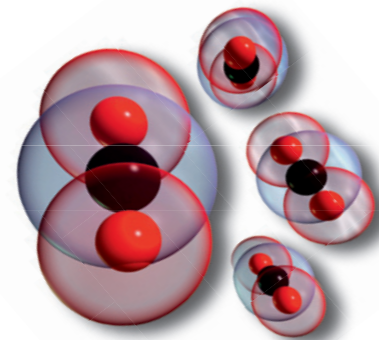


Der richtige Riecher

Mit einem neuen Zement und einem Mikrowellenofen für Faser-verbundwerkstoffe zeigt das KIT, dass auch in Produktionsprozessen in der Industrie noch riesige Energiesparpotenziale schlummern.



Klimaschädling: Ein CO₂-Molekül aus künstlerischer Sicht. Die schwarzen Kugeln stellen Kohlenstoff-, die roten Sauerstoff-Atome mit ihren Elektronenhüllen dar.

Wie erklärt man Laien eine komplizierte chemische Reaktion? Diese Frage hat sich offenbar auch Peter Stemmermann gestellt – und kam zu einer verblüffenden Antwort: mit Legosteinen. Der Leiter der Abteilung Mineralogie und Analytik am KIT stapelt bunte große Legