

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 72 (1954)
Heft: 9

Artikel: Die Sandtrennung als Mittel zur Qualitätsverbesserung des Staumauerbetons
Autor: Frey-Bär, O. / Kohn, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-61148>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Sandtrennung als Mittel zur Qualitätsverbesserung des Staumauerbetons

Von Dipl. Ing. O. Frey-Bär und Dipl. Ing. M. Kohn, Motor-Columbus AG., Baden

DK 693.552.3:627.82

I. Einleitung

Die Zementdosierung des Massenbetons kann aus wärmetechnischen und wirtschaftlichen Gründen nicht beliebig erhöht werden; um so grössere Bedeutung ist deshalb der sorgfältigen Aufbereitung und Zusammensetzung der Betonzuschlagstoffe beizumessen, wenn es gilt, den Beanspruchungen erhöhte Materialfestigkeiten entgegenzusetzen. Diese Zuschlagstoffe, die meistens in der Nähe der Baustellen aus Moränen und Bachalluvionen gewonnen werden müssen, weisen oft eine unregelmässige Komposition auf. Durch die Aufteilung des gesamten Kornbereiches in mehrere Korngruppen und die nachfolgende dosierte Zusammensetzung dieser Fraktionen lässt sich im Bereiche über 3 mm Korngrösse immer eine nach betontechnischen Gesichtspunkten gewählte Sieblinie einhalten. Im Bereiche des Sandes unter 3 mm Korngrösse war dagegen mit den bisher gebräuchlichen Aufbereitungsmethoden und -anlagen eine wesentliche Korrektur der Granulometrie wirtschaftlich nicht möglich. Zwar hat man den grossen Einfluss der feinsten Zuschlagstoffe auf die Betonqualität schon lange erkannt; aber erst durch die jüngsten Fortschritte in der Konstruktion von trennscharfen Sandaufbereitungsanlagen grosser Leistung ist die Klassierung des Sandes auf unseren Staumauerbaustellen zur Tatsache geworden. Durch die Ausdehnung der Aufbereitung und der Komponentenbildung auch auf den feinsten Bereich des Betonzuschlagstoffes dürfte ein weiterer Schritt in der Entwicklung der Betontechnik und besonders in der Herstellung von Staumauerbeton eingeleitet sein.

II. Materialtechnische Grundlagen

Die im Beton erforderliche Menge Zementleim ist eine Funktion der Oberfläche aller Körner. Damit ist stichwortartig die bedeutungsvolle Rolle umschrieben, die Feinsand und insbesondere Staub bei der Betonherstellung spielen. Seine grosse spezifische Oberfläche absorbiert ansehnliche Zement- und Anmachwasserquantitäten. Eine Ausscheidung des Staubes aus dem Sand erlaubt deshalb, die Wasserzugabe und somit den Wasserzementfaktor herabzusetzen, wodurch sich die Betonfestigkeit erhöhen und, wie Versuche¹⁾ bestätigten, auch die Frostbeständigkeit verbessern lässt. Da die Sande vieler Gebirgsbaustellen im feinsten Kornbereich starke Anreicherungen von betonschädlichem Glimmer aufweisen, ist mit der Entstaubung des Sandes konsequenterweise auch eine Entglimmerung verbunden. Die Befürchtung, dass durch Ausscheidung der allerfeinsten Bestandteile des Sandes die Dichtigkeit des Betons leiden könnte, hat sich als grundlos erwiesen¹⁾. Es ist einzusehen, dass die Entfernung des inaktiven Feinstkornes unter 0,1 mm, an dessen Stelle das aktive Zementkorn gleicher Grössenordnung tritt, keine nachteiligen Auswirkungen auf die Wasserundurchlässigkeit des Betons hat.

Erhöhungen der Betonqualität und besonders der Festigkeit lassen sich jedoch nicht nur durch die Elimination des Staubes allein, sondern auch durch Eingriff in den natürlichen Kornaufbau des bisher unerschlossenen Sandes 0 bis 3 mm erzielen. Es ist durch Aufteilung der Sandfraktion in Unterfraktionen und deren zweckentsprechende Zusammensetzung möglich, auch unterhalb 3 mm eine den granulometrischen Gesetzen der Betontechnik genügende Siebkurve zu wählen und einzuhalten. Sowohl die Ausscheidung des meist in weiten Grenzen schwankenden Staubanteiles als auch die regulierende Beeinflussung der Sieblinie im kleinsten

Kornbereich vermindern grössere Unregelmässigkeiten in der Betonherstellung und erleichtern in wirkungsvoller Masse die Erfüllung der Forderung nach Gleichmässigkeit der Betongüte.

Bei der Durchführung der *Betonversuche für die Stau-mauer Zervreila* im oberen Valsertal (650 000 m³ Beton) sind die hier kurz dargelegten Gedankengänge gebührend berücksichtigt worden. Die Sandkomponente 0 ÷ 3 mm wurde in drei Unterfraktionen getrennt, deren prozentuale Anteile sich im Mittel wie folgt verhielten (Bild 1, Kurve A):

1 ÷ 3 mm	27 %
0,12 ÷ 1 mm	67 %
0 ÷ 0,12 mm (Staub)	6 % (max. bis 15 %)

Durch die Ausscheidung des Staubes 0 ÷ 0,12 und die Dosierung der beiden übrigen Unterfraktionen im Verhältnis 50 % : 50 % ergibt sich die korrigierte Sandgranulometrie gemäss Kurve B. Es lässt sich leicht erkennen, dass dank diesen Massnahmen einmal der grosse Anteil der Unterfraktion 0,12 ÷ 1 mm zu Gunsten der Fraktion 1 ÷ 3 mm stark vermindert und andererseits der Staubanteil fast vollständig zum Verschwinden gebracht werden konnte. Mit einem derart aufbereiteten, klassierten Sand lässt sich, wie Bild 1 zeigt, eine Gesamtgranulometrie des Staumauerbetons Zervreila gemäss dem günstigeren Kurvenast D erreichen, während man sich bei ungetrenntem, nach den bisherigen Methoden aufbereitetem Sand mit dem Kurvenast C hätte begnügen müssen.

In Tabelle 1 sind summarisch die ersten Untersuchungsergebnisse der EMPA zusammengestellt, die mit den Granulometrien C (unkorrigierter Sand) und D (korrigierter Sand) erhalten wurden und die in erster Linie die Frage der Festigkeitserhöhung abklären sollten.

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, dass bei Serie I nach 90 Tagen eine Festigkeitserhöhung von rund 40 kg/cm² und bei Serie II mit einem etwas erhöhten Wasserzementfaktor eine Zunahme von 26 kg/cm² erzielt werden konnte. Mit den Variationen a, b und c wurde gleichzeitig der Einfluss verschiedener Luftporenmittel untersucht.

Auf Grund dieser günstigen Versuchsergebnisse und gestützt auf positive Ergebnisse auf andern Baustellen²⁾ hat sich die Motor-Columbus AG. als Bauleiterin entschlossen, in Zervreila eine Sandtrennungsanlage³⁾ zu installieren. Sie soll nachfolgend in ihrer Arbeitsweise kurz skizziert werden.

²⁾ Mooser- und Drossensperren der Tauernkraftwerke, Donaukraftwerk Jochenstein.

³⁾ Schlammanlage Typ «Rheax», entwickelt durch Dr. Eder, Wien

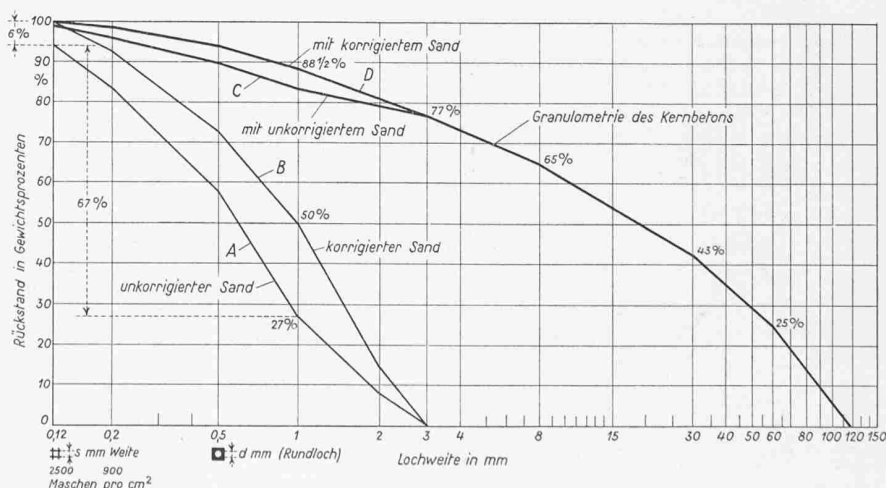


Bild 1. Granulometrie des Betonzuschlagstoffes für die Stau-mauer Zervreila mit und ohne Korrektur der Sand-Sieblinie

¹⁾ Versuche des Betonlaboratoriums Kaprun der Tauernkraftwerke (Dipl. Ing. Wogrin).

Tabelle 1: Würfeldruckfestigkeit von Betonproben gleicher Konsistenz nach 90 Tagen, Dosierung P 200, Sieblinie C und D gemäss Bild 1. Kiessandmaterial aus dem Talboden Zervreila.

Betonproben P 200	Würfel 30×30×30 cm	Sieblinie C ohne Sandtrennung		Sieblinie D mit Sandtrennung	
		Wasser Zement	β kg/cm ²	Wasser Zement	β kg/cm ²
Serie I	a	0,66	248	0,64	270
	b	0,65	224	0,64	281
	c	0,66	224	0,63	266
Gesamtmittel			232		272
Serie II	a	0,72	210	0,70	228
	b	0,72	199	0,70	226
	c	0,72	192	0,68	223
Gesamtmittel			200		226

III. Technik der Sandtrennung

Wie aus dem Schema Bild 2 hervorgeht, besteht die hydraulisch betriebene Rheax-Sandtrennungsanlage aus zwei verschiedenen Teilen. In einer vertikalen Trennapparatur von der Form einer Birne (Bild 3) wird der Rohsand 0 ÷ 3 mm in einem laminaren Aufwasserstrom einer ersten Trennung unterzogen. Die grösseren, schwereren Sandkörner (Grobgut) sinken ab, während die kleineren, leichteren Teile (Feingut) mit dem Wasserstrom nach oben zum Ueberlauf gelangen. Durch entsprechende Kombination von Düsen und die damit erzielbare Geschwindigkeitsregulierung des Flüssigkeitsstromes kann eine Scheidung bei einer beliebigen Trennkorngrösse, z. B. im beschriebenen Falle Zervreila bei 1 mm, erfolgen.

Die von der aufsteigenden Flüssigkeitssäule nach oben getragene Fraktion 0 ÷ 1 mm gelangt mit dem überlaufenden Wasser anschliessend in eine Horizontalschlammapparatur, die aus einer Reihe hintereinander geschalteter trichterförmiger Kästen, sog. Spitzluten, besteht. In diesen wird das Wassersandgemisch 0 ÷ 1 mm ebenfalls nach dem Gegenstromprinzip geschlämmt, indem der in jeder Spitzlutte aufsteigende Wasserstrom die Funktion hat, das mit dem Ueberlauf aus der vorhergehenden Lutte hineingelangende Sandgut in grössere absinkende und leichtere emporsteigende Körnungen zu scheiden. Auf seinem horizontalen Weg von der ersten bis zur letzten Spitzlutte verliert das Wassersandgemisch sukzessive seine gröberen, mittleren und feineren Körnungen.

Ueber den allerletzten Ueberlauf fliesst mit dem Spülwasser der abzuschneidende Staub 0 ÷ 0,1 mm ab, während durch Wiedervereinigung der unten aus den Spitzluten tretenden Körnungsgruppen der Sand 0,1 ÷ 1 mm gewonnen werden kann. Schlammtechnische Erfahrungen und vergleichende Gegenüberstellungen von Siebanalysen haben zur Erkenntnis geführt, dass die Trennung in der Vertikalbirne, d. h. die Trennung bei 1 mm, wesentlich schärfer ausfällt als in der Horizontalschlammmanlage. Um die verminderte Trennschärfe dieser letztgenannten zu erhöhen, können meh-

rere Spitzlutenreihen zu sog. zwei- oder dreistufigen Anlagen hintereinander angeordnet werden. Die naheliegende Idee, die Trennung bei 0,1 mm (Entstaubung) ebenfalls in einer Vertikalapparatur durchzuführen, lässt sich nur deshalb nicht verwirklichen, weil die dadurch erforderliche Verminderung der Wasserstromgeschwindigkeit einen empfindlichen Leistungsabfall mit sich bringen würde.

Auf der Baustelle der Staumauer Zervreila sind entsprechend den drei Siebstrassen der Aufbereitungsanlage drei Vertikalschlamm-Apparate mit einer Stundenleistung von je 35 t Rohsand 0 ÷ 3 mm und drei zweistufige Horizontal-Schlamm-systeme gleicher Leistung vorgesehen. Die beiden entwässerten Sandfraktionen 0,1 ÷ 1 mm und 1 ÷ 3 mm werden in je drei gedeckten Sandsilos gelagert und konsequent bis in die Betonfabrik getrennt gehalten. Erst dort erfolgt die Vereinigung der beiden Sandfraktionen mit allen andern Korngruppen nach materialtechnischen Gesichtspunkten. Bei der weitgehend mechanisierten Aufbereitung der Zuschlagstoffe mit mehreren Abwurfstellen von den Transportbändern in die Silos oder bei den Winkelstationen des Bandtransportes bildet sich erfahrungsgemäss, durch die Schlagwirkung und den Abrieb hauptsächlich bei den grösseren Komponenten Brechsand und Staub. Der letztgenannte haftet an den feuchten Steinen. In konsequenter Durchführung der der Sandtrennung und vor allem der Entstaubung zu Grunde liegenden Idee wird in Zervreila kurz vor der Betonfabrik eine zweite Waschanlage eingerichtet. Sie hat die Aufgabe, die Körner der bereits aufbereiteten Fraktionen grösser als 8 mm vom anhaftenden Staub und Brechsand zu befreien. Damit sind von der materialtechnischen Seite aus die Massnahmen getroffen worden, um einen möglichst gleichmässigen Beton von guter Qualität herstellen zu können.

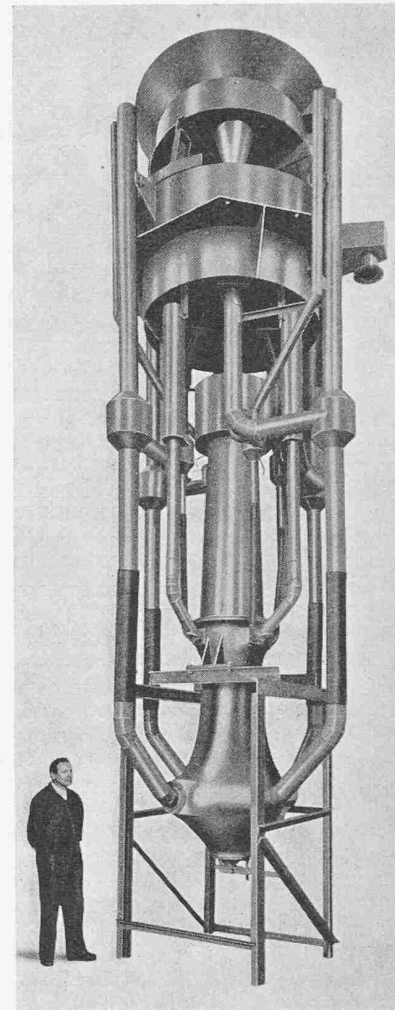


Bild 3. Vertikale Schlammapparatur zur Trennung des Sandes 0 ÷ 3 mm bei 1 mm. Leistung: 35 t Sand/h

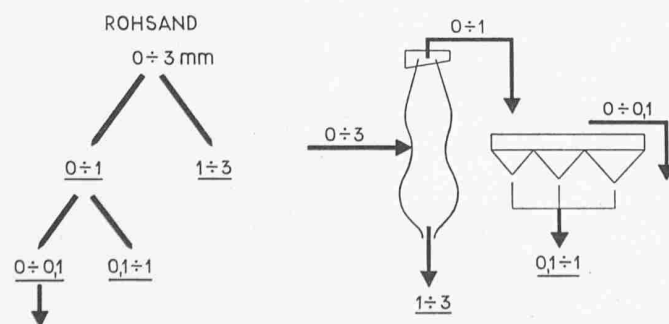


Bild 2. Schema der Sandtrennung

Dem Problem der Sandaufbereitung wurde auch in den USA in den letzten Jahren vermehrte Aufmerksamkeit zugewendet. Der Rohsand wird auf vielen Staumauerbaustellen in horizontalen Spitzlutenanlagen, ähnlich wie dies im zweiten Teil der Rheax-Anlage geschieht, geschlämmt. Die Anlagen bestehen meist aus 6 bis 8 hintereinander angeordneten kastenförmigen Spitzluten; in den ersten ist das gröbste, im letzten Kasten das feinste Korn überwiegend. Das Rohgut wird einer Entmischung und Sortierung in einzelne Körnungsgruppen unterworfen, deren Korngrössenbereiche sich stark überlappen und somit eine relativ unscharfe Trennung zur Folge haben. Durch gleichzeitige wahlweise Entnahme und Vermengung der einzelnen Lutteninhalte, denen öfters durchzuführende Siebanalysen voranzugehen haben, kann die Sandzusammensetzung in gewissen Grenzen beeinflusst werden.

IV. Trennschärfe

Es liegt in der Natur solcher Sandtrennungsanlagen, dass die Trennungsprozesse nicht mit mathematischer Genauigkeit durchgeführt werden können; immer werden in einer aus Schlämmen hervorgegangenen Fraktion gewisse prozentuale Anteile an Unter- und Ueberkorn, d. h. Kornanteile der nächstunteren und der nächstoberen Nachbarfraktionen enthalten sein. Um verschiedene Schlämmethoden und Anlagentypen hinsichtlich ihrer Leistung und Trennkapazität bewerten und beurteilen zu können, besteht das Bedürfnis, eine Definition für die Trennschärfe einer Anlage zu formulieren. Diese Trennschärfe etwa durch die Angabe der prozentualen Anteile an Unter- und Ueberkorn charakterisieren zu wollen, wäre deshalb nicht zulässig, weil eine Anlage je nach natürlicher Zusammensetzung des Rohgutes ganz verschiedene Prozentsätze erreichen lässt. Es dürfte einleuchten, dass ein Rohsand, der z. B. eine Anhäufung von Körnern um 1 mm aufweist, von der gleichen Anlage bei dieser Grenze schwerer zu trennen ist als ein anderer Sand, der wenige Körner von dieser Grösse enthält.

