

# **Zement, Beton und Eisenbeton.**

Von

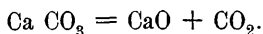
**Privatdozent Dr. Alfons Leon.**

---

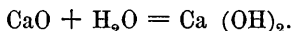
Vortrag, gehalten den 24. November 1915.



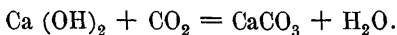
Es ist Ihnen allen wohlbekannt, auf welchen Erscheinungen das Kalkbrennen und die Verwendung des gebrannten Kalkes im Bauwesen beruht. Der Kalkstein (kohlen-saurer Kalk,  $\text{Ca CO}_3$ ) gibt beim Erhitzen Kohlen-dioxyd ( $\text{CO}_2$ ) ab, so daß der gebrannte Kalk (Kalkerde, Ätzkalk,  $\text{CaO}$ ) zurückbleibt, entsprechend der chemischen Formel



Wird gebrannter Kalk mit Wasser in Berührung gebracht, so bläht er sich auf, wird rissig und zerfällt; man sagt: er „löscht ab“. Hierbei findet eine chemische Bindung von Wasser statt. Die Kalkerde verwandelt sich in den gelöschten Kalk, in das Kalziumhydroxyd:



Mit Sand und einer entsprechenden Menge Wasser gemischt, erhält man einen Brei, den Kalkmörtel, der im Bauwesen als Bindemittel für die einzelnen Ziegel oder Bausteine verwendet wird. An der atmosphärischen Luft verbindet sich der gelöschte Kalk des Kalkmörtels mit der Kohlensäure der Luft und verwandelt sich unter Abscheidung von Wasser wieder in kohlen-sauren Kalk zurück nach der Formel



Der Kalkmörtel bedarf zu seiner Erhärtung der Kohlensäure der Luft; unter Wasser gebracht erhärtet er nicht; er ist daher für Bauten unter Wasser oder auch nur im feuchten Baugrunde nicht anwendbar. Man spricht von „unselbständiger“ Erhärtung und bezeichnet den nur an der Luft erhärtenden Kalkmörtel als „Luftmörtel“.

Ist der zum Brennen verwendete Kalkstein nicht rein, sondern mit Ton — das ist kiesel-saure Tonerde,  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$  — vermengt, so erhält man nach dem Ablöschen des gebrannten Steines und der Vermengung mit Sand bei entsprechendem Wasserzusatz einen Mörtel, der die Eigenschaft hat, nicht nur an der Luft, sondern auch bei Luftabschluß, ja auch unter Wasser steinartig zu erhärten. Man spricht von einem „hydraulischen“ Kalk (Wasserkalk), von einem hydraulischen Mörtel und von „selbständiger“ Erhärtung.

Den Römern, den großen Baumeistern des Altertums, war diese Eigenschaft des tonigen Kalksteines nicht bekannt. Sie entdeckten jedoch eine andere Art, um einen Kalkmörtel hydraulisch zu machen. In der Gegend von Neapel (bei Puzzuoli), auf der griechischen Insel Santorin und im Nettetäl beim Rhein fanden sich vulkanische Erden, welche, dem Mörtel zugesetzt, diesen hydraulisch machten. Mit diesem Mörtel bauten die Römer ihre Wasserleitungen und Kanalisationsanlagen.

Es war der Engländer John Smeaton, der 1756 zum Leiter des Neubaues eines Leuchtturmes ernannt wurde und der durch planmäßige Versuche die Entdeckung

machte, daß sich zur Herstellung eines unter Wasser erhärtenden Mörtels alle tonhaltigen Kalksteine eignen, daß also der Ton jener Stoff oder wenigstens einer jener Stoffe ist, welche den Kalk hydraulisch machen. Smeaton fand, daß die zur Erzeugung eines auch unter Wasser erhärtenden Mörtels geeigneten Kalksteine bei Behandlung mit Säuren einen aus Ton und Sand bestehenden unlöslichen Rückstand geben. 1813 stellte der Franzose Collet-Descotils fest, daß in den hydraulischen Kalken die Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ), die zusammen mit der Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) den Ton (kieselsaure Tonerde) bildet, vor dem Brennen in unlöslicher, nach dem Brennen in löslicher Form im Kalk enthalten ist, daß also nicht der Ton an sich, sondern die Kieselsäure, die beim Brennen durch den Kalk aufgeschlossen wird, die Hydraulizität eines Kalkes bedingt.

