

**John Harrison**

TecEco Pty. Ltd., Glenorchy/Australia

## Nachhaltigkeit in der Zement- und Betonindustrie Teil 2

**Zusammenfassung:** Beton ist ein sehr langlebiges Material mit relativ wenig grauer Energie. Bei jedoch mehr als 14 Mrd. t produzierten Betons, was den größten Materialstrom auf unserem Planeten darstellt, sind die Auswirkungen auf die Umwelt gewaltig. Daher ist es nicht überraschend, dass Fragen der Nachhaltigkeit in der Betonindustrie an Bedeutung zunehmen. Am 16. Februar 2005 trat der Kyoto-Vertrag in Kraft, und die Mitgliedsstaaten überlegen nun, wie sie ihre Zielstellungen erreichen können. Erst vor kurzem nahm eine spezielle Projektgruppe des Asiatisch-Pazifischen Zementforums ihre Arbeit auf. Hinter all dem, und möglicherweise unbemerkt, wird der Einfluss steigender Ölpreise die Zement- und Betonindustrie zu einer besseren Energiewirtschaft, und damit auch Nachhaltigkeit, zwingen. Im vorliegenden Bericht wird analysiert, warum diese Veränderungen wichtig sind, warum und wie sie geschehen.

## Sustainability for the cement and concrete industry Part 2

**Summary:** Concrete is a very sustainable material with relatively low embodied energy. Yet at over 14 billion tonnes produced, comprising the largest material flow on the planet, the impact it has on the environment is monumental. It is no surprise then that in the concrete industry sustainability issues are growing in importance. The Kyoto treaty came in to force on the 16<sup>th</sup> February, 2005 and member nations are wondering how they can meet their objectives. More recently the Asia Pacific Forum Cement task force got underway. Behind all this and possibly unnoticed will be the influence of rising oil prices which will have the effect of pushing the cement and concrete industry towards greater energy economy and thus sustainability. This paper analyses why these changes are important, why they are happening and how they will happen.

## La durabilité dans l'industrie du ciment et du béton Partie 2

**Résumé:** Le béton est un matériau très durable avec relativement peu d'énergie grise. Compte tenu toutefois des plus de 14 milliards de tonnes de béton produites, ce qui représente le plus important flux de matières de notre planète, les incidences sur l'environnement sont énormes. Il n'est donc pas étonnant que la question de la durabilité revête une importance croissante dans l'industrie du béton. Le 16 février 2005, la convention de Kyoto est entrée en vigueur et les états membres cherchent maintenant le moyen d'atteindre les objectifs. Récemment une groupe de projet particulier du Forum de Ciment Asiatique Pacifique a entrepris son travail. Derrière tout cela et probablement de façon inaperçue, l'industrie du ciment et du béton se verra obligée, sous l'influence des prix de fuel croissants, à une meilleure gestion de l'énergie et par conséquent aussi de la durabilité. La présente étude analyse pourquoi ces changements sont importants, pourquoi et comment ils se produisent.

## Sostenibilidad de la industria de cemento y del hormigón Parte 2

**Resumen:** El hormigón es un material duradero con una relativamente reducida energía gris. Sin embargo, los más de 14 billones de toneladas de hormigón producidas, que suponen el mayor flujo de material en nuestro planeta, producen un impacto ambiental monumental. No es por tanto de extrañar la importancia creciente que cobran las cuestiones relativas a la sostenibilidad del hormigón. El tratado de Kyoto entró en vigor el 16 de Febrero del 2005 y los estados miembros se plantean cómo alcanzar sus objetivos. El forum del cemento Asia Pacific comenzó más recientemente su labor. Tras todo ello, posiblemente de manera no evidente, se encontrará el incremento del precio del fuel. Este empujará a la industria del cemento y del hormigón hacia una optimización del consumo energético y por tanto a la sostenibilidad. Este artículo analiza la importancia de estos cambios, el porqué de su existencia y su naturaleza.