Wollte man demnach die Trennpräzision einer Schlämmapparatur durch das Ausmass der im Endprodukt enthaltenen Körner aus den Nachbarfraktionen fixieren, so würde dies zugleich auch die Angabe der ursprünglichen Zusammensetzung des Rohproduktes bedingen. Dadurch würde die Beurteilung einer Schlämmanlage in direkte Abhängigkeit des in weiten Grenzen schwankenden Rohsandes geraten und ihres eigentlichen Sinns verlustig gehen. Aus der Kohlen- und Erzaufbereitungsindustrie ist uns eine Methode⁴⁾ zur Charakterisierung von Trennschärfen bekannt geworden, die dem Wesen und der Arbeitsweise von Schlämmanlagen besser angepasst ist und auf Grund ihrer Uebersichtlichkeit verdient, auf dem Gebiet der Sandaufbereitung im Staumauerbau Eingang zu finden. Diese Methode soll nachstehend in einer den Bedürfnissen des Bauingenieurs Rechnung tragenden Form erläutert werden.

Für ein Korn, das in eine Sandtrennungsanlage gelangt, besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, in die Grobfraction oder in die Feinfraction zu gelangen. Ist eine solche Anlage so eingestellt, dass die Scheidung bei einer bestimmten Trennkorngrösse von beispielsweise 1 mm stattfindet, so werden Körner über 1 mm Grösse mit grösserer Wahrscheinlichkeit in die Grobfraction und solche mit kleinerem Durchmesser mit grösserer Wahrscheinlichkeit in die Feinfraction gelangen und umgekehrt. Ein Korn von genau 1 mm Grösse sollte, theoretisch betrachtet, in der Schwebe bleiben müssen: praktisch aber wird es durch Zufall mit ebenso grosser Wahrscheinlichkeit in die Grobfraction (50 %) wie in die Feinfraction

⁴⁾ Tromp: Neue Wege für die Beurteilung der Aufbereitung von Steinkohle, «Glückauf» 1937.

Eder: Die Trennschärfen verschiedener Schlämmethoden, «Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen», 1951, Heft 4. — Precision in Mineral Separation, «The Mining Magazine», April 1952. — Zur einheitlichen Kennzeichnung der Trennschärfe, «Montan-Zeitung», September 1951, Heft 9.

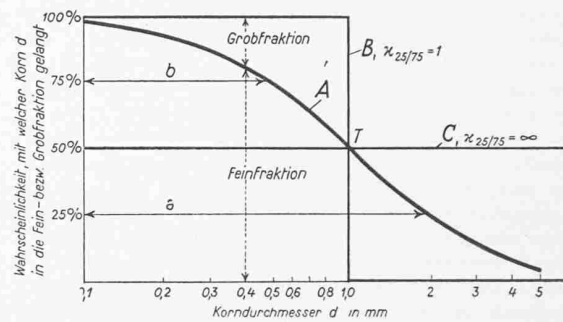


Bild 4. Graphische Erläuterung der Methode zur Charakterisierung der Trennschärfe von Sandtrennungsanlagen

(50 %) geschwemmt. Trägt man die Wahrscheinlichkeiten auf, mit welcher die verschiedenen Korngrössen z. B. in die Feinfraction gelangen, so ergibt sich dem Charakter nach eine stetig verlaufende Kurve A gemäss Bild 4. Jeder Korngrösse ist eine durch den Apparat und dessen Betrieb bedingte Wahrscheinlichkeit zugeordnet, den Weg ins Fein- oder Grobgut zu finden. Es ist offensichtlich, dass die Wahrscheinlichkeit, in die Feinfraction zu gelangen, für kleinere Korngrössen ständig zunimmt: für ganz kleine Körner beträgt sie nahezu 100 %, für grosse Körner dagegen 0 %. Definitionsgemäss weist die Kurve bei der Trennkorngrösse 1 mm die Wahrscheinlichkeit 50 % auf.