Man hat weiters festgestellt, daß unter sonst gleichen Umständen ein Kalkmörtel um so rascher und energischer im Feuchten und sogar unter Wasser zu erhärten vermag, je mehr Ton er enthält. Man unterscheidet demnach schwach und stark hydraulische Kalke. Mit dem Tongehalt sinkt aber die Ablöschfähigkeit des gebrannten hydraulischen Kalkes, das ist die Neigung, bei Zugabe einer entsprechenden Menge von Wasser rissig zu werden, zu zerfallen und sich in einen Brei zu verwandeln. Tonhaltige Kalke mit mehr als rund 30 v. H. Ton löschen nach dem Brennen überhaupt nicht mehr ab. Sie bleiben trotz Zugabe von Wasser fest und steinartig. Nur an ihrer Oberfläche tritt in

einer ganz dünnen Schichte die chemische Bindung von Wasser, die Hydratisierung ein. Wenn man jedoch solche nicht löschtfähige Stücke gebrannten, tonhaltigen Kalkes zu Pulver mahlt und hierauf mit Wasser und Sand oder auch nur mit Wasser allein mischt, so erstarrt das Gemisch sowohl an der Luft als auch unter Wasser zu einer steinartigen Masse, wobei oft eine bedeutende Temperaturerhöhung zu beobachten ist. Einen solchen Stoff nennt man nach heutigen Begriffen einen „Zement“, während die Römer unter Zementen solche Stoffe wie Santorin- und Puzzolanerde verstanden, welche den Kalkmörtel hydraulisch machen.

Zemente sind demnach pulverförmige Stoffe von Kalk und Ton, die, mit Wasser zu einem Brei angemacht, sowohl an der Luft als auch unter Wasser erhärten, im stückigen Zustand sich jedoch nicht ablöschen lassen.

Während die Franzosen ihre ganze Aufmerksamkeit der Herstellung hydraulischer Kalke zuwendeten, erkannten die Engländer den großen Wert der Zemente und warfen sich auf deren Herstellung im großen. 1796 nahm James Parker ein Patent auf einen Zement, den er durch Brennen von Mergelnieren, das sind kalkige Einlagerungen des bei London vorkommenden Tones, herstellte. Mit Rücksicht auf die rötliche, der Puzzolanerde ähnliche Farbe wurde dieser Zement auch „römischer“ oder „Romanzement“ genannt; er erstarrte in wenigen Minuten unter beträchtlicher Temperaturerhöhung. Ein ähnliches Produkt wurde ab 1802 in

Frankreich von Lesage fabrikmäßig erzeugt. In Ermanglung entsprechender Mengen von Mergel geeigneter Zusammensetzung ging man bald dazu über, künstliche Gemenge von Kalk und Ton zu brennen und so einen „künstlichen“ statt einen „natürlichen“ Zement zu erzeugen. Es war der Franzose Vicat, der als erster solche künstliche Zemente herzustellen wußte, ohne aber deren praktische Bedeutung zu erkennen.

Der Name Portlandzement wurde von dem englischen Maurer Josef Aspdin (1779—1855) aus Leeds eingeführt, der 1824 ein Patent auf die Erzeugung eines künstlichen Zementes nahm. Als Kalk benützte Josef Aspdin den Schlamm, bezw. Staub der mit Kalkstein beschotterten Straßen und, wenn derartiges kalkiges Material fehlte, einen harten Kalkstein, den er vorher brannte, um ihn hernach leichter pulvern zu können. Wegen der Ähnlichkeit in der Farbe mit dem in England als Baustoff sehr geschätzten Portlandstein, einem oolithischen Kalkstein, der auf der Halbinsel Portland in Dorsetshire gebrochen wurde, nannte Aspdin sein Erzeugnis „Portlandzement“. Da Aspdin nicht imstande war, ein stets gleich gutes und verlässliches Produkt herstellen, so blieben für ihn die erhofften wirtschaftlichen Erfolge aus.

