur für Ausfallkörnungen gilt. Der Nachteil dieser Körnung ist jedoch die leichte Entmischbarkeit.

Wir fassen nun das Ergebnis unserer Untersuchung zusammen:

1. Die Zuschlagstoffe, die einen guten und dichten Beton ergeben sollen, müssen so gekörnt sein, daß die auf die einzelnen Durchmesser entfallenden Anteile der in Zahlentafel 2 angegebenen Gesetzmäßigkeit folgt. Die nach der in unseren Bestimmungen angegebenen Linie ausgewählte Kornfolge ist ein Sonderfall aller möglichen richtigen Sieblinien. Um jedoch für größere oder kleinere Größtkörner die richtige Sieblinie aufzustellen, ist notwendig, auf die allgemeinen Gesetze zurückzugehen.

„Das unentwegte Sieblinien ziehen nach einem Schema ohne Rücksicht auf die maximale Korngröße, Kornform und den Betonierzweck ist noch ein verworrenes Kapitel auf dem Gebiete der Körnungsfrage“ schreibt Hummel in seinem Beton-ABC. Hier Klarheit hincinzubringen und zu zeigen, daß auch die bisher außerhalb der bisherigen Regeln stehenden Ausfallkörnungen ebenfalls gemeinsam mit der Grafischen Linie E einem ganz bestimmten Gesetz folgen, war der Zweck der angegebenen Auseinandersetzungen.

2. Zur Kennzeichnung eines Zuschlagstoffes eignet sich die Summe der Siebdurchgänge  $\Sigma$ , die nur eine Funktion der Stetigkeitsziffer  $\alpha$  ist. Auch diese Kennziffer ließ sich allgemein für beliebige Stetigkeitsziffer ermitteln. Für den Sonderfall des Tyler-schen oder des deutschen Siebsatzes wurde die Kennziffer  $\Sigma'$  mit dem Abramsschen Feinheitsmodul in eine einfache Beziehung gebracht.

3. Für den Zementanteil ließen sich allgemeine und einfache Beziehungen finden.

Die Arbeit soll weiter bei künftigen Versuchen einige Richtlinien geben. Um über die zweckmäßige Kornzusammensetzung Aufschluß zu erhalten, ist erforderlich, auch zueinander passende Siebsätze zu wählen. Vor allem müssen wir uns klar sein, daß die Aufgabe der zweckmäßigsten Kornzusammensetzung nicht durch bestimmte Siebkurven eindeutig gegeben, sondern mitbestimmend hierfür die Verarbeitung des Betons, die Zementmenge und der Verwendungszweck ist.

5. Kornzusammensetzung bei Talsperrenbauten.

Seit jcher ist im Talsperrenbau der richtigen Kornzusammensetzung ein besonderes Augenmerk zugewendet worden. Während bei Bauten aus Stahlsaitenbeton das Größtkorn bestimmt ist und nicht größer sein kann als die lichte Weite zwischen zwei Stahlsaiten, ist bei Talsperrenbauten anzustreben, das Größtkorn möglichst groß zu wählen. Mit der Festlegung des Größtkornes liegt das Verhältnis von Sand zu Grobzuschlag, der erforderliche Feinteilgehalt, der Wasserbedarf und auch die Zementmenge fest. Wir wollen uns die Frage vorlegen, wie sich der Zementbedarf ändert, wenn man das Größtkorn eines Betons von 60 mm auf 120 mm ändert. Die Kornfolgen sind für 120 mm Größtkorn: 120; 60; 30; 15; 7,5; 3,75; 1,88; 0,94; 0,47; 0,24 und 0,12 mm. Bei  $D_0$

= 60 mm fällt das Korn mit 120 mm weg. Wir erhalten somit die Anzahl der Kornfolgen, nach unserer Gl. (20), die Oberfläche  $O$  und den Zementanteil, der zur Festigung dient (Zahlentafel 9).

Zahlentafel 9.

$D_0$ mm	n	O $cm^2$ (für 1 l Beton)	Festigungs- anteil %
120	11	14 700	10,3
60	10	20 700	14,5

Der Hohlraumanteil an Zement (und Traß) muß für  $D_0 = 120$  mm zu etwa 14% angenommen werden. Bei  $D_0 = 60$  mm ist dieser Anteil dann um 1% höher anzunehmen, weil auch die Summe der Kornfolgen von 120 bis 0,12 bzw. von 60 bis 0,12 sich um 1% unterscheiden. Der Gesamtzementanteil ist für  $D_0 = 120$  mm daher 24,3%, während für  $D_0 = 60$  mm der Zementanteil 29,5% ist. Im zweiten Fall ist gegenüber dem ersten um 21% mehr Zement erforderlich.

Kesselheim hat in seiner Dissertation: „Wege zur Verbesserung und Verbilligung des Betons beim Talsperrenbau“, Karlsruhe 1933, nachgewiesen, daß durch Erhöhung der oberen Korngrenze von 60 mm auf 120 mm 15% der Zementkosten und 12% der Aufbereitungskosten hätte erspart werden können; die Zementersparnis wäre dabei gleichzeitig einer Verringerung des Schwindmaßes zugute gekommen. Wir erkennen, daß diese Aussage mit unserer Aussage gut übereinstimmt.

Wir wollen für Kiesbeton noch den Anteil an Sand (Korn  $\leq 5$  mm) in Abhängigkeit vom Größtkorn berechnen und diese Linie mit der von Tölke<sup>2</sup> angegebenen vergleichen.

Zahlentafel 10.

$D_0 = 160$ mm	Anteile	$D_0 = 80$	Anteile	$D_0 = 40$	Anteile	$D_0 = 20$	Anteile
160	30	80	30	40	30	20	30
80	21	40	21	20	21	10	21
40	14,7	20	14,7	10	14,7		
20	10,3	10	10,3				
10	7,2						
Kornanteil	83,2		76,0		65,7		51
Sand und Füllzement	16,8		24,0		34,3		49



Abb. 9. Abhängigkeit des Sandgehaltes vom Größtkorn.

In Zahlentafel 10 ist die Berechnung ausgeführt, wobei  $\alpha = 0,50$  angenommen ist und die Stufen 160; 80; 40; 20 mm ausgewählt wurden. In Abb. 9 sind die errechneten Werte mit den von Tölke angegebenen Werten verglichen. Tölke nahm einen geradlinigen Verlauf an. Die Linie gibt den Sandgehalt für den Bereich von 40—160 mm gut wieder.

Der oft angewendete Sandgehalt ist viel zu gering. Die Folge ist ein undichter Beton. Besonders dann wird der Sandgehalt zu klein, wenn man das Größtkorn klein annimmt. Um diesem Übelstand abzuhelfen, muß in den Ausschreibungsbedingungen angegeben sein, daß eine Unterschreitung des vorgeschriebenen Sandanteils nicht zugelassen wird.

<sup>2</sup> Neuere Entwicklungslinien für Beton- und Eisenbeton-Talsperren. Beton u. Eisen II (1939) S. 10.

Zahlentafel 11.

Größtkorn	20	40	60	80	100	120	140	160
Anzahl n . . . . .	5	5	5	5	4	4	3	2
Oberfläche cm <sup>2</sup> . . . . .	1230	1400	1630	1960	1580	2110	1930	2130
Mörtelanteil für 1000 cm <sup>3</sup> Grobteile . . . . .	307	350	407	490	395	527	483	532
Mörtelanteil % (Gesamt- anteil) . . . . .	25	29	34	41	30	40	32	27
Grobanteil % (Zahlen- tafel 10) . . . . .	83,2	83,2	83,2	83,2	76	76	65,7	51
Feinanteil zur Füllung (Zahlentafel 10) . . . . .	16,8	16,8	16,8	16,8	24	24	34,3	49
Gesamtanteil an Sand — Zement — Wasser . . . . .	41,8	45,8	50,8	57,8	54	64	66,3	76
Wasseranteil % . . . . .	18	18	18	18	18	18	18	18
Trockenanteil % . . . . .	23,8	27,8	32,8	39,8	36	46	48,3	58

zunehmen. Auf diese Weise erhält man den Trockenanteil, der in Abb. 10 dargestellt ist. Dieser Wert ist mit den von Kesselheim ermittelten Werten verglichen und zeigt gute Übereinstimmung.

Zum Abschluß sei noch die Sieblinie für das vorbildlich zusammengesetzte Zuschlaggut der Bull-Run-Staumauer USA. mit den errechneten Werten verglichen und die Kennziffer dieses Gutes ermittelt (Abb. 11).

Wir wollen nun den Mörtelbedarf in Abhängigkeit vom Größtkorn bestimmen. Wir wählen  $\alpha = 0,50$  und die Größtkornstufen von 160 mm bis 20 mm (Zahlentafel 11).

Die Berechnung ist in Zahlentafel 11 angegeben. Dabei wurden in der ersten Zeile die Anzahl der Kornstufen hingeschrie-

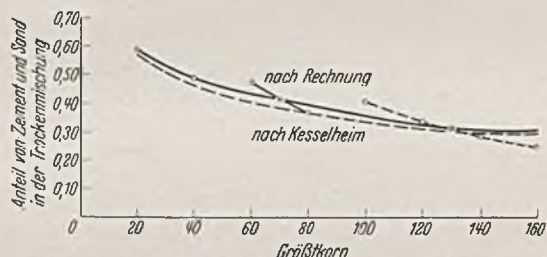


Abb. 10. Abhängigkeit des Mörtelgehaltes vom Größtkorn im Tal-sperrenbau.

ben, die von  $D_0$  bis 5 mm sind und danach, nach unserer Oberflächenformel, die Oberfläche und der Bindemörtelanteil für eine 0,25 cm dicke Einbettungsschicht ermittelt. Die Zahlen gelten für 1000 cm<sup>3</sup> Grobkorn und sind entsprechend dem Prozentgehalt von Grobkorn zu Feinkorn noch abzumindern und zu diesem Wert der Füllanteil hinzuzugeben. Der Wasserbedarf ist mit 180 l an-

Korngröße  $0 \div 5$ ;  $5 \div 10$ ;  $10 \div 25$ ;  $25 \div 75$ ;  $75 \div 125$ ;  $125 \div 175$  mm  
Gewicht 19 6 12 16 29 18

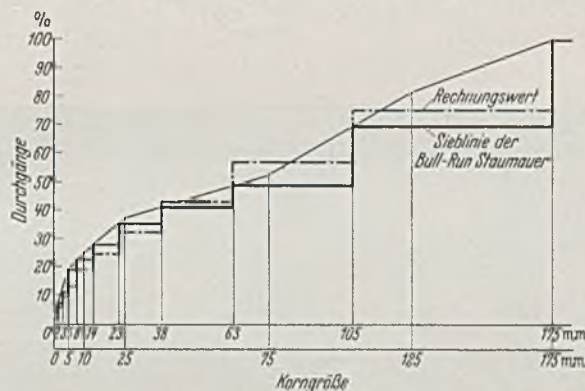


Abb. 11. Sieblinie des Zuschlagstoffes für die Bull-Run-Staumauer.

Hieraus ergeben sich die in Abb. 11 ermittelten Linien. Man muß dabei den gewählten Siebsatz mit dem gesetzmäßigen Siebsatz in Übereinstimmung bringen und erhält die Stetigkeitsziffer zu  $\alpha = 0,60$ . Die Kennziffer ergibt sich für  $\alpha = 0,60$  zu 310, während der tatsächliche Wert 298 ist. Wir ersehen aus der guten Übereinstimmung, daß die Kornfolge richtig gewählt ist und auch wie einfach die Überprüfung einer Sieblinie möglich ist.

