

# Moderne Zemente für zukunftsweisende Bauwerke

## Beton-Informationen mit erweiterten Inhalten

Von Matthias Middel, Andreas Ehrenberg, Rainer Hårdtl, Wolfgang Hemrich, Mathias Höppner, Alexander Paatsch, Werner Remarque und Paul Vogel

Bauwerke wurden und werden zur Erfüllung gesellschaftlicher Bedürfnisse zum Zwecke des Wohnens, Verwaltens, Produzierens, Kommunizierens und nicht zuletzt Repräsentierens errichtet. Diese Bauwerke geben somit ein Spiegelbild der jeweils herrschenden Wertevorstellungen und Anforderungen ihrer Entstehungsperiode wieder. Vorrangige Anforderungen waren stets das Erscheinungsbild, die Funktionalität und die Langlebigkeit der kapitalintensiven Bauinvestitionen. Optimierungen im Hinblick auf Tragwerksgestaltung und Baustoffeigenschaften sind die folgerichtigen Konsequenzen. Seit etwa den 1970er Jahren fließen in das Anforderungsprofil von Baumaßnahmen auch verstärkt ökologische Aspekte ein.

In gleichem Maß, wie Bauherr, Architekt und Tragwerksplaner gestalterische, konstruktive und bauphysikalische Überlegungen zur Bauwerkskonzeptionierung heranziehen, finden zunehmend auch Aspekte des Ressourceneinsatzes bei Baustoffproduktion, Errichtung, Betrieb und Rückbau von Bauwerken Einzug in die Überlegungen. Hierbei nehmen die Baustoffe eine bedeutende Rolle ein, auch der weltweit – wie in Deutschland – am meisten verwendete Baustoff Beton.

Basis des Baustoffs Beton und bestimmend für wesentliche seiner Eigenschaften ist nach wie vor Zement, dessen Hauptkomponente, der Portlandzementklinker, in einem thermischen Prozess hergestellt wird.

Zur Herstellung von Portlandzementklinker bzw. dem daraus hergestellten Zement werden sowohl thermische als auch elektrische Energien benötigt. Dabei bestimmt der thermische Energiebedarf, besser als Brennstoffenergiebedarf bekannt, den Gesamtenergiebedarf, der zur Herstellung eines Zements benötigt wird, maßgeblich.

Seit den 1950er Jahren hat sich der spezifische Brennstoffenergiebedarf zur Herstellung von Portlandzementklinker durch die Optimierung der Verfahrenstechnik mehr als halbiert und sich fast dem theoretischen Brennstoffenergiebedarf angenähert, **Bild 1**. Einhergehend mit der Optimierung der Verfahrenstechnik wurden somit auch die thermisch bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert. Eine weitere Entwicklung in der Verfahrenstechnik hat in den letzten Jahren dazu beigetragen, dass ein wesentlicher Teil des Brennstoffenergiebedarfs durch Sekundärbrennstoffe erbracht wird, **Bild 2**. Heute wird die für die Klinkerherstellung erforderliche Energie zu rund 60 % aus Sekundärbrennstoffen bereit gestellt. Dies reduziert den Bedarf an Primärenergierstoffen wie Kohle und Öl und trägt somit aktiv

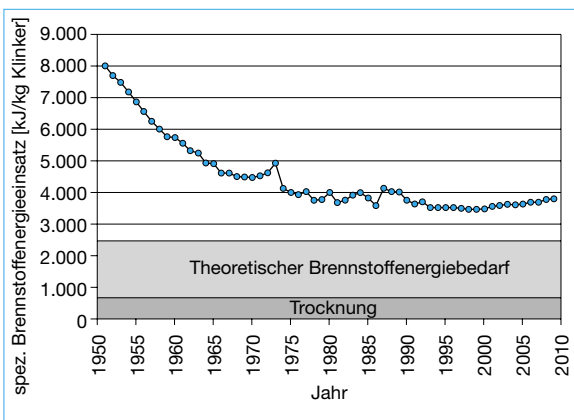


Bild 1: Spezifischer Brennstoffenergiebedarf für die Zementherstellung in Deutschland (bis 1987 alte Bundesländer, danach gesamte Bundesrepublik) [1]