1844 erkannte Isaak Charles Johnson (1811—1911), der Werkführer der Whiteschen Zementfabrik in Swanscombe in England, die den sogenannten Frostschen Zement erzeugte, daß ein Zement um so besser ist, d. h. um so besser kittet, je schärfer er gebrannt wird,

und daß man beim Brennen bis zur „Sinterung“ gehen, d. h. einen Hitzegrad erreichen soll, bei welchem das zu brennende Gut sein Gefüge dadurch verdichtet, daß es teilweise flüssig wird.<sup>1)</sup> Vor Johnson wurden seitens der Zementwerke jene Stücke, die unter dem Einfluß der Glut in sich zusammengesunken (gesintert) waren, als wertlos, ja als schädlich betrachtet und vor dem Mahlen entfernt. Johnson fand, daß die als zu stark gebrannt (als „überbrannt“) geltenden Stücke im gepulverten Zustand einen Zement ergaben, der dem bis dahin erzeugten überlegen war. Auch ergab sich, daß die gesinterten Stücke einen höheren Kalkgehalt besaßen als die übrigen, daß also der höhere Kalkgehalt die Sinterung erleichterte und zu höheren Festigkeiten führte. Seither ist man immer mehr dazu übergegangen, scharf zu brennen, ja das Brennen bis zur Sinterung ist das charakteristische Merkmal eines „Portlandzementes“ geworden. Nach heutigen Begriffen nennt man einen Zement „Portlandzement“, wenn er bis mindestens zur Sinterung, und „Romanzement“, wenn er bei Temperaturen unter der Sintergrenze gebrannt wurde. Romanzemente stellt man stets aus natürlich vorkommenden tonhaltigen Kalksteinen (Mergeln) her, Portlandzemente in den allermeisten Fällen aus einer künstlichen Mischung. Der erstere ist daher immer ein Natur-, der letztere fast stets ein künstlicher Zement.

---

<sup>1)</sup> Hans Kühl und Walter Knothe, Die Chemie der hydraulischen Bindemittel. Leipzig, Verlag S. Hirzel, 1915.



In der Fabrik, in welcher Johnson Werkführer war, brännte man eine Mischung von 2 Teilen Kreide (kohlensauren Kalk) und 1 Teil Ton bei Temperaturen von rund  $1000^{\circ}$  C. Johnson ging auf ein Mischungsverhältnis von 2·5 Teilen Kreide auf 1 Teil Ton und auf Brenntemperaturen von  $1300$ — $1500^{\circ}$  C über. In dieser Art gelang es ihm, andauernd einen sehr guten Zement herzustellen. Es dauerte noch lange Zeit, bis von allen Fabriken die Vorteile des scharfen Brennens der Rohmasse erkannt wurden.

So wurde die Zementfabrikation in England begründet und zur Quelle großer wirtschaftlicher Erfolge, um so mehr als sie durch mehr als 20 Jahre konkurrenzlos blieb und der Kontinent nur englische Zemente kaufte. Die wissenschaftliche Grundlage erhielt die Zementindustrie in Deutschland, und zwar durch die 1830 veröffentlichte Arbeit des bayrischen Oberbergrates Dr. J. N. von Fuchs über die Ursachen der Hydraulizität der Mörtel. Angeregt durch diese Arbeit, fand der k. k. Straßenmeister Franz Kink bei Kufstein in Tirol ein für die Erzeugung eines hydraulischen Bindemittels vorzüglich geeignetes Mergellager und erbaute daselbst 1842 die erste Romanzementfabrik in Österreich mit einer Jahresproduktion von 70 Waggons.<sup>1)</sup> In Deutschland führte die Arbeit des Oberbergrates Professors von Fuchs 1855 zur Gründung der ersten deutschen, derzeit

---

<sup>1)</sup> Die derzeitige Produktionsfähigkeit an Portlandzement der Werke, die der Perlmooser Aktiengesellschaft gehören, beträgt 40.000—45.000 Waggons im Jahre. Es sind

noch bestehenden Portlandzementfabrik in Stettin durch Dr. Bleibtreu.

Um die Zementindustrie in Österreich zu heben, schrieb 1843 der Niederösterreichische Gewerbeverein die große goldene Medaille für die fabrikmäßige Erzeugung jenes Zementes in Österreich aus, der dem besten englischen Zement an Qualität gleichkäme. Erst 20 Jahre später (1863) wurde dieser Preis verliehen, und zwar den Naturzementen der Herren Escher in St. Andrea und der Herren Kraft und Saullich in Kirchbichl in Tirol. Der letztere wurde nach einer Ortsbezeichnung „Perlmooser Zement“ genannt.

