

## SUMMARY

Industrial companies in Germany are subject to taxation of the electrical energy demand. Energy-intensive companies are very largely free from this ("tax capping"). To ensure that this exemption continues in the future, the federal German government and industry have concluded a new agreement that is linked to an improvement in the energy efficiency of the German economy. As part of this agreement, industry has committed itself to reducing the level of energy demand relative to gross value added by 1.3 % per annum from 2013, and by 1.35 % from 2016. Since such a continuous reduction in energy demand represents a significant challenge for energy-intensive sectors, the Research Institute of the Cement Industry has joined forces with experts from the German cement companies to compile a study which describes and forecasts a plausible course of development in the use of energy in cement production in Germany under the given conditions and anticipated requirements. Based on the historic data, scenarios were created that forecast a probable development of the product portfolio and the impacts on the use of energy from a modern day perspective. On this basis, parameter studies were then carried out to see how certain developments, e.g. with regard to the availability of raw materials, the fuel mix used or the increasing requirements of environmental regulations, would affect energy usage trends. The second part of this publication describes the effects of these scenarios on the thermal and electrical energy demand of cement production and provides an estimate of the remaining potential. It also considers the interactions of the durability of concrete and the energy demand of cement production. It then examines the part that could possibly be played in the future by limestone as a main cement constituent – the only one available in Germany in practically unlimited quantities – in higher contents than is currently normal. An outline is given of the influence of the environmental effects (including energy demand) of cement production on the assessment of the sustainability of buildings. ◀

## ZUSAMMENFASSUNG

Industrieunternehmen unterliegen in Deutschland einer Besteuerung des elektrischen Energiebedarfs. Energieintensive Unternehmen sind hiervon weitgehend befreit (so genannter Spitzenausgleich). Um diese Befreiung auch zukünftig zu gewährleisten, haben die deutsche Bundesregierung und die Industrie eine neue Vereinbarung geschlossen, die an eine Verbesserung der Energieeffizienz der deutschen Wirtschaft geknüpft ist. Die Industrie hat sich hierin verpflichtet, den auf die Bruttowertschöpfung bezogenen Energieverbrauch ab dem Jahr 2013 jährlich um 1,3 %, sowie ab 2016 jährlich um 1,35 % zu vermindern. Da eine solche stetige Verminderung des Energiebedarfs für energieintensive Branchen eine sehr große Herausforderung darstellt, hat das Forschungsinstitut der Zementindustrie gemeinsam mit Experten der deutschen Zementunternehmen eine Studie erstellt, die eine plausible Entwicklung des Energieeinsatzes bei der Zementherstellung in Deutschland unter den gegebenen Randbedingungen sowie zu erwartenden Anforderungen beschreibt bzw. prognostiziert. Ausgehend von der historischen Entwicklung wurden Szenarien erstellt, die eine aus heutiger Sicht wahrscheinliche Entwicklung des Produktportfolios sowie der Auswirkungen auf den Energieeinsatz prognostiziert. Darauf aufbauend wurden Parameterstudien durchgeführt, wie sich bestimmte Entwicklungen, wie z. B. hinsichtlich der Verfügbarkeit der Einsatzstoffe, des eingesetzten Brennstoffmixes oder aber zunehmende Anforderungen an Umweltauflagen auf die Entwicklung des Energieeinsatzes auswirken würden. Der zweite Teil der Veröffentlichung beschreibt zum einen die Auswirkungen der beschriebenen Szenarien auf den thermischen und den elektrischen Energiebedarf der Zementherstellung und gibt eine Einschätzung der verbleibenden Potenziale. Zum anderen umfasst er die Betrachtung der Wechselwirkungen der Dauerhaftigkeit von Beton und des Energiebedarfs der Zementherstellung. Dabei wird auch der Frage nachgegangen, welche Rolle dem Kalkstein als – in Deutschland einzigen praktisch unbegrenzt verfügbaren – Zementhauptbestandteil in höheren Gehalten als heute üblich in der Zukunft ggf. zukommen könnte. Abschließend wird der Einfluss der Umweltwirkungen (einschließlich des Energiebedarfs) der Zementherstellung auf die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden dargestellt. ◀

# Energy efficiency in cement production; part 2

## Energieeffizienz bei der Zementherstellung; Teil 2

### 6 Forecast of the energy demand up to 2030

The effects of the most important parameters on the energy demand have been simulated for two of the scenarios described in Part I of this publication (see CEMENT INTERNATIONAL 11 (2013), vol. 3, p. 50 ff.). The following influencing variables were examined

- › optimization of the process/plant technology
- › influence of the cement portfolio
- › use of alternative fuel
- › implementation of environmental protection measures, and
- › importance of the cross-sectional technologies.

It is important for further considerations that the final energy (kWh/t product or MJ/t product) is always used in the evaluation of the efficiency of plants or process sections while ecological balance considerations, in which the primary energy usage is evaluated, are used for the product evaluation (see sections 7 and 8). This means that the evaluation of the electricity demand sometimes has different weightings.

#### 6.1 Potential of process engineering optimization

Process engineering optimization of the plants is a routine task in the cement industry that is carried out as part of the annual overhaul. These must be differentiated from capital investment in significant changes to the plant inventory, such as replacement of an obsolete clinker cooler by a new one or the installation of a more efficient mill for grinding cement. The effects of such measures were not examined individually in this study. The basic savings potential of these systems have been described in detail by the same authors in the ECRA Technology Papers [15] that are published on the Internet at [www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org).

The process engineering potential in clinker burning and cement grinding was evaluated in this study for the purposes of estimating its maximum value. The results have been described in Part 1 of this publication and form part of the estimate of the total potential in Section 6.6.

The simulation of the different scenarios, for which the underlying assumptions are described in detail in Part 1 of this publication, was based on a reduction of the thermal energy demand by 5 % in the period up to 2030 by continuous process engineering optimization measures.

#### 6.2 Effect of the cement portfolio

The investigations were carried out for scenarios 1 (basic scenario) and 2. The basic scenario assumes a development in the distribution of cement types based on historical data in which the essential changes relate to cement types and the availability of other main cement constituents, such as granulated blastfurnace slag. In scenario 2 it is assumed that 25 % less granulated blastfurnace slag will be available in the medium term.

The change in product portfolio affects the energy demand of cement production in two ways. Firstly, the increased

### 6 Prognostizierung des Energiebedarfs bis 2030

Die Auswirkungen der wichtigsten Parameter auf den Energiebedarf wurden für zwei der in Teil 1 dieser Veröffentlichung (s. CEMENT INTERNATIONAL 11 (2013) H. 3, S. 50 ff.) beschriebenen Szenarien simuliert. Dabei wurden die Einflussgrößen

- › Optimierung der Verfahrens-/Anlagentechnik
- › Einfluss des Zementportfolios
- › Einsatz alternativer Brennstoffe
- › Durchführung von Umweltschutzmaßnahmen sowie
- › Bedeutung der Querschnittstechnologien

untersucht.

Für die weiteren Betrachtungen ist von Bedeutung, dass bei der Bewertung der Effizienz von Anlagen bzw. Prozessschritten immer die Endenergie (als kWh/t Produkt oder MJ/t Produkt) herangezogen wird. Bei der Produktbewertung (s. Abschnitte 7 und 8) kommen dagegen ökobilanzielle Betrachtungen hinzu, bei denen der Primärenergieeinsatz bewertet wird. Dadurch fällt die Bewertung des Strombedarfs z.T. unterschiedlich ins Gewicht.

#### 6.1 Potenziale der verfahrenstechnischen Optimierung

Die verfahrenstechnische Optimierung der Anlagen ist in der Zementindustrie eine regelmäßige Aufgabe, die im Rahmen der jährlichen Revisionen durchgeführt wird. Davon zu unterscheiden sind Investitionen in signifikante Veränderungen des Anlagenbestands, wie z. B. der Austausch eines älteren Klinkerkühlers gegen einen neuen oder die Installation einer effizienteren Mühle zur Zementmahlung. Die Auswirkungen solcher Maßnahmen wurden im Rahmen dieser Studie nicht im Einzelnen untersucht. Die grundsätzlichen Einsparpotenziale dieser Technologien wurden ausführlich von denselben Autoren in den so genannten ECRA-Technology Papers [15] beschrieben, die unter [www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org) im Internet veröffentlicht sind.

In dieser Studie wurden die verfahrenstechnischen Potenziale beim Klinkerbrennen und bei der Zementmahlung im Sinne einer Maximalabschätzung bewertet. Die Ergebnisse sind in Teil 1 dieser Veröffentlichung beschrieben und sind Bestandteil der Abschätzung der Gesamtpotenziale in Abschnitt 6.6.

Im Rahmen der Simulation der verschiedenen Szenarien, deren zugrundeliegende Annahmen in Teil 1 dieser Veröffentlichung im Detail beschrieben sind, wurde eine Minderung des thermischen Energiebedarfs infolge stetiger verfahrenstechnischer Optimierungen von 5 % im Zeitraum bis 2030 zu Grunde gelegt.

#### 6.2 Auswirkung des Zementportfolios

Die Untersuchungen wurden für die Szenarien 1 (Basisszenario) und 2 durchgeführt. Im Basisszenario wird von einer Entwicklung der Zementartenverteilung auf Basis der historischen Daten ausgegangen, wobei sich die wesentlichen

replacement of clinker by other main constituents, such as granulated blastfurnace slag, leads to a reduction in the cement-related thermal energy demand. Secondly, there are changes in the grindability of the cements. Granulated blastfurnace slag is harder to grind and contributes to an increase in the electrical energy demand for cement grinding but the increasing use of limestone as a main cement constituent can – depending on the type of mill and whether the cement components are interground or ground separately – have the opposite effect.

Under the assumptions made for the basic scenario the clinker/cement factor in the German cement industry will fall from 73.3 % in 2011 to 67.0 % in 2030. The replacement of the clinker will lead to a reduction in the thermal energy demand from 2 759 MJ/t cement in 2011 to 2 428 MJ/t cement. The electrical energy demand will increase only slightly from 109.4 (394) to 110.8 kWh/t cement (399 MJ/t). Fig. 18 shows that the electrical energy demand plays only a secondary role in the total energy demand of cement production. In this case, the essential lever for reducing the energy demand lies in replacement of the cement clinker and the saving of the requisite fuel energy. The assumed continuous improvement by process engineering optimization of 5 % over the entire period is also taken into account.

In scenario 2, on the other hand, the clinker/cement factor falls only slightly to 72.6 %. The limiting condition is the drop in availability of granulated blastfurnace slag. There is a correspondingly smaller effect on the thermal energy consumption (2 631 MJ/t cement in 2030). The electrical energy demand falls slightly because of the reduced use of the hard-to-grind granulated blastfurnace slag. However, the saving in electricity for clinker burning turns out to be lower because of the higher clinker/cement factor, so that overall there is an increase to 112.6 kWh/t cement (405 MJ/t).

### 6.3 Effects of the use of alternative fuels

The use of alternative fuels in the cement industry has had a long tradition, especially in Central Europe. The cement industry has adapted and optimized not only the operation of its kiln plants but also the complete process chain with respect to the product properties of the altered fuel situa-

Entwicklungen hinsichtlich der Zementarten sowie der Verfügbarkeit anderer Zementhauptbestandteile, wie z. B. Hüttsand, fortsetzt. In Szenario 2 wird angenommen, dass mittelfristig 25 % weniger Hüttsand zur Verfügung stehen wird.

Die Veränderung des Produktportfolios wirkt sich in zweierlei Hinsicht auf den Energiebedarf der Zementherstellung aus. Zum einen führt die verstärkte Substitution von Klinker durch andere Hauptbestandteile, wie z. B. Hüttsand, zu einer Verringerung des zementbezogenen thermischen Energiebedarfs. Zum anderen verändern sich die Mahlbarkeiten der Zemente. Während Hüttsand schwerer mahlbar ist und zu einer Erhöhung des elektrischen Energiebedarfs bei der Zementmahlung beiträgt, kann sich z. B. die zunehmende Verwendung von Kalkstein als Zementhauptbestandteil – abhängig vom Mühlentyp sowie von einer gemeinsamen oder getrennten Mahlung der Zementkomponenten – in umgekehrter Weise auswirken.

Unter den für das Basisszenario getroffenen Annahmen sinkt der Klinker/Zement-Faktor der deutschen Zementindustrie von 73,3 % im Jahr 2011 auf 67,0 % im Jahr 2030. Die Substitution des Klinkers führt zu einer Abnahme des thermischen Energiebedarfs von 2 759 MJ/t Zement in 2011 auf 2 428 MJ/t Zement. Der elektrische Energiebedarf steigt nur geringfügig von 109,4 kWh/t (394 MJ/t) auf 110,8 kWh/t Zement (399 MJ/t) an. Wie in Bild 18 dargestellt, spielt der elektrische Energiebedarf im Hinblick auf den Gesamtenergiebedarf der Zementherstellung nur eine untergeordnete Rolle. Der wesentliche Hebel zur Minderung des Energiebedarfs besteht in diesem Fall in der Substitution des Zementklinkers und der Einsparung der dafür erforderlichen Brennstoffenergie. Darüber hinaus ist die angenommene stetige Verbesserung durch verfahrenstechnische Optimierung um 5 % im Gesamtzeitraum berücksichtigt.

Im Szenario 2 sinkt der Klinker/Zement-Faktor dagegen nur geringfügig auf 72,6 %. Die limitierende Randbedingung ist der Rückgang der Verfügbarkeit von Hüttsand. Der Effekt auf den thermischen Energieverbrauch (2 631 MJ/t Zement in 2030) fällt entsprechend geringer aus. Der elektrische Energiebedarf für die Zementmahlung sinkt geringfügig aufgrund des weniger verwendeten schwer mahlbaren Hüttsands. Andererseits fällt die Stromersparung für das Klinkerbrennen aufgrund des höheren Klinker/Zement-Faktor geringer aus, sodass sich insgesamt ein Anstieg auf 112,6 kWh/t Zement (405 MJ/t) ergibt.

### 6.3 Auswirkungen des Einsatzes alternativer Brennstoffe

Der Einsatz alternativer Brennstoffe hat in der Zementindustrie insbesondere in Mitteleuropa inzwischen eine lange Tradition. Die Zementindustrie hat nicht nur den Betrieb ihrer Ofenanlagen sondern auch die komplette Prozesskette im Hinblick auf die Produkteigenschaften an die veränderte Brennstoffsituation angepasst und optimiert. Die Vorteile des Einsatzes alternativer Brennstoffe in der Zementindustrie sind heute auf breiter Ebene anerkannt. Der wesentliche übergeordnete positive Effekt auf Umwelt und Energieeinsatz besteht in der Substitution fossiler Brennstoffe, vor allem Kohle. Da die Abfälle, aus denen die alternativen Brennstoffe hergestellt werden, in diesem Fall nicht mehr an anderer Stelle verbrannt werden müssen, werden die entsprechenden fossilen Brennstoffe nahezu vollständig eingespart. Dies gilt in besonderem Maße, da der energetische

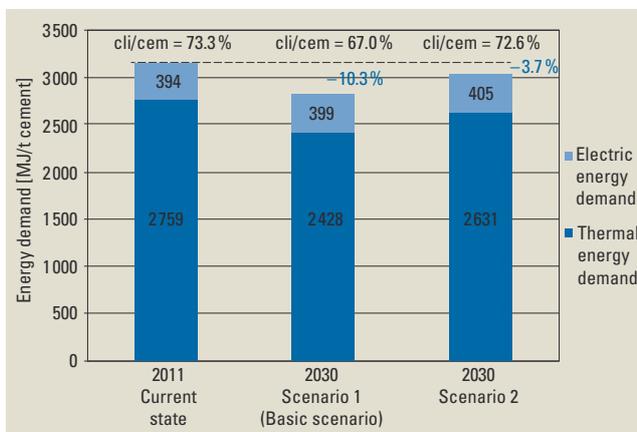


Figure 18: Influence of the clinker/cement factor on the specific energy demand of cement production (including 5 % reduction of the fuel energy demand due to continuous optimization)

Bild 18: Einfluss des Klinker/Zement-Faktors auf den spezifischen Energiebedarf der Zementherstellung (5 %ige Minderung des Brennstoffenergiebedarfs aufgrund stetiger Optimierung berücksichtigt)

tion. The advantages of using alternative fuels in the cement industry are now widely recognized. The essential overriding positive effect on the environment and energy usage arise from the replacement of fossil fuels, especially coal. The waste materials from which the alternative fuels are produced will in this case no longer have to be burnt somewhere else so there is a virtually complete saving of the corresponding fossil fuels. This is particularly true because the energy efficiency of rotary kiln plants in the cement industry of about 70 % is very high compared with other combustion processes.

From the technical and economic aspects each change of fuel in a combustion process leads to a change in the specific fuel energy demand. The important influencing variables involved are the calorific value and the volume of exhaust gas generated. The higher the calorific value of a fuel the higher is the adiabatic combustion temperature (effectively the maximum theoretically achievable process temperature), which has a great effect on the heat transfer in the process. Because fuel oil has a significantly higher calorific value than coal a change of fuel from, for example, heavy fuel oil to coal leads to an increase in the fuel energy demand of a process. An exception to this is natural gas. Although it has a higher calorific value than fuel oil it produces larger specific volumes of exhaust gas because the heat transfer to the kiln feed is reduced as a result of the lower proportion of radiation.

The principle described above also applies to the replacement of coal in the clinker burning process by alternative fuels with lower calorific values. However, the fuel properties of alternative fuels sometimes differ very sharply. On average it can be assumed that the alternative fuels used in Germany have lower calorific values than the coals used. This is taken appropriately into account in the simulations shown below.

If, for example, lignite is replaced it should be borne in mind that this has usually been dried and ground before it is delivered to the cement plant, so the corresponding energy demand (thermal and electrical) is not allocated to the cement plant. On the other hand, although the alternative fuels are processed (external electrical energy demand) they are delivered in a moist state. The corresponding drying takes place directly in the clinker burning process and is therefore allocated to the cement production process. In addition to the above-mentioned effect this is one reason why, in a direct comparison, an increase in the use of alternative fuels leads to an increase in the thermal energy demand of the clinker burning process.

In the basic scenario it is assumed that the use of alternative fuels can be raised from 61 % (2011) to 80 % by 2030. This is based on the assumption that the requisite alternative fuels made from high-calorie fractions will continue to be available in Germany in the future in sufficient quantity and quality for improving the energy situation. However, a trend towards falling calorific value and rising moisture content has been assumed in the calculations.

» Fig. 19 shows the effect of increased use of alternative fuels on the energy demand. The first bar shows the actual situation in 2011 while the second bar shows just the effect of the reduced clinker/cement factor. The third bar shows that the additional use of 80 % (instead of 61 %) alternative fuels leads to a thermal energy demand of 2 532 MJ/t

Wirkungsgrad von Drehofenanlagen der Zementindustrie im Vergleich zu anderen Verbrennungsprozessen mit rund 70 % sehr hoch ist.

Aus technisch-wissenschaftlicher Sicht führt jeder Brennstoffwechsel in einem Verbrennungsprozess zu einer Veränderung des spezifischen Brennstoffenergiebedarfs. Die wesentlichen Einflussgrößen hierauf sind der Heizwert sowie der entstehende Abgasvolumenstrom. Je höher der Heizwert eines Brennstoffs ist, desto höher ist die so genannte adiabatische Verbrennungstemperatur (quasi die theoretisch maximal erreichbare Prozesstemperatur), die einen großen Einfluss auf die Wärmeübertragung im Prozess hat. Aufgrund des deutlich höheren Heizwerts von Heizöl im Vergleich zu Kohle führt ein Brennstoffwechsel von z. B. schwerem Heizöl auf Kohle zu einer Erhöhung des Brennstoffenergiebedarfs eines Prozesses. Eine Ausnahme gilt hier für den Brennstoff Erdgas. Trotz des im Vergleich zu Heizöl höheren Heizwerts, ergeben sich spezifisch größere Abgasvolumenströme, da die Wärmeübertragung an das Brenngut infolge des geringeren Strahlungsanteils vermindert ist.

Das zuvor beschriebene Prinzip gilt auch für den Ersatz von Kohle durch heizwertärmere alternative Brennstoffe im Klinkerbrennprozess. Allerdings unterscheiden sich die Brennstoffeigenschaften alternativer Brennstoffe z.T. sehr stark. Im Durchschnitt der in Deutschland eingesetzten alternativen Brennstoffe ist von einem insgesamt niedrigeren Heizwert im Vergleich zur eingesetzten Kohle auszugehen. Dies wurde bei den im Folgenden dargestellten Simulationen entsprechend berücksichtigt.

Wird z. B. Braunkohle substituiert, ist zu beachten, dass diese üblicherweise gemahlen und getrocknet im Zementwerk angeliefert wird. Der entsprechende Energieverbrauch (thermisch und elektrisch) wird nicht dem Zementwerk angerechnet. Die alternativen Brennstoffe werden dagegen zwar aufbereitet (externer elektrischer Energiebedarf), jedoch in feuchtem Zustand angeliefert. Die entsprechende Trocknung erfolgt im Klinkerbrennprozess direkt und wird deshalb dem Zementherstellungsprozess angerechnet. Neben dem oben genannten Effekt ist dies ein Grund dafür, warum die Steigerung des Einsatzes von alternativen Brennstoffen im direkten Vergleich zu einer Erhöhung des thermischen Energiebedarfs des Klinkerbrennprozesses führt.

Im Basis-Szenario wurde angenommen, dass der Einsatz alternativer Brennstoffe bis zum Jahr 2030 von 61 % (2011) auf 80 % gesteigert werden kann. Dabei wurde zugrunde gelegt, dass die dafür notwendigen alternativen Brennstoffe aus heizwertreichen Fraktionen in Deutschland auch in Zukunft in ausreichender Menge und Qualität für die energetische Verbesserung zur Verfügung stehen. Dennoch wurde bei den Rechnungen von einem tendenziell sinkenden Heizwert und einem steigenden Feuchtegehalt ausgegangen.

» Bild 19 zeigt die Auswirkung des erhöhten alternativen Brennstoffeinsatzes auf den Energiebedarf. Während der erste Balken den Ist-Zustand im Jahr 2011 zeigt, entspricht der zweite Balken dem alleinigen Effekt des verringerten Klinker/Zement-Faktors. Der dritte Balken zeigt, dass der zusätzliche Einsatz von 80 % (anstatt 61 %) alternativer Brennstoffe zu einem thermischen Energiebedarf von 2 532 MJ/t Zement sowie einem praktisch unverändertem elektrischen Energiebedarf führt. Dabei ist hierin – wie oben bereits dargestellt –

cement and a practically unchanged electrical energy demand. Included in this – as already explained above – is the process-integrated drying of the alternative fuels. It must also be borne in mind that the CO<sub>2</sub> emissions are reduced by this fuel replacement. This is attributable partly to the usually lower C/H ratio (i.e. lower carbon content relative to the energy content) than in coal and partly to the biogenic fraction of some alternative fuels. The fact that the use of alternative fuels replaces fossil fuels, and in this way also saves emissions, is not taken into account in this direct examination (with reference to the cement plant chimney).

#### 6.4 Influence of environmental protection measures

Over the past years the cement industry has continuously lowered its emissions by a variety of capital investments. In Germany this is associated principally with the intensified legislation in connection with the use of waste-derived fuels. As a rule, secondary exhaust gas cleaning measures entail some additional power demand and sometimes also the use of additional thermal energy. The introduction of SNCR technology for NO<sub>x</sub> abatement, for example, has led both to a certain increase in electricity demand for pumps and the like and to an increased thermal energy demand as the result of the injection of aqueous solutions in the hot part of the kiln plant.

The calculations carried out here were based on the fact that the NO<sub>x</sub> and dust emissions have to be lowered still further as a result of the implementation of the European IED (Industry Emissions Directive). For German cement plants this means that from 2019 the NO<sub>x</sub> limit will be lowered to 200 mg/m<sup>3</sup> (10 % O<sub>2</sub>) and from 2016 the dust limit will be lowered to 10 mg/m<sup>3</sup> (10 % O<sub>2</sub>).

An NO<sub>x</sub> limit of 200 mg/m<sup>3</sup> means that the more efficient, but also more energy intensive, SCR technology will have to be installed in many rotary kiln plants. Experience from two demonstration projects on the use of the SCR technology in the cement industry that are currently running in Germany shows that an additional electricity demand of 5 kWh/t clinker must be expected regardless of the process (high-dust or low-dust SCR). It is also assumed that lowering the dust limit to 10 mg/m<sup>3</sup> will lead to an increase in electricity demand by about 1 kWh/t clinker as it will be necessary to modify or replace the corresponding filters.

Bearing in mind these developments there will be an electrical energy demand of 114.8 kWh/t cement (413 MJ/t) in 2030. Fig. 19 (fourth bar) shows the corresponding increase in electrical energy demand, while the thermal energy demand remains unaffected by these measures.

#### 6.5 Significance of cross-sectional technologies and large drives

Optimization of the cross-sectional technologies is often regarded as having great potential for long-term reduction of industrial energy demand. The proportion of the electricity

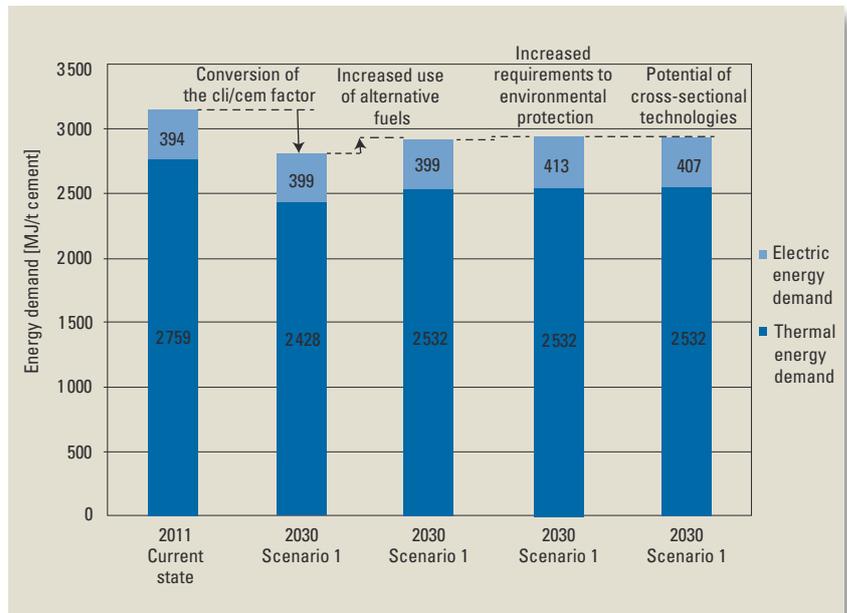


Figure 19: Influence of different parameters on the energy demand of cement production

Bild 19: Einfluss verschiedener Parameter auf den Energiebedarf der Zementherstellung

die prozessintegrierte Trocknung der alternativen Brennstoffe enthalten. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch diese Brennstoffsubstitution gemindert wird. Dies ist zum einen auf das meist niedrigere C/H-Verhältnis (d.h. geringerer Kohlenstoffgehalt bezogen auf den Energieinhalt) im Vergleich zu Kohle und zum anderen auf die biogenen Anteile einiger Alternativbrennstoffe zurückzuführen. Dass der Einsatz alternativer Brennstoffe fossile Brennstoffe substituiert und dadurch zusätzlich übergeordnet Emissionen einspart, wird bei dieser direkten Betrachtung (bezogen auf den Kamin des Zementwerks) nicht berücksichtigt.

#### 6.4 Einfluss von Umweltschutzmaßnahmen

Die Zementindustrie hat in den vergangenen Jahren ihre Emissionen durch vielfältige Investitionen stetig gesenkt. In Deutschland hängt dies vor allem mit der verschärften Gesetzgebung im Zusammenhang mit dem Einsatz abfallstämmiger Brennstoffe zusammen. Sekundäre Abgasreinigungsmaßnahmen erfordern in der Regel einen zusätzlichen Strombedarf, z.T. auch einen zusätzlichen thermischen Energieeinsatz. So hat die Einführung der SNCR-Technologie zur NO<sub>x</sub>-Minderung sowohl zu einer gewissen Erhöhung des Strombedarfs für Pumpen u.Ä. sowie zu einem erhöhten thermischen Energiebedarf in Folge der Eindüsung wässriger Lösungen in den Heißbereich der Ofenanlage geführt.

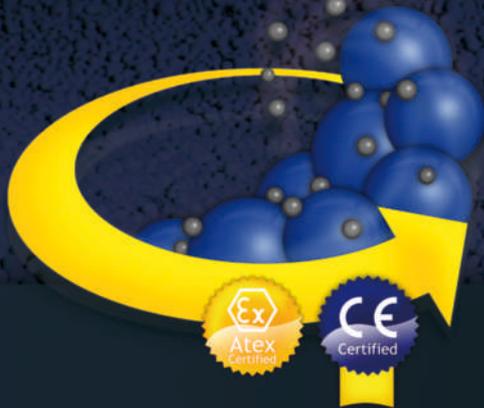
Für die hier durchgeführten Rechnungen wurde zugrunde gelegt, dass infolge der Umsetzung der europäischen Industry Emissions Directive (IED) die NO<sub>x</sub>- und Staubemissionen weiter abgesenkt werden müssen. Für die deutschen Zementwerke bedeutet dies z. B., dass der NO<sub>x</sub>-Grenzwert ab dem Jahr 2019 auf 200 mg/m<sup>3</sup> (10 % O<sub>2</sub>) sowie der Staubgrenzwert bereits ab 2016 auf 10 mg/m<sup>3</sup> (10 % O<sub>2</sub>) abgesenkt wird.

Ein NO<sub>x</sub>-Emissionsgrenzwert von 200 mg/m<sup>3</sup> bedeutet, dass an vielen Drehofenanlagen die effizientere, aber auch energieintensivere SCR-Technologie installiert werden muss. Erfahrungen aus zwei derzeit in Deutschland laufenden Demonstrationsprojekten zur Anwendung der SCR-Technologie in der Zementindustrie zeigen, dass unabhängig

# Smart Technology for Leading Companies

KIMA Echtzeitsysteme GmbH

## SmartFill



High-definition, fail-safe fill level and temperature measurement for ballmills in cement, mineral, ceramic and ore industry.

## MillMaster



Optimises grinding facilities within 3 weeks. Fast, powerful and reliable. The new generation expert system.

Highly developed measuring and control systems for industrial applications.



**Kima Echtzeitsysteme GmbH**  
phone: +49 2463 / 99 67 - 0  
mail: info@kimaE.de  
web: www.kimaE.de  
GERMANY 52428 Juelich



**Kima Automatisierung GmbH**  
phone: +49 2565 / 9346 -33  
mail: office@kima.de  
web: www.kima.de  
GERMANY 48599 Gronau-Epe

demand of a cement plant that is accounted for by cross-sectional technologies was therefore examined as part of this study. The cross-sectional technologies include compressed air generation, the lighting in the plant, air conditioning and refrigerating systems in the plant (e.g. air conditioning for the control room) and the electricity consumption in the plant's administrative offices (lighting, computers, electrical heating, etc.). The numerous drives are allocated to the respective process stages and their energy demands often cannot be measured separately. In a cement mill, for example, the mill drive itself is normally measured separately. However, the electrical energy demand of the entire grinding plant, i.e. including separator, recirculation fan, filter, etc., is used for the evaluation.

Fig. 20 shows the percentage of the total power demand of eleven German cement plants investigated that is accounted for by the cross-sectional technologies defined above. The percentage due to the cross-sectional technologies in the plants investigated came on average to just under 8% in which there was a comparative wide spread. As a rule the generation of compressed air makes up more than 50% of the power usage for the cross-sectional technologies. The majority of compressed air systems examined were comparatively modern because the capital investment in renewing central compressed air systems pays for itself in a few years. The situation is more difficult with a decentralized compressed air supply as a large number of fairly small systems have to be replaced.

The potential that could be exploited in the period up to 2030 by a 20% reduction in the power used for the cross-sectional technologies was examined during the calculations for the forecast. The right-hand bar in Fig. 19 shows that the effect of this measure is quite small. In total, an electrical energy demand of 113.1 kWh/t cement (407 MJ/t) can be achieved by incorporating the influencing variables that are simulated above. The thermal energy demand remains unaffected by this. This result shows that the savings potential by optimizing the cross-sectional technologies in energy-intensive industries tends to be insignificant.

The large drives in cement plants should not be allocated to the cross-sectional technologies. They account for a large part of the power demand. Examination of eleven cement plants in Germany has shown that the number of drives > 250 kW drive rating is between 15 and 20 in fairly small plants and up to over 50 in the larger plants. The largest drives are the main drives for the mills (cement mill, raw mill) followed by the drives for the exhaust fan and for the crushers in the quarry. Many large drives are not controlled drives as this is not necessary due to the nature of the process. This is true, for example, of the cement mill drive where the cement fineness is controlled by the mass flow and the separator setting. The same also applies to the crusher drives in the quarry. Large controlled drives include the gas fan drives and the kiln drive. Bearing in mind the large drives that are in constant operation the proportion of large drives regulated by frequency converters accounts for more than 50% with respect to the drive ratings. This shows that, even though difficult to quantify, a certain savings potential can still be achieved by installing more electricity-saving frequency converter controlling systems. However, the fact that the power demand accounts for only about 15% of the total energy demand of cement production means that this potential is also limited.

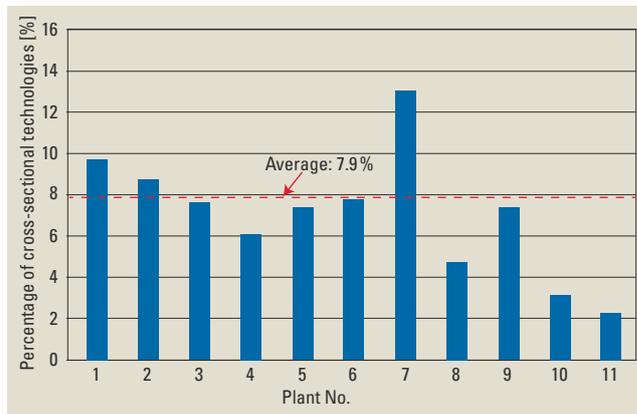


Figure 20: Percentage of the electrical energy demand of the eleven plants investigated that is due to the cross-sectional technologies

Bild 20: Anteil der Querschnittstechnologien am elektrischen Energiebedarf von elf untersuchten Werken

vom Verfahren (High-Dust- oder Low-Dust-SCR) mit einem zusätzlichen Strombedarf von 5 kWh/t Klinker zu rechnen ist. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Absenkung des Staubgrenzwerts auf  $10 \text{ mg/m}^3$  zu einer Erhöhung des Strombedarfs um etwa 1 kWh/t Klinker führen wird, da die entsprechenden Filter umgebaut oder ersetzt werden müssen.

Unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Entwicklungen ergibt sich für das Jahr 2030 ein elektrischer Energiebedarf von 114,8 kWh/t Zement (413 MJ/t). Bild 19 (vierter Balken) zeigt die entsprechende Erhöhung des elektrischen Energiebedarfs, während der thermische Energiebedarf von diesen Maßnahmen unbeeinflusst bleibt.

## 6.5 Bedeutung der Querschnittstechnologien und Großantrieben

Die Optimierung von Querschnittstechnologien wird häufig als großes Potenzial zur langfristigen Verminderung des industriellen Energiebedarfs angesehen. Deshalb wurde im Rahmen dieser Studie untersucht, welchen Anteil Querschnittstechnologien am Strombedarf eines Zementwerks haben. Zu den Querschnittstechnologien zählen die Druckluft-erzeugung, die Beleuchtung im Werk, Klima- und Kälteanlagen im Werk (z. B. Klimatisierung des Leitstands) sowie der Stromverbrauch in Büros der Werksverwaltung (Beleuchtung, Computer, elektrische Heizung usw.). Die große Zahl von Antrieben wird den jeweiligen Prozessschritten zugeordnet und deren Energiebedarf ist häufig nicht separat messbar. So wird z. B. in einer Zementmühle häufig der Mühlenantrieb selbst separat gemessen. Zur Bewertung wird jedoch der elektrische Energiebedarf der gesamten Mahlanlage, d.h. einschließlich Sichter, Umlaufgebläse, Filter usw. herangezogen.

Bild 20 zeigt den Anteil der so definierten Querschnittstechnologien am Gesamtstrombedarf von elf untersuchten deutschen Zementwerken. Der Anteil der Querschnittstechnologien betrug in den untersuchten Werken durchschnittlich knapp 8%, wobei eine vergleichsweise große Streuung festgestellt wurde. Die Erzeugung von Druckluft macht in der Regel mehr als 50% des Stromeinsatzes für Querschnittstechnologien aus. Die meisten der untersuchten Druckluftanlagen waren auf einem vergleichsweise modernen Stand, da sich die Investition in die Erneuerung zentraler Druckluftanlagen wirtschaftlich in wenigen Jahren rechnet.

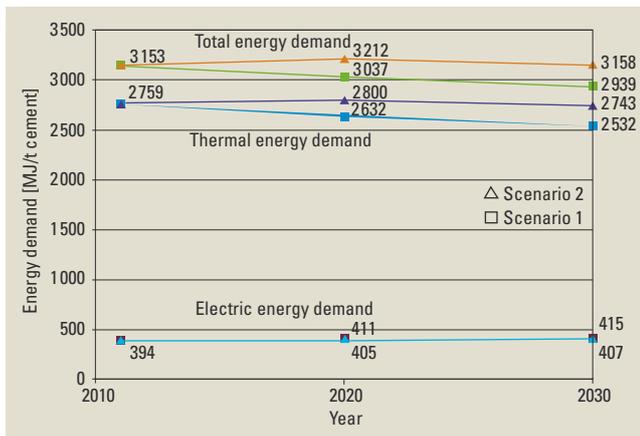


Figure 21: Predicted development of the energy demand of cement production in Germany up to 2030 for scenario 1 (basic scenario) and scenario 2 (25 % lower availability of granulated blast-furnace slag)

Bild 21: Prognostizierte Entwicklung des Energiebedarfs der Zementherstellung in Deutschland bis 2030 für Szenario 1 (Basis Szenario) und Szenario 2 (um 25 % geringere Verfügbarkeit von Hüttensand)

## 6.6 Overall potential

Fig. 21 combines the predicted developments described above for scenarios 1 (reference scenario) and 2 (granulated blastfurnace slag availability 25 % less than for scenario 1). Bearing in mind all the influencing variables described it can be assumed that in the basic case the total energy demand of the German cement industry (thermal and electrical) will fall from 3153 MJ/t cement in 2011 to 2939 MJ/t cement. For the case where less granulated blastfurnace slag is available as a further main cement constituent no diminution in the energy demand (3158 MJ/t cement) would be possible up to 2030 under the given assumptions. As a whole, these calculations show that the biggest lever for further reduction is lowering the clinker/cement factor, while measures that concern reducing the power demand play a secondary role. Measures for improved utilization of waste heat, e.g. for generating electricity, were not considered here as although they would lead to an overall reduction of the energy usage in the cement plant (or else in, for example, the power plant) they have no effect on the performance evaluation of sub-processes (e.g. kWh/t cement during cement grinding).

Fig. 22 also includes the calculations for estimating the maximum reduction potential (full implementation of BAT technologies through construction of new kiln and cement grinding plants) that were shown in the first part of the publication. It can be seen from the diagram that under the given assumptions (reference state scenario 1) the total energy demand could be reduced by just under 7 % in the period from 2011 to 2030 in the basic scenario, while practically no reduction could be expected if insufficient granulated blastfurnace slag is available (scenario 2). If the maximum achievable potential for clinker burning and cement grinding is included then this gives reductions of 12 % and just under 14 % respectively. This maximum case is based on the product portfolio in scenario 1 and the assumption that the majority of kiln and cement grinding plants will be built from new to the state of the art on greenfield sites. When this maximum potential is compared with the reduction in energy demand (right across all industry) of 1.3 or 1.35 % per year that is being called for by German politicians it is clear that such a reduction is not possible in the cement industry, even under extreme assumptions.

Schwieriger stellt sich dies bei dezentraler Druckluftversorgung dar, da eine größere Zahl kleinerer Anlagen ersetzt werden müsste.

Im Rahmen der Prognoserechnungen wurde untersucht, welches Potenzial im Zeitraum bis 2030 durch eine 20 %ige Verminderung des für Querschnittstechnologien eingesetzten Stroms erschließbar wäre. Der rechte Balken in Bild 19 zeigt, dass die Auswirkung dieser Maßnahme recht klein ist. Insgesamt lässt sich damit unter Einbeziehung der zuvor simulierten Einflussgrößen ein elektrischer Energiebedarf von 113,1 kWh/t Zement (407 MJ/t) erreichen. Der thermische Energiebedarf bleibt hiervon unberührt. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass das Einsparpotenzial durch Optimierung von Querschnittstechnologien in energieintensiven Branchen eher unbedeutend ist.

Die großen Antriebe sind in Zementwerken nicht den Querschnittstechnologien zuzurechnen. Sie machen einen Großteil des Strombedarfs aus. Die Untersuchung von elf Zementwerken in Deutschland zeigt, dass die Zahl der Antriebe > 250 kW Antriebsleistung zwischen 15 bis 20 bei kleineren Werken sowie bis über 50 in den größeren Werken beträgt. Die größten Antriebe sind die Hauptantriebe der Mühlen (Zementmühle, Rohmühle) gefolgt von den Antrieben der Abgasgebläse und dem des Brechers im Steinbruch. Viele Großantriebe werden nicht geregelt betrieben, da dies prozessbedingt nicht erforderlich ist. Dies gilt z. B. für den Zementmühlenantrieb, wobei die Zementfeinheit über den Massendurchfluss und die Sichtereinstellung geregelt wird. Dasselbe gilt auch für Brecherantriebe im Steinbruch. Geregelt sind z. B. die Antriebe der Gasgebläse sowie der Ofenantrieb. Unter Berücksichtigung der konstant betriebenen Großantriebe betrug der Anteil der FU(Frequenzumrichter)-geregelteten Großantriebe mehr als 50 % bezogen auf die Antriebsleistung. Dies zeigt, wenn auch schlecht quantifizierbar, dass noch ein gewisses Einsparpotenzial durch den Einbau weiterer stromsparender FU-Regelungen besteht. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der Strombedarf aber nur ca. 15 % des Gesamtenergiebedarfs der Zementherstellung ausmacht, ist dieses Potenzial ebenfalls begrenzt.

## 6.6 Gesamtpotenziale

Bild 21 fasst die oben beschriebenen prognostizierten Entwicklungen für die Szenarien 1 (Referenz-Szenario) und 2 (Hüttensandverfügbarkeit minus 25 % im Vergleich zu Szenario 1) zusammen. Unter Berücksichtigung aller beschriebenen Einflussgrößen ist davon auszugehen, dass der Gesamtenergiebedarf der deutschen Zementindustrie (thermisch und elektrisch) im Basisfall von 3153 MJ/t Zement im Jahr 2011 auf 2939 MJ/t Zement absinken wird. Für den Fall, dass Hüttensand als weiterer Zementhauptbestandteil in geringerem Maße verfügbar ist, wäre unter den gegebenen Annahmen keine Minderung des Energiebedarfs bis zum Jahr 2030 möglich (3158 MJ/t Zement). Insgesamt zeigen diese Rechnungen, dass der größte Hebel für eine weitere Verminderung die Absenkung des Klinker/Zement-Faktors ist. Maßnahmen, die die Verminderung des Strombedarfs betreffen, spielen dagegen eine untergeordnete Rolle. Maßnahmen zur verbesserten Abwärmennutzung, z. B. zur Verstromung, wurden hier nicht betrachtet, da sie zwar zu einer Verminderung des Energieeinsatzes im Zementwerk (oder auch darüber hinaus, z. B. im Kraftwerk) insgesamt führen, aber keine Auswirkung auf die Effizienz-Bewertung von Teilprozessen (z. B. kWh/t Zement bei der Zementmahlung) haben.

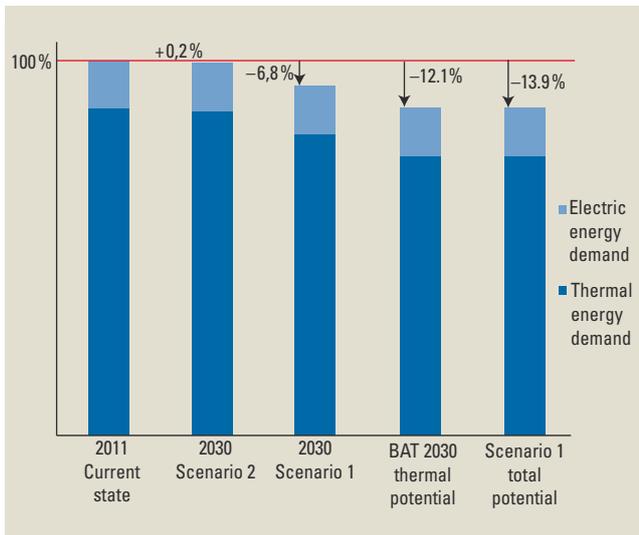


Figure 22: Potential for reducing the energy demand of cement production by 2030

Bild 22: Potenziale zur Minderung des Energiebedarfs der Zementherstellung bis 2030

## 7 Interactions between the durability of concrete and the energy demand of cement production

### 7.1 General

Most of the cements produced in Germany are used for the production of concrete. The clinker/cement factor was reduced to 73 % by 2012 through the continuous increase in the percentage of cements with several main constituents [4] and this in turn reduced the environmental effects from the production of 1 m<sup>3</sup> ready-mixed concrete/structural concrete. DIN 1045-2 requires structural concretes to have a minimum cement content of 240 to 320 kg/m<sup>3</sup> (240 to 270 kg/m<sup>3</sup> if concrete additions are included) depending on the exposure class. On this basis Life Cycle Assessment (LCA) calculations show that the global warming potential of, for example, 1 m<sup>3</sup> ready-mixed concrete/structural concrete of the C20/25 strength class has fallen by about 20 % between 1996 and 2010. During the same period the decrease in non-renewable primary energy in the form of fuels was about 37 % [1, 3]. In this context it should be noted that for the electrical energy demand in LCA considerations the evaluation is based on the primary energy used and not on the final energy.

The question as to whether a further significant reduction of the average clinker/cement factor, and therefore a reduction of the environmental impact (including the primary energy demand) of the production of cement and concrete, can be achieved in this way depends, as deduced above, on the availability of the main cement constituents like granulated blastfurnace slag and fly ash. In contrast to these main cement constituents, limestone is available in practically unlimited quantities – sometimes in varying grades – in all cement plants that produce clinker. However, there are technical limits to the possible use of a predominantly inert material like limestone as a main cement constituent in concrete, especially with respect to its durability. The application regulations for cement in different countries inside and outside Europe are given below in order to derive the essential limiting conditions. There is then a discussion about the extent to which the properties of concrete that are relevant to durability and the concrete compressive strength are

» Bild 22 bezieht zusätzlich die Berechnungen zur Maximalabschätzung (vollständige Umsetzung von BAT-Technologien durch Neubau der Ofen- und Zementmahlanlagen) ein, die im ersten Teil der Veröffentlichung dargestellt wurden. Aus dem Bild geht hervor, dass unter den getroffenen Annahmen (Referenzzustand Szenario 1) der Gesamtenergiebedarf im Zeitraum 2011 bis 2030 im Basisszenario um knapp 7 % sinken kann, während praktisch keine Verminderung zu erwarten ist, wenn Hüttensand nicht ausreichend zur Verfügung steht (Szenario 2). Bezieht man die maximal erreichbaren Potenziale beim Klinkerbrennen und Zementmahlen ein, ergibt sich eine Minderung um 12 bzw. knapp 14 %. Diesem Maximalfall liegt das Produktportfolio nach Szenario 1 sowie die Annahme, dass die meisten Ofen- und Zementmahlanlagen „auf der grünen Wiese“ entsprechend dem neuesten Stand der Technik neu gebaut werden, zugrunde. Vergleicht man dieses Maximalpotenzial mit der in Deutschland politisch geforderten Minderung des Energiebedarfs (auf Ebene der gesamten Industrie) von 1,3 bzw. 1,35 % pro Jahr, so wird deutlich, dass eine solche Minderung in der Zementindustrie auch unter extremen Annahmen nicht möglich ist.

## 7 Wechselwirkungen zwischen der Dauerhaftigkeit von Beton und dem Energiebedarf der Zementherstellung

### 7.1 Allgemeines

Der überwiegende Teil der in Deutschland produzierten Zemente wird für die Herstellung von Beton verwendet. Durch die kontinuierliche Erhöhung des Anteils der Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen verringerte sich der Klinker/Zement-Faktor bis zum Jahr 2012 auf 73 % [4] und damit einhergehend reduzierten sich die Umweltwirkungen in der Herstellung von 1 m<sup>3</sup> Transportbeton/Konstruktionsbeton. Für Konstruktionsbetone besteht nach DIN 1045-2 die Forderung eines von der Expositions-kategorie abhängigen Mindestzementgehalts von 240 bis 320 kg/m<sup>3</sup> (240 bis 270 kg/m<sup>3</sup> bei Anrechnung von Betonzusatzstoffen). Auf dieser Basis verringerte sich als Ergebnis ökobilanzieller Berechnungen das globale Treibhauspotenzial zum Beispiel von 1 m<sup>3</sup> Transportbeton/Konstruktionsbeton der Festigkeitsklasse C20/25 zwischen 1996 und 2010 um rd. 20 %. Im gleichen Zeitraum betrug die Abnahme nicht-erneuerbarer Primärenergie als Energieträger etwa 37 % [1, 3]. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass für den elektrischen Energiebedarf im Rahmen ökobilanzieller Betrachtungen die eingesetzte Primärenergie Bewertungsgrundlage ist, und nicht die Endenergie.

Die Frage, ob sich auf diesem Wege eine weitere deutliche Reduzierung des mittleren Klinker/Zement-Faktors und damit eine Verringerung der Umweltwirkungen (einschließlich des Primärenergiebedarfs) der Herstellung von Zement und Beton realisieren lässt, hängt wie oben hergeleitet einerseits von der Verfügbarkeit von Zementhauptbestandteilen wie Hüttensand und Flugasche ab. Im Vergleich zu diesen Zementhauptbestandteilen ist Kalkstein in allen Zementwerken mit Klinkerproduktion praktisch unbegrenzt – in z.T. unterschiedlicher Qualität – verfügbar. Allerdings ergeben sich technische Grenzen der Einsatzmöglichkeiten eines überwiegend inerten Materials wie Kalkstein als Zementhauptbestandteil im Beton insbesondere im Hinblick auf seine Dauerhaftigkeit. Zur Ableitung der maßgeblichen Randbedingungen werden nachfolgend die Anwendungsregeln von Zement in verschiedenen europäischen und außereuropäischen Ländern dargestellt und die Frage diskutiert, inwie-

## What about your grinding technology?

→ Horomill<sup>®</sup>, a new design to optimize your cement grinding plant



Thanks to its process expertise, Fives FCB provides innovative and reliable solutions such as the Horomill<sup>®</sup> grinding mill, which benefits from 20 years of experience.

Recently, Fives FCB has implemented significant technical development in order to enhance the grinding plants' production capacity and optimize the operation & maintenance costs.

The Horomill<sup>®</sup> technology is a significant breakthrough in the grinding process

→ [Read more from pages 76 to 81](#)



Table 4: Comparison of the application regulations for cements in the national appendices to the European concrete standard EN 206-1 using the example of a concrete for exposure class XF1 [6]

Tabelle 4: Vergleich der Anwendungsregeln für Zemente im Rahmen nationaler Anhänge zur europäischen Betonnorm EN 206-1 am Beispiel eines Betons für die Expositionsklasse XF1 [6]

Country	Max. (w/c) <sub>eq</sub>	Min. c in kg/m <sup>3</sup>	CEM I	CEM II						CEM III		CEM IV		CEM V	
				S		LL		M		A	B	A	B	A	B
				A	B	A	B	A	B						
Austria	0.55	300	x	x	x				(x)	x	(x)				
Belgium	0.55	300	x	x	x	x	x	x	x	x	x			(x)	
Denmark	0.55	150	(x)			(x)									
Finland	0.60	270	x	x	x	x		x		x	x				
Germany	0.60	280	x	x	x	x	○	(x)	(x)	x	x	○	(x)	(x)	(x)
Ireland	0.60	300	x			x									
Italy	0.50	320	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
The Netherlands	0.55	300	x	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)
Norway	0.60	250	x	x		x									
Great Britain	0.60	280	x	x	x	x				x	x	(x)	(x)		

x Permitted

(x) With restrictions

Not mentioned

○ Not permitted

related and therefore ultimately also limit the energy-saving potential of reducing the clinker/cement factor.

## 7.2 Application regulations for cement

### 7.2.1 Comparison of European countries

The application regulations for cement are based on the extensive practical experience in the various countries where the cements are used successfully with their respective concrete compositions, concrete cover and curing under the corresponding climatic conditions in accordance with the building traditions and safety requirements.

Transfer of the application regulations of one country to the conditions in another country is not permissible without further checking of the durability properties of the concrete. This can be demonstrated vividly by comparing the application regulations for cements in different countries using the example of concretes for exterior building elements (► Table 4).

Based on the nationally available and proven raw materials used in exterior building elements Italy permits the use of a significantly wider range of cements than, for example, Germany. However, comparison of the concrete technology boundary conditions shows that the requirements for this are also different in Italy (max. w/c = 0.50) from those in Germany (max. w/c = 0.60).

In addition to the concrete technology boundary conditions the comparison also needs to take account of the practical application of the cements and possibly also of the testing proof required for classification in the appropriate material standard. This is illustrated by the following comparison of the boundary conditions for cement production and application in India compared with the conditions in Europe and Germany.

weit dauerhaftigkeitsrelevante Eigenschaften von Beton und seine Druckfestigkeit zusammenhängen und damit letztlich auch das Energieeinsparpotenzial über eine Verminderung des Klinker/Zement-Faktors begrenzen.

## 7.2 Anwendungsregeln von Zement

### 7.2.1 Europäische Länder im Vergleich

Die Anwendungsregeln für Zement basieren auf den umfangreichen Praxiserfahrungen der Länder, in denen die Zemente – bei jeweiliger Betonzusammensetzung, Betondeckung und Nachbehandlung sowie unter den entsprechenden klimatischen Bedingungen gemäß der Bautradition und nach dem Sicherheitsbedürfnis – erfolgreich eingesetzt wurden.

Die Übertragung der Anwendungsregeln eines Lands auf die Verhältnisse in einem anderen Land ist nicht ohne weitere Überprüfung der Dauerhaftigkeitseigenschaften des Betons zulässig. Anschaulich darstellen lässt sich dies im Vergleich von Anwendungsregeln für Zemente verschiedener Länder am Beispiel von Außenbauteilbetonen (► Tabelle 4).

So lässt Italien auf der Basis national verfügbarer und bewährter Rohstoffe in Außenbauteilen die Verwendung einer deutlich größeren Bandbreite von Zementen zu als z. B. Deutschland. Der Vergleich der betontechnischen Randbedingungen zeigt, dass die Voraussetzungen hierfür in Italien (max. w/z = 0,50) aber auch andere sind als in Deutschland (max. w/z = 0,60).

Neben den betontechnischen Randbedingungen sind beim Vergleich der praktischen Anwendung von Zementen ggf. auch die prüftechnischen Nachweise zur Einordnung in die entsprechende Stoffnorm zu berücksichtigen. Dies verdeutlicht der nachfolgende Vergleich der Randbedingungen der Zementherstellung und Anwendung in Indien im Vergleich zu den Verhältnissen in Europa bzw. in Deutschland.

## 7.2.2 India as an example

At the request of the CSI (Cement Sustainability Initiative) the ECRA (European Cement Research Academy) carried out a study [5] of the extent to which the properties of cements complying with the Indian cement standard (Bureau of Indian Standard, BIS) and their application are comparable with the properties of cement complying with the European standard EN 197-1 (EN) and what influence this has on the energy demand of cement production.

Table 5 shows a comparison of typical fineness values of the three main types of cement produced in India with the corresponding cements complying with EN 197-1. It can be seen from this data that in some cases the Indian cements are substantially coarser than the corresponding European cements. In particular, OPC/CEM I cements show a significant difference between 3 000 cm<sup>2</sup>/g Blaine in India and values of 3 600 cm<sup>2</sup>/g Blaine for cements of the 42,5 strength class and about 5 000 cm<sup>2</sup>/g for cements of the 52,5 strength class.

In a comparison of the strength classes it must be born in mind that the test methods laid down in the corresponding standards lead to different results:

- ▶ the strength test specified in BIS is carried out at a temperature of 27 instead of 20 °C (EN)
- ▶ the strength test specified in BIS is carried out on the basis of a standard consistency instead of a specified water/cement ratio (EN)

The two aspects mean that the same cement tested in accordance with BIS would show a higher compressive strength than if it were tested in accordance with EN 197-1 or EN 196. As a rule of thumb, supported by some published Indian articles, it can be said that an OPC of the 43 strength class complying with BIS would be comparable with the CEM I 32,5 strength class complying with EN 197-1. An OPC of the 53 strength class of good quality (as specified in BIS) would correspond to the 42,5 (N) strength class as specified in EN 197-1. It should also be mentioned that the Indian standard does not include the PSC and PPC 43 and 53 strength classes. The cements containing granulated blastfurnace slag in the higher strength classes (42,5 N) are particularly widely used in Europe and require a greater fineness.

The Indian cement standard is therefore matched to the local conditions with respect to the market, the available materials and the ambient conditions. In some cases this allows the Indian cement producers to grind their cements significantly coarser than in other regions around the world. This greatly reduces the power demand for grinding the cement. This relationship leads to the assumption that different concrete technology boundary conditions, for example a lower water/cement ratio and therefore more cement per cubic metre of concrete, will possibly be required for the cement to achieve a comparable performance in the concrete. Comparison of the Indian concrete standard IS 456:2000 with the European concrete standard EN 206-1 and the associated German application document (DIN 1045-2) shows that this is actually the case. Even though the regulations are not comparable in all details ▶ Table 6 uses a comparison of two different types of structural elements and different stress classes to illustrate the fundamental differences. Comparison of the minimum cement content per cubic metre of concrete shows higher values for the Indian standard. The maxi-

Table 5: Cement fineness (examples) [5]

Tabelle 5: Zement-Feinheit (Beispiele) [5]

Cement type BIS / EN	Strength class [MPa]	Typical Blaine fineness [cm <sup>2</sup> /g] <sup>1)</sup>	
		India	Europe
OPC / CEM I	43/42,5 53/52,5	} 3 000	3 600 4 880
PSC / CEM III	33/32,5 43/42,5	3 600 k. A. <sup>2)</sup>	3 920 4 440
PPC / CEM II/B-V (W)	33/32,5	3 400	4 470

<sup>1)</sup> From VDZ database

<sup>2)</sup> Not contained in BIS

OPC: Ordinary Portland Cement

PSC: Portland Slag Cement

PPC: Portland Pozzolana Cement

## 7.2.2 Beispiel Indien

ECRA erstellte im Auftrag der Cement Sustainability Initiative (CSI) eine Studie [5] zu der Frage, inwieweit die Eigenschaften von Zementen nach indischer Zementnorm (Bureau of Indian Standard, BIS) und ihre Anwendung mit den Eigenschaften von Zement nach europäischer Norm EN 197-1 (EN) vergleichbar sind und welchen Einfluss dies auf den Energiebedarf der Zementherstellung hat.

Table 5 zeigt den Vergleich von typischen Feinheitwerten der drei hauptsächlich in Indien produzierten Zementarten und der entsprechenden Zemente gemäß der EN 197-1. Anhand dieser Daten kann man erkennen, dass die indischen Zemente z.T. erheblich gröber sind als die entsprechenden europäischen Zemente. Besonders OPC/CEM I zeigen den deutlichen Unterschied zwischen 3 000 cm<sup>2</sup>/g nach Blaine in Indien und Werten von 3 600 cm<sup>2</sup>/g nach Blaine für Zemente der Festigkeitsklasse 42,5 bzw. rd. 5 000 cm<sup>2</sup>/g für Zemente der Festigkeitsklasse 52,5.

Beim Vergleich der Festigkeitsklassen muss berücksichtigt werden, dass die in den entsprechenden Normen festgelegten Prüfverfahren zu unterschiedlichen Ergebnissen führen:

- ▶ die Festigkeitsprüfung nach BIS wird bei einer Temperatur von 27 statt 20 °C (EN) ausgeführt
- ▶ die Festigkeitsprüfung nach BIS wird auf der Basis einer Standardkonsistenz anstelle eines festgelegten Wasserzementwertes (EN) ausgeführt.

Beide Aspekte führen dazu, dass derselbe Zement geprüft nach BIS eine höhere Druckfestigkeit zeigen würde als wenn er nach EN 197-1 bzw. EN 196 getestet würde. Als Faustregel und unterstützt durch einige veröffentlichte indische Artikel kann man sagen, dass z. B. eine Festigkeitsklasse 43 OPC nach BIS mit einer Festigkeitsklasse CEM I 32,5 nach EN 197-1 vergleichbar wäre. Eine Festigkeitsklasse 53 OPC von guter Qualität (nach BIS) könnte einer Festigkeitsklasse 42,5 (N) nach EN 197-1 entsprechen. Außerdem sollte erwähnt werden, dass die indische Norm nicht die Festigkeitsklassen 43 oder 53 PSC und PPC beinhaltet. Besonders die hüttensandhaltigen Zemente höherer Festigkeitsklassen (42,5 N) sind in Europa weit verbreitet und erfordern eine höhere Mahlfineinheit.

Die indische Zementnorm ist somit den dortigen Bedingungen in Bezug auf den Markt, die verfügbaren Materialien

Table 6: Concrete requirements (examples) – basis: [5], (amended)

Tabelle 6: Betonanforderungen (Beispiele) – Basis: [5], ergänzt

	EN 206-1 (DIN 1045-2)			IS 458: 2000		
	Minimum cement content [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum w/c value	Exposure class	Minimum cement content [kg/m <sup>3</sup> ]	Maximum w/c value	Required strength
Interior components	260 (240) <sup>1)</sup>	0.65 (0.75)	XC1	300 <sup>2)</sup>	0.55	low
Exterior components	300 (280) <sup>1)</sup>	0.50/0.55 (0.60)	XC4/XF1	300 <sup>2)</sup> 320 <sup>2)</sup>	0.50 0.45	moderate high

<sup>1)</sup> Average cement content in Germany according to ERMCO statistics: approx. 300 kg/m<sup>3</sup>

<sup>2)</sup> According to information from Indian experts there are essentially three types of concrete used in construction with cement contents of 330, 400 and 500 kg/m<sup>3</sup> respectively

imum w/c value in the Indian standard is also sometimes substantially lower than the European values.

### 7.3 Potential for further reduction of the clinker/cement factor

#### 7.3.1 General

Any further reduction of the average clinker/cement factor is ultimately rewarding from the point of view of application of the cement in concrete if at the same time the durability properties of the concrete can be kept at a high level during ecologically and economically efficient utilization of the Portland cement clinker. An evaluation of the results in the literature carried out at the Research Institute of the Cement Industry and the results of in-house investigations produced the relationship shown in Fig. 23 between the clinker content relative to the concrete compressive strength and the concrete compressive strength itself. The specific clinker content, relative to the concrete compressive strength, decreases with rising compressive strength.

The concrete technology reasons for this relationship are well known: the increase in the concrete compressive strength is achieved by reducing the effective water/cement ratio, optimizing the granulometry of the fines and using effective concrete admixtures. If the compressive strength range of  $40 \pm 5 \text{ N/mm}^2$  in this diagram is analyzed with respect to composition of the main constituents used then material combinations are found with relatively low clinker contents

und die Umgebungsbedingungen angepasst. Das erlaubt es den indischen Zementherstellern im Vergleich zu anderen Weltregionen, ihre Zemente z.T. deutlich gröber zu mahlen. Hierdurch wird der Strombedarf der Zementmahlung erheblich reduziert. Der beschriebene Zusammenhang führt zu der Annahme, dass für eine vergleichbare Leistung des Zements im Beton ggf. andere betontechnische Randbedingungen, z. B. geringerer Wasserzementwert und damit mehr Zement pro Kubikmeter Beton, benötigt werden. Ein Vergleich der indischen Betonnorm IS 456: 2000 und der europäischen Betonnorm EN 206-1 bzw. des zugehörigen deutschen Anwendungsdokuments (DIN 1045-2) zeigt, dass das tatsächlich der Fall ist. Auch wenn die Regelungen nicht in allen Details vergleichbar sind, verdeutlicht Tabelle 6 im exemplarischen Vergleich für zwei unterschiedliche Arten von Bauteilen und unterschiedliche Beanspruchungsklassen die grundlegenden Unterschiede. Der Vergleich des Mindestzementgehalts pro Kubikmeter Beton zeigt höhere Werte für die indische Norm. Außerdem ist der maximale w/z-Wert in der indischen Norm verglichen mit den europäischen Werten z.T. erheblich niedriger.

### 7.3 Potenziale für eine weitere Reduzierung des Klinker/Zement-Faktors

#### 7.3.1 Allgemeines

Eine weitere Reduzierung des mittleren Klinker/Zement-Faktors ist aus Sicht der Anwendung des Zements im Beton letztlich dann zielführend, wenn bei ökologisch wie ökonomisch effizienter Verwendung des Portlandzementklinkers zur gleichen Zeit die Dauerhaftigkeitseigenschaften des Betons auf hohem Niveau gehalten werden können. Aus einer im Forschungsinstitut der Zementindustrie durchgeführten Auswertung von Literaturergebnissen und eigenen Untersuchungsergebnissen ging der in Bild 23 dargestellte Zusammenhang zwischen dem auf die Betondruckfestigkeit bezogenen Klinkergehalt und der Betondruckfestigkeit hervor. Der spezifische, auf das Leistungsmerkmal Betondruckfestigkeit bezogene Klinkergehalt nimmt mit steigender Druckfestigkeit ab.

Die betontechnischen Gründe für diesen Zusammenhang sind bekannt: die Erhöhung der Betondruckfestigkeit wird durch die Reduzierung des effektiven Wasserzementwerts, die Optimierung der Granulometrie der Feinstoffe und den Einsatz wirksamer Betonzusatzmittel erreicht. Analysiert man in dieser Darstellung beispielhaft den Bereich der Druckfestigkeit von  $40 \pm 5 \text{ N/mm}^2$  im Hinblick auf die Zusammensetzung der verwendeten Hauptbestandteile, findet man unter anderem Stoffkombinationen mit relativ geringen Klinkergehalten und sehr hohen Kalksteingehalten. Wie bereits ausgeführt, liegt Kalkstein als Hauptrohstoff des Portland-

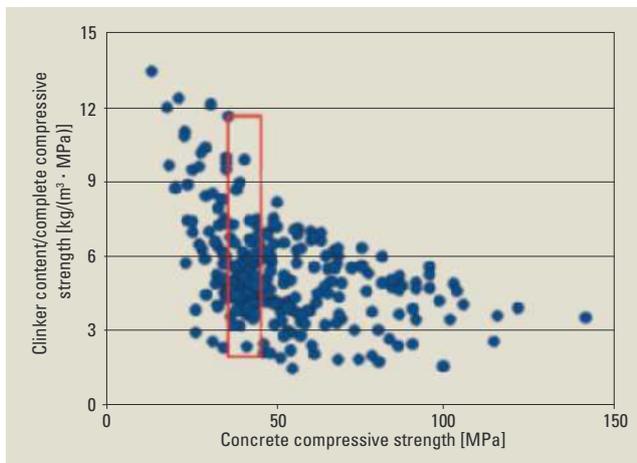


Figure 23: Relationship between the clinker content relative to the concrete compressive strength and the concrete compressive strength itself – marked area: compressive strengths of  $40 \pm 5 \text{ N/mm}^2$  [6]

Bild 23: Zusammenhang zwischen dem auf die Betondruckfestigkeit bezogenen Klinkergehalt und der Betondruckfestigkeit – markierter Bereich: Druckfestigkeit von  $40 \pm 5 \text{ N/mm}^2$  [6]

# Sustainable refractory solutions – brick by brick

Photo: Verlag Bau-Technik, Düsseldorf

TOPMAG® A1

ALMAG® A1

PERILEX® CF



In order to match the increasing mechanically and operationally induced challenges in today's cement production, Refratechnik provides sustainable, proven products and services.

Your trouble-shooters:

- TOPMAG® A1
- PERILEX® CF
- ALMAG® A1

**You load it, we line it!**

# REFRA<sup>TECHNIK</sup>

Refratechnik Cement GmbH  
Rudolf-Winkel-Strasse 1  
37079 Göttingen  
Germany  
Phone +49 551 69410  
Fax +49 551 6941104  
refra@refra.com  
www.refra.com

and very high limestone contents. As already mentioned, limestone is available at every cement plant site as the main raw material for Portland cement clinker, which means that there are no transport costs or transport-related emissions when it is used as a main cement constituent. However, in order to be able to utilize this option in practical construction work it is essential to consider not only the compressive strength but also other parameters, such as the uniformity of the cement properties, the robustness of the concrete during the construction work and, in particular, the durability of the concrete. Investigations by the VDZ have, for example, shown that widely varying results that in no way could be deduced from the strength development of the cements were obtained in freeze-thaw trials with cements containing 30 mass % of the same limestone as a main cement constituent due to granulometric effects [10].

### 7.3.2 Spotlight on durability

Carbonation tests, among other things, were carried out to provide information about the durability of cements containing elevated levels of limestone in concrete [9]. Mortar prisms with constant paste content were stored for 7 days under water and then for 140 days in the 20/65 climatic chamber. **►** Fig. 24 shows the carbonation in relation to the limestone content in the cement and the water/cement ratio. A mortar made with limestone cement containing 50 mass % limestone and with a water/cement ratio of 0.35 exhibited comparable carbonation to a mortar made with CEM II/B-LL cement and  $w/c = 0.50$ . This means that very demanding concrete technology measures (low-water concrete with corresponding addition levels of admixtures) would therefore be necessary when using a cement of this type.

According to [8] the production of such a concrete with a limestone content of the cement of 50 mass % and a water/cement ratio  $w/c = 0.35$  would be associated with a global warming potential of about 184 kg  $\text{CO}_2$ -equivalent. Current concrete technology practice indicates that the global warming potential of a corresponding structural concrete with comparable properties in the durability tests lies between about 232 and 265 kg  $\text{CO}_2$ -equivalent on the basis of eco-balance calculations (cf. [3, 9]). The reduction would therefore be about 25 % [9]. There would be a reduction in primary energy usage of about 2 %. The main reason for the lower improvement potential in the primary energy is the additional grinding energy that has to be used for producing these cements.

However, it will first be necessary to prove the practical usability and robustness of these optimized, and therefore demanding, mix formulations.

## 8 Role of energy demand in the sustainability evaluation of structures

### 8.1 General

Certification systems to assess the sustainability of buildings were developed worldwide to stimulate environmentally compatible and sustainable construction. The BREEAM system (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), which was introduced in Great Britain in 1990, and the LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) certification system can be cited as examples. LEED was developed by the US Green Building Council (USGBC) and is now the internationally most widespread certification system. It started in 1998 with the first version for new commercial buildings.

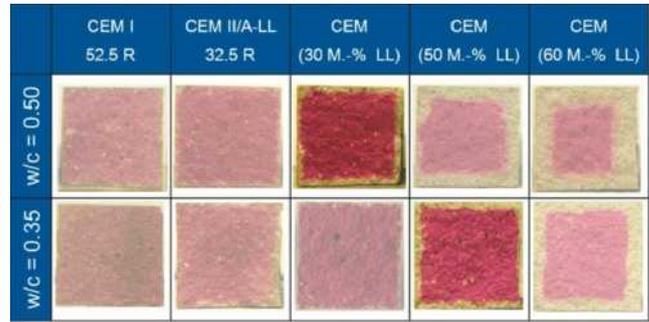


Figure 24: Carbonation of cement mortars with constant paste volume (results from Darmstadt Technical University) [11]

Bild 24: Carbonatisierung von Zementmörteln mit konstantem Leimvolumen (Ergebnisse der TU Darmstadt) [11]

zementklinkers an jedem Standort eines Zementwerks vor, sodass bei seiner Verwendung als Zementhauptbestandteil Transportkosten sowie mit dem Transport verbundene Emissionen entfallen. Um diese Option baupraktisch nutzen zu können, sind aber neben der Druckfestigkeit zwingend auch weitere Parameter wie die Gleichmäßigkeit der Zementeigenschaften, die Robustheit des Betons im Baubetrieb und besonders die Dauerhaftigkeit des Betons zu betrachten. So haben Untersuchungen des VDZ gezeigt, dass bereits bei Zementen mit 30 M.-% des gleichen Kalksteins als Zementhauptbestandteil aufgrund granulometrischer Effekte sehr unterschiedliche Ergebnisse in Frostversuchen in keiner Weise aus der Festigkeitsentwicklung der Zemente abzuleiten waren [10].

### 7.3.2 Dauerhaftigkeit im Fokus

Um Aussagen zur Dauerhaftigkeit von Zementen mit erhöhten Kalksteingehalten im Beton treffen zu können, wurden u.a. Prüfungen zur Carbonatisierung durchgeführt [9]. Mörtelprismen mit konstantem Leimgehalt wurden 7 Tage unter Wasser und anschließend 140 Tage im Klima 20/65 gelagert. Die Carbonatisierung in Abhängigkeit vom Kalksteingehalt im Zement und vom Wasserzementwert zeigt **►** Bild 24. Ein Mörtel mit dem Kalksteinzement mit 50 M.-% Kalkstein weist bei einem Wasserzementwert von 0,35 eine vergleichbare Carbonatisierung auf wie ein Mörtel mit CEM II/B-LL und  $w/z = 0,50$ . Für die Verwendung eines derartigen Zements wären also sehr anspruchsvolle betontechnologische Maßnahmen (wasserarmer Beton mit entsprechenden Zusatzmitteldosierungen) erforderlich.

Die Herstellung eines solchen Betons mit einem Kalksteingehalt von 50 M.-% im Zement und Wasserzementwert  $w/z = 0,35$  wäre gemäß [8] mit einem globalen Treibhauspotenzial von rd. 184 kg  $\text{CO}_2$ -Äq. verbunden. Das Treibhauspotenzial eines entsprechenden Konstruktionsbetons mit vergleichbaren Eigenschaften in den Dauerhaftigkeitsprüfungen nach heutiger betontechnischer Praxis liegt auf der Basis ökobilanzieller Berechnungen zwischen rd. 232 und 265 kg  $\text{CO}_2$ -Äq. (vgl. [3, 9]). Die Verminderung würde damit rd. 25 % betragen. Bzgl. des Primärenergieeinsatzes ergäbe sich eine Reduzierung von rd. 2 % [9]. Wesentlicher Grund für das geringere Verbesserungspotenzial bei der Primärenergie ist die für die Herstellung dieser Zemente zusätzlich aufzuwendende Mahlenergie.

Die Anwendbarkeit und Robustheit derartig optimierter und damit anspruchsvoller Rezepturen in der Praxis muss jedoch zunächst nachgewiesen werden.

Systems for integrated consideration and evaluation of the sustainability aspects of buildings, in which ecological, economic, social and technical criteria are taken into consideration on an equal basis, were developed in Germany in a two-year period of cooperation between the BMVBS (Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development) and the DGNB (German Association for Sustainable Building). These systems were introduced in 2009 and go beyond the simple assessment of the ecology.

### 8.2 Effect of the construction products on evaluation of the building

Standards were developed at the European level with which the producers of construction products can provide environmental information about their products so that this can be used for sustainability assessment of buildings (Environmental Product Declarations, EPDs). An Environmental Product Declaration for an average German cement [2] was published in March 2012 and is available at, among other places, the VDZ website.

The VDZ used the example of a notional five-storey office building with reinforced concrete structural framework to investigate the influence of the environmental impact (including the primary energy demand) of cement production on the result of a sustainability assessment in the DGNB system [7]. The sequence of influencing factors from the construction product EPD to the building certificate is shown in Fig. 25.

The influence of the environmental effects of cement production on the LCA (Life Cycle Assessment, a method to assess environmental impacts) for concrete for the various indicators lies between about 90 % (GWP, global warming potential) and about 70 % (AP, acidification potential of soil and water). When the indicators are weighted in accordance with the rules of the DGNB system the influence amounts to about 77 %. With the aid of the cement-bound construction materials present in the structure (in the example, concrete and cement screed) it is possible to estimate the extent of the environmental effects of these construction materials in the entire building. Within the production phase of the structure the influence in the building chosen as an example

## 8 Rolle des Energiebedarfs bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken

### 8.1 Allgemeines

Zur Förderung des umweltschonenden und nachhaltigen Bauens wurden in den vergangenen Jahren weltweit Zertifizierungssysteme entwickelt, mit denen die Nachhaltigkeit von Gebäuden bewertet werden soll. Als Beispiele können das BREEAM-System („Building Research Establishment Environmental Assessment Method“), welches 1990 in Großbritannien eingeführt wurde und das Zertifizierungssystem „Leadership in Energy and Environmental Design“ (LEED) genannt werden. LEED wurde vom US Green Building Council (USGBC) entwickelt und ist heute das international am weitesten verbreitete Zertifizierungssystem. Es startete im Jahr 1998 mit der ersten Version für kommerzielle Neubauten.

In Deutschland wurden in einer zweijährigen Zusammenarbeit des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB) Systeme zur ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten für Gebäude entwickelt, in der ökologische, ökonomische, soziale und technische Kriterien gleichwertig berücksichtigt werden. Diese Systeme, die im Jahr 2009 eingeführt wurden, gehen damit über eine reine Bewertung der Ökologie hinaus.

### 8.2 Auswirkung der Bauprodukte auf die Gebäudebewertung

Auf europäischer Ebene wurden Normen entwickelt, nach denen Bauprodukthersteller Umweltinformationen zu ihren Produkten zur Verfügung stellen können, um diese für eine Nachhaltigkeitsbewertung auf Gebäudeebene heranzuziehen (Umweltproduktdeklarationen, EPD). Eine Umweltproduktdeklaration für einen deutschen Durchschnittszement [2] wurde im März 2012 veröffentlicht und ist u. a. über die Internetseiten des VDZ verfügbar.

Der VDZ hat am Beispiel eines fiktiven fünfstöckigen Bürogebäudes mit Stahlbetontragwerk untersucht, welchen Einfluss die Umweltlasten (einschließlich des Primärenergiebedarfs) der Zementherstellung auf das Ergebnis einer Nachhaltigkeitsbewertung im DGNB-System haben [7]. In Bild 25 ist die Einflusskette von der Bauprodukt-EPD bis zum Gebäudezertifikat dargestellt.

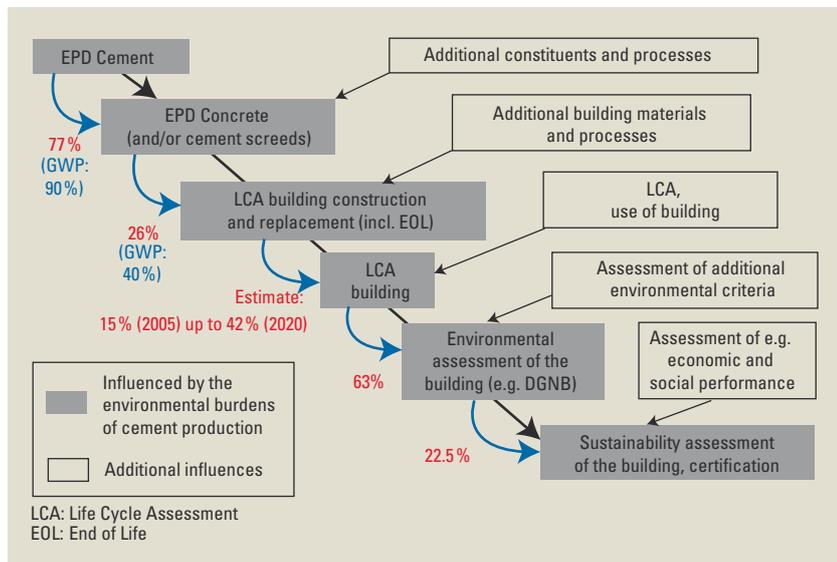


Figure 25: Effect of the product EPD for cement on the evaluation of a building [12]

Bild 25: Auswirkung der Produkt-EPD für Zement auf eine Gebäudebewertung [12]

Der Einfluss der Umweltwirkungen der Zementherstellung auf die Ökobilanz von Beton liegt für die verschiedenen Indikatoren zwischen ca. 90 % (Treibhauspotenzial GWP) und ca. 70 % (Versauerungspotenzial von Boden und Wasser AP). Werden die Indikatoren gemäß der Vorgaben des DGNB-Systems gewichtet, beträgt der Einfluss ca. 77 %. Anhand der im Bauwerk vorhandenen zementgebundenen Baustoffe (im Beispiel Beton und Zementestrich) kann der Anteil der Umweltwirkungen dieser Baustoffe am Gesamtgebäude abgeschätzt werden. Innerhalb der Herstellungsphase des Bauwerks beträgt der Einfluss im gewählten Beispielgebäude 37 %. Bezieht man nötige Instandsetzungszyklen über die Lebensdauer bzw. das End-of-life (EOL) des Bauwerks mit ein, wird der Einfluss geringer (26 %), da

is 37 %. If essential maintenance cycles over the lifetime and End of Life (EOL) of the structure are included the influence becomes less (26 %) as the lifetime of cement-bound construction materials corresponds to at least the reference study period (50 years) and in practice there are no renewals or repairs. For many other construction materials it may be necessary to include several maintenance cycles in this period.

If the proportion of the energy demand that is necessary for the provision of construction products and the construction of the building is compared with the energy demand required over the service life of the building then at present the proportion due to the construction materials comes to about 15 %. It can be assumed that this proportion will rise if buildings that are increasingly more energy-efficient are constructed in the future [14]. It has been assumed that the proportion due to the environmental impact from production and maintenance on the overall LCA of the building will be at a similar level for other indicators, such as the global warming potential.

The proportion of the parameters in the "Environmental Assessment" section of the building sustainability assessment, which can be expressed by the LCA indicators from the EPD, is about 63 % as other factors, such as the land use, are also taken into account. In the DGNB system the environmental assessment accounts for 22.5 % of the overall sustainability assessment. If the values shown are considered as a whole it is found that in the chosen example the environmental effects of cement production account for about 20 % of the total of all the environmental impact from the production of the construction products, the construction of the building and the maintenance of the building. The proportion amounts to 0.4 to 1.2 % in the certified evaluation of the entire building over its life cycle bearing in mind all the other aspects of sustainability because many of the aspects do not concern the production of the cement. Technical criteria such as fire protection or sound insulation are in some cases given a greater weighting in the DGNB system than indicators from the LCA such as the global warming potential [7, 13].

The evaluation in the DGNB system is based on a reference study period for office buildings of 50 years. Theoretically, no maintenance of the concrete structural elements was carried out for the example building as their lifetime corresponds to at least this period. The durability of the concrete is therefore of great importance for the LCA of such a building. The technical properties of the concrete, and therefore also of the cement, are correspondingly of crucial importance for the LCA of a structure over its entire life cycle. The construction materials should not be ecologically optimized at the expense of their durability and cause the concrete structural elements to need repairs within the lifetime (50 years).

In the overall assessment of sustainability in the DGNB system the influence of concrete production on the LCA remains in the single figure percentage range even with significantly improved ecological values.

From this examination it therefore emerges that average EPDs can be used for assessing the sustainability of a building in the planning phase. The error in the sustainability assessment of the construction works over its life cycle that arises from the use of average data for the environmen-

die Lebensdauer zementgebundener Baustoffe mindestens dem Betrachtungszeitraum (50 Jahre) entspricht und praktisch keine Erneuerungen oder Reparaturen anfallen. Für viele andere Bauprodukte müssen in diesem Zeitraum z.T. mehrere Instandsetzungszyklen mit einbezogen werden.

Betrachtet man den Anteil des Energiebedarfs, der für die Bereitstellung der Baustoffe und Bauprodukte nötig ist, im Vergleich zum nötigen Energiebedarf über die Nutzungsdauer des Gebäudes, so beträgt der Anteil der Baustoffe derzeit ca. 15 %. Wenn Gebäude zukünftig zunehmend energieeffizienter gebaut werden, ist davon auszugehen, dass dieser Anteil ansteigen wird [14]. Es wurde angenommen, dass für andere Indikatoren wie das Treibhauspotenzial der Anteil der Umweltlasten aus Herstellung und Instandhaltung an der Gesamtökobilanz des Gebäudes ähnlich hoch ist.

Der Anteil der Parameter im Teil „Ökologische Bewertung“ der Gebäudenachhaltigkeitsbewertung, der sich durch die Ökobilanzindikatoren aus der EPD darstellen lässt, beträgt ca. 63 %, da auch andere Faktoren wie z. B. die Flächeninanspruchnahme Berücksichtigung finden. An der Gesamtnachhaltigkeitsbewertung hat die ökologische Bewertung im DGNB-System einen Anteil von 22,5 %. Werden die dargestellten Werte zusammen betrachtet, ergibt sich, dass im betrachteten Beispiel die Umweltwirkungen der Zementherstellung einen Einfluss von ca. 20 % auf die Summe aller Umweltlasten der Herstellung der Bauprodukte, der Errichtung des Bauwerks und der Instandhaltung des Bauwerks haben. An der zertifizierten Bewertung des gesamten Gebäudes über den Lebenszyklus und unter Berücksichtigung aller anderen Aspekte der Nachhaltigkeit beträgt der Anteil 0,4 bis 1,2 %, da viele dieser Aspekte die Herstellung des Baustoffs Zement nicht betreffen. Technische Kriterien wie Brandschutz oder Schallschutz werden im DGNB-System z.T. höher bewertet als Indikatoren aus der Ökobilanzierung wie z. B. das Treibhauspotenzial [7, 13].

Der Bewertung im DGNB-System liegt ein Betrachtungszeitraum für Bürogebäude von 50 Jahren zugrunde. Rechnerisch wurde für das Beispielgebäude keine Instandsetzung der Betonbauteile angesetzt, da deren Lebensdauer mindestens dem Betrachtungszeitraum entspricht. Die Dauerhaftigkeit des Betons ist somit von erheblicher Bedeutung für die Ökobilanz eines solchen Gebäudes. Entsprechend sind für die Ökobilanz eines Bauwerks über seinen gesamten Lebenszyklus die technischen Eigenschaften des Betons und damit auch des Zements von entscheidender Bedeutung. Die ökologische Optimierung der Baustoffe sollte nicht zulasten der Dauerhaftigkeit gehen und dazu führen, dass Bauteile aus Beton innerhalb der Lebensdauer (50 Jahre) instandgesetzt werden müssten.

In der Gesamtbewertung der Nachhaltigkeit im DGNB-System bliebe der Einfluss der Zementherstellung auf die Ökobilanz auch bei deutlich verbesserten ökologischen Werten im einstelligen Prozentbereich.

Aus dieser Betrachtung folgt damit auch, dass zur Bewertung der Gebäudenachhaltigkeit in der Planungsphase Durchschnitts-EPDs herangezogen werden können. Der Fehler in der Nachhaltigkeitsbewertung des Bauwerks über seinen Lebenszyklus, der durch die Verwendung von Durchschnittsdaten für die Umweltqualität entsteht, dürfte in vielen Fällen gering sein. Sind im Einzelfall produktspezifische Angaben notwendig – z. B. zur Bewertung von Infrastrukturbauber-



**KiMA CEMCON®**



**ELEKTROTECHNIK  
MIT PERSPEKTIVEN – WELTWEIT**



**KiMA**

Tel.: +49 2565 9346-0  
[www.kima.de](http://www.kima.de)

Anna-Merian-Str. 3 - 5  
D-48599 Gronau-Epe

KiMA Gesellschaft für elektronische  
Steuerungstechnik und Konstruktion mbH

tal quality should in many cases be slight. If product-specific data are needed in an individual case – for example, for evaluating infrastructural structures made of concrete – these can also be made available for a product group (e.g. a type of cement) or an individual construction product (e.g. a certain cement).

## 9 Final comment

The examination carried out in this publication on the energy efficiency in cement production used the example of the German cement industry and its specific boundary conditions. However, it can be applied to the cement industries in other countries or world regions if the respective local boundary conditions are taken into account. They are particularly important if comparisons of energy efficiency in different regions are being carried out. The investigations have shown that it is unrewarding to consider individual process stages or sub-systems. The entire process chain should be incorporated in this type of evaluation. The main reason for this is that ultimately the cement properties are determined by the market requirements and the respective standards for concrete and cement, and the properties of the cements that are produced must conform to them.

The cement was chosen as the reference variable for considering the efficiency of cement production. The concrete that is used in the construction industry is included in a more comprehensive survey.

Process-related consideration of energy efficiency normally employs the final energy expended, while it is usual to take the primary energy as the basis in lifecycle analysis. The final energy was therefore considered in this study when evaluating the cement production process and the primary energy was used in the evaluation of concrete as a construction material. This leads to different weightings of the importance of the power demand which in turn has to be taken into account in optimization measures for reducing the power demand. The investigations have shown that under these boundary conditions the power demand for cement production plays only a secondary role in the consideration of the efficiency.

The cement industry itself can hardly exert any influence on certain influencing variables, such as the market requirements for cements or environmental protection requirements. For the German cement industry it has been found that the power demand up to 2030 will rise under the conditions of the reference assumptions that have been made. The greater fineness of the cements required by the market plays a particularly important role in this. For the use of fuel energy it was assumed that in the reference case continuous improvement through current optimization measures will lead to a reduction by about 5 % by 2030. Part of this will be offset by the expected further increase in the use of alternative fuels. On the other hand, this effect will lead to a further reduction of the fuel related CO<sub>2</sub> emissions. However, it will also save the energy demand for drying the replaced lignite outside the cement plant. An important criterion for whether this case actually occurs is the availability of alternative fuels, especially with respect to quality and biogenic fraction.

In some regions of the world, such as China and India, the equipment in the cement industry has been extended in recent years by new plants with high kiln capacities but

ken aus Beton – können diese auch für eine Produktgruppe (z. B. eine Zementart) oder ein einzelnes Bauprodukt (z. B. ein bestimmter Zement) zur Verfügung gestellt werden.

## 9 Schlussbetrachtung

Die in dieser Veröffentlichung durchgeführten Betrachtungen zur Energieeffizienz bei der Zementherstellung wurden am Beispiel der deutschen Zementindustrie und deren spezifischen Randbedingungen durchgeführt. Sie sind aber auf die Zementindustrie in anderen Ländern bzw. Weltregionen übertragbar, wenn die jeweiligen dortigen Randbedingungen berücksichtigt werden. Insbesondere sind sie von Bedeutung, wenn Vergleiche hinsichtlich der Energieeffizienz zwischen verschiedenen Regionen durchgeführt werden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es nicht zielführend ist, einzelne Prozessschritte oder Teilanlagen zu betrachten. Vielmehr ist die Gesamtprozesskette in eine solche Bewertung einzubeziehen. Wesentlicher Grund hierfür ist, dass letztlich die Marktanforderungen sowie die jeweiligen Normen für Beton und Zement die Zementeigenschaften bestimmen und sich die Eigenschaften der hergestellten Zemente daran orientieren müssen.

Als Bezugsgröße für die Effizienzbetrachtung der Zementherstellung wurde der Zement gewählt. Eine weitere Betrachtung schließt den Beton ein, der in der Bauindustrie Verwendung findet.

Bei der prozessbezogenen Betrachtung der Energieeffizienz wird üblicherweise die verwendete Endenergie betrachtet. Bei der ökobilanziellen Betrachtung ist es üblich, die Primärenergie zugrunde zu legen. Deshalb wurde in dieser Studie bei der Bewertung des Zementherstellungsprozesses die Endenergie betrachtet, bei der Bewertung des Baustoffs Beton dagegen die Primärenergie. Das führt zu einer unterschiedlichen Gewichtung der Bedeutung des Strombedarfs, was wiederum bei Optimierungsmaßnahmen im Hinblick auf eine Verminderung des Strombedarfs zu berücksichtigen ist. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass unter diesen Randbedingungen der Strombedarf der Zementherstellung bei der Effizienzbetrachtung nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Bestimmte Einflussgrößen, wie die Marktanforderungen an Zemente oder Anforderungen an den Umweltschutz, können von der Zementindustrie selbst kaum beeinflusst werden. Für die deutsche Zementindustrie hat sich gezeigt, dass der Strombedarf bis zum Jahr 2030 unter den Bedingungen der getroffenen Referenzannahmen ansteigen wird. Dabei spielt vor allem die vom Markt geforderte höhere Feinheit der Zemente eine wichtige Rolle. Für den Brennstoffeneinsatz wurde angenommen, dass im Referenzfall eine kontinuierliche Verbesserung im Rahmen laufender Optimierungen zu einer Verminderung um ca. 5 % bis zum Jahr 2030 führen wird. Ein Teil hiervon wird durch den erwarteten weiteren Anstieg des Einsatzes alternativer Brennstoffe kompensiert. Dieser Effekt wird dagegen zu einer weiteren Verminderung der brennstoffbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen führen. Allerdings wird dadurch zusätzlich der Energiebedarf für die außerhalb des Zementwerks erfolgende Trocknung der substituierten Braunkohle eingespart. Wesentliches Kriterium dafür, ob dieser Fall so eintritt, ist die Verfügbarkeit alternativer Brennstoffe, insbesondere im Hinblick auf Qualität und biogene Anteile.

Während in manchen Weltregionen, wie z. B. China oder Indien, der Anlagenpark der Zementindustrie in den vergangenen Jahren durch neue Anlagen mit hohen Ofenleistungen erweitert wurde, sind vergleichbare Investitionen in bestehende Anlagen

comparable capital investment is not economically feasible in existing plants in Europe. However, a calculation was carried out in order to find the maximum potential that could be achieved with respect to reducing the energy demand by completely re-building all the kiln and cement grinding plants in Germany on greenfield sites. Under these boundary conditions this maximum potential is just under 14 % relative to the 2011 reference year. However, the capital investment of the order of several billion euros that this would require could not be implemented cost-effectively in Germany.

The greatest reduction potential with respect to the energy demand of cement production lies in lowering the clinker/cement factor. Both the fuel energy and the power demand for the clinker that has been replaced are saved if the clinker is replaced by other main cement constituents. Varying amounts of electrical energy are also used for grinding the cement depending on the nature of the material. The granulated blastfurnace slag mainly used in Germany, is harder to grind than clinker; however, the additional quantities that can be used are limited as they depend ultimately on the steel production. Fly ash is only used in small quantities in cement in Germany so there is considerable potential, particularly with the increased use of the readily grindable limestone as a main cement constituent. The potential for reducing the energy demand is determined principally by the requisite cement properties in the concrete and the requirements for its durability.

When the extent of the examination is widened to include the building in which the concrete is used then the proportion of the energy demand that is required for providing the construction material becomes comparatively small when compared with the energy demand over the service life of the building. ◀

in Europa nicht wirtschaftlich. Dennoch wurde im Sinne einer Maximalabschätzung das Potenzial berechnet, das durch den vollständigen Neubau aller Ofen- und Zementmahlanlagen in Deutschland „auf der grünen Wiese“ im Hinblick auf die Minderung des Energiebedarfs zu erreichen wäre. Unter den gegebenen Randbedingungen beträgt dieses maximale Potenzial knapp 14 % bezogen auf das Referenzjahr 2011. Die hierfür erforderlichen Investitionen in einer Größenordnung von mehreren Milliarden Euro sind aber in Deutschland nicht wirtschaftlich umsetzbar.

Das größte Minderungspotenzial im Hinblick auf den Energiebedarf der Zementherstellung besteht in der Absenkung des Klinker/Zement-Faktors. Durch die Substitution des Klinkers durch andere Zementhauptbestandteile wird sowohl die Brennstoffenergie als auch der Strombedarf des substituierten Klinkers eingespart. Außerdem wird für die Zementmahlung, abhängig von der Art des Stoffes, mehr oder weniger elektrische Energie benötigt. Der v.a. in Deutschland eingesetzte Hüttensand ist schwerer mahlbar als Klinker; allerdings sind zusätzliche Einsatzmengen beschränkt, weil diese letztlich von der Stahlherstellung abhängen. Da Flugasche in Deutschland nur in geringen Mengen im Zement verwendet wird, besteht ein nennenswertes Potenzial vor allem in der vermehrten Verwendung des leichter mahlbaren Kalksteins als Zementhauptbestandteil. Das Potenzial zur Verminderung des Energiebedarfs ist dabei vor allem durch die erforderlichen Zementeigenschaften im Beton sowie die Anforderungen an dessen Dauerhaftigkeit bestimmt.

Erweitert man den Betrachtungshorizont bis auf das Gebäude, in dem der Beton verwendet wird, so ist der Anteil des Energiebedarfs, der für die Bereitstellung des Baustoffs nötig ist, im Vergleich zum nötigen Energiebedarf über die Nutzungsdauer des Gebäudes vergleichsweise gering. ◀

## LITERATURE / LITERATUR

- [1] VDZ, Zement-Taschenbuch. Verein Deutscher Zementwerke e.V., 50. Ausgabe, Düsseldorf 2002.
- [2] IBU-UMWELT-PRODUKTDEKLARATION „Zement“ nach ISO 14025, EPD-VDZ-2012111-D, Verein Deutscher Zementwerke e.V.
- [3] IBU-UMWELT-PRODUKTDEKLARATION „Beton“ nach ISO 14025 und EN 15804. InformationsZentrum Beton GmbH, Entwurf Mai 2013.
- [4] VDZ, Zahlen und Daten 2013. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf, Mai 2013.
- [5] Technical Report-ECRA-120-2012: Technology papers for the Indian cement industry – looking behind the data – 12.08.2012, published on [www.wbcscement.org/index.php/technology/india-roadmap](http://www.wbcscement.org/index.php/technology/india-roadmap).
- [6] Müller, C.: Current regulations for concrete. *beton* 62 (2012) No. 3, pp. 68–75.
- [7] VDZ Activity Report 2009–2012. Verein Deutscher Zementwerke, Düsseldorf 2012.
- [8] Neufert, W.; Palm, S.; Proske, T.; Hainer, S.; Rezvani, M.; Reuken, I.; Severins, K.; Weber, G.; Müller, C.; Graubner, C.-A.: Reduzierung der Umweltwirkung der Betonbauweise durch neuartige Zemente und daraus hergestellter Betone unter Verwendung hinreichend verfügbarer Ausgangsstoffe, vorläufiger Abschlussbericht. Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2013.
- [9] Neufert, W.; Palm, S.; Proske, T.; Hainer, S.; Rezvani, M.; Müller, C.; Graubner, C.-A.: Zemente mit reduzierter Umweltwirkung bei effizientem Einsatz von Hüttensand. Forschungsantrag bei Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2013 (unveröffentlicht).
- [10] Severins, K.; Müller, C.: Influence regarding the mode of operation of cement grinding on the performance of cement in concrete. Internationale Baustofftagung *ibausil* 2012, Tagungsbericht Bd. 2., Weimar 2012, pp. 476–480.
- [11] VDZ-Mitteilungen Nr. 150. VDZ – Forschungsinstitut der Zementindustrie, Dezember 2012.
- [12] Reiners, J.: Nachhaltigkeit – Von der Idee zur praktischen Umsetzung. Vortrag VDZ Fachtagung *Beton-technik*, Düsseldorf 2011.
- [13] TB-BTe B2275-A-2/2011 Abschlussbericht „Effects of the enhanced European basic requirements for construction works on the regulation of harmonized technical specifications“ – 14.06.2011 Auftraggeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR), Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf 2011.
- [14] Angabe des Ingenieurbüros Drees und Sommer AG, 2010.
- [15] European Cement Research Academy (ECRA): Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to look ahead (CSI-ECRA-Technology Papers), 2009 published on: [www.wbcscement.org](http://www.wbcscement.org).