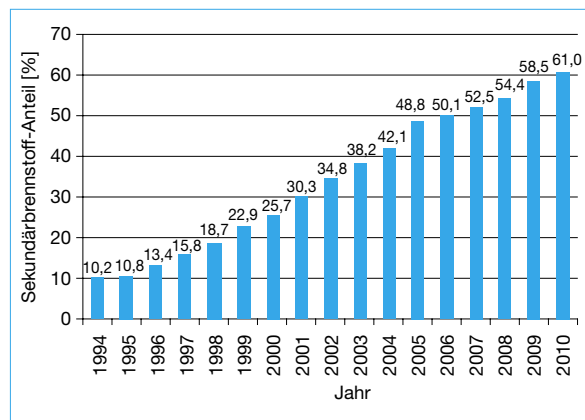
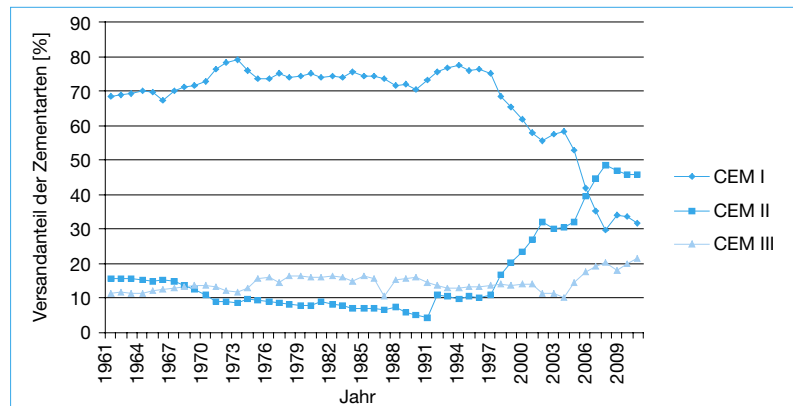


Bild 2: Anteil der Sekundärbrennstoffe am gesamten Brennstoffeinsatz in der Deutschen Zementindustrie [2, 3, 4]

zur Schonung unserer Ressourcen bei. Da Sekundärbrennstoffe z.T. als CO<sub>2</sub>-neutral gelten, trägt ihr Einsatz auch zur Reduzierung der mit der Zementherstellung verbundenen Emissionen bei.

Einen weiteren wesentlichen Beitrag zur Reduzierung des Rohstoff- und Energieeinsatzes bei der Zementherstellung sowie zur Reduzierung der damit verbundenen Emissionen leistet aber auch die Entwicklung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen. Vorbildlich ist diesbezüglich sicherlich die Verwendung von Portlandhütten- und Hochofenzementen, die in Deutschland schon eine mehr als 100-jährige Tradition hat. Gerade bei den Hochofenzementen sind in den vergangenen Jahren leistungsfähige Zemente in den Festigkeitsklassen 42,5 und 52,5 entwickelt worden, die sich in bestimmten Anwendungsbereichen etabliert haben und dort nicht mehr wegzudenken sind. War lange Zeit bis auf wenige Ausnahmen die Betonherstellung auf die Verwendung von Portland- (CEM I), Portlandhütten- (CEM II-S) und Hochofenzementen (CEM III) konzentriert, so hat sich das Bild in den vergangenen zehn Jahren grundlegend gewandelt.

**Bild 3** verdeutlicht, wie sich der Anteil der CEM I-Zemente am deutschen Inlandsversand von rund 68 % im Jahr 1998 auf ca. 33 % im Jahr



Quelle: VDZ

**Bild 3:** Zeitliche Entwicklung der Anteile der Zementarten am Gesamtinlandsversand der BDZ-Mitglieder

2008 reduziert hat. Während der Anteil an Hochofenzementen sich auf einem konstanten Niveau eingependelt hat, wurde der CEM I mehr und mehr durch CEM II-Zemente, die heute einen Anteil von fast 50 % am Zementinlandsversand einnehmen, verdrängt. Die mit diesen Zementen hergestellten Betone sind bereits in einer Vielzahl von hoch beanspruchten Bauwerken eingesetzt worden und erfüllen dort alle Anforderungen an Dauerhaftigkeit, Wirtschaftlichkeit und Ästhetik. Hierbei sind Brückenbauwerke ebenso zu nennen wie Fahrbahndecken, Wasserbauwerke, Kraftwerksbauwerke, Tunnel oder Bauwerke des Hochbaus. Eine Zusammenstellung dieser Bauwerke ist [5] zu entnehmen.

Der deutsche Markt folgte damit Entwicklungen, die bereits früher im

europäischen Ausland zu verzeichnen waren. So zeigt **Bild 4** anhand der Inlandsversandzahlen sehr deutlich, dass im Vergleich zu Deutschland (linker Bildteil) die CEM II-Zemente im übrigen Europa bereits 2005/2006 die Zementart mit dem größten Marktanteil darstellten.

**Bild 5** zeigt, dass mit den heute zur Verfügung stehenden Zementen alle Zementfestigkeitsklassen abgedeckt werden und die CEM II-Zemente maßgebliche Marktanteile im Bereich der Festigkeitsklassen 32,5 und 42,5 gewonnen haben.

Die neben dem Portlandzementklinker in Deutschland im Wesentlichen eingesetzten weiteren Zementhauptbestandteile

- Hüttensand,
- Flugasche,
- gebrannter Ölschiefer sowie
- Kalkstein

greifen in unterschiedlicher Weise in die Zementhydratation ein. Das Zusammenwirken dieser Komponenten ist komplex. Ihre optimale mechanische, chemische und physikalische Leistungsfähigkeit kann bei Zugabe im Zementwerk mit entsprechender Qualitätssicherung besonders ziel-sicher erreicht werden.

**Grundsätzliche Strategien für den ressourceneffizienten Einsatz von Sekundärstoffen bei der Herstellung von Zement [4]:**

- Substitution primärer Energieträger durch Sekundärbrennstoffe, die in industriellen Prozessen oder in Haushalten oder Gewerbe anfallen und sowohl aufgrund ihrer stofflichen Zusammensetzung als auch aufgrund ihres Heizwerts für die Verwendung in der Zementproduktion geeignet sind
- Substitution primärer Rohstoffe bei der Zementherstellung durch aus anderen Industrien stammende Sekundärrohstoffe
- Substitution von Portlandzementklinker durch andere Stoffe in Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen

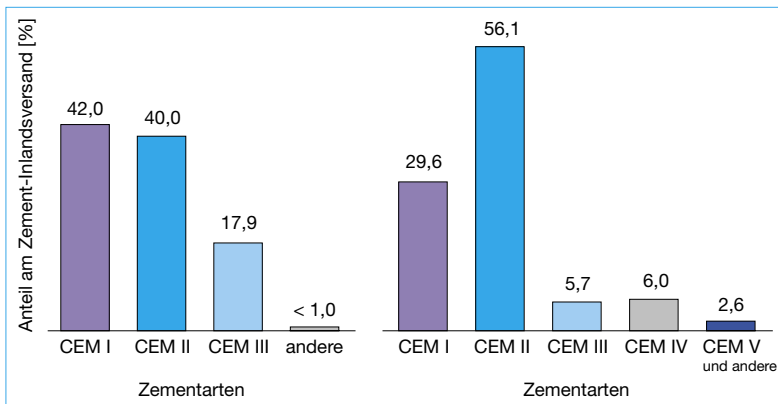


Bild 4: Inlandsversand der 2006 in Deutschland hergestellten Zemente (linker Bildteil) und die 2005 in Europa hergestellten Zemente (rechter Bildteil) nach Zementarten [5]