Kalk und Ton sind demnach die Grundbestandteile aller in der Baupraxis verwendeten hydraulischen Bindemittel, insbesondere des Portlandzementes. Der Ton ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ) kann teilweise durch Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ersetzt sein. Auch Eisenoxyd macht den Kalk hydraulisch. Man rechnet daher neben dem Ton auch das Eisenoxyd zu den sogenannten Hydraulefaktoren. Das Gewichtsverhältnis der Kalkerde ( $\text{CaO}$ ) zu den Hydraulefaktoren Ton und Eisenoxyd wird hydraulischer Modul genannt.

$$M = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Sein Wert liegt nicht unter 1·7 und selten über 2·2. Nur im Falle ganz besonders günstiger Verhältnisse

---

dies die Werke Saullich und Egger-Lüthi in Kirchbichl (Tirol), Mannersdorf a. L., Achau und Scheibmühl (Niederösterreich), Judendorf und Retznei (Steiermark).

der hydraulischen Faktoren unter sich und zum Kalkgehalt sowie vorzüglichster Aufbereitung kann der hydraulische Modul bis auf 2·4 getrieben werden.

Ein Portlandzement erlangt im allgemeinen eine um so größere Festigkeit, je höher sein Kalkgehalt ist. Sobald man aber eine gewisse, jedem Zemente eigentümliche Grenze (von etwa 54—68 v. H.) überschreitet, erhält man einen Zement, der nach der steinartigen Erstarrung langsam an Rauminhalt zunimmt, dabei rissig wird und dadurch seine Festigkeit wieder verliert. Man spricht von einem „treibenden Zement“ oder einem „Treiber“. Auch ein zu großer Gehalt an Magnesia ( $MgO$ ) oder Schwefelsäureanhydrit ( $SO_3$ , welcher von Gips, dem Kalziumsulfat,  $CaSO_4 = CaO + SO_3$ , stammt) bedingt solche Treiberscheinungen, weshalb in den Lieferbedingungen festgestellt ist, daß ein Zement höchstens 5 v. H.  $MgO$  und höchstens 2·5 v. H.  $SO_3$  enthalten darf. Beim Kalk liegt aber die zulässige Grenze verschieden hoch und die Festsetzung einer Höchstgrenze würde bei gewissen Rohmaterialien der Herstellung hochwertiger, sehr fester, kalkreicher und nicht treibender Zemente hinderlich sein.

Die chemischen Vorgänge beim Brennen der Zementrohmasse und beim Erstarren (Abbinden) und Erhärten der Zemente sind noch nicht völlig geklärt. Die Kieselsäure ( $SiO_2$ ) ist für sich allein in der stärksten Hitze unserer Öfen unschmelzbar und nur im Sauerstoffgebläse (bei rund  $3000^{\circ}C$ ) gelingt es, sie in den flüssigen Zustand überzuführen. Sie ist außerdem in

Wasser und in allen Säuren mit Ausnahme der Fluorwasserstoffsäure unlöslich. Dagegen erniedrigt sich der Schmelzpunkt der Kieselsäure beträchtlich, wenn sie mit Basen (z. B.  $\text{CaO}$ ) gemengt ist. Es entstehen in Wasser und Säuren lösliche Silikate. Dieses Überführen der Kieselsäure in die lösliche, verbindungs-fähige Form bezeichnet man als das „Aufschließen“. In dieser aufgeschlossenen Form vermögen die Silikate im gepulverten Zustand unter Bindung von Wasser steinartig erhärtende Verbindungen zu bilden, die in Wasser unlöslich sind (Kalziumhydrosilikate).

Auch die Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), sonst eine schwache Base, verhält sich starken Basen gegenüber, wie dies die Kalkerde ( $\text{CaO}$ ) ist, wie eine Säure und bildet in der Glühhitze mit der Kalkerde eine Masse, die im gepulverten Zustand mit Wasser zusammengebracht steinartig erhärtet (Kalziumhydroaluminat).