## DIE BESCHAFFENHEIT DES ZEMENTLEIMS IM BETON.

Prof. Dr. R. Grün. Düsseldorf.

DK 691,33

Bei Lagerungsversuchen von Beton, der mit verschiedener Konsistenz angemacht war, in Salzwasser hat sich überraschenderweise gezeigt, daß bei der Lagerung in besonders aggressiver konzentrierter Lösung sich bei manchen Zementen der erdfeuchte Beton besser gehalten hatte als plastischer und Gußbeton (Abb. 1)<sup>1</sup>. Diese Beobachtung deckt sich nicht mit den allgemein gültigen Anschauungen, daß nämlich die Widerstandsfähigkeit eines Betons in erster Linie abhängt vom physikalischen Aufbau, denn es ist kein Zweifel, daß in bezug auf Wasserdurchlässigkeit ein erdfeuchter Beton im allgemeinen hinter einem plastischem Beton zurücksteht, ja daß er sogar wasserdurchlässiger ist als ein Gußbeton, vorausgesetzt, daß der letztere nicht austrocknen konnte. Diese Beobachtung ist deshalb wichtig, weil sie zeigt, daß nicht allein die gute Verdichtung von Wichtigkeit ist, sondern auch der Aufbau des Zementleims sowohl in physikalischer als auch in chemischer Beziehung. Die diesbezügl. Erkenntnisse in bezug auf chemischen Aufbau sind schon alt und haben immer wieder gezeigt, daß es zweckmäßig ist, Puzzolanzusatz für besonders chemisch beanspruchte Zemente heranzuziehen, besonders dann, wenn die che-

mische Beanspruchung ausgeht von Sulfat, da die Puzzolane, wie beispielsweise Traß, vor allen Dingen aber auch Hochofenschlacke in den Erhärtungsvorgang eingreifen und Kalk bis zu einem gewissen Grade zu binden und dadurch dem aggressiven Sulfat die Einwirkungsmöglichkeit zu nehmen vermögen.

Wenig bekannt ist aber die Einwirkung des physikalischen Aufbaus und Untersuchungen über diesen physikalischen Aufbau sind verhältnismäßig selten. Bei Prüfung von Zementleim, also von Purzement, der mit verschiedenem Wassergehalt angemacht war, zeigte sich tatsächlich entsprechend der Erwartung aus den oben genannten Beobachtungen die große physikalische Verschiedenheit des Zementleims in bezug auf Wasseraufnahme und Raumgewicht. Die Tatsache dieser Verschiedenheit ist jedem Fachmann bekannt von der Praxis des Gußbetonbaues. Bei diesem Gußbetonbau treten leicht, hauptsächlich wenn schlecht gearbeitet wird, Entmischungen auf, indem bei zu hohem Wasserzusatz die Zementbrühe sich auf der Oberfläche des Betons absetzt und dann allmählich zu einem überaus leichten Gestein mit einem sehr geringen spez. Gewicht mit einer hohen Wasseraufnahme erhärtet. Trotz dieser Beobachtung wurden entsprechende Schlüsse auf die Praxis des Betonbaues noch selten gezogen.

<sup>1</sup> Aus Grün: Einwirkung von Salzlösungen auf Zement und Beton. Angewandte Chemie III (1938) S. 879.

Bei Gegenüberstellung von Wasseraufnahmen von Zementleim, dereinerseits mit wenig, andererseits mit viel und noch mehr Wasser angemacht war entsprechend der Verarbeitung des Zements zu erdfeuchtem, plastischem und Gußbeton, wurden die Zahlen der folgenden Zahlentafel 1 gefunden.

Zahlentafel 1.

Wasseraufnahme und Raumgewicht von Reinzementen, die mit steigendem Wassergehalt angemacht wurden.

Reihe	Wasser- zusatz %	Zement 1		Zement 2	
		Wasser- aufnahme %	Raum- gewicht	Wasser- aufnahme %	Raum- gewicht
I erdfeucht	25	2,5	2,04	—	—
	23	—	—	3,6	2,11
II plastisch	29	4,6	2,01	—	—
	28	—	—	9,1	1,98
III flüssig	35	8,9	1,90	—	—
	32	—	—	10,9	1,91

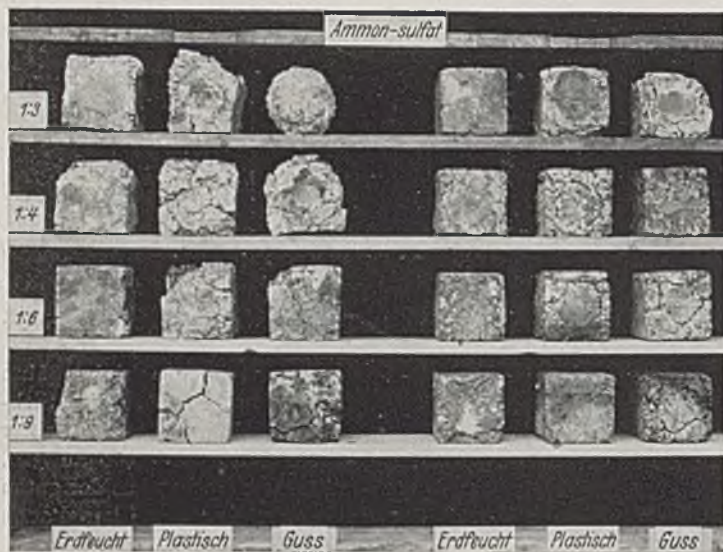


Abb. 1. Gegenüberstellung von Mörteln (in verschiedenen Mischungsverhältnissen), die zwei Jahre in Ammon-Sulfat gelagert hatten, aus zwei verschiedenen Normenzementen bei erdfeuchter, plastischer und Gußverarbeitung. Im allgemeinen hat sich der Gußmörtel am schlechtesten, der erdfeuchte am besten gehalten.

Die Zahlen zeigen, daß nicht bloß das Raumgewicht des Zementleims, wie jedem bekannt ist, durch den hohen Wasserzusatz heruntergeht, sondern auch die Wasseraufnahme von rd. 3% auf das Dreifache, nämlich rd. 9% steigt. Daß bei dieser Sachlage und dem Mechanismus der Zerstörungserscheinung als solcher ein hoch wasseraufnahmefähiger Zementleim stärker gefährdet ist als ein wenig wasseraufnahmefähiger, liegt auf der Hand, denn der Austausch zwischen der aggressiven Lösung einerseits und dem Zementleim andererseits wird um so schneller und intensiver vor sich gehen, je stärker wasseraufnahmefähig der Zementleim ist. Er kann dabei für Wasser durchlässigkeit verhältnismäßig unempfindlich sein, maßgebend sind seine Hohlräume, auch wenn jeder Hohlraum in sich geschlossen ist. Denn die Zerstörung wird nicht hervorgerufen durch den Wasserdurchgang des aggressiven Wassers durch den Zementleim, sondern durch einen Austausch, wie dieser Austausch von der Praxis der halbdurchlässigen Membrane (Semipermeable Membrane) und vom osmotischen Druck her bekannt ist.

Um die Frage, die nach der bisherigen Beobachtung nicht genügend geklärt erschien, weiter zu prüfen, wurden einige Versuche durchgeführt mit Mörtelprismen, die normengemäß mit

Hägermannsand in der üblichen Weise hergestellt worden waren, und zwar wurden zwei verschiedene Reihen geprüft. Eine Reihe mit niedrigem Wasserzusatz (10%), eine mit höherem Wasserzusatz (15%). Die Prismen 4 · 4 · 16 cm wurden in der bekannten Form hergestellt und nach dem Erhärten senkrecht in eine Wasserschicht von 2 cm Höhe gestellt. Beobachtet wurde die Schnelligkeit des Wasseranstiegs und die Wasseraufnahme durch Wägen. Die gefundenen Ergebnisse sind in Zahlentafel 2 und 3 und Abb. 2 und 3 niedergelegt.

Zahlentafel 2.

Wasseranstieg in Mörtelprismen.

a) Erdfeuchte Reihe (10% Wasserzusatz).

Gemessen nach	Normen-Zement				Traß-Zement		Mittel aus 6 Zementen cm
	a	b	c	d	e	f	
6 Std.	7,7	7,3	4,6	6,5	4,8	6,1	6,2
22 „	11,7	12,5	6,9	8,6	7,7	10,8	9,7
45 „	14,2	14,2	7,8	10,0	8,4	12,2	11,1
7 Tagen	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0

b) Plastische Reihe (15% Wasserzusatz).

6 Std.	10,2	10,4	7,3	9,9	7,4	9,8	9,2
22 „	16,0	16,0	10,8	14,4	12,3	16,0	14,3
45 „	16,0	16,0	13,7	16,0	15,1	16,0	15,5
7 Tagen	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0

Zahlentafel 3.

Gewichtszunahme (Wasseraufnahme).

a) Erdfeuchte Reihe (10% Wasserzusatz).

Gewogen nach	Normen-Zement				Traß-Zement		Mittel aus 6 Zementen %
	a	b	c	d	e	f	
7 Tagen	3,4	3,2	1,6	2,3	1,5	3,1	2,5
14 „	3,3	3,0	1,7	2,3	1,4	2,7	2,4
3 Monate	2,5	1,7	1,4	1,7	0,9	1,5	1,6
11 „	4,1	2,9	2,8	3,7	3,2	3,5	3,4

b) Plastische Reihe (15% Wasserzusatz).

7 Tagen	5,1	5,0	2,8	4,5	4,1	5,6	4,5
14 „	5,4	5,1	2,7	4,7	4,5	5,7	4,7
3 Monate	3,2	2,6	1,2	0,8	1,3	2,2	1,9
11 „	5,7	4,2	2,6	3,5	4,4	4,3	4,1

Flüssigkeitsanstieg.

Bei Beobachtung des Flüssigkeitsanstiegs zeigte sich, daß die Flüssigkeit verschieden schnell in den verschiedenen Prismen hochsteigt. Bei manchen Prismen war (nach erdfeuchter Verarbeitung) nach 6 Stunden die Flüssigkeit erst ungefähr 4—5 cm hoch gestiegen, bei anderen über 7 cm. Bei plastischer Verarbeitung dagegen waren die Zahlen größer. Hier betrug der niedrigste Flüssigkeitsanstieg nach 6 Stunden bereits 7 cm, der höchste fast 11 cm. Nach 22 Stunden war das Wasser weiter aufgesaugt worden, und zwar bei der erdfeuchten Reihe 7—12 cm, bei der plastischen Reihe war die Hälfte der Prismen schon völlig vollgesaugt. Nach 45 Std. betrug der Flüssigkeitsanstieg für die erdfeuchten Prismen ungefähr 8—14 cm, war also für die verschiedenen Zemente recht verschieden; keines der Prismen war vollgesaugt. Anders dagegen verhielt sich die plastische Reihe. Hier waren fast alle Prismen völlig mit Wasser getränkt. Erst nach 7 Tagen hatte ein Ausgleich zwischen erdfeucht und plastisch stattgefunden; hier waren nämlich die Prismen alle vollgesaugt.



**Gewichtszunahme.**

Die Gewichtszunahme ging naturgemäß ungefähr parallel mit der Aufstieghöhe des Wassers. Bei der Gewichtszunahme war es aber möglich, die Versuche länger auszudehnen, und sie gewährten Einblick in den inneren Aufbau des Prismas, denn es konnte immerhin angenommen werden, daß das Aufsteigen des Wassers bloß in der äußeren Zone erfolgte: In der Gewichtszunahme mußte sich aber die gesamte Wasseraufnahme ausdrücken. Gewogen

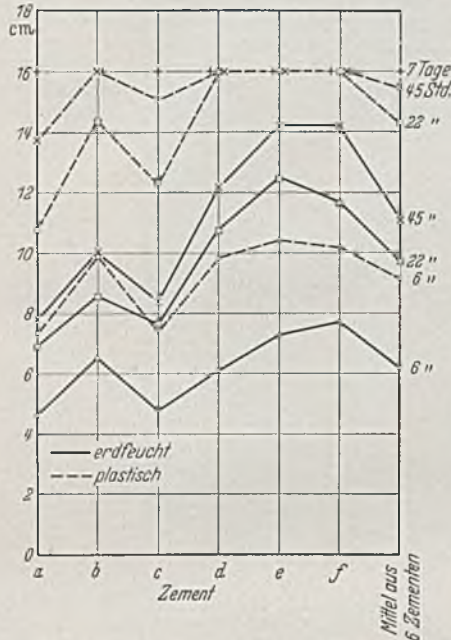


Abb. 2. Wasseranstieg in 16-cm-Prismen aus verschiedenen Zementen nach 6 bis 45 Stunden bei einerseits erdfeuchter, andererseits plastischer Herstellung der Prismen: Die erdfeuchten Prismen saugen das Wasser viel weniger stark an als die plastischen (a, b, c, d, e, f bedeuten die verschiedenen Zemente).

für die erdfeuchte Reihe eine Gewichtszunahme von ungefähr 2,4%, für die plastische dagegen von 4,7%, also praktisch das Doppelte. Auch bei der Verdunstungsmöglichkeit ist der Wassergehalt der plastischen Prismen höher als der der erdfeuchten und nach Eintreten des Gleichgewichts nach 11 Monaten ist das Gewicht des Wassers in der erdfeuchten Reihe mit 3,4% immer noch geringer als das der plastischen Reihe mit 4,1%, die also zweifellos mehr für das Wasser zugängliche Hohlräume im Zementleim hat.

**Zusammenfassung.**

Bei Versuchen über die Wasseraufnahme des Zementleims bei erdfeuchtem, plastischem und Gußbeton zeigte sich eine wesentlich höhere Wasseraufnahme des Zementleims, der mit mehr Wasser angemacht war, gegenüber dem Zementleim, der mit

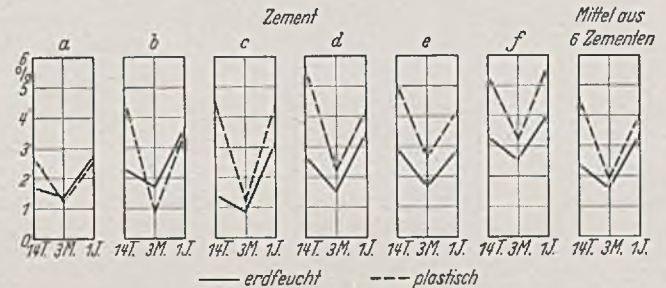


Abb. 3. Wasseraufnahme von Prismen, die einerseits erdfeucht (ausgezogene Linie), andererseits plastisch (punktirierte Linie) angemacht waren, nach 14 Tagen, 3 Monaten und 1 Jahr (die niedrigen Zahlen nach 3 Monaten sind auf starke Verdunstung im Sommer zurückzuführen, nach dieser Zeit wurden die Gefäße bedeckt gehalten). Die erdfeuchten Prismen haben im allgemeinen weniger Wasseraufnahme als die plastisch hergestellten (a, b, c, d, e, f bedeuten die verschiedenen Zemente).

wurde nach 7 und 14 Tagen, dann wurden die Glasgefäße, in denen sich die Prismen befanden, mit einer Glasscheibe bedeckt, um Wasserverdunstung zu verhindern, und die Versuche auf 11 Monate ausgedehnt.

In der erdfeuchten Reihe zeigten sich wieder dieselben Unterschiede wie beim Flüssigkeitsanstieg. Auch hier waren einige Zemente besonders schwach mit nur 1½% Wasseraufnahme, während andere Zemente über das Doppelte aufnahmen. Nach 14 Tagen wurde ungefähr das Maximum erreicht. Die Zahlen sanken dann wieder, offenbar weil im Sommer, bei der die Beobachtung stattfand, die Verdunstung größer war als die Aufsaugung. Es ist klar, wie stark bei einem derartigem Mechanismus die Anreicherung selbst geringer Mengen aggressiver Bestandteile des Wassers im Zementleim werden kann durch einfache Konzentration durch Verdunstung; dies ist ein ernster Hinweis, wie wichtig der Wasseraufstieg ist.

Nach 11 Monaten war ein gewisses Gleichgewicht erreicht. Vergleicht man die Durchschnittszahlen für die erdfeuchte Reihe mit der plastischen Reihe, so sieht man in den ersten 14 Tagen

weniger Wasser angemacht war. Auch bei der Mörtelprüfung ergab sich ein sehr viel schnelleres Aufsteigen des Wassers im plastischen Mörtel gegenüber dem erdfeuchten Mörtel und ebenso eine sehr viel stärkere Wasseraufnahme, hauptsächlich im Anfang. Selbstverständlich gleicht sich im Laufe der Zeit die Wasseraufnahme aus, indem allmählich sich der erdfeuchte Mörtel bei entsprechender Versuchsanordnung sich fast ebenso hoch voll Wasser saugt wie der plastische; immerhin bleibt aber die Gewichtszunahme für den erdfeuchten Mörtel hinter derjenigen des plastischen Mörtels zurück, ein Hinweis darauf, daß auch hier die Hohlräume, die Wasser aufnehmen können, geringer sind als die Hohlräume im plastischen Mörtel. Denn wenn sich auch beide Mörtelarten bei der gewählten Versuchsanordnung allmählich vollkommen voll Wasser saugen, wenn auch in ganz verschiedenen Zeiträumen, so ist doch die Wasseraufnahme für den plastischen Mörtel geringer als diejenige für den erdfeuchten Mörtel, wenn also auch ein plastischer Mörtel wasserdichter sein kann als ein erdfeuchter Mörtel, kann er dennoch ein höheres Wasseraufsaugvermögen haben.

**KURZE TECHNISCHE BERICHTE.**

**Zwölfjahresplan in Portugal zur landeskulturellen Erschließung versteppter oder versumpfter Talniederungen.**

Portugal, unter der tatkräftigen autoritären Regierung seines genialen Präsidenten Salazar aus dem Dornröschenschlaf erwacht, richtet seit einigen Jahren, ähnlich wie Deutschland und Italien, sein Hauptaugenmerk darauf, die wirtschaftlichen Möglichkeiten des Landes zu erschließen, seine Erwerbslosen wieder in Arbeit und Brot zu bringen und durch Gewinnung neuen Bauernlandes seinen Bevölkerungsüberschuß dem Lande zu erhalten. Unter Leitung des Ministers der öffentlichen Arbeiten, Duarte Pacheco, bestens bekannt auch als vormaliger Direktor der Technischen Hochschule Lissabon, wurden eingehende wasser- und energiewirtschaftliche Untersuchungen durchgeführt, um die Möglichkeiten einer landeskulturellen Erschließung von 400 000 ha versteppter oder versumpfter, an sich fruchtbarer Talniederungen zu klären. Es wurde eine besondere Verwaltungsbehörde gebildet, die Junta Autonoma das Obras Hidraulica Agricola, und ein erster Zwölfjahresplan aufgestellt, durch den 106 000 ha, d. h. etwa ¼ der mehr oder weniger brach liegenden Niederungen der bäuerlichen

Siedlung zugeführt werden sollen (Beschluß der portugiesischen korporativen Kammer vom 12. Mai 1938).

Die Lage und Größe der durch diesen ersten Zwölfjahresplan zu erschließenden Gebiete ist aus Abb. 1 ersichtlich, während die nachfolgende Zusammenstellung einen Einzelüberblick, insbesondere auch bezgl. der Kosten vermittelt.

Von größter Bedeutung wird auch die gleichzeitig anfallende elektrische Energie sein, deren Ausbaukosten in der vorstehenden Zusammenstellung bereits mit enthalten sind. Es werden insgesamt 309 Mio. kWh alljährlich anfallen, von denen 22 Mio. oder 7% für Bewässerungszwecke (Pumpwerke u. dgl.) benötigt werden; es verbleiben damit 287 Mio. kWh, die der nationalen Stromversorgung Portugals zugeführt werden können. Bezogen auf die derzeitige Stromversorgung Portugals von 355 Mio. kWh bedeutet dies einen Zuwachs von rd. 80%. Die derzeitigen 355 Mio. kWh jährlicher Stromerzeugung verteilen sich zu 116 Mio. kWh auf Wasserstrom und zu 239 auf Dampfstrom. Mit dem neu zu gewinnenden 287 Mio. kWh Wasserstrom hofft man den größten Teil der Dampfkraftwerke umstellen und die für die Kohleneinfuhr benötigten Devisenanforderungen entsprechend herabsetzen zu können.

Talniederung	ha	Kosten (in Mill. Escudos)	Kosten/ha (in Mill. Escudos)
1. Paul de Magos . . . . .	700	8,70	0,0124
2. Paul da Cela . . . . .	441	3,65	0,0083
3. Campos de Loures . . . . .	700	4,66	0,0066
4. Campos de Burgaces . . . . .	181	3,72	0,0206
5. Vale do Sado (1. Ausbau) . . . . .	5 304	116,45	0,0139
6. Vale do Sado (2. Ausbau) . . . . .	3 085		
7. Campos de Alvega . . . . .	438	2,55	0,0058
8. Campina da Idanha (1. Ausbau) . . . . .	1 250	38,50	0,0308
9. Veiga de Chaves . . . . .	1 070	13,30	0,0124
10. Campina de Silves . . . . .	1 900	39,00	0,0205
11. Campos do Mondego . . . . .	18 000	162,00	0,0090
12. Vale de Campilhas . . . . .	1 840	14,72	0,0080
13. Campina de Faro . . . . .	750	7,50	0,0100
14. Vale do Sorraia . . . . .	39 000	312,00	0,0080
15. Vale de Vilarica . . . . .	700	80,00	0,1143
16. Campos do Ribatejo . . . . .	12 700	139,70	0,0110
17. Campos de Tavira . . . . .	3 000	36,00	0,0120
18. Vale do Sado (3. Ausbau) . . . . .	6 291	69,20	0,0110
19. Vale do Sado (Oberlauf) . . . . .	3 160	37,92	0,0120
20. Campina da Idanha (2. Ausbau) . . . . .	5 490	28,81	0,0052
Insgesamt bzw. im Mittel . . . . .	106 000	1118,38	0,0106

Bemerkenswert an dieser Zusammenstellung sind die außerordentlichen Schwankungen in den Einheitskosten, auf der einen Seite bis zum halben, auf der anderen bis zum zehnfachen Betrage der Durchschnittskosten.



Abb. 1.