### 6 Globale Antworten auf die globale Erwärmung

Am 16. Februar 2005 wurde das Kyoto-Protokoll, das 1997 in Kyoto/Japan erarbeitet wurde, um die Rahmenvereinbarung der Vereinten Nationen zum Klimawandel umzusetzen, endlich internationales Recht. Die Unterzeichnerstaaten sind gesetzlich verpflichtet, die weltweiten Emissionen von sechs Treibhausgasen (zusammen) um durchschnittlich 5,2 % unter die jeweiligen Werte von 1990 bis zum Zeitraum 2008–2012

### 6 Global responses to global warming

On the 16<sup>th</sup> February 2005 the Kyoto Protocol, drawn up in Kyoto, Japan in 1997 to implement the United Nations Framework Convention for Climate Change, finally became international law. Signatory countries are legally bound to reduce worldwide emissions of six greenhouse gases (collectively) by an average of 5.2 % below their 1990 levels by the period 2008 to 2012. For the protocol to become law it needed to be rati-

zu senken. Damit das Protokoll Gesetzeskraft erlangt, musste es von so vielen Ländern ratifiziert werden, die wenigstens 55 % der Kohlendioxidemissionen von 1990 ausmachen. Der entscheidende Schritt in Richtung Ratifizierung wurde getan, als Russland, das für 17 % der Emissionen von 1990 verantwortlich zeichnet, die Vereinbarung am 5. November 2004 unterzeichnete. Die Ratifizierung der Vereinbarung bedeutet, dass Kyoto von Teilnehmerländern getragen wird, von denen 61,6 % der Kohlendioxidemissionen kommen.

Die Mitgliedsstaaten haben ihre eigenen Methoden entwickelt, um ihre Zielsetzungen zu erreichen. Die EU hat zum Beispiel Quoten aufgestellt und einen Markt zum Kauf und Verkauf von Emissionsrechten geschaffen. Leider sind jedoch einige der großen Verursacherländer dem Abkommen nicht beigetreten, wodurch es für dort ansässige Firmen schwierig ist, mit ihren Rechten zu handeln. Der offizielle Standpunkt der USA und von Australien ist, dass ein solcher Schritt ihre Wirtschaft ruinieren würde. Die australische Regierung hat ihr eigenes Projekt mit der Bezeichnung „Die nationale Treibhausstrategie“ entwickelt. Das ist der Versuch, die Emissionen bis 2012 um nur 10,1 % zu senken, was den 8 % Steigerung gegenüber den Werten von 1990 entspricht, was man nach dem Kyoto-Protokoll hätte erreichen müssen, wenn man unterzeichnet hätte. Vor kurzem haben Australien, die USA und einige andere Länder der asiatisch-pazifischen Randgebiete, darunter Indien, China und Japan, in einer „Asiatisch-pazifischen Partnerschaft für eine saubere Entwicklung und ein sauberes Klima“ ihre Kräfte gebündelt, um dieses Thema vor allem durch technische Innovationen anzugehen. Die asiatisch-pazifische Partnerschaft steckt noch in den Kinderschuhen. Ermutigend ist jedoch der Nachdruck, mit dem man die durchgängige Änderung der technischen Paradigmen in Richtung Nachhaltigkeit angeht.

Für die meisten Mitgliedsstaaten wird es eine schwierige Aufgabe werden, ihre Zielstellungen entsprechend Kyoto zu erreichen, und einige Länder sind bereits darunter geblieben. So waren im Jahr 2002 in der EU Spanien und Portugal 40,5 % über den Werten von 1990. In Kanada, einem der ersten Länder, das unterzeichnet hat, sind die Emissionen seit 1990 um 20 % gestiegen, und man hat keinen klaren Plan, wie man die Zielstellung erreichen kann. Auch bei den Japanern herrscht Unklarheit darüber, wie sie ihre Zielstellung von 6 % bis 2012 erreichen sollen.

## 7 CO<sub>2</sub>-Sequestrierung im Beton

Das Phänomen der globalen Erwärmung erfordert mehr als einfach nur weniger Energie zu verbrauchen und weniger CO<sub>2</sub> zu produzieren. Wie Tim Flannery in seinem jüngsten Bestseller „The Weathermakers“ [6] zu Recht beklagt, braucht man ein Verfahren, mit dem es möglich ist, das bereits in der Atmosphäre befindliche CO<sub>2</sub> wieder zurückzuholen. Das erfordert eine Sequestrierung im sehr großen Maßstab bei geringen Kosten, um Konzentrationen von mehr als 450 ppm, was als absoluter Grenzwert weithin anerkannt ist, zu verhindern.