Zur eindrucklichen Demonstration sollen noch zwei Extremfälle betrachtet werden. Eine ideal trennscharfe Anlage wird Körner, die in unmittelbarer Nähe unter oder über dem Trennkorn liegen, mit 100%iger Wahrscheinlichkeit, d. h. mit absoluter Sicherheit in ihre zugehörigen Fraktionen leiten. Trägt man wiederum die Wahrscheinlichkeiten, mit denen in einer solchen Anlage die verschiedenen Körner in die Feinfraction gelangen, auf, so ergibt sich daraus die Kurve B. Der andere Extremfall einer ganz schlecht wirkenden Anlage wird durch die Gerade C dargestellt. Die Trennung ist hier für alle Körner dem Zufall überlassen. Alle Korngrössen gelangen mit ebenso grosser Wahrscheinlichkeit (je 50 %) ins Feine wie ins Grobe. Je grösser somit die Trennschärfe einer Anlage ist, desto näher schmiegt sich ihre «Kurve der Trenncharakteristik» der Idealkurve B an; je kleiner die Trennschärfe, desto mehr verflacht sie und nähert sich der Geraden C. Die Tangentensteigung der Kurve bei der Trennkorngrösse (Punkt T) gibt also ein Mass für die Trennschärfe. Statt dieses Winkels ist nun durch Konvention das Verhältnis der in Bild 4 bezeichneten Strecken $a/b = \kappa$ als Mass der Trennschärfe gewählt worden. Die mit a und b bezeichneten Abszissenstrecken geben je die Korndurchmesser wieder, die mit 25 %iger und 75 %iger Wahrscheinlichkeit in die Feinfraction gelangen. Eine einfache geometrische Ueberlegung zeigt, dass durch diesen Quotienten, genannt «Kornstreuung $\kappa_{25/75}$ », die Neigung der Kurve im Trennkornbereich charakterisiert und damit die Trennschärfe einer Sandtrennungs-

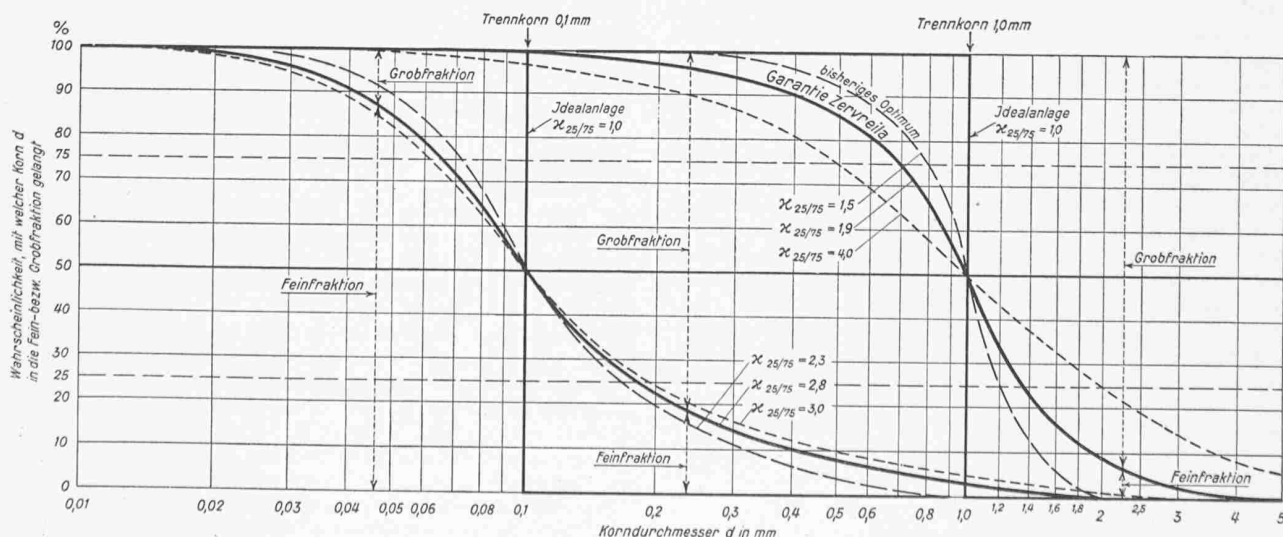


Bild 5. Beispiele verschiedener Trennkurven; links im Diagramm für die Trennung bei 0,1 mm (Horizontalschlammung), rechts für die Trennung bei 1 mm (Vertikalschlammung)

anlage für ein bestimmtes Trennkorn eindeutig gekennzeichnet ist. Einer hohen Trennschärfe entspricht ein niedriger α -Wert und umgekehrt. Für die ideal trennscharfe Anlage gemäss Kurve B ist $\alpha_{25/75} = 1$ und für die extrem schlecht trennende Apparatur mit der Charakteristik C ist $\alpha_{25/75} = 0.0$.