Die von dem Zwölfjahresplan betroffenen Landstriche werden enteignet und neu parzelliert; die Größe der zu schaffenden Bauernhöfe liegt zwischen 1 und 5 ha, so daß im Mittel etwa 35 000 neue Bauernhöfe entstehen werden. Die Bauern sollen vornehmlich den Kreisen der Landarbeiter und den der bisher nicht krisenfesten Kleinbauern entnommen werden, wobei in den Bewässerungsgebieten Ansässige und Bauernsöhne bevorzugt werden. Der Staat sorgt nicht nur für die Wasserbeschaffung sondern auch

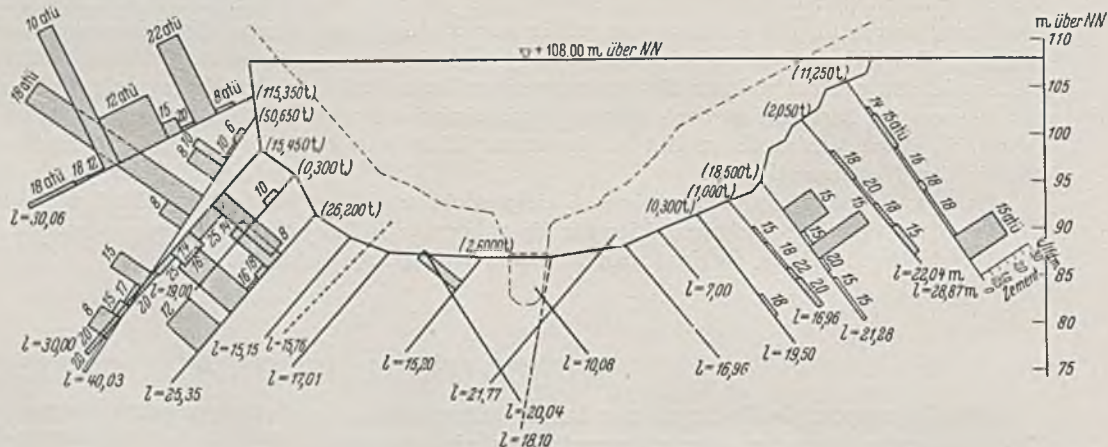


Abb. 2. Castello-Staumauer. Längsprofil, Einpreßlöcher, Einpreßdrucke und eingepreßte Zementmengen.

für die Unterhaltung der Zubringer und Entwässerungskanäle; die dafür zu zahlenden Abgaben sind so bemessen, daß die aufgenommenen Anleihen verzinst und innerhalb von 50 Jahren getilgt werden. Die auf dieser Grundlage sich ergebenden Abgaben sind

- 4% für Äcker erster Klasse,
- 3% für Äcker zweiter Klasse,
- 2% für Äcker dritter Klasse.

Hierbei umfassen die Äcker erster Klasse diejenigen in den Talgründen, die steinfrei, feinkörnig, leicht bearbeitbar und gleichmäßig durchlässig sind und mit jeder Art von Frucht bebaut werden können. Zu den Äckern zweiter Klasse zählen gut bewässerbare, muldenfreie, leicht bearbeitbare aber nicht mehr steinfreie Böden. Die Äcker dritter Klasse sind steinreich oder sonst schwer bearbeitbar; sie stellen für jede Be-

wässerungsgenossenschaft eine Art Landreserve dar, die je nach Lage der agrarpolitischen Möglichkeiten unter den Pflug genommen werden kann.

Zur Durchführung des Zwölfjahresplans wurden in den Jahren 1935 bis 1938 umfangreiche Vorarbeiten durchgeführt. So wurden 114 000 ha geodätisch vermessen, 26 meteorologische Beobachtungsstationen und 32 Pegelmesser neu angelegt bzw. ausgebaut. Zur Klärung der geologischen und Grundwasser-Verhältnisse waren zahlreiche Stollen- und Bohraufschlüsse erforderlich; stellenweise wurden auch Hochdruck-Dichtigkeitsprüfungen in Gestalt von Wassereindrückungen zur Klärung der Durchlässigkeitsverhältnisse vorgenommen.

Die geologische Voruntersuchung für die zahlreichen erforderlichen Talsperrenanlagen ergab, daß die fast überall im Talgrunde liegenden Granite, Gneise und Schiefer durchweg sehr klüftig und stellenweise tief verwittert waren, so daß man sich nicht selten entschließen mußte, an Stelle der ursprünglich beabsichtigten Staumauern Steindämme auszuführen.

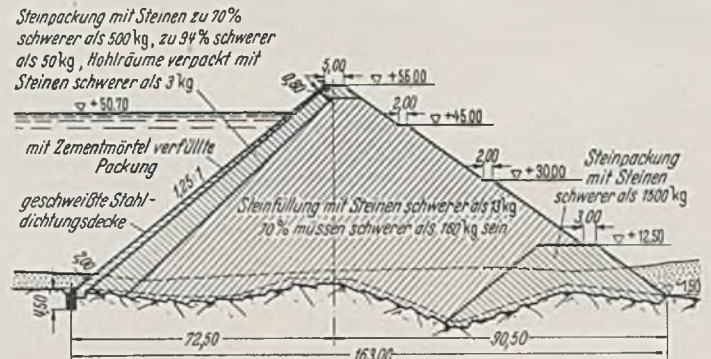


Abb. 3. Pego do Altar-Staudamm. Querschnitt.

Es wurde auch eingehend untersucht, inwieweit die Bewässerung anstatt durch Stauwerke durch unmittelbares Zurückgreifen auf die Grundwasserreservoir, also durch Anlage von Pump- und Schöpfwerken ermöglicht werden könnte. In der unter Ziff. 9 der Zusammenstellung genannten Veiga de Chaves wurden z. B. 30 Schlagbohrungen 25—48 m tief in einem tonig-sandig-kiesigen Untergrund heruntergebracht; die größten Ergiebigkeiten schwankten zwischen 0,5 und 1,5 l/s. Bezüglich des Grundwasserstandes wurden zwischen Regen- und Trockenzeit starke Unterschiede gemessen und nicht selten Unterbrechungen des Grundwasserträgers mit teilweise artesischen Drucken angetroffen. Bei der unter 13 genannten Campina de Faro wurden 3273 m Bohrlöcher heruntergebracht, bis zu Tiefen von 180 m mit Ergiebigkeiten zwischen 4 und 23 l/s. Insgesamt wurde eine für Bewässerungszwecke nutzbare Wassermenge von 282,2 l/s bei 31 Bohrlöchern und 10 m Wasserspiegel-

absenkung festgestellt. Der Untergrund bestand aus alluvialen Schichten des Miozäns und Pliozäns.

Die unter Ziff. 1—3 der Zusammenstellung genannten Bewässerungsprojekte sind bereits fertiggestellt, während sich die unter 4—8 genannten in Bauausführung befinden und bis 1941 in Betrieb genommen werden sollen. Im Mittelpunkt dieser Projekte stehen eine Reihe von Talsperren, die teils durch die Art der Baugrundbehandlung, teils durch die Art ihrer Gestaltung Erhöhung verdienen.

Eine vom Gründungsstandpunkt sehr interessante Stauanlage ist die Castello-Talsperre, die zwei Abschlußbauwerke erforderte, eine Staumauer und einen Staudamm. Bei der Staumauer, deren Längsprofil aus Abb. 2 ersichtlich ist, stellen 2/3 der Kubatur den Ersatz für weggeräumte Felsmassen dar. Der Baugrund bestand hier aus grob-

körnigen und stark zerklüfteten Graniten und Gneisen; die kaolinisierten Verwerfungsspalten gingen erheblich weiter, als man auf Grund der Voruntersuchung erwartet hatte, so daß man gezwungen war, mit der Gründungsfläche außerordentlich tief in den Felsen hineinzugehen. Ferner wurde eine bis zu 40 m tiefe Dichtungsschürze notwendig, um Unter- bzw. Umströmungen des Abschlußbauwerks zu verhindern. Um möglichst alle Klüfte anzuschneiden, kamen durchweg nur schrägliegende Auspreßlöcher in Frage.

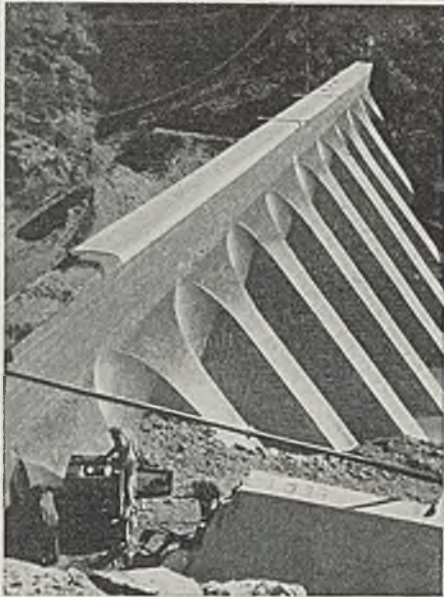


Abb. 4. Pego do Altar-Talsperre. Pfeilerstaumauer zur oberwasserseitigen Abriegelung der Baugrube.

Um ein ständiges Wiederaufbohren zu vermeiden, erfolgte das Auspressen immer von unten nach oben; dieses Verfahren hat bekanntlich den Nachteil, daß man um sicher zu gehen meist tiefer bohren muß, als es sonst vielleicht nötig wäre. Im vorliegenden Falle dürfte es angesichts der Schräge der Löcher beträchtliche Zeit und Kostenersparnisse gebracht haben. Die Auspreßstufen wurden zu 5 m gewählt, was bei



Abb. 5. Pego do Altar-Talsperre. Fangedamm zur unterwasserseitigen Abriegelung der Baugrube.

Verwendung nach oben absperrender Gummischlauchpfropfen leicht möglich ist. Die angewendeten Auspreßdrucke, die stellenweise bis auf 25 atü hinaufgingen, sind aus Abb. 2 ersichtlich. Bemerkenswert sind die großen Schwankungen der Einpreßmengen, sowohl von Loch zu Loch als auch über die Länge der einzelnen Löcher. Im Mittel ergab sich ein Zementbedarf von 831 kg/m Loch bei Wasserzementfaktoren der Zementbrühe zwischen 1 und 12. Die Hand in Hand mit der Auspressung vorgenommenen Dichtigkeitsprüfungen wurden bei 10 atü durchgeführt; man sah die erzielte Dichtigkeit als ausreichend an, wenn die Wasser-aufnahme einer 5 m-Stufe unter 2 l/min blieb.

Der die Castello-Talsperre abriegelnde Staudamm mußte auf Granitkiese gegründet werden, die auf eine Tiefe von 33 m verwittert und stark durchlässig waren. Es wurden hier interessante Einpreßversuche mit Asphaltprodukten nach dem Shell-Verfahren durchgeführt, die nach jeder Hinsicht befriedigten, aber leider sehr kostspielig waren. Da sich auch eine Abdichtung durch Zementeinpressung als möglich erwies, wurde von einer Anwendung des Shell-Verfahrens Abstand genommen.

Im Sado-Tale ist z. Z. der 60 m hohe Pego do Altar-Steindamm im Bau, durch den ein 80 hm<sup>3</sup> fassendes Staubecken geschaffen werden

soll. Der Querschnitt (Abb. 3) zeigt die üblichen Merkmale eines mittleren Steinfüllkörpers, der sich am talseitigen Dammfuß auf ein großblockiges und sorgfältig verpacktes Widerlager absetzt und wasserseitig über eine Packlage und eine Zementmörtelausfüllung in die Dichtung übergeht. Diese besteht hier nicht aus einer Eisenbetondecke, sondern aus einer geschweißten, nichtrostenden Stahldecke; die einzelnen Stahlfachwerke sind an den Schweißstellen leicht gebördelt, um eine gewisse Nachgiebigkeit gegenüber den Sackbewegungen des Dammes zu ermöglichen. Bemerkenswert sind die zur Trockenhaltung der Baugrube gewählten tal- und bergseitigen Abschlußbauwerke (Abb. 4 und 5).