Verschiedene Autoren haben versucht, Stoffkreisläufe zu modellieren. Von besonderem Interesse ist der Kreislauf, in dem Gesteine entstehen bzw. wieder entstehen, da Karbonatsedimente viel CO<sub>2</sub>, aus früheren geologischen Epochen enthalten. Leider ist nur ungenügend bekannt, wie hoch die Ablagerungsraten von Karbonatsedimenten zur Zeit sind, obwohl Nähe-

ried by countries accounting for at least 55 % of 1990 carbon dioxide emissions. The key to ratification came when Russia, which accounted for 17 % of 1990 emissions, signed up to the agreement on 5<sup>th</sup> November 2004. Ratification of the agreement means Kyoto will receive support from participating countries that emit 61.6 % of carbon dioxide emissions.

Member countries have developed their own methods to meet targets. The EU for example has established quotas and a market to buy and sell credits. Unfortunately however some major emitters have not joined, making it difficult for resident companies to trade their credits. The official view in the US and Australia is that it would ruin their economies. The Australian government has developed its own scheme called “The National Greenhouse Strategy” that will attempt to reduce emissions by only 10.1 % by 2012, which is equivalent to the 8 % increase on 1990 levels it would have had to meet under Kyoto if it had signed. More recently Australia, the US and several other Asian Pacific rim countries including India, China and Japan joined forces forming the Asia Pacific Partnership on Clean Development and Climate that will take an approach led by technical innovation. It is early days for the Asia Pacific partnership. Encouraging is the emphasis on changing the technical paradigms towards sustainability.

It will be a difficult task for most of the member countries to meet their Kyoto targets and already nations are falling behind. Spain and Portugal in the EU were 40.5 % above 1990 levels in 2002. Canada, one of the first countries to sign, has increased emissions by 20 % since 1990, and they have no clear plan to reach their target. The Japanese are also uncertain about how they will reach their 6 % target by 2012.

## 7 CO<sub>2</sub> sequestration in concrete

The global warming phenomenon requires more action than simply using less energy and producing less CO<sub>2</sub>. As Tim Flannery laments in his recent best selling book “The Weathermakers” [6] what is needed is a process whereby we can get the CO<sub>2</sub> that is already in the atmosphere back out again. This requires sequestration on a very large scale at low cost to prevent levels going above 450 ppm widely agreed as the absolute limit.

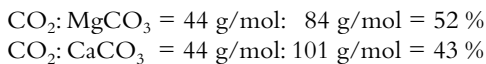
Various authors have attempted to model earth cycles. The cycle whereby rocks are made and remade is of particular interest as carbonate sediments contain much CO<sub>2</sub> from previous geological epochs. Unfortunately nobody yet has come up with current rates of carbonate deposition in rocks, although approximations of oceanic uptake have been developed as a result of CO<sub>2</sub> modelling.

Concrete is an ideal candidate for a sequestration role because of the huge tonnage involved (**Fig. 5**). Unfortunately when any alkali carbonate is decarbonated or calcined as in cement production, CO<sub>2</sub> is produced. This release is an inevitable consequence of the stoichiometry of the decarbonation reaction and it is essential therefore to consider how to capture the gas preventing it entering the atmosphere when making cement. This issue has been addressed for the manufacture of Eco-Cement. On the other hand when decarbonated metal oxides recarbonated, they absorb equally significant amounts of CO<sub>2</sub> presenting significant opportunities for sequestration.

rungrungswerte für die ozeanische Aufnahme für CO<sub>2</sub>-Modellierungen entwickelt wurden.

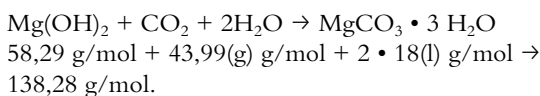
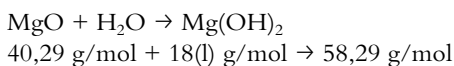
Beton ist wegen der gewaltigen Tonnage ein idealer Kandidat für die Bindung von CO<sub>2</sub> (Bild 5). Leider wird bei jeder Entsäuerung bzw. Kalzinierung von Alkalicarbonat CO<sub>2</sub> produziert, wie es bei der Zementherstellung der Fall ist. Diese Freisetzung ist eine unvermeidliche Konsequenz der Stöchiometrie der Entkarbonisierungsreaktion. Daher ist es wichtig, darüber nachzudenken wie man das Gas bei der Zementherstellung einfängt, bevor es in die Atmosphäre entweicht. Dieser Frage hat man sich bei der Herstellung von Ökozement angenommen. Andererseits absorbieren kalzinierte Metalloxide bei der Rekarbonisierung gleichermaßen beträchtliche Mengen von CO<sub>2</sub>, was beachtliche Möglichkeiten für eine Bindung von CO<sub>2</sub> schafft.