Kieselsäure und Tonerde, die zusammen den Ton bilden, werden also durch Kalk ( $\text{CaO}$ ) in hohen Temperaturen mehr oder minder aufgeschlossen, d. h. in verbindungs-fähigen Zustand übergeführt. Zu Mehlfeinheit zerkleinert und mit Wasser angemacht, geben diese Brennprodukte steinartig erhärtende Kalkhydrosilikate und Kalkhydroaluminat.

Bei der Erzeugung eines Portlandzementes handelt es sich in der Regel um die Herstellung eines künstlichen Gemisches von Kalk und Ton geeigneter chemischer Zusammensetzung. Mergellager, die sich zur Herstellung eines natürlichen Portlandzementes eignen, finden sich

nur an einzelnen Orten vor, in Österreich in Tirol bei Kirchbichl, in Salzburg bei Gartenau, in Steiermark bei Judendorf und in Dalmatien bei Spalato. In den allermeisten Fällen müssen jedoch Kalk und Ton künstlich gemischt oder der Mergel mindestens nachgebessert werden. Die größte Feinheit der Rohmaterialien und Vollkommenheit ihrer Mischung sind nötig, damit die gegenseitige Einwirkung des Kalkes auf die Kieselsäure und Tonerde im Feuer in allen Teilen der Rohmasse gleichmäßig stattfindet. Je nach der Härte und Reinheit der Rohmaterialien verwendet man zur Herstellung der Mischung verschiedene Verfahren.

Wird bei der Fabrikation des (künstlichen) Portlandzementes sowohl der Kalkstein (bezw. der Kalkmergel), als auch der Ton (Tonschiefer) im trockenen Zustand vermahlen — was sowohl getrennt als auch gemeinsam geschehen kann — so spricht man vom Trockenverfahren. Werden die beiden Grundstoffe im nassen Zustande aufbereitet, so hat man es mit dem Naßverfahren (Ganznaßverfahren) zu tun. Es kommt auch vor, daß der Ton als der meist stärker verunreinigte Grundstoff im nassen, der Kalkstein hingegen im trockenen Zustand vorbehandelt wird; dies ist das gemischte (Halbnaß-, Halbtrocken-) Verfahren. Weiche, leicht zerreibliche Kalke (wie z. B. die wasserhältigen Wiesenkalke), Kreide und Kalkmergel behandelt man mit Vorliebe naß, indem man einen Kalkschlamm herstellt und ihn mit einer entsprechenden Menge Tonschlamm versetzt. Durch das

Schlämmen wird sowohl der Kalk von seinen unerwünschten Beimengungen (Flintstein u. dgl.), als auch der Ton von seinem Sande befreit. Nach inniger Mischung dieses Kalktenschlammes wird die Masse entweder direkt im sogenannten Drehofen gebrannt, oder durch teilweise Austrocknung in den knetbaren Zustand gebracht, in diesem in Ziegelform gepreßt, hierauf weiter getrocknet und schließlich in Schacht- oder Ringöfen gebrannt.

Harte Kalksteine und feste Tonschiefer werden häufig im trockenen Zustand vermahlen. Findet die Vermahlung der beiden Grundstoffe in verschiedenen Maschinen statt, so sind hernach das Kalk- und Tonmehl innig zu mischen. In früheren Zeiten brannte man den rohen Kalkstein, um ihn hernach leichter vermahlen zu können. Beim heutigen Bau der Brechmaschinen und Mühlen spielt jedoch die Härte der Kalksteine keine Rolle mehr. Die Zerkleinerung der Rohstoffe erfolgt der Reihe nach in drei Maschinen, dem Steinbrecher, der Kugel- und Rohrmühle. Im Steinbrecher werden die Steinblöcke vorgebrochen, in der Kugelmühle, die Stahlkugeln enthält, zu Gries zerschlagen und in der Rohrmühle durch Flintsteinkugeln (Kugeln aus kryptokristallinem Quarz) zu Mehl vermahlen. Die mehlartige Zementrohmasse wird angefeuchtet und entweder direkt (im Drehofen) gebrannt oder zunächst in Ziegelform gebracht, getrocknet und erst dann (im Schacht- oder Ringofen) gebrannt.