Eine weitere Talsperre für das Sado-Projekt wird z. Z. im Gaio-Tale errichtet; das nutzbare Stauvolumen beträgt hier 60 hm<sup>3</sup>. Das Abschlußbauwerk (Abb. 6) zählt zu den sog. Stein-Erddämmen, bei denen

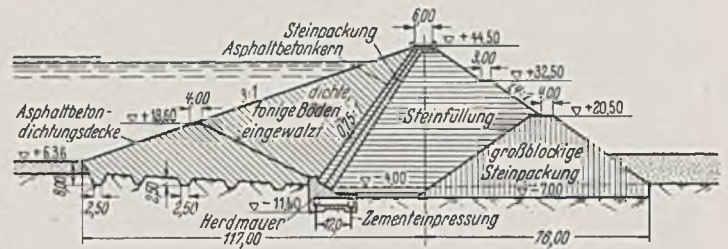


Abb. 6. Val de Gaio-Staudamm. Querschnitt.

der Steinkörper die Stützung und der Erdkörper die Dichtung übernehmen soll. Interessant ist der schrägliegende Asphalt-Betonkern zwischen den beiden Dammkörpern, durch den ein Eindringen von Teilen des Dichtungskörpers in den Steinkörper unter allen Umständen verhindert werden soll; der Asphaltmörtel besteht zur Hälfte aus Asphalt und zur Hälfte aus Sand unter 5 mm. Der schräge Kern ruht auf einer Eisenbeton-Herdmauer, die mindestens 4 m tief in den als dicht anzusehenden Schieferfelsen einschneidet; zwei durchlaufende Beobachtungsstellen sollen die Möglichkeit geben, jederzeit Zementeinpressungen vorzunehmen zu können.

Schließlich sei noch die Idanha-Staumauer erwähnt, eine geradlinig geführte Gewichtsmauer von 50 m Höhe und 15 m Fugenabstand, die für das Idanha-Projekt ein Stauvolumen von 78 hm<sup>3</sup> bereitstellen

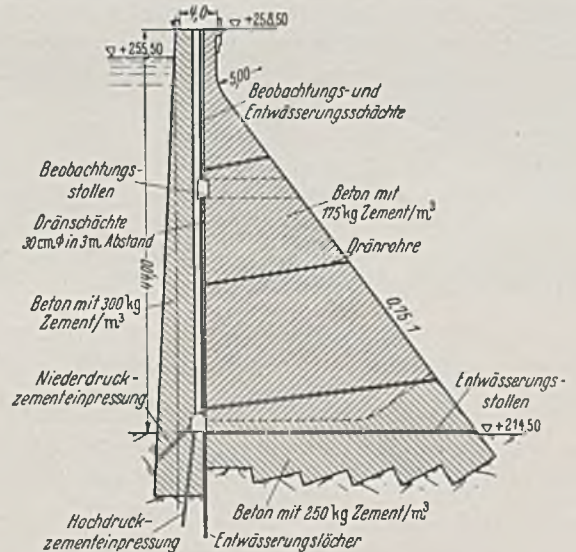


Abb. 7. Idanha-Staumauer. Querschnitt.

soll. Die Bemessung (Abb. 7) erfolgte auf der Grundlage eines Sohlenwasserdruckes in Höhe von 65% des größten Staudruckes. Die Schrägdrainagen in den luftseitigen Maueranteilen, mit denen der Bildung von Porenwasserdruck entgegengewirkt werden sollte, sind in Gewichtsmauern mit lotrechter Drainungsschürze und offenen Fugen überflüssig und nicht zur Nachahmung zu empfehlen. [Nach Travaux 23 (1939) S. 135]. Tölke, Charlottenburg.

### Imperial-Stauanlage und All-American-Canal, die letzte Phase der Planbewirtschaftung des Colorado-Stromes.

Über die Planbewirtschaftung des Colorado-Stromes, die nach der Inbetriebnahme der 37,5 Milliarden m<sup>3</sup> fassenden Lake Mead-Talsperre (auch Boulder-Talsperre genannt) Wirklichkeit geworden ist, wurde bereits des öfteren in dieser Zeitschrift berichtet<sup>1</sup>. Nachdem im Frühjahr dieses Jahres die gewaltige Colorado-Wasserleitung im ersten Ausbau fertiggestellt wurde, steht man nunmehr in der letzten Phase dieses

<sup>1</sup> Bauing. 13 (1932), S. 97—103, 14 (1933), S. 616—618, 20 (1939), S. 299—306.

einzigartigen Ingenieurwerkes, nämlich beim Bau der Imperial-Stauanlage und des All-American-Canals mit Zweigkanal ins Coachella-Tal (Abb. 1). Wie erinnerlich soll hierdurch die Wasserversorgung des ausgedehnten Imperial-Bewässerungs-Distriktes südöstlich und des Coa-

Eisenbeton-Plattenbauweise durchgebildet, an das sich seitlich bewegliche Wehre anschließen; die Zuführung zu den Kanälen (All-American-Canal auf kalifornischer und Gila-Canal auf arizonascher Seite) erforderte ausgedehnte Schlamm-Absetzanlagen. Die Wasserabgabe beträgt vorerst 350 m<sup>3</sup>/s nach Kalifornien und 60 m<sup>3</sup>/s nach Arizona. An der kalifornischen Seite, die heute bereits auf Vollausbau gebracht wird, beläuft sich die Höchstwasserabgabe an den All-American-Canal auf 450 m<sup>3</sup>/s.



Abb. 1. Südkalifornien mit den Versorgungsanlagen vom Coloradoström.

chella-Tales nordwestlich des Salton-Sees für alle Zeiten gesichert und ausgebaut werden. In Ablösung des bisherigen fast ganz auf mexikanischem Gebiete liegenden Imperial-Kanals verläuft der neue Kanal vollständig im Hoheitsgebiete der USA.; gleichzeitig kommen die immer

Die bewegliche Wehranlage auf der kalifornischen Seite besteht aus einem 72 m langen, zwölfteiligen Segmentwehr und aus einem 108 m langen vierteiligen Walzenwehr; das erstere bedient den Durchschleusungskanal zur Abführung des Schlammes, das letztere die Zuführung zu den Absatzbecken (Abb. 3). Man hofft, zunächst mit drei Doppelbecken auszukommen, von denen jedes 150 m breit, 240 m lang und 4 m tief ist. Die Wasserzuführung erfolgt von der Mitte der Becken aus gleichmäßig nach beiden Seiten durch eine größere Zahl von Öffnungen. Beiderseits eines jeden Beckens befinden sich die Sammelkanäle für das (geklärte) Überströmwasser (Abb. 4); die Sammelkanäle können durch Segmentschützen auch unmittelbar, d. h. ohne daß die Absatzbecken durchströmt werden, an den Zuführungskanal angeschlossen werden (Abb. 3). Der letztere ist durch drei Trennwände aus Beton den Wehroffnungen entsprechend unterteilt, was eine vorteilhafte Geschwindigkeitsregelung, insbesondere bei niedrigem Wasserstande, ermöglicht. Vor dem Walzenwehre, dessen Durchbildung aus Abb. 5 ersichtlich ist, befindet sich ein viertelkreisförmiges Rechenbauwerk mit ausgedehntem Vorbecken.

Bei einer Wasserabgabe von 350 m<sup>3</sup>/s wird in den Absatzbecken mit

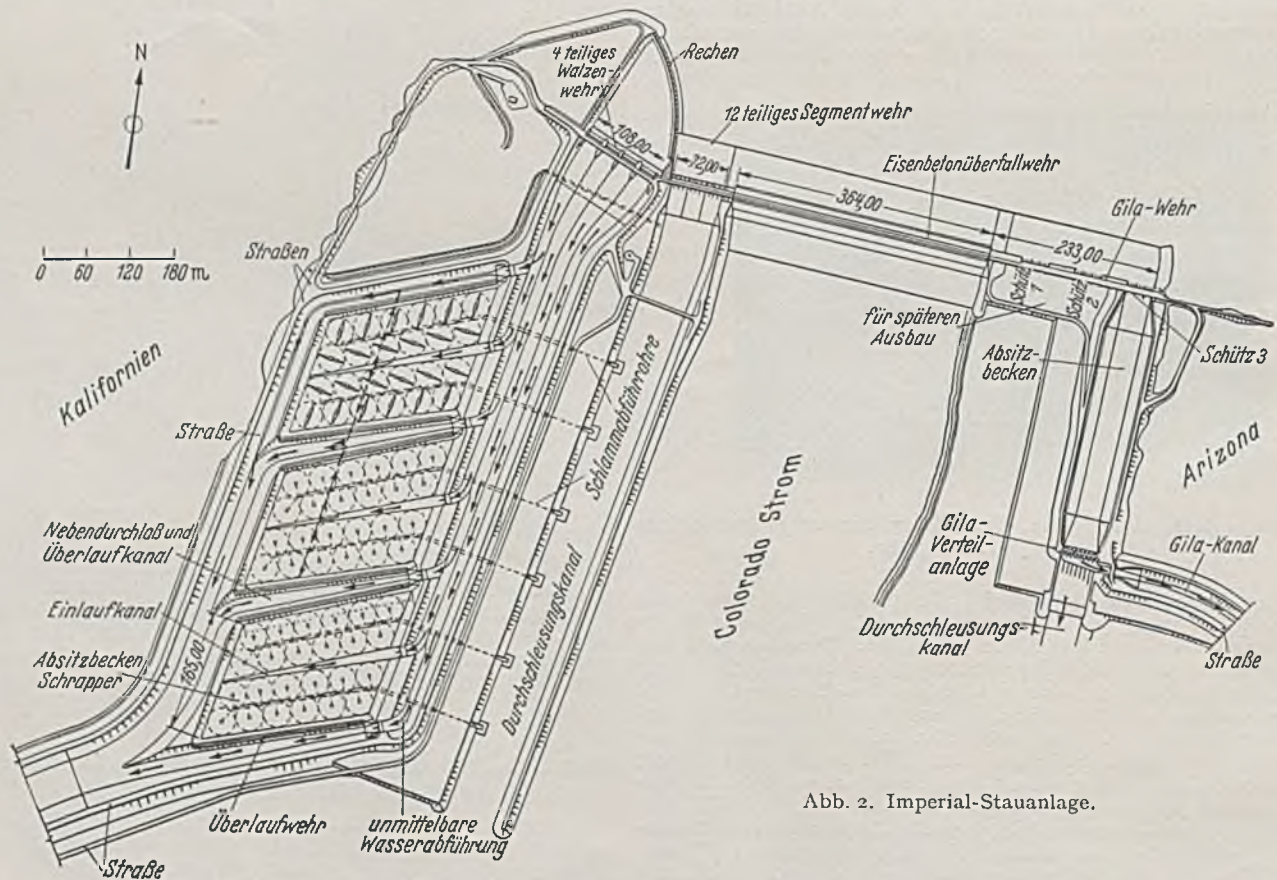


Abb. 2. Imperial-Stauanlage.

kostspieliger werdenden Unterhaltungsarbeiten an den stellenweise bis zu 9 m über Gelände liegenden Deichen des Imperialkanals für Kalifornien in Fortfall.