Bei sogenannten Ökozementen wird mehr CO<sub>2</sub> eingefangen als in Kalziumsystemen, da Magnesium ein geringes Molekulargewicht hat. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt pro Tonne ist größer, wie die nachstehenden Berechnungen zeigen.



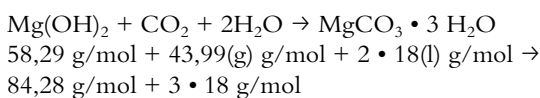
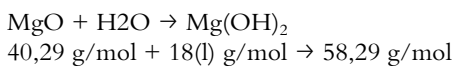
Kalk erfordert bei der Herstellung ebenfalls höhere Temperaturen als Magnesia. TecEco hat eine Reihe von neuen, leicht herzustellenden Zementen auf der Grundlage der Verwendung von Magnesia produziert. Im Folgenden werden die Möglichkeiten des Rekarbonisierungsmagnesiumoxids im Zement, der für die Herstellung von Beton verwendet wird, betrachtet. Nach Richard Haughton vom Woods Hole Institute gibt es folgende Gesamtströme im globalen Kohlenstoffkreislauf (Bilder 6 und 7):

Wenn Beton durch Nesquehonit (ein Magnesiumkarbonat, MgCO<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O) zusammengehalten wird, wie das beim Beton aus Ökozement der Fall ist, wie viel würden wir dann brauchen, um die globale Erwärmung umzukehren?

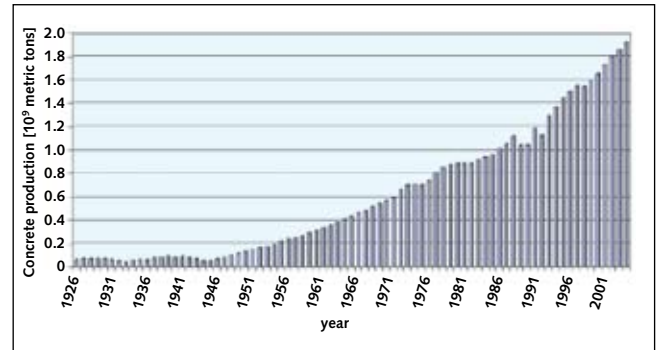


$$\text{MgCO}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O} : \text{CO}_2 = 138,28 \text{ g/mol} : 43,99 \text{ g/mol} = 3,14$$

Somit würden 12 Mrd. t CO<sub>2</sub> (s. Bild 7) 37,7 Mrd. t Nesquehonit als Bindemittel entsprechen. Das ist viel mehr als die gegenwärtige Zementproduktion beträgt. Das Problem würde also abgeschwächt, aber nicht gelöst. Glücklicherweise enthält Meerwasser eine fast unbegrenzte Menge an Magnesium. So lautet die Frage – wie viel Magnesiumkarbonat müsste abgelagert werden, um das Problem zu lösen [8]?



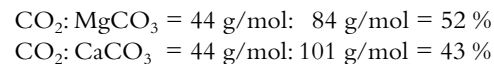
$$\text{MgCO}_3 : \text{CO}_2 = 84,28 \text{ g/mol} : 43,99 \text{ g/mol} = 1,91$$



5 Betonproduktion [7]

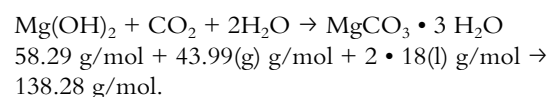
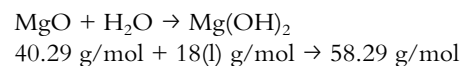
5 Concrete production [7]

More CO<sub>2</sub> is captured by so-called Eco-Cements than in calcium systems because magnesium has a low molecular weight. There is more CO<sub>2</sub> content per tonne as the calculations below show.