Durch diese Kennziffer α , die den wesentlichen Vorteil besitzt, von der Zusammensetzung des Rohsandess unabhängig zu sein, kann die Leistungsfähigkeit jeder Sandtrennungssapparatur eindeutig und treffend gekennzeichnet und damit eine verlässliche Basis für den Vergleich verschiedener Anlagen geschaffen werden. Der praktische Wert des Quotienten α und der damit definierten Trennkurve wird überdies dadurch erhöht, dass ihr, wie Bild 4 zeigt, für jede Korngrösse das prozentuale Verhältnis der Aufteilung in Feinfraktion und Grobfraktion graphisch entnommen werden kann. An Hand der einer Anlage zugehörigen Trennkurve kann somit für einen gegebenen Sand die Wirkung der Sandtrennung bezüglich der Kornzusammensetzung berechnet werden. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass die für Zervreila nach dieser Konzeption formulierten Trennschärfegarantien für die Trennung bei 1 mm Korngrösse eine garantierte maximale Kornstreuung $\alpha_{25/75} = 1.9$ und für die Trennung bei 0,1 mm eine solche von $\alpha_{25/75} = 2.8$ festsetzen. Die entsprechenden Kurven sind in Bild 5 dargestellt; zum Vergleich sind auch die Trennkurven anderer α -Werte wiedergegeben.

Es wird sich zu einem späteren Zeitpunkt Gelegenheit bieten, über zusätzliche, mit der Klassierung des Sandes verbundene Gesichtspunkte zu berichten. Vor allem werden die weiteren im Laboratorium gewonnenen Erkenntnisse und die Verwertung der betrieblichen und praktischen Erfahrungen auf den Baustellen die Bedeutung der Sandtrennung für die Entwicklung der Betontechnik erkennen lassen und das durch die vorliegenden Ausführungen entworfene Bild ergänzen.

Elektrische Triebfahrzeuge

DK 621.335

In der Entwicklung der elektrischen Vollbahntraktion haben von allem Anfang an die Schweizerischen Industrieunternehmen, vor allem die Maschinenfabrik Oerlikon, die AG Brown, Boveri & Cie., Baden, die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik, Winterthur, und die S. A. des Ateliers de Sécheron, Genf, dann aber auch die Schweizerischen Bahnverwaltungen, vor allem die Berner Alpenbahngesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon, die Rhätische Bahn und die Schweizerischen Bundesbahnen eine führende Stellung eingenommen und auch bis zum heutigen Tage aufrecht zu erhalten vermocht. Dies lag zum Teil an der Armut des Landes an Brennstoffen und seinem Reichtum an Wasserkraften; es lag aber weit mehr noch an der Voraussicht und am Wagemut der führenden Männer sowie am hohen technischen Können der gesamten Belegschaften der genannten Unternehmen. Die ausserordentliche Fülle von Ideen, von entwickelten Konstruktionen und Erfahrungen verlangten nach einer Sichtung und Ordnung nach überragenden Gesichtspunkten sowie nach einer zusammenfassenden Darstellung. Dieser grossen Aufgabe unterzog sich Dr. K. Sachs, Baden, der als Ingenieur der Firma Brown, Boveri & Cie., Baden, die Entwicklung der elektrischen Triebfahrzeuge von Anfang an miterlebt hatte. Im Jahre 1928, nachdem die Entwicklung von der stürmischen Anfangsphase der Nachkriegsjahre in ruhigere Bahnen übergegangen war, erschien im Verlag J. Springer, Berlin, sein Buch «Elektrische Vollbahnlokomotiven».

Seither schritt die Elektrifizierung der Bahnen stetig vorwärts und schlug dann während sowie vor allem nach dem 2. Weltkrieg bei den europäischen Bahnen eine geradezu stürmische Entwicklung ein. Die dabei erzielten technischen Fortschritte sowohl im mechanischen Aufbau wie in der elektrischen Ausrüstung übertrugen sich wechselseitig auf alle elektrischen und thermoelektrischen Triebfahrzeuge. Wiederum war es Dr. K. Sachs, der sich die Aufgabe stellte, den heutigen Entwicklungsstand in seiner Gesamtheit zu erfassen. So entstand sein neues Werk: «Elektrische Triebfahrzeuge»¹⁾, das er dem Andenken an E. Huber-Stockar widmet. Es umfasst alle Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb von der Voll-

bahnlokomotive bis zum Triebwagen der Neben- und Strassenbahn, dem Trolleybus, dem Akkumulatorenfahrzeug für Schiene und Strasse und dem thermoelektrischen Triebfahrzeug und Strassenfahrzeug. Darüber hinaus werden auch die im Zusammenhang stehenden Probleme streng wissenschaftlich behandelt. Wenn auch die von der schweizerischen Industrie entwickelten Bauarten den Kernpunkt der Abhandlung bilden, so sind doch die ausländischen, von unsern Konstruktionen abweichenden Ausführungen ebenso eingehend behandelt. Der ganze Stoff wird nach einer kurzen Einleitung über das Wesen des elektrischen Triebfahrzeuges in sieben Abschnitte gegliedert:

1. Zugkraft, Bremskraft und Leistung

Dieser Abschnitt stellt einen für sich abgeschlossenen Lehrgang der Mechanik der Zugförderung dar, der die Bahnwiderstände, die Zugkraft und die Bremskraft eingehend analysiert. Anschliessend wird das Fahrdiagramm für verschiedene Triebfahrzeugtypen behandelt.