In der Regel ist der Ton mit mehr Verunreinigungen versehen als der Kalk, so daß man den Ton durch Schlämmen von seinem Sand und anderen unerwünschten Beimengungen befreit, hingegen den Kalk im trockenen Zustand vermahlt. Man erzeugt z. B. aus Ton durch Wasser einen Schlamm von etwa 60 v. H. Wassergehalt und mischt in diesen Schlamm das trockene Kalksteinmehl im richtigen Verhältnisse. Aus dieser Rohmasse werden Ziegel gepreßt, welche getrocknet und in Öfen zu Klinkern gebrannt werden. So geschieht dies z. B. in der Zementfabrik Achau. Der Kalkstein wird vor seiner Verkleinerung in Trockentrommeln von seiner Feuchtigkeit befreit.

Die Wahl der Aufbereitungsmethode ist die erste und wichtigste Frage, die bei der Errichtung einer Portlandzementfabrik zu entscheiden ist. Maßgebend für diese Wahl ist die Beschaffenheit der Rohmaterialien, die örtlichen Verhältnisse und die gebotene Rücksicht auf die Rentabilität des Betriebes. Von Ausnahmen abgesehen, ist im allgemeinen die trockene Aufbereitung sowohl hinsichtlich der Anlage-, als auch der Betriebskosten billiger. Das Trockenverfahren ist dort am Platze, wo es sich um die Verarbeitung reiner und wenig Feuchtigkeit enthaltender Stoffe handelt. Besonders wenn man als Rohstoff einen Mergel zur Verfügung hat, dessen Zusammensetzung an und für sich fast gleich derjenigen ist, die zur Erzeugung eines guten Portlandzements nötig ist, kann man mit Vorteil vom Trockenverfahren Gebrauch machen. Wenn

die Rohstoffe leicht zerreiblich sind und gleichzeitig von fremden Bestandteilen befreit werden sollen, ist es von Vorteil, einen dünnen, d. h. sehr wasserhaltigen Schlamm herzustellen (Dünnschlammverfahren). Sind die Stoffe hart, so können sie auf nassem Wege gemeinsam zu einem wasserärmeren, dicken Schlamm vermahlen werden (Dickschlammverfahren).

Das Brennen des Zementes geschieht in Schacht-, Ring- oder Drehöfen. Zum Brennen in Schacht- und Ringöfen muß die Rohmischung zu Ziegeln gepreßt sein, die nach entsprechender Trocknung gebrannt werden. Verwendet man jedoch einen Drehofen, so entfällt die Arbeit des Verziegelns und das Trocknen der Zementrohziegel.

Der Drehofen, der seit 1895 immer mehr die anderen Ofensysteme verdrängt, besteht aus einem zylindrischen, mit Schamotte ausgefüllten eisernen Rohr von 30—70 m Länge und 2—3,5 m Durchmesser. Gegen die Wagrechte ist das Rohr schwach geneigt und wird durch einen entsprechenden Antrieb ganz langsam um seine Längsachse gedreht. Am oberen Ende des Rohres wird der zu Portlandzement zu brennende Schlamm (beim Trockenverfahren die angefeuchtete Rohmasse) durch entsprechende Vorrichtungen eingebracht. Durch die Neigung des Rohres gegen die Wagrechte und dessen Drehung um seine Längsachse bewegt sich das Brenngut im Rohre langsam nach abwärts. Am unteren Ende des Ofenrohres wird feingemahlener Kohlenstaub eingeblasen und verbrannt.



Dabei werden die zur Sinterung der Rohmasse nötigen Temperaturen von 1300 und 1500<sup>o</sup> C erreicht. Durch diese Kohlenstaubflamme wird das am oberen Ende eingelaufene Brenngut bei seiner Fortbewegung im Rohre zunächst getrocknet, hierauf der Kohlensäure beraubt und schließlich der Sinterung nebst den damit verbundenen chemischen Veränderungen unterzogen.

Die gebrannte Masse heißt Zementklinker. Sie fällt in Haselnußgröße aus dem Drehofen in ein zweites, gleichfalls schief liegendes, sich drehendes Rohr, der Kühltrommel, durch welche im Gegenstromprinzip die Verbrennungsluft für die Kohlenstaubflamme streicht. Diese Verbrennungsluft kühlt den Zementklinker ab, wobei sie sich selbst erwärmt, was der Wirtschaftlichkeit des Betriebes zugute kommt. In ihrem Innern besitzt die Kühltrommel Schaufeln, die das gebrannte Gut fortwährend in die Höhe heben und wieder fallen lassen, damit der Luftstrom möglichst kühlend wirke. Der Klinker fällt am unteren Ende der Kühltrommel in entsprechende Fördervorrichtungen, mittels welcher er in die Klinkerhalle gefördert wird.