Lime also requires higher temperatures in manufacture than magnesia and TecEco have produced a range of new, easy to make cements based on using magnesia. The opportunities presented by the re-carbonation magnesium oxide in cement used to make concrete will now be considered. According to Richard Haughton at the Woods Hole Institute, total global carbon cycle flows are (Figs. 6 and 7):

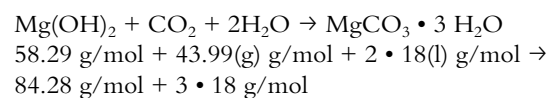
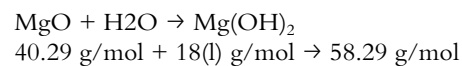
If concretes were held together by nesquehonite (a Mg-Carbonate, MgCO<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O) as in Eco-Cement concrete, how much would we need to use to reverse global warming?



$$\text{MgCO}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O} : \text{CO}_2 = 138.28 \text{ g/mol} : 43.99 \text{ g/mol} = 3.14$$

Thus, 12 billion tonnes CO<sub>2</sub> (see Fig. 7) would be equivalent to 37.728 billion tonnes of nesquehonite binder in concrete. This is much more than the current production of cement, so if all binders used in concrete were nesquehonite, the problem would be mitigated but not solved. Fortunately seawater has an almost unlimited supply of magnesium in it so how much magnesium carbonate would have to be deposited to solve the problem?

Could we take on the “permanent lifelong job of planetary maintenance engineer” [8]?



$$\text{MgCO}_3 : \text{CO}_2 = 84.28 \text{ g/mol} : 43.99 \text{ g/mol} = 1.91$$

Für 12 Mrd. t CO<sub>2</sub> müssen also rund 22,99 Mrd. t Magnesit mit einer Dichte von 3000 kg/m<sup>3</sup> abgelagert werden, was in etwa 7,63 km<sup>3</sup> entspricht.

Bei den mehr als 7 km<sup>3</sup> Beton, die wir jährlich herstellen, erscheint das Problem der globalen Erwärmung somit überwindbar. Wenn Magnesit der Baustoff unserer Wahl wäre und wir ihn ohne Freisetzungen herstellen könnten, hätten wir das Problem bereits so gut wie gelöst.

Das ist jedoch leider noch nicht der Fall, obgleich derzeit bereits durch den Einsatz von Magnesiumcarbonat als Bindemittel ein beachtlicher Unterschied zur Kohlenstoffbilanz erreicht werden kann. Andere Methoden zur Bindung von Kohlenstoff werden vom Autor an anderer Stelle diskutiert [9]. Dazu gehört auch das Greensols-Verfahren, mit dessen Hilfe Magnesium aus Meerwasser gewonnen wird.

**8 Aktivitäten zur Nachhaltigkeit**

Wenn der Energiefaktor reduziert wird, zahlt sich das wirtschaftlich aus - zum Teil kurzfristig und leicht zu erfassen, zum Teil längerfristig und schwieriger messbar. Tatsächlich gehen einerseits alle Verbesserungen hinsichtlich der Nachhaltigkeit Hand in Hand mit Energie-reduzierungen, und andererseits sind Reduzierungen im Energieverbrauch eng verbunden mit der Nachhaltigkeit sowie ökonomischen Vorteilen. Abgesehen von der Verwendung von Kohle und Abfallstoffen, gibt es viele Wege, wie die Nachhaltigkeit von Zement und Beton verbessert werden kann.

**8.1 Reduzierung der Nettoemissionen bei der Herstellung**

Die Nettoemissionen bei der Zementherstellung können auf vielfältige Weise reduziert werden. Gegenwärtig konzentriert man sich hauptsächlich auf eine Veränderung der Brennstoffbasis, eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Öfen und geringfügige Änderungen der Zusammensetzungen, wodurch die Temperatur der Kalzinierung gesenkt wird. Der Einsatz von alternativen Brennstoffen wird in der vorliegenden Arbeit im Einzelnen nicht behandelt. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass fossile Brennstoffenergie nur einen sehr kleinen Teil der gesamten Energie auf unserem Planeten darstellt [10], und dass der Einsatz von alternativen Brennstoffen und die Erhöhung des Wirkungsgrades das Ziel sein sollte.

Es gibt einige verlockende Möglichkeiten, alternative Energiequellen zu nutzen, darunter das „Anzapfen“ geothermischer Energie in der Tiefe oder die Nutzung der direkten oder indirekten Sonnenenergie. Ein neuer Ofen von TecEco wurde für eine größere Leistungsfähigkeit entwickelt sowie auch für den Einsatz alternativer Energiequellen, wie z. B. direkte Sonnenenergie zur Wärmeerzeugung mit Hilfe eines Solarkonzentrators oder Abwärme aus Industrieverfahren. Er kann auch angetrieben werden, indem Elektrizität aus anderen Quellen verwendet wird, wie z. B. Wind oder Wellen. Kalzinieren und Mahlen werden bei diesem System in einem Kreislaufsystem kombiniert, wodurch die Energie zur Zementherstellung um 25 bis 30 % gesenkt wird. Mit der Entwicklung neuer und besserer Thermomaterialien hofft man, dass diese Technologie schließlich auch für die Herstellung von Portlandzement eingesetzt werden kann.