Der etwas oberhalb der bisherigen Lahontan-Talsperre in Bau befindliche Imperial-Dam (Abb. 2) ist im mittleren Teile als Überfallwehr in

einem Schlammfall von etwa 60 000 t/Tag gerechnet. Um diesen zu beseitigen, sind in jedem Becken 24 Schrapper angeordnet (Abb. 6); die Ausladung beträgt 20 m nach jeder Seite und die Drehzahl 5 Umdrehungen je Stunde. Der elektrische Antrieb ist so vorgesehen, daß die Schrapper sowohl für sich allein als auch in Gruppen zu 24 angetrieben werden

können; ferner ist eine hydraulische Steuerung vorhanden, die das jeweilige Einsinken bis zu einer bestimmten Tiefe regelt und dadurch eine Überlastung der Schrapper verhindert. Die Schlammabführung in den Durchschleusungskanal erfolgt von den Mitten der Halb-Becken aus (Abb. 2).

wüsten verläuft, trägt lediglich auf den Böschungen Steinpflaster; die Dichtung soll dadurch erzielt werden, daß im ersten Betriebsjahre nur schlammhaltiges, d. h. nicht durch die Absitzbecken gegangenes Wasser eingeleitet wird. [Nach Engng. News Rec. 121 (1938), S. 736 und Engineering 148 (1939), S. 225.]  
T ö l k e, Charlottenburg.

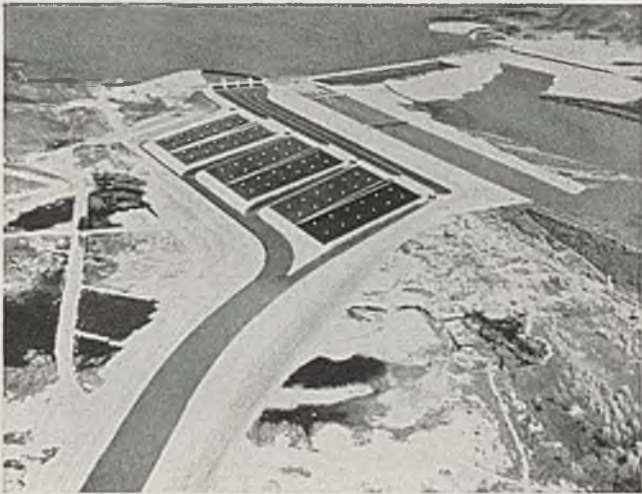


Abb. 3. Imperial-Stauanlage mit Absitzbecken.

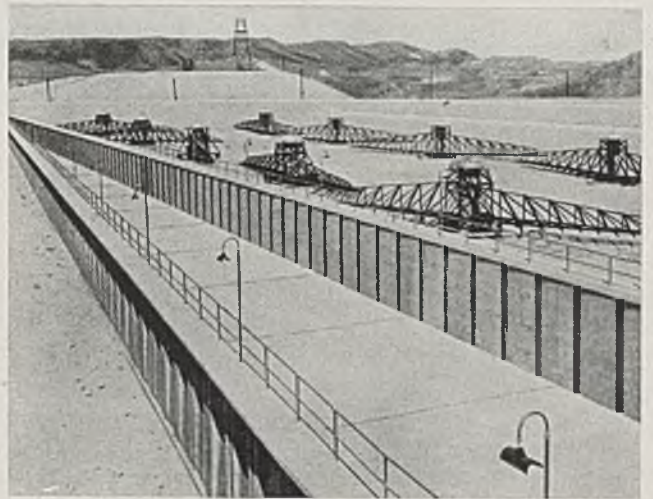


Abb. 6. Imperial-Stauanlage. Schrapper in den Absitzbecken.



Abb. 4. Imperial-Stauanlage. Sammelkanal für das Überströmwasser der Absitzbecken.



Abb. 7. Imperial-Stauanlage. Querschnitt des All-American-Canals.

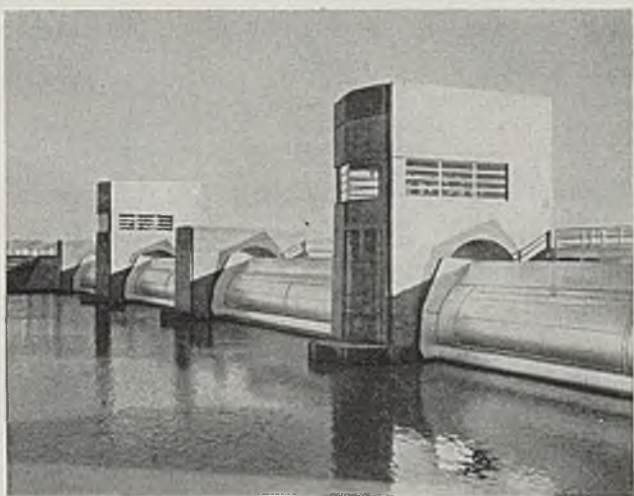


Abb. 5. Imperial-Stauanlage. Walzenwehre zur Regelung der Zuführung zu den Absitzbecken.

Der gewählte Kanalquerschnitt ist aus Abb. 7 ersichtlich; die Sohlenbreite beträgt 50 m, die größte Wassertiefe 6,5 m und die größte Geschwindigkeit 1,2 m/s. Der Kanal, der fast ausschließlich in Sand-

### Eine bemerkenswerte Steinbrechanlage an der Hiwassee-Talsperre.

Der Bau der Hiwassee-Talsperre (Tennessee Valley Authority in Nord-Karolina USA.) benötigt in seiner Baustelleneinrichtung ungewöhnlich große und vielseitige Anlagen zur Gewinnung von Stein zu Schlag und Sand. Das Ausgangsmaterial ist eine Art Sandstein mit 65% Quarzgehalt, der in einem Steinbruch etwa 800 m unterhalb der Talsperre gewonnen wird, und zwar unter sehr günstigen Bedingungen. Der Fels läßt sich nämlich in senkrechter Fläche (z. Zt. rd. 54 m hoch) und in einer wirtschaftlichen Breite von 225 m ausbrechen, wobei nur wenig unbrauchbarer Abfall entsteht. Der vorteilhafteste Sprenglochdurchmesser ergab sich zu 235 mm, wobei die Bohrungen bis zu 60 m niedergebracht wurden; die Bohrlöcher wurden in einer Breite mit 13 m Abstand 7,5 m hinter der Abbauwand gesetzt. Monatlich wird einmal (mit Nitrammonium) gesprengt, wobei 100 000 t zu Bruch gehen. Die Ausbeute ist etwa 8 t Felsbruch auf 1 kg Sprengstoff. Die Nachzerkleinerung geschieht auf dem Steinbruch selbst mit Preßluftschlämmern. Ebenfalls findet die erste maschinelle Zerkleinerung auf dem Steinbruch selbst statt durch einen elektrischen Schleuderbrecher, der durch fünf Kastenwagen von je 8 m<sup>3</sup> Inhalt mittels eines Förderbandes beschickt wird. Da die Stundenleistung des Brechers von 200 t außerordentliche Ansprüche an die Zufuhr stellt, so ist es bemerkenswert, daß die 37" Reifen der Lastzüge (je zehn Reifen bei einer Nutzlast von rd. 24 t) schon über zwei Jahre halten.

Um einen stetigen Zufluß vom Vorbrecher zu der Weiterverarbeitung zu erzielen, ist ein Bunker von 15000 t Fassung zusammengeschaltet; er wird durch ein Förderband mit 17% Steigung und 110 m Länge gefüllt. Dies Förderband hat eine Stundenleistung von 800 t bei 2 m sekundlicher Geschwindigkeit (Band A in Abb. 1). Aus diesem Zwischenbunker

wird die eigentliche Zuschlag- und Sandgewinnungsanlage durch ein Förderband (B) von 136 m Länge gespeist. Dies Band ist ebenso wie das vor dem Vorbrecher mit einem Magnetscheider versehen, um Eisenteile von den Brechern fernzuhalten.

Das Herz der ganzen Baustelleneinrichtung ist die eigentliche Zuschlag- und Sandgewinnungsanlage, deren Anordnung aus dem Querschnitt (Abb. 2) hervorgeht. Hier werden durch einen Brecher und vier Hammermühlen die vier Körnungen (15—9 cm; 9—3,7 cm; 3,7—1,5 cm und 1,5—0,6 cm) hergestellt. Alle Körnungen mit dem anfallenden Splitt gehen dann über ein Förderband in die Siebanlage (vgl. Abb. 3).



Abb. 1. Verlauf der Zuschlag- und Sandgewinnung vom Steinbruch bis zum Betonmischer.

Das Einzigartige dieser Siebanlage besteht darin, daß jede Gruppe einer bestimmten Korngröße von den drei verschiedenen Brechertypen beschickt werden kann. Im allgemeinen ist der Vorgang folgender: Da der Vorbrecher einen Überfluß an den beiden größeren Körnungen und darüber erzeugt, so geht die nicht benötigte Menge dieser Körnungen in den zweiten Brecher (3,7—0,6 cm) und von dort auf dem Wege über das Förderband C in die Siebanlage. Da hierbei noch ein Mangel an Korngrößen unter 0,6 cm und an Sand auftritt, wird durch Verteiler noch ein Betrag der beiden kleineren Körnungen über das Band D an die Hammermühlen geschickt. Das so gewonnene gesamte aus allen Körnungen zusammengesetzte Material geht dann über das Band E in die Siebanlage. Diese besteht aus einer 100 m langen, auf Stahltürmen 15 m hoch verlegten Eisenkonstruktion mit vier Siebhäuschen für die vier Klassierungen, die unter sich vier Halden von je 10 000 t Steinschlag anhäufen können. An einem Ende der Eisenkonstruktion befindet sich die Sandgewinnungsanlage. Alles Material unter 0,6 cm

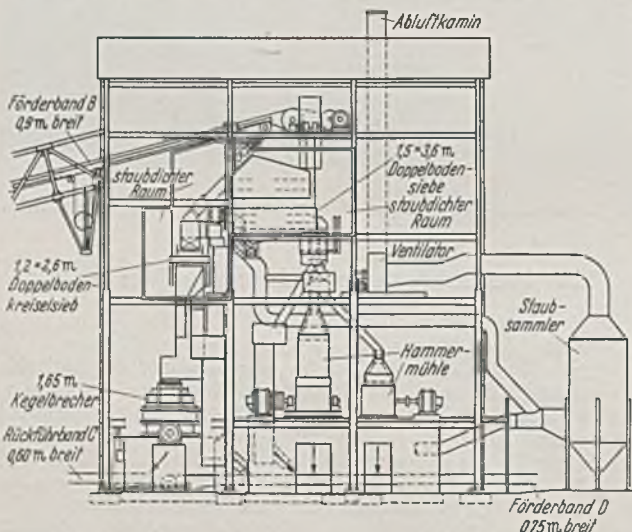


Abb. 2. Schema des Brechergebäudes mit Staubabsaugung.

Korngröße wird über einen Sichter in einer Halde bis zu 10 000 t Inhalt aufgeschüttet. Durch Zurückführen des Abwassers aus der Waschanlage in den Sichter können noch 4% Sand wieder gewonnen werden. Unter den Halden befindet sich ein langer hölzerner Tunnel mit einem Förderband (F) von 60 cm Breite, durch acht Öffnungen in seinem First kann die gewünschte Menge der benötigten Zuschlagkörnung oder des Sandes abgezogen und über ein engmaschiges Spülsieb zur Betonmischanlage geschaffelt werden (Förderband G). In dem unter Sprühwasser arbeitenden Spülsieb wird der letzte Sand noch ausgeschieden.