Zur Erzeugung des notwendigen Kohlenstaubes sind die Drehofenanlagen mit einer Kohlentrocknerei und Kohlenmühle versehen.

Der in der Klinkerhalle lagernde Klinker lockert sich dort noch etwas auf und wird nach Bedarf in die Zementmühle gefördert, wo die Vermahlung zu Mehlfeinheit erfolgt. Das so erhaltene Mehl ist der Portlandzement. Die Zementmühle ist wieder mit Kugel- und Rohr-

mühlen ausgestattet. Diese Maschinen sind derzeit in der gesamten Zementindustrie die bevorzugtesten Vermahlungsapparate. Der feingemahlene Zement wird in Behältern (Silos) gelagert und aus denselben durch entsprechende Einrichtungen auf Packmaschinen gefördert, dort in Säcke oder Fässer gepackt, die bis zum Versand in Magazine eingelagert werden.

Die wichtigste Eigenschaft eines Zementes ist seine Kittfähigkeit und die damit in Zusammenhang stehende Festigkeit. Um diese zu prüfen, stellt man aus dem zu untersuchenden Zement und einem Sande von unveränderlicher Beschaffenheit — dem sogenannten Normalsand — Probekörper her, die teils dem Zug-, teils dem Druckversuch unterzogen werden.

Die Neigung zum Treiben wird so geprüft, daß man aus dem Zement kuchenartige Körper herstellt und durch vier Wochen hinsichtlich ihrer Raumbeständigkeit bei Lagerung an der Luft und bei Lagerung in Wasser beobachtet. Zeigen sich nach Ablauf dieser Zeit an den Probekörpern weder Verkrümmungen, noch Risse, so sagt man, der Zement habe die „Kuchenprobe“ bestanden. Wenn solche Kuchen treiben, so beruht dies meist auf zu hohem Kalkgehalt, selten auf zu hohem Gipsgehalt. Dabei tritt das Gipstreiben um so eher auf, je höher der Kalkgehalt ist. Das Gipstreiben wird nur bei jenen Kuchen beobachtet, die man in Wasser lagert.

Es kann ein Zement auch mit normalem, ja selbst mit unternormalem Kalkgehalt Neigung zum Treiben zeigen, wenn die Rohmasse nicht fein genug gemahlen oder nicht

innig genug gemischt war, so daß örtliche Kalkanhäufungen vorkommen.

Der Portlandzement ist ein ausgezeichnetes Bindemittel und seine Verbreitung hat die Bautechnik außerordentlich beeinflußt. Insbesondere hat mit der Verbreitung der Verwendung des Zementes auch die Betonbauweise zugenommen. Mischt man einen Mörtel mit Steinresten unregelmäßiger Form, mit Gerölle oder Schotter, so hat man eine Masse (Betonmasse), die nach dem Erstarren ein künstliches Konglomerat, bezw. eine künstliche Breccie vorstellt und die man „Beton“ nennt. Schon die Römer stellten für ihre Wasserleitungen Beton aus Kalkmörtel und Gerölle her, den sie durch Zugabe von Puzzolan- oder Santorinerde hydraulisch machten. Die Franzosen erbauten 1816 eine Betonbrücke über die Dordogne bei Souillac; als hydraulisches Bindemittel benützten sie einen Romanzement. 1854 wurde die Franz-Josef-Schiffahrtsschleuse an der Donau in Ungarn mit 100 m Länge und 9 m Breite ganz aus Beton gebaut; es war dies die erste derartige Anlage in Europa. Heutzutage verwendet man als hydraulisches Bindemittel zur Herstellung des Betons fast immer Portlandzement.

Um einen Bau in Beton auszuführen, müssen für seine Tragteile kastenartige hölzerne Formen, die sogenannten Verschalungen aufgestellt werden. In diesen Verschalungen erstarrt die Betonmasse und erlangt eine mit den Jahren zunehmende Festigkeit. Die kastenartigen Formen dürfen nicht zu früh entfernt werden.