Atmo-sphärische Atmospheric increase	=	Emissionen von fossilen Brennstoffen Emissions from fossil fuels	+	Netto-emissionen aus Veränderungen bei der Landnutzung Net emissions from changes in land use	-	Ozeanische Assimilation Oceanic uptake	-	Verlust in Kohlenstoff-senken Missing carbon sink
3.2 (±0.2)	=	6.3 (±0.4)	+	2.2 (±0.8)	-	2.4 (±0.7)	-	2.9 (±1.1)

6 Der Kohlendioxidkreislauf (in Mrd Tonnen)  
6 The carbon cycle (billion metric tons)

Atmo-sphärische Atmospheric increase	=	Emissionen von fossilen Brennstoffen Emissions from fossil fuels	+	Netto-emissionen aus Veränderungen bei der Landnutzung Net emissions from changes in land use	-	Ozeanische Assimilation Oceanic uptake	-	Verlust in Kohlenstoff-senken Missing carbon sink
11.69 (±0.2)	=	23.08 (±0.4)	+	8.02 (±0.8)	-	8.79 (±0.7)	-	10.62 (±1.1)

7 Der Kohlendioxidkreislauf (in Mrd Tonnen; Kohlendioxid abgeleitet aus der Kohlenstoffmenge, s. Bild 6)  
7 The carbon dioxide cycle (billion metric tons; Carbon dioxide converted from carbon)

12 billion tonnes CO<sub>2</sub> correspond to 22.99 billion tonnes magnesite, with a density of 3000 kg/m<sup>3</sup>.

Thus 22.9/3 billion m<sup>3</sup> ~ 7.63 km<sup>3</sup> of magnesite are required to be deposited each year. Compared to the over 7 km<sup>3</sup> of concrete we make every year, the problem of global warming looks surmountable. If magnesite was our building material of choice and we could make it without releases we would have the problem as good as solved.

Unfortunately this is not yet the case. In the meantime, by using Mg-carbonate as a binder as in Eco-Cements we can still make a significant difference to the carbon equation. Other methods of sequestering carbon to create solid building material are discussed elsewhere by the author [9] and these include the Greensols process which sources magnesium from seawater.

**8 Sustainability Initiatives**

Reducing the energy factor has economic payback, some short term and easy to grasp, the rest longer term and more difficult to measure. Virtually all improvements in sustainability have associated reductions in energy and reductions in energy have associated sustainability as well as economic benefits. Apart from incorporating carbon and wastes there are many other ways the sustainability of cement and concrete can be improved.

**8.1 Reducing net emissions from manufacture**

Net emissions from manufacture can be reduced in a number of ways. At the moment one is mainly focussing on changing the fuel base, increasing the efficiency of kilns and slight formulation changes that lower the temperature of calcining. The use of alternative fuels is not addressed in this paper in detail. It should be noted that fossil fuel energy is only a very small fraction of total energy on the planet [10] and that the objective should be to use alternatives as well as increase efficiency.



In den vergangenen Jahren ist der Anteil von Alit (Tricalciumsilikat) in den Zementen gestiegen, wozu hohe Temperaturen und viel Energie benötigt werden. Eine zukünftige Alternative, die für ein schnelleres Abbinden untersucht wird, ist ein größerer Anteil von Aluminatphasen und weniger Alit mit dem Vorteil geringerer Ofentemperaturen und eines geringeren Energieverbrauchs.

### 8.2 Alternative Rohmaterialien

Puzzolanhaltige Materialien, wie Flugasche und Schlacke, können Zement ersetzen. Studien [11, 12] haben gezeigt, dass Puzzolanerde, die freien Kalk (Portlandit) im Beton aufzehrt, zu einem Abfall des pH-Werts führen kann, was die Stabilität der CSH-Phase reduziert. Eine geringe Hydroxidionenkonzentration beschleunigt neben einer Reduzierung der Passivierung des Bewehrungsstahls potenziell die Entkalkung von CSH, was zu einem spröderen Beton führt.