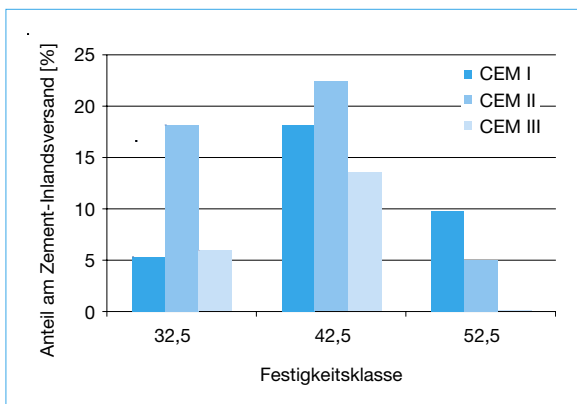


Bild 5: Anteil der Zementarten am Gesamtinlandsversand der BDZ-Mitglieder in Abhängigkeit von der Zementfestigkeitsklasse, Stand 2010 [3]

Die Verwendung mehrerer Hauptbestandteile z.B. in einem Portlandkompositzement (CEM II-M-Zement) ermöglicht es, Zemente mit besonderen Eigenschaften herzustellen. Diese Zemente erweitern somit das Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten bzw. die Beeinflussung der Frisch- und Festbetoneigenschaften. So kann zum Beispiel aufgrund optimierter Korngrößenverteilungen die Verarbeitbarkeit der mit diesen Zementen hergestellten Betone – insbesondere im Bereich sehr weicher Konsistenzen – verbessert werden. Aber auch die Hydratationswärmeentwicklung mit deren Auswirkungen auf die Temperaturentwicklung im Bauteil, insbesondere bei hohen Temperaturen, kann durch die Verwendung von CEM II- und CEM III-

Zementen gezielt positiv gesteuert werden. Im Festbetongefüge können Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen z.B. die Porosität und die Porengrößenverteilung im Hinblick auf den Chloriddiffusionswiderstand und andere Dauerhaftigkeitseigenschaften günstig beeinflussen.

In der DIN 1045-2 [6] aus dem Jahr 2008 wurde die Verwendung von einigen CEM II-M-Zementen für einige Expositionsklassen aufgrund damals noch fehlender Erfahrung ausgespart. Durch eine Vielzahl mittlerweile vorliegender bauaufsichtlichen Zulassungen verschiedener Zementhersteller, in denen die Gleichwertigkeit von CEM II-M-Zementen mit praxisbewährten Zementen nachgewiesen wurde, ist deren Anwendung

für alle Expositionsklassen im Betonbau nunmehr Stand der Technik.

Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen werden im modernen Betonbau nicht zuletzt aufgrund ihrer positiven Beiträge zum ökologischen Bauen zunehmend an Bedeutung gewinnen und wie die altbekannten Portland-, Portlandhütten- und Hochofenzemente zur Dauerhaftigkeit der Betonbauwerke beitragen. Wichtig dabei ist jedoch, dass die aus modernen Zementen hergestellten Betone wie bisher für den jeweiligen Anwendungszweck sachgerecht zusammengesetzt sind, fachgerecht verarbeitet und entsprechend den Vorschriften nachbehandelt werden.

Dem vorstehend geschilderten Trend folgend werden künftig die „Beton-Informationen“ nicht nur über die hüttensandhaltigen Zemente und ihre Anwendungen berichten, sondern ihr Informationsangebot vielmehr auf die technischen Hintergründe, interessanten Anwendungen und neuen Entwicklungen der gesamten Palette der Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen erweitern.

## Literatur

- [1] CO<sub>2</sub>-Monitoring-Bericht 2008-2009. Hrsg. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf 2010
- [2] Zahlen und Daten 2006-2007. Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Berlin 2007
- [3] Zahlen und Daten 2010-2011. Hrsg. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Berlin 2011
- [4] Nachhaltiges Bauen mit Beton – Ein Fachbeitrag für Architekten, Planer und Bauherren. Hrsg. BetonMarketing Deutschland GmbH, Erkrath 2011
- [5] CEM II- und CEM III/A-Zemente im Betonbau. Nachhaltige Lösungen für das Bauen mit Beton. Hrsg. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf 2008
- [6] DIN 1045-2:2008-08 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1