Die meisten Unfälle bei Betonbauten geschehen durch zu frühes Ausschalen. Nach den Bauvorschriften dürfen tragende Teile von Hochbauten erst nach vier-, solche von Straßenbrücken erst nach sechswöchiger Erhärtung ausgeschalt werden.

Der Beton ist, wie alle steinartigen Stoffe, ein Material, das einer Beanspruchung auf Druck einen großen, einer Beanspruchung auf Zug hingegen einen geringen Widerstand entgegensetzt, während Metalle, wie z. B. Eisen, auch Zugkräften gegenüber sehr fest sind. Jeder Balken krümmt sich unter dem Einfluß der ihn belastenden Kräfte, wenn auch oft in einem so geringen Maße, daß es mit freiem Auge nicht zu bemerken ist. An der erhabenen Seite entstehen Zug-, an der hohlen Druckspannungen. Den Druckspannungen würde ein Betonbalken wohl widerstehen, nicht aber den Zugspannungen, weshalb solche Konstruktionen schon bei geringen Belastungen brechen.

Wenn man jedoch bei der Herstellung von Betonbalken an der Zugseite Eisenstäbe in die Betonmasse einlagert, welche die Zugkräfte aufnehmen, so erhält man einen sogenannten „armierten“ Balken, einen „Eisenbetonbalken“, eine „Verbundkonstruktion“, welche die hohe Widerstandsfähigkeit des Eisens auf Zug und des Betons auf Druck in sich vereinigt. Es ist hierbei ein äußerst günstiger Umstand, daß die Ausdehnungskoeffizienten von Beton und Eisen nahezu gleich sind, so daß die beiden Materialien auch bei Temperaturänderungen kein Bestreben zeigen, sich voneinander

abzulösen. Hiezu kommt noch, daß das von Beton oder Zement gut umhüllte Eisen nicht rostet. Von allen unedlen Metallen ist das Eisen das einzige, das einen dauernden Rostschutz im Beton genießt. Beim Anmachen von Zement mit Wasser wird eine gewisse Menge Kalziumhydroxyd abgespalten, welches als alkalische Flüssigkeit die chemische Umsetzung des Eisens zu Rost hindert. In alkalischen Flüssigkeiten wird das Eisen „passiv“, es bleibt blank, ohne zu rosten. Ja, wenn man verrostetes Eisen in Beton einlegt und nach einiger Zeit herausschlägt, zeigt sich, daß der Rost verschwunden ist. Diese Erscheinungen waren den ersten Erbauern von Eisenbetonbauten nicht bekannt; sie wurden erst 1908 von Professor Rohland in Stuttgart klargelegt.

In Frankreich hat schon 1850 Lambot Eisendrähte in Beton eingelegt und einen Kahn gebaut, eine Konstruktion, die er sich patentieren ließ und die er auf der Pariser Weltausstellung 1855 vorführte. Lange Zeit sprach man jedoch die Erfindung des Eisenbetons dem französischen Gärtner Josef Monier (1828—1907) zu, welcher die damals in Gebrauch stehenden Pflanzkübel aus Beton durch eingelegte Eisendrähte und Eisengeflecht weniger gebrechlich und leichter machte. 1867 erhielt Monier ein diesbezügliches französisches Patent, das er in späteren Jahren auf Träger, Platten und Röhren erweiterte. Schon 1875 wurde die erste Brücke aus Eisenbeton mit einer Spannweite von 16 m erbaut. Seitdem hat der Eisenbetonbau eine ungeheure Bedeutung erlangt.

Zufolge des geringen Wärmeleitungsvermögens ist der Beton ein guter Schutz für Eisen, welches letzteres sich bei Bränden sehr rasch erwärmt und seine Tragfähigkeit einbüßt. Bei Feuersbrünsten verhalten sich Konstruktionen aus Eisenbeton viel günstiger als solche aus Eisen. Die Instandhaltungskosten von Bauwerken aus Beton und Eisenbeton sind sehr gering.

---

Herrn Ing. Theodor Pierus, Zentralkonstruktor der hydr. Kalk- und Portlandzement-Fabrik zu Perlmoos, A.-G., habe ich für wertvolle Winke und die Überlassung einer großen Anzahl von Lichtbildern geziemend zu danken.

---