Der hohe Anteil an Quarz im Steinschlag vernetzt durch die Verwitterung und Beseitigung des Staubes, die sich über die ganze Anlage erstreckt. Folgende drei Methoden kommen dabei zur Anwendung: 1. Einkapselung der Stellen mit höchster Staubentwicklung in staub-

dichte Gehäuse mit Staubabscheidern, 2. Absaugung des Staubes mittels Ventilatoren, wo dies zugänglich ist und wo der Staub in passender Entfernung vom Arbeitsplatz in die Außenluft abgeblasen werden kann, 3. Anfeuchtung des Steinmaterials, wo die beiden ersten Verfahren versagen und wo die Wirtschaftlichkeit der Staubbeseitigung keine Rolle spielt. Die erste Methode wird beim Vorbrecher angewendet, wo die Aufgabestelle auf das Förderband (A, 105 cm breit) vollkommen eingekleidet ist; von hier führen zwei Staubsaugerrohre zu einem Abscheider, wo der Staub mit Wasser niedergeschlagen wird. Ebenfalls sind auf der Brecher- und Siebstation die stauberzeugenden Stellen ein-

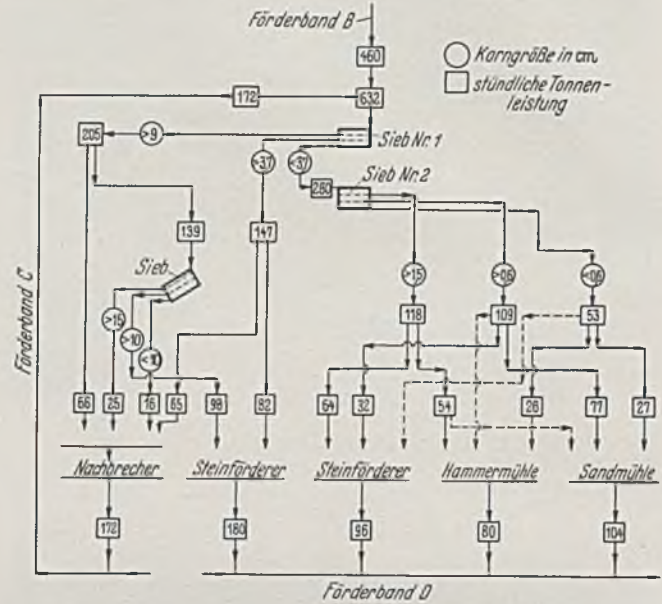


Abb. 3. Herstellungsverlauf der Zuschlag- und Sandgewinnung nach Menge und Korngröße.

gekapselt. Ein Lüfter (700 m<sup>3</sup>/min) saugt alle diese Stellen ab und bläst die Luft nach Ausscheidung des Staubes auf nassem Wege ins Freie.

Das zweite Verfahren der einfachen Staubabsaugung mittels starker Ventilatoren findet in den beiden Tunneln unter den Halden für Rohmaterial und fertigen Zuschlag statt. Die Staubverhütung durch Nässen wird im Steinbruch, bei einigen Umschlagstellen und bei den Klassiersieben angewendet. Sowohl beim Bohren wie nach dem Sprengen wird in der nötigen Menge Wasser zur Staubverhütung gebraucht, ebenfalls beim Vorbrecher. [Nach Engng. News Rec. 123 (1939) S. 53.]

W u n d r a m, Hamburg.

### Rammen von Eisenbetonpfählen unter Anwendung von Sprengstoffen.

Mehr als früher werden Sprengstoffe außer für Kriegszwecke auch für Friedensarbeiten verwendet (Abbruch schwerer Bauwerke, Straßebauten usw.).

Eine neue Verwendung der Sprengmittel für Bauzwecke bietet der in den Niederlanden patentierte Explosions-Rammpfahl, der leichter fest und tragfähig wird als ein dickerer und mit großer Energie eingetriebener gewöhnlicher Rammpfahl. Das Wesen der Erfindung besteht darin, daß ein dünnerer Eisenbetonpfahl (s. Abb. 1) kurz vor seiner Spitze eine Stahlgußkonstruktion trägt, an der durch Wirkung von Sprengstoff nach seiner Niederrammung Stützflächen herausgeschossen werden können. In der Abbildung erkennt man an sechs Seiten des achteckigen Pfahles Stahlgußklappen, die durch Treibwirkung des in dem Laderaum verpuffenden Sprengstoffes in die punktierte Lage gebracht werden und damit die Tragfähigkeit des Pfahles erheblich vergrößern.

Als Sprengstoff für diesen Zweck hat sich das sehr brisante Trotyl (jeweils 20—25 g) am besten erwiesen, er wird durch Zündpatronen (Knallquecksilber) elektrisch zur Verpuffung gebracht. Der Zündstrom wird aus den bekannten Zündinduktoren entnommen; die Serienschaltung der Ladekammern wird in der Regel angewendet. Da man nach Niederbringen des Eisenbetonpfahles die elektrische Verbindung der Zündpatronen

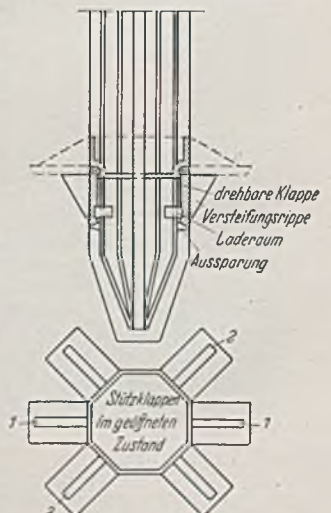


Abb. 1. Spitze des Explosionspfahles im Querschnitt.

nen nicht mehr nachsehen kann, muß vorher durch Kontrollinstrumente der ungestörte Stromschluß festgestellt sein. Abb. 2 zeigt die Stahlgußkonstruktion eines solchen Explosionspfahles am unteren Ende der Eisenbewehrung, man erkennt dabei die Verbindung der Zündkabel. Diese Kabel müssen natürlich gegen die Wirkung des feuchten Betons und des Rammens geschützt sein (Bleikabel). Die acht durch die Stahlgußkonstruktion hindurchgehenden Haupteinlagen dienen zur

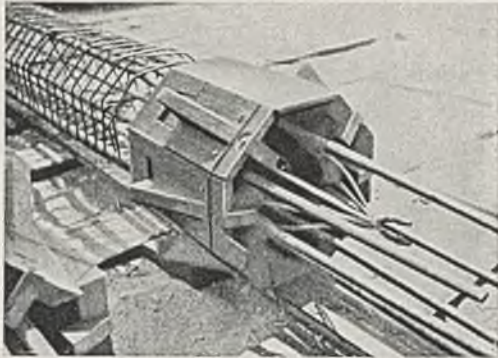


Abb. 2. Einbindung der Stahlgußkonstruktion in die Eisenbewehrung.

Bildung der Pfahls Spitze. In Abb. 3 ist bei dem vordersten Betonpfahl zu erkennen, wie die Stützklappen ins Erdreich nach der Zündung sich einstellen. Die ebenfalls erkennbaren runden Öffnungen sind die Ladekammern für das treibende Sprengmittel. Damit die Gelenke der Stützklappen sich nicht im Zement festsetzen, sind sie vor dem Betonieren einzufetten. Nachdem der Pfahl auf die richtige Tiefe eingerammt ist, werden die Zündkabel mit der Stromquelle verbunden und durch den



Abb. 3. Einstellung der Stützklappen nach der Explosion.

Schießmeister die Zündung der Ladekammern bewirkt. Die Explosion ist kaum an der Erdoberfläche der Baustelle zu bemerken. Versuche im Grundbaulaboratorium zu Delft haben erwiesen, daß in jedem Fall die Stützklappen nach der Zündung in die Tragstellung gelangen. [Nach E. S. Zeevenhooven: Heien van gewapende betonpalen met gebruikmaking van springstoffen. Ingenieur, Haag 54 (1939), Beton, S. 99 bis 103.]  
W u n d r a m, Hamburg.

### Herstellung einer biologischen Kläranlage.

Nach mehrjährigen Studien wurde auf Grund gesetzlicher Verordnung im Jahr 1935 eine Planung ausgearbeitet, welche den Bau einer neuen Kläranlage mit künstlicher Reinigung für die Abwässer der Stadt Paris und der Departements Seine, Seine-et-Oise und Seine-et-Marne vorsieht, da das jetzige Verfahren der natürlichen Reinigung in ausgedehnten Flächen (Bodenfiltration) bei der ständig wachsenden Menge der Abwässer eine Vergrößerung der Leistungsfähigkeit nicht gestattet.

Die Zuführung der Pariser Abwässer erfolgt durch einen Sammelkanal kreisförmigen Querschnittes von 3,75 m  $\varnothing$ , der sich etwa 600 m vor der Anlage in zwei gekuppelte Stränge von je 3,10 m l. W. teilt und täglich eine Menge von je 200 000 m<sup>3</sup> abführen kann. Zunächst wird nur ein Strang ausgebaut und das Gefälle so bemessen, daß eine mittlere Geschwindigkeit von 0,50 m/sb vorhanden ist. Zur Vorreinigung (Abb. 1) sind vier große offene Eisenbetonbehälter von 35 m Durchmesser, 3,5 m Wandhöhe und schwachem mittigen Sohlgefälle bestimmt. Die einlaufenden Abwässer setzen infolge ihrer geringen Strömungsgeschwindigkeit die organischen Bestandteile ab und verbleiben dort etwa 1½ Stunden. Bei einer Gesamtaufnahmefähigkeit der Behälter von 12500 m<sup>3</sup> können auf diese Weise in 24 Stunden rd. 200 000 m<sup>3</sup> behandelt werden. Die abgelagerten organischen Schwebestoffe und der auf der Oberfläche abgezogene Schlamm werden durch Pumpen zu den Faulbehältern geleitet. Die Abwässer fließen weiter durch eine An-

lage von zwölf je 7 m breiten und 3,5 m tiefen Belüftungskanälen, wo sie der Luftenwirkung ausgesetzt sind und die Reinigung außerdem durch Zugabe von belebtem Schlamm und eingeblasener Preßluft wesentlich gefördert wird. Der Aufenthalt in diesen Kanälen beträgt

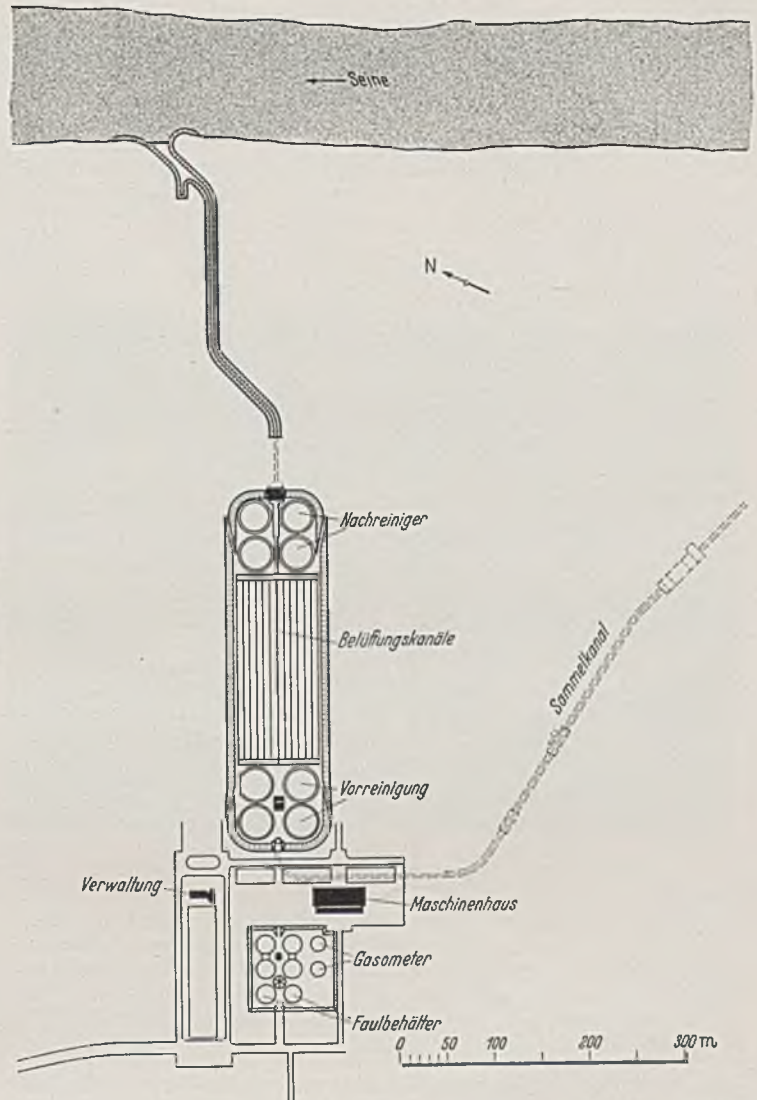


Abb. 1. Lageplan der Kläranlage.



Abb. 2. Nachreiniger.

etwa sechs Stunden. Die von dort austretende Flüssigkeit setzt sich aus gereinigtem Abwasser vermengt mit Flocken belebten Schlammes zusammen. In vier Nachreinigern (Abb. 2 u. 3) von insgesamt 12 500 m<sup>3</sup> Fassung wird der belebte Schlamm abgesondert und der

Wiederverwendung im Kreislauf der Reinigung zugeleitet. Beim Austritt ist das Abwasser soweit gereinigt, daß es schließlich in offenem Kanal der Seine unbedenklich zugeführt werden kann.

In den Faulbehältern vollzieht sich eine basische Gärung mit starker Methangasentwicklung, so daß man täglich 20—30 l dieses Gases je Einwohner gewinnen kann. Dieses wird zunächst zum Antrieb der Motore der maschinellen Anlagen verwendet, jedoch ist später die Verwertung als Treibgas für Kraftfahrzeuge beabsichtigt. Angeordnet sind sechs solcher Behälter mit einem Gesamtvolumen von 18 000 m<sup>3</sup>; sie bestehen aus Eisenbeton und besitzen verschiedene Form und Ausstattung. Vier Behälter von 20 m Durchmesser und 12,5 m Höhe sind zylindrisch, sie enthalten Rührwerke und Heizschlangen, um eine Innentemperatur von 25—30° C herzustellen. Ein weiterer Behälter mit kegelförmigem Boden, 20 m Durchmesser und 17 m Höhe besitzt als

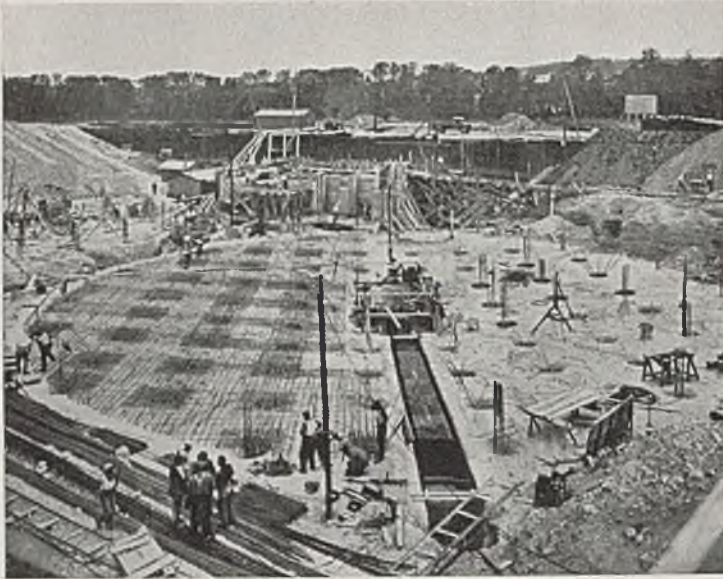


Abb. 3. Bewehrung der Sohle eines Nachreinigers.

Rührwerk eine Spiralpumpe, die in den Schlamm eintaucht und ebenfalls eine Heizanlage. Der sechste Behälter von 18 m Durchmesser und 20 m Höhe ist mit kegelförmigem unter 45° geneigtem Boden ausgebildet. Durch ein Drehkreuz wird der Schlamm bewegt und Heißwasser von 80° C eingelassen. Zur Faulbehälteranlage gehören ferner noch zwei Gasometer von je 1600 m<sup>3</sup> Fassungsraum.

Die Maschinenhalle ist ein im Grundriß 55 × 20 m großes Gebäude von 12 m Höhe und bereits für den zweiten Ausbau von ebenfalls 200 000 m<sup>3</sup> Tagesleistung vorgesehen. Für den jetzigen Umfang des Werkes sind vier Kompressoren bestimmt, die wahlweise elektrisch oder durch Gas angetrieben werden können. Ferner sind zahlreiche Meßapparate aufgestellt, welche jederzeit und an den verschiedensten Stellen die ordnungsgemäße Abwicklung des Reinigungsvorganges beobachten lassen.

Der entfaltete Schlamm wird auf bebauten Flächen im landwirtschaftlichen Park von Achères als Dünger verwendet, wodurch die

wichtige Frage der Verwertung dieses Stoffes bei derartigen Anlagen überaus zweckentsprechend gelöst ist.

Einige Zahlenangaben mögen die Größe der ausgeführten Arbeiten beleuchten: 300 000 m<sup>3</sup> Ausschachtung, 9000 m<sup>2</sup> Spundwände und 20 000 m<sup>3</sup> Beton und Eisenbeton. [Nach Travaux 23 (1939) S. 87.]  
P. A l l e m a n d, Dresden.

### Rutschung eines Brückenwiderlagers.

Eine Brücke, die bereits seit mehreren Jahren bestand, ohne daß Schäden wahrgenommen waren, zeigte im Herbst vorigen Jahres erste Schäden, die bald stark zunahm, bis schließlich das eine Brückenwiderlager sich nach dem Wasserlauf zu neigend um insgesamt 40 cm nach dem Wasserlauf zu bewegte.

Die Brückenkonstruktion schob sich dabei, selbst Schäden aufweisend, über das Widerlager hinaus, die Kiesmauer zerstörend. Das andere Widerlager zeigte jedoch nur durch die Verschiebung verursachte geringe Schäden.

Abb. 1 zeigt die Ausbildung des gerutschten Widerlagers sowie die hinter dem Widerlager anstehenden Böden und ihre Schichtenstärke und Neigung. Wie Abb. 1 aufweist, liegt zwischen Bänderthon und Kreideton eine wasserführende Kalkschotterlage. Der Bänderthon wiederum war durch zahlreiche tonige Feinsandadern durchzogen, die alle nach dem Wasserlauf zu einfielen.

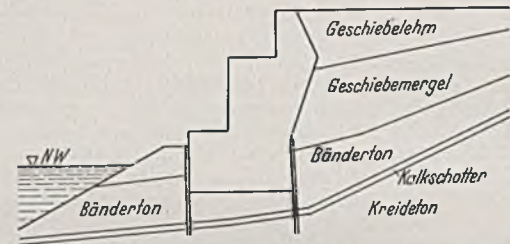


Abb. 1. Schnitt durch das Widerlager mit Darstellung der Bodenarten und Schichten.

Der Bänderthon hatte, durch Herstellen des Planums weiterab angeschnitten, mit der Zeit mehr Wasser aufgenommen als ursprünglich, wodurch er seine frühere Konsistenz verlor, aufweichte und nach dem Wasserlauf zu sich in Bewegung setzte.

Durch die Veränderungen in der Schicht des Bänderthons traten zahlreiche Risse im darüberliegenden Boden auf, wodurch weiteres Wasser eintreten konnte. In dem vom Widerlager mit den Flügeln gebildeten Raum traten schließlich derartige Kräfte auf, daß die Gegenkräfte überwunden wurden und das Widerlager um 40 cm zum Wasserlauf hin mit der Bänderthonschicht rutschte.

Das Widerlager mußte abgebrochen werden.

Vor Errichtung eines neuen Widerlagers war für eine durchgreifende Entwässerung des Gebietes zu sorgen, alle entstandenen Spalten wurden sorgfältig mit fettem Ton geschlossen, jede Möglichkeit, daß größere Mengen Wassers in der Nähe in den Boden eindringen können, versucht zu verhindern, das Widerlager und die Flügel schließlich so durchgebildet, daß keine Anstauungen eintreten können. Das Widerlager wurde auf dem Kreideton gegründet. Für weitestgehende Entwässerung von Widerlager- und Flügelrücken gesorgt.

P r e ß, Berlin.

## PATENTBERICHT.

### Bekanntgemachte Anmeldungen.

Bekanntgemacht im Patentblatt Nr. 28 vom 11. Juli 1940.  
und von demselben Tage an im Reichspatentamt ausgelegt.

- Kl. 37 b, Gr. 5/01. G 91 011. Carl Gödecke, Delmenhorst i. O. Holzverbindung. 14. VIII. 35.  
Kl. 49 h, Gr. 35/02. A 80 574. Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin. Verfahren zur Verbindung von im Winkel aufeinander stoßenden Blechen. 21. IX. 36.  
Kl. 80 a, Gr. 6/01. G 96 033. Gubener Zementformen- und Maschinenfabrik Wolf & Co., Guben. Vorrichtung zur Regelung der Zuführung des schüttfähigen Gutes zu Betonverarbeitungs- maschinen, Mischmaschinen u. dgl. 11. VIII. 37. Österreich.  
Kl. 80 b, Gr. 1/05. C 54 224. Erfinder: Anton Volz, Ludwigshafen a.

- Rh. Anmelder: Chemische Fabrik Joh. A. Benckiser G. m. b. H., Ludwigshafen a. Rh. Verfahren zur Herstellung von Beton; Zus. z. Pat. 676 554. 28. VII. 38.  
Kl. 80 b, Gr. 8/18. 1 64 719. Erfinder: Dipl.-Ing. Heinrich van Thiel, Leuna. Anmelder: I. G. Farbenindustrie Akt.-Ges., Frankfurt a. M. Feuerfeste Steine. 1. VI. 39.  
Kl. 80 b, Gr. 23/04. D 80 044. Erfinder: Wilhelm Kosfeld, Dortmund. Anmelder: Dortmund-Hoerder Hüttenverein Akt.-Ges., Dortmund. Verfahren zum Bearbeiten der Außenfläche von Mauern und Wänden (Fassaden). 14. III. 39.  
Kl. 84 c, Gr. 1. H 157 411. Erfinder, zugleich Anmelder: Gottfried Hallinger, Gelsenkirchen. Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung grabenartiger Baugruben. 21. X. 38.