2. Der mechanische Teil (Wagenteil)

In diesem umfangreichen Abschnitt werden einleitend die verschiedenen Typen in ihrem Gesamtaufbau betrachtet und sodann die am Fahrzeug in der Fahrrichtung und vertikal zu ihr wirkenden Kräfte berechnet. In die Betrachtung der Radsätze sind auch Spezialausführungen, wie Leichtradsätze, gummigefederte Räder und Schienenpneuräder eingeschlossen. Dem für den Betrieb wichtigen Problem der verschiedenen Bauarten — Gleit- und Wälzlager — und der Schmierung der Achslager folgt eine eingehende Betrachtung über die Radsatzfederung und über die Berechnung der verschiedenen Arten von Fahrzeug-Tragfedern. Um die Schwingungen der Federung zu dämpfen, wird namentlich bei französischen Konstruktionen zu Gummibeilagen (Silentblocs) gegriffen. Es folgen dann mehr theoretische Untersuchungen über den Kurvenlauf der Eisenbahnfahrzeuge.

Besonders gründlich dringt der Verfasser in das Gebiet des Triebwerks ein, wobei neben den älteren Stangenantrieben besonders die neuen Einzelachsantriebe vorgeführt werden. Unter den sehr verbreiteten und bekannten Federantrieben finden wir auch den Federtopftrieb der AEG und den weniger bekannten italienischen Hohlwellenantrieb mit Blattfedern. Die Tendenz, Gummi als federndes Element zu verwenden, befolgt vor allem die Firma Als-Thom in ihrem Gelenkhebelantrieb mit «Silentblocs», der sich auch dadurch auszeichnet, dass er im Betrieb keiner Schmierung bedarf. Nach einer kurzen Betrachtung über die Verbindung der Triebmotoren mit dem Rahmen folgt eine ausgedehnte Abhandlung über die selbständig lenkenden Achsen und kombinierten Laufachs-Triebachsdrehgestelle. Das Hauptgewicht wird auf die konstruktive Durchbildung der Drehgestelle gelegt, die nicht nur bei den modernen, laufachslosen Lokomotiven, sondern auch weitgehend bei den verschiedensten Triebwagentypen der Voll- und Strassenbahnen vorkommen. Die zahlreichen axonometrischen Darstellungen tragen dazu bei, dem Leser das Verständnis dieser nicht ganz einfachen Konstruktionen zu erleichtern. Die beschriebenen, vom Automobilbau übernommenen Dämpfungseinrichtungen verhindern das Schlingern der Drehgestelle in der Geraden. Dieses Gebiet und die nachfolgenden tiefschürfenden graphischen und analytischen Berechnungsmethoden der früheren Rahmen- und Kastenkonstruktionen und der zeitgemässen, selbsttragenden und gewichtsparenden Schalenbauweise dürften auch dem Wagenkonstrukteur äusserst wertvolle Kenntnisse vermitteln.

Im Kapitel über die Zug- und Stossvorrichtungen finden wir auch eine vollständige Uebersicht über die vor allem in Amerika stark verbreiteten automatischen Mittelpufferkuppelungen. Sehr erschöpfend wird schliesslich auch das für die Sicherheit des Eisenbahnbetriebes wichtige Gebiet der Bremsen behandelt. Nach einer einleitenden, grundlegenden Betrachtung über die mechanischen Bremsen wird eine in alle Einzelheiten gehende Beschreibung der bei den europäischen Eisenbahnen angewandten mannigfaltigen Druckluft- und Vakuumbremsysteme geboten. Dass dieser Stoff universell behandelt wird, erhellt schon aus der Tatsache, dass auch die wenig bekannte Kasantzeff-Bremse ausführlich beschrieben ist. Das Buch dürfte ebenfalls dem Bremsfachmann und dem Praktiker sehr wertvolle Dienste leisten. Der I. Band schliesst mit einer Beschreibung der mechanischen Zubehöriteile, der eine Zusammenstellung der vielseitig angewandten Sicherheitsfahrerschaltungen vorangeht, die den Zweck haben, das

¹⁾ Elektrische Triebfahrzeuge. Von Dr. techn. Karl Sachs. 2 Bände, 1423 S., 1697 Textabbildungen und 16 Tafeln. Herausgegeben vom Schweiz. Elektrotechnischen Verein, Frauenfeld 1953, Kommissionsverlag Huber & Co. Preis geb. 65 Fr.