

**John Harrison**

TecEco Pty. Ltd., Glenorchy/Australia

## Nachhaltigkeit in der Zement- und Betonindustrie Teil 1

**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 1

**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 1

**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 1

**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.

### 1 Einleitung

Die Betontechnik hat sich traditionell hauptsächlich mit der Druckfestigkeit, der Alterungsbeständigkeit und anderen, weniger bedeutsamen Fragen, wie dem Schwinden und der Rissbildung, befasst. Zement ist das Bindemittel, das den Beton zusammenhält. Der naheliegende Grund, warum man beim Beton nach Verbesserungen sucht, ist, dass seine Herstellung rund 10% zur globalen Erwärmung beiträgt [1]. Vor dem Hintergrund des

### 1 Introduction

Concrete engineering has traditionally mainly been concerned with compressive strength, with durability and other issues such as shrinkage and cracking of lesser importance. Cements are the binders that hold together concretes. The obvious reason for examining them for improvement is that their manufacture contributes around 10 % to global warming [1]. Given the demand for more sustainable practices within the construction

Bedarfs an nachhaltigeren Praktiken in der Bauindustrie, der vor allem durch die globale Erwärmung und steigende Energiepreise sowie andere Faktoren, wie z. B. Fragen der Abfallwirtschaft, die eine weniger wichtige Rolle spielen, ausgelöst wurde, findet zur Zeit auf allen Ebenen eine ernsthafte Debatte statt.

Die drastischen Erhöhungen der Energiepreise werden sich fortsetzen. Derzeit stehen wir bereits kurz vor dem Peak der Ölproduktion (**Bild 1**). Daher ist es dringend, die Brenntechnik und Aspekte des Transports in der Zement- und Betonindustrie neu zu überdenken, wobei zu berücksichtigen ist, dass diese Industriezweige in hohem Grade von fossilen Brennstoffen abhängen. Außerdem gibt es bereits neue Technologien für Zement und Beton. Die so geschaffenen Baustoffe binden CO<sub>2</sub>-Kohlenstoff während ihrer Lebensdauer und zahlen so einen Teil der Kohlendioxidschuld zurück, die sie während ihrer Herstellung eingegangen sind. Kyoto bietet einen Anreiz, auf diese neuen Technologien umzusteigen. Die Arbeit der asiatisch-pazifischen Projektgruppe mit dem Schwerpunkt, technologische Verbesserungen zu erzielen, kann vielleicht den Mechanismus dazu beisteuern.

**2 Neue Definition der Nachhaltigkeit**

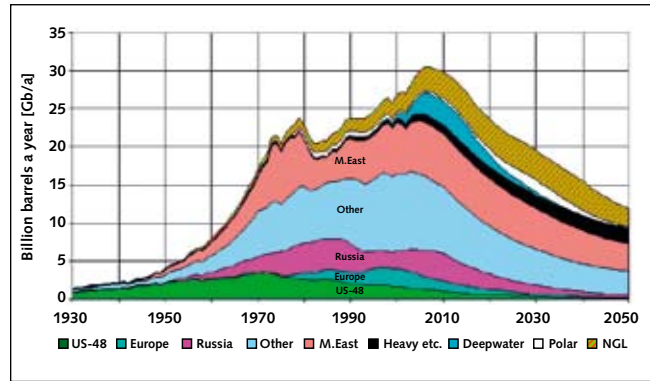
Das Konzept der Nachhaltigkeit setzt diese mit einer kontinuierlichen Leistungsfähigkeit gleich. Wenn ein Prozess kontinuierlich leistungsfähig sein soll, bedarf es dazu eines geschlossenen Kreislaufs. Der Zustrom des Materials zu dem Prozess sollte dabei unerschöpflich sein, und der Abfluss aus dem Prozess sollte an andere Verfahren angeschlossen sein. Prozesse mit erschöpfbaren Inputs bzw. nicht genutzten Outputs sind fortlaufend nicht nachhaltig. Die in der Bauindustrie verwendeten Materialien haben eine sehr große Auswirkung auf die Nachhaltigkeit. Ihre Produktion umfasst Änderungen in der Chemie oder Form und erfordert Prozessenergie. Die Logistik für die Positionierung von Materialien erfordert den Einsatz von Transportenergie. Prozess- und Transportenergie sind in die Materialien in ihrer Endposition eingeflossen. Die Eigenschaften der Materialien und die Art, in der sie räumlich angeordnet sind, definieren die Energien der Lebensdauer. Über 90 % des anthropogenen Energieeinsatzes hat die Freisetzung von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zur Folge. Auch bei der Herstellung von Baustoffen, z. B. bei der Zementherstellung und beim Kalkbrennen, wird prozessbedingt CO<sub>2</sub> freigesetzt.

**3 Energiezufuhr**

Das Energiemodell von Exxon Mobil, das auf gegenwärtigen Trends aufgebaut ist, sagt vorher, dass fossile Brennstoffe auch noch 2025 den Großteil zur Energieerzeugung in der Welt beitragen werden (**Bild 2**). Die meisten Modelle hinsichtlich Ölreserven, -produktion und -verbrauch weisen Spitzenwerte um das Jahr 2010 auf [4] sowie eine ernsthafte Minderversorgung und schnell eskalierende Preise bis 2025. Steigende Ölpreise werden auch Auswirkungen auf die Preise alternativer, fossiler Brennstoffe haben, wie z. B. Kohle, die gegenwärtig vorherrschende Energiequelle für den Ofenbetrieb. Daraus folgt, dass es für die Wirtschaft problematisch werden kann, wenn die Zement- und Betonindustrie keine Veränderungen an der Energiebasis ihrer Produkte vornimmt.

**4 Globale Massenströme**

Die gebaute Umwelt umfasst in einer Größenordnung von 70 % alle Materialströme, die nicht sofort zu Abfall werden, wie z. B.



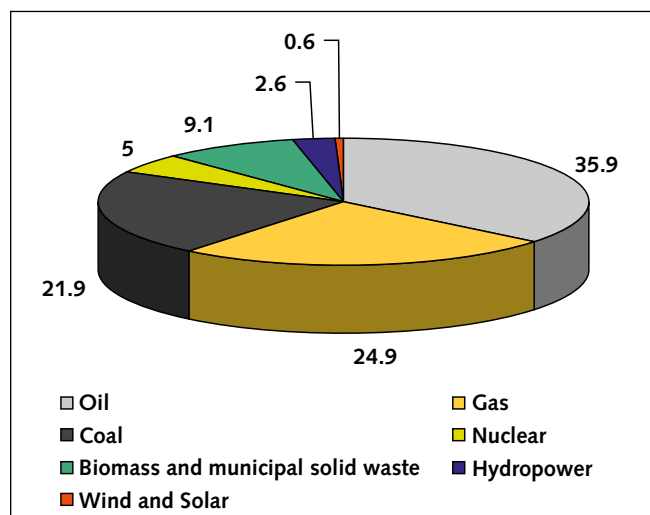
1 Höchststand in der Ölproduktion [2]  
1 Peak oil production [2]

industry brought mainly by global warming and rising energy prices with other factors such as waste issues playing a less dominant role, serious debate is now occurring at all levels.

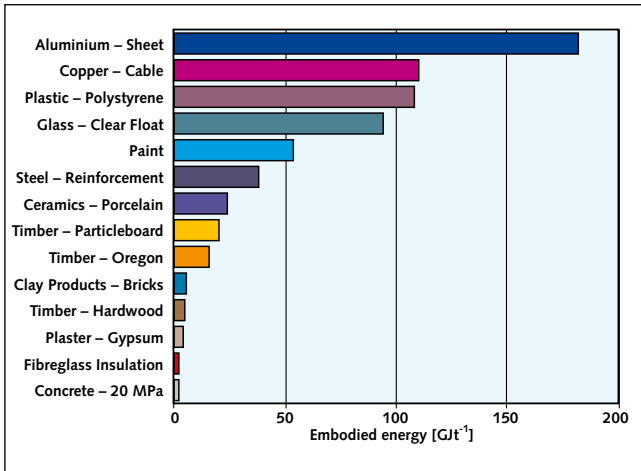
Massive energy price hikes will continue now we are reaching peak oil (**Fig. 1**). It is therefore becoming urgent to re-examine the pyroprocessing and transport aspects of the cement and concrete industries given that they are utterly dependent on fossil fuels. In addition, new technologies are emerging for cements and concretes that actually absorb carbon dioxide during their lifetime, thus repaying some of the carbon dioxide debt created during their manufacture. Kyoto provides an incentive to change to these new technologies. The Asia Pacific Task Force's emphasis on technological improvement may just provide the mechanism.

**2 Redefining sustainability**

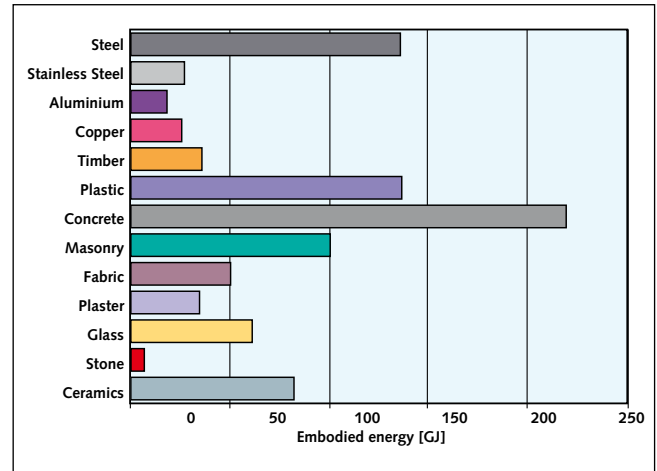
The concept of sustainability equates to continued viability. For a process to be continually viable it must be a closed loop system. The flow of materials into the process should be inexhaustible and the flows out of the process connect to other processes. Processes that use exhaustible inputs or unutilized outputs are unsustainable on an ongoing basis. Materials used in the construction industry have a huge impact on sustainability. Their production involves changes in chemistry or shape and



2 Exxon Mobile Energiemodell (Werte in %) [3]  
2 Exxon Mobil energy model (values in %) [3]



3 Graue Energie von Baustoffen [5]  
3 The embodied energy of building materials [5]



4 Die gesamte graue Energie von Baustoffen [5]  
4 The total embodied energy of building materials [5]

Bergbauabfall usw. Dabei entfällt mit ca. 15 Mrd. t der größte Anteil auf Beton. Anders ausgedrückt sind das mehr als 2 t pro Kopf und Jahr, womit Beton nach dem Wasser das am meisten verwendete Material auf der Erde ist. Beton wird mit Zement hergestellt, der zur Zeit in einer Größenordnung von ca. 2,2 Mrd. t/Jahr produziert wird. Obwohl es sich dabei um das bei weitem nachhaltigste Material in der Bauindustrie handelt, ist angesichts des Massenstroms das Erreichen von Verbesserungen in der Nachhaltigkeit von allergrößter Bedeutung.

Glücklicherweise gibt es noch genügend Raum für Veränderungen in der Betonindustrie, da der Pareto-Anteil<sup>1</sup> des Betons nicht aus Bauteilen im engeren Sinn besteht (Hausplatten, Bord- und Rinnsteine etc.) und daher relativ leicht anzupassen ist. Eine Veränderung wird auch die potenzielle Nachfrage nach einer breiteren Produktpalette stimulieren. In der vorliegenden Arbeit werden neue und holistische Ansätze bezüglich der Nachhaltigkeit im Zusammenhang mit der Betonindustrie definiert.

### 5 Energie und Emissionen

Maßnahmen zur Nachhaltigkeit von Baustoffen betreffen die graue Energie, die Energieflüsse während der Verwendung und Emissionen aller Art. Die graue Energie eines Bauprodukts, wie z. B. Beton, ist die gesamte Energie, die durch alle mit seiner Produktion im Zusammenhang stehenden Prozesse, vom Erwerb der natürlichen Ressourcen bis zur Lieferung, verbraucht wurde (Bilder 3 und 4). Dazu gehören der Bergbau, die Herstellung von Materialien und Ausrüstungen, der Materialtransport und sogar die in der Verwaltung verbrauchte Energie. Die graue Energie eines Materials wird normalerweise in GJ/t (MJ/kg) gemessen. Die graue Energie von Beton ist relativ gering und liegt bei etwa 2 GJ/t. Im Gegensatz dazu weist Aluminium die höchste graue Energie mit ca. 180 GJ/t auf. Bei der Betrachtung der gesamten grauen Energie im Bauwesen hat Beton auf Grund seines enormen Volumens den größten Anteil. Verbesserungen auf diesem Gebiet werden deshalb große Auswirkungen haben.

Energieflüsse, die während der Verwendung eines Baustoffes auftreten, sind bei weitem größer als graue Energien. Es han-

requires what is referred to as process energy. The logistics of positioning materials results in the use of transport energy. Process and transport energies are embodied in materials in their final position. The properties of materials and the way in which they are spatially designed define lifetime energies. Over 90 % of anthropogenic energy usage results in carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) releases and cement manufacture is unique in that there are also chemical releases of the gas during the clinkering process.

### 3 Energy supplies

The Exxon Mobil energy model which is based on current trends predicts fossil fuels will continue to provide the bulk of the world's energy in 2025 (Fig. 2). Most models of oil reserves, production and consumption show peak oil around 2010 [4] and serious undersupply and rapidly escalating prices by 2025. Rising oil prices will also impact on the price of alternative fossil fuels such as coal which is currently the predominant source of kiln energy. It follows that there will be economic mayhem unless the cement and concrete industry make changes to the energy base of their products.

### 4 Global mass flows

The built environment encompasses in the order of 70 % of all materials flows that are not immediately wasted (e.g. mining wastes etc.). Of this concrete is the major proportion at around 15 billion tonnes or over 2 tonnes per person per annum and the most widely used material on earth next to water. Concrete is made with cement with current production at around 2.2 billion t/a. Although a far more sustainable material than any other used in construction, given the flow the importance of achieving sustainability improvements is paramount.

Fortunately there is significant scope for change in the concrete industry because the Pareto<sup>1</sup> proportion of concrete is not structural (house slabs, curb and gutter etc.) and therefore relatively easy to adjust. Change will potentially also stimulate demand for a wider range of product. This paper defines new and holistic approaches to sustainability in the context of the concrete industry.

<sup>1</sup> Das Pareto-Prinzip besagt, dass 80 % von Wirkungen auf 20 % von möglichen Ursachen basieren. Durch Veränderung dieser 20 % können so maximale Verbesserungen erreicht werden.

<sup>1</sup> The pareto principle says that 80 % of effects are based on 20 % of possible causes. Thus, by changing those 20 % maximum improvements can be achieved.

delt sich dabei um mit dem Betreiben des Gebäudes zusammenhängende Energien, z. B. für Heizung, Kühlung und auch für Wartung und Austausch von Teilen. Daraus folgt, dass eine Optimierung zementartiger Verbundstoffe, die zu einer Reduzierung dieser Energieflüsse in Gebäuden führt, beachtliche Auswirkungen hat. Derartig – besonders bezüglich der Energiekosten – optimierte Baustoffe werden in Zukunft, einen wachsenden Marktanteil einnehmen. Eigenschaften, die die Energieflüsse eines Baustoffs während der Verwendung beeinflussen, umfassen die spezifische Wärmekapazität sowie eine geringe Leitfähigkeit. Letztere kann dadurch erreicht werden, indem Materialien mit geringer Leitfähigkeit als Zuschlagstoffe bzw. Füllstoffe verwendet werden.

### Ausblick

Teil 2 wird aufzeigen, wie der Baustoffsektor helfen kann, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

### Literaturverzeichnis/Literature

- [1] Pearce, F. (1997): "The Concrete Jungle Overheats." *New Scientist* (2097): 14.
- [2] Campell, C. (2004, 24<sup>th</sup> April 2005): "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).
- [3] Ball, J. (2005): Exxon makes a cold calculation on global warming. *Wall Street Journal*. New York, Wall Street Journal.
- [4] Campbell, C. (2004): "Oil and Gas Liquids, 2004 Depletion Scenario." Retrieved 23 November 2004, 2004, from <http://www.peakoil.net/uhdsg/Default.htm>.
- [5] Tucker, S. (2000): "CSIRO on line brochure." Retrieved 1<sup>st</sup> January 2002, 2002, from <http://www.dbce.csiro.au/ind-serv/brochures/embodied/embodied.htm>.

### 5 Energies and emissions

Measures of the sustainability of construction materials include embodied energy, lifetime energy and emissions of all kinds. The embodied energy of a building product such as concrete is the total energy consumed by all of the processes associated with its production, from the acquisition of natural resources to delivery (Figs. 3 and 4). It includes the mining, manufacturing of materials and equipment, transport of the materials and even the energy consumed in administration. The embodied energy of a material is usually measured in GJ/t (MJ/Kg). The embodied energy of concrete is relatively low at around 2 GJ/t. Aluminium by contrast has the highest embodied energy at around 180 GJ/t. When the total embodied energy in construction is considered however concrete makes the greatest contribution because of the enormous volume used. Improvements will therefore have a big impact. Lifetime energies are by far greater than embodied energies and are the energies associated with running a building and include for example heating, cooling and arguably maintenance and replacement. It follows that improvement in the properties of cementitious composites, that reduce the lifetime energies of buildings, have significant impact and given energy costs, increasing market share. Properties that influence lifetime energies include specific heat and low conductance, which can only be introduced by using as aggregates or filler materials with low conductance.

### Prospects

Part 2 will indicate how the building materials sector can help to reduce CO<sub>2</sub>-Emissions.