In den so genannten Tec-Zementen von TecEco wird Portlandit generell durch die Puzzolanreaktion aufgezehrt und durch Brucit ersetzt, das für die Aufrechterhaltung der langfristigen Zufuhr von Hydroxidionen sorgt, wodurch die Entkalkung von CSH und die Entpassivierung des Bewehrungsstahls verhindert werden. Die TecEco Technologie unterstützt einen größeren Einsatz von puzzolanartigen Materialien aus dem Hauptgrund, dass die mit ihrer Verwendung verbundenen Probleme, wie die langsame Entwicklung der Frühfestigkeit und Schwierigkeiten bei der Vorarbeitung, im Wesentlichen überwunden werden. Mit der Zugabe von kleinen Mengen an Magnesia zum Transportbeton und zu dem Puzzolanerde enthaltenden Beton wird die Entwicklung der Frühfestigkeit verstärkt, und die Gelbildung erfolgt schneller, so dass vor Ort die Arbeit eher beendet werden kann. Die Alterungsbeständigkeit, das Schwinden und die Rissbildung werden ebenfalls durch die starke kosmotrope Wirkung des Magnesiumions positiv beeinflusst.

### 8.3 Reduktion des Zementanteils

Auch die Reduzierung der Zementmenge bei der Herstellung von Beton kann wirtschaftlich sinnvoll sein. Beton hat, in Abhängigkeit vom Zuschlagstoff, eine Dichte von 2350 kg/m<sup>3</sup>. Durch den Einschluss von Luft können Druckfestigkeiten von 10 MPa bei einer Dichte von 1000 kg/cm<sup>3</sup> erreicht werden. Bei einer Dichte von 1500 kg/cm<sup>3</sup> werden bereits 25 MPa mit Leichtigkeit erreicht. Aus unseren bisher durchgeführten Versuchen geht hervor, dass die Rezeptur von Tec-Zement die Festigkeit um etwa 5–10 % bei gleicher Masse erhöhen kann. Weiterer Vorteil des Lufteinschlusses ist eine bessere Isolierung. Auch eine bessere Teilchenpackung der Gesteinskörnung kann den Zementeinsatz verringern. Oftmals herrscht die Auffassung, dass ein Größenverhältnis von 3–4:1 für eine dichte Packung in hochfestem Beton optimal ist. Das trifft jedoch nur für perfekte Kugelpackungen zu. Bei gebrochenem Stein beträgt das Verhältnis eher 2,4:1 [13].

## 9 Ausblick

Beton spiegelt als Verbundwerkstoff die Eigenschaften seiner Komponenten wider. So haben als Zuschlagstoffe verwendete Materialien einen großen Einfluss. Kohlenstoffhaltige Materialien und Fasern (z. B. Holzfasern, Stroh, Zuckerrohr, Hanf, Guayule, Plastikschmitzel) haben gewisse Zugfestigkeiten und können so in Beton verwendet werden. Sie können sich positiv auf die Energiebilanz auswirken und dabei noch Baustoffe mit

There are several enticing possibilities discussed including tapping deep geothermal energy or using direct or indirect energy from the sun. A new kiln developed by TecEco is designed to be more efficient as well as use alternative energy sources such as direct solar thermal energy from a solar concentrator or waste heat from an industrial process. It can also be powered using electricity from sources such as wind or wave. Calcining and grinding in this system are combined in a closed system reducing by 25–30 % the energy used to make cements. With the development of new and better thermal materials it is hoped the technology will eventually be able to be used for the manufacture of Portland cement.

In recent years the proportion of alite (tri calcium silicate) has risen in cements requiring high temperatures and energy. A future alternative being explored for more rapid setting is a higher proportion of aluminate phases and less alite with the advantages of lower kiln temperatures and less energy.

### 8.2 Alternative raw materials

Using pozzolanic materials many of which are wastes such as fly ash and slags has the advantage of not only extending cement, thereby reducing its cost but decreasing the embodied energy and net emissions of the material as well. There is, however a little known downside. Studies [11, 12] have shown that pozzolans consuming free lime (Portlandite) in concretes could lead to a drop in pH reducing CSH-phase stability. Low hydroxide concentration, besides reducing passivation of the steel used in re-enforcements, potentially accelerates the decalcification of CSH resulting in more brittle concretes.

In so-called TecEco Tec-Cements, Portlandite is generally consumed by the pozzolanic reaction and replaced with brucite which maintains the long term supply of hydroxide ions preventing decalcification of CSH and de-passivation of steel reinforcing. The TecEco technology will encourage use of more pozzolanic materials for the main reason that problems associated with their use such as slow early strength development and difficulty in finishing are substantially overcome. With the addition of small proportions of magnesia to pre-mix concrete, including that containing pozzolans, early strength development is increased and gelling occurs more rapidly so that finishing crews can complete their job earlier. Durability, shrinkage and cracking are also positively affected by the strong kosmotropic effect of the magnesium ion.

### 8.3 Reduction of cement proportion

Reducing the amount of cement in concrete could make sense from an economical point of view. The density of concrete is in the order of 2350 kg/m<sup>3</sup>, depending on the type of aggregates. By including air a compressive strength of over 10 MPa at a density of about 1000 kg/m<sup>3</sup> can be achieved. At 1500 kg/m<sup>3</sup> even 25 MPa is easily achieved. From our experiments so far Tec-Cement formulations increase strength performance by around 5–10 % for the same mass. Another advantage is better insulation of such a material. Furthermore, a better particle packing of the aggregate can reduce the cement proportion. It is commonly thought a size ratio of 3–4:1 is good for dense packing in high-strength concrete. This is only true for perfect spheres however. For fractured stone the ratio is more like 2.4:1 [13].

speziellen Eigenschaften hervorbringen. Aber auch die Zusammensetzung und Reaktivität der verwendeten Bindemittel ist von Bedeutung. Durch partiellen Einsatz alternativer Bindemittel mit positiveren Energiebilanzen, wie z. B. reaktives Magnesia, kann ein effizienter Baustoff entstehen. Die Aussichten für zementartige Verbundstoffe sind somit spannend und geben Raum für technische Weiterentwicklungen auf verschiedensten Gebieten.

#### Literaturverzeichnis/Literature

- [1] Pearce, F.: "The Concrete Jungle Overheats." *New Scientist* (2007) (1997): pp. 14.
- [2] Campell, C.: "Association for the Study of Peak Oil & Gas Newsletter." from [http://en.wikipedia.org/wiki/Image:ASPO\\_2004.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:ASPO_2004.png). (2004, 24<sup>th</sup> April 2005)
- [3] Ball, J.: Exxon makes a cold calculation on global warming. *Wall Street Journal*. New York, Wall Street Journal (2005).
- [4] Campbell, C.: "Oil and Gas Liquids, 2004 Depletion Scenario." Retrieved 23<sup>rd</sup> November 2004, 2004, from <http://www.peakoil.net/uhdsg/Default.htm>, (2004).
- [5] Tucker, S.: "CSIRO on line brochure." Retrieved 1<sup>st</sup> January 2002, 2002, from <http://www.dbce.csiro.au/ind-serv/brochures/embodied/embodied.htm>, (2000).
- [6] Flannery, T.: *The Weather Makers*, Text Publishing, (2005).
- [7] *Microstructure of Solidified Waste Forms Symposium*, Oak Ridge, D. Lewis Publishers. USGS (2004): "Mineral Commodity Summary – Cement." (2004).

## 9 Outlook

Concretes are composites and their properties reflect their components. Alternative raw materials such as carbon containing fibres (wood fibres, straw, sugarcane, bagasse, kenaf, hemp, guayule, shredded plastic etc.) may have a certain tensile strength and could be used in concrete. They can have a positive effect on the energy or CO<sub>2</sub> balance and provide special characteristics. But also composition and reactivity of the binder is an important point. Partial replacement of cement with alternative binders that have better energy balances might be a solution. However, always the quality and stability of the building material must be secured. The future for cementitious composites thus is exciting, giving space for technical development at different levels.

- [8] Lovelock, J. E.; *Gaia: A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press, (1979).
- [9] Harrison
- [10] Houghton, R.: *Understanding the Global Carbon Cycle*, Woods Hole Institute, (2005).
- [11] Glasser, F. P.: *Chemistry of Cement Solidified Waste Forms. Chemistry and Microstructure of Solidified Waste Forms Symposium*, Oak Ridge, D. Lewis Publishers, (1992).
- [12] Taylor, H. F.W.: *Cement Chemistry*, Thomas Telford, (1997).
- [13] de Larrard, F.: *Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach*, E & FN Spon, (1999).