Moderner Zement

Theorieblatt

Der heutige Zement – und der daraus hergestellte Beton – unterscheiden sich deutlich vom einfachen gebrannten Kalk und dem daraus hergestellten Kalkmörtel, den bereits die Römer kannten. Die Grundidee bleibt allerdings die gleiche: Durch Erhitzen der mineralischen Ausgangsstoffe und anschliessendem Vermischen mit Kieselsteinen und Wasser, wird Gesteinsmaterial in eine giessbare Form gebracht, bevor es wieder aushärtet. Folgende Unterschiede sind aber wesentlich:

1. Es wird heute in der Praxis nicht nur Kalk gebrannt, sondern ein Gemisch aus Kalk- und Tonmineralien. Mitunter kommen auch noch Quarzsand, sowie eisenoxidhaltige oder andere Stoffe dazu.
2. Das Abbinden heutiger Zemente benötigt kein CO2 (aus der Luft), sondern Wasser (oder Luftfeuchtigkeit), weshalb der moderne Zement als hydraulisches Bindemittel bezeichnet wird.

Der Brenn- und Sinter-Prozess

Im Zementofen wird ein Gemisch aus Kalk (Quelle für CaCO3) Ton (Quelle für Aluminium- und Siliciumoxide) und Sand (Quelle für Siliciumoxide) auf etwa 1450 °C erhitzt. Dabei wird aus dem Kalk – analog zum klassischen Brennprozess – CO2 abgespalten. Gleichzeitig kommt es aber auch zu einem Sinterungsprozess: Das aus dem Kalk entstandene Calciumoxid (CaO) und die Silicium- und Aluminiumoxide verschmelzen teilweise. Im Ergebnis entsteht ein poröses Material (Klinker) mit einer grossen Oberfläche und einer komplexen chemischen Misch-Struktur, die aus nur teilweise abgeschlossenen Netzwerken aus Ca, Si, Al, O und H-Atomen bestehen.

Dieses Klinkermaterial wird dann zu einem feinen Pulver vermahlen und mit etwas Gipspulver vermischt. Letzteres verlangsamt den Aushärtungsprozess, sodass der Beton nicht allzu schnell verarbeitet werden muss.

Der Aushärtungsprozess

Beim Anmischen von Beton (siehe Thema 2.1) können durch die Korngrössenverteilung des Kieses und durch weitere Zusatzstoffe, die Verarbeitungseigenschaften wie auch die Eigenschaften des resultierenden Betons, gezielt beeinflusst werden. Das soll hier nicht weiter ausgeführt werden. In der Folge werden aber in etwas vereinfachter Form die wichtigsten chemischen Prozesse beschrieben, die beim Aushärten (auch ganz ohne Zusatzstoffe) ablaufen.

Der Aushärtungsprozess beginnt beim Anmischen durch die Zugabe von Wasser automatisch. Dabei entstehen aus der oben beschriebenen Misch-Struktur, in einem langsamen, chemischen Prozess stark vernetzte Calciumsilikathydrate (z.B. Tricalciumsilikat (Alit) oder Dicalciumsilikat (Belit), siehe Abbildung 1a). Entscheidend ist dabei, dass die neue Verknüpfungsweise der Oxid- oder Hydroxidionen, die durch die Zugabe von Wasser ausgelöst wird, starre, ionengitterartig aufgebaute Kristallstrukturen entstehen, die sich mit dem ebenfalls zugefügten Kies verbinden.

Auf diese Weise härtet der Beton über mehrere Tage hinweg aus. Der Zement wirkt also zusammen mit dem Wasser wie ein Bindemittel. Das beschriebene Kristallwachstum ist zwar langsam, hat dafür aber den Vorteil, dass es die ganze Betonmasse durchdringt und somit letztlich alle gegossenen Bereiche ausgehärtetwerden. Zum Schluss ist die gesamte Masse kristallin und fest miteinander verbunden (Abb. 1a zeigt eine stark vergrösserte Aufnahme der nadelförmigen Kristalle). Genau dies erzeugt die grosse Härte und Druckfestigkeit von Beton.

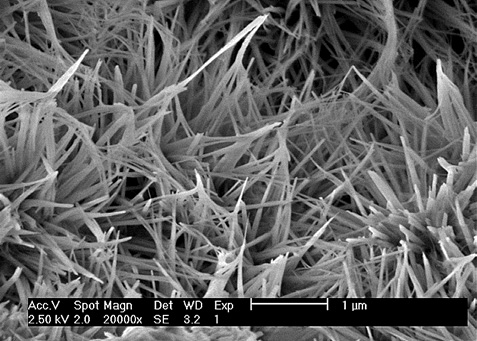
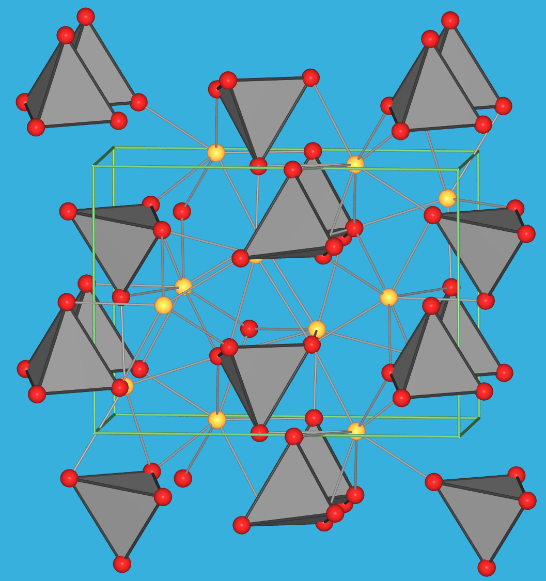
Abbildung 1a (links): Wachstum von Calciumsilicathydraten beim Aushärten von Beton. Man beachte die kristalline Struktur. (Quelle: <http://www.baustoffwissen.de/wissen-baustoffe/baustoffknowhow/grundstoffe/beton/erstarren-von-frischbeton/>) (05.05.2021)

Abbildung 1b (rechts): Ionengitter von Belit, ein wichtiges Calciumsilicathydrat. Rote Kugeln: Oxid-Ionen; gelbe Kugeln: Ca2+ Ionen; graue Tetraeder: SiO4-Anionen. (Quelle: <http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/metalle_3_8.html>) (05.05.2021)

Bis der Aushärtungsprozess abgeschlossen ist, dauert es theoretisch unendlich lange (s. Abbildung 2). Für die Praxis hat man allerdings die Druckfestigkeit, die nach 28 Tagen erreicht wird, zur Norm erklärt. Nach dieser Frist gilt Beton als voll belastbar. Dem Diagramm ist übrigens auch die zentrale Bedeutung des Wassers zu entnehmen. Nur wenn der Beton zumindest die ersten 7 Tage „nass“ ist, wird er seine nach Norm festgelegte Druckfestigkeit innert nützlicher Frist erreichen. Trocknet der Beton zu rasch aus erreicht er diese nie. Das ist der Grund, weshalb man auf Baustellen beobachten kann, dass frisch gegossene Betonelemente oder Böden tagelang unter Wasser gehalten werden.

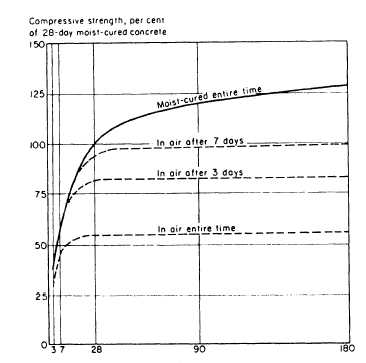


Abbildung 2: zeitlicher Verlauf der Aushärtung von Beton bei unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt. Die Härte nach 28 Tagen in konstantem Kontakt mit Wasser wird als Normhärte (100%) festgelegt. Natürlich unterscheidet sich die Härte des Betons auch nach seiner Zusammensetzung (hier nicht abgebildet). (Quelle: <http://engineeringtraining.tpub.com/14071/css/Concrete-Testing-297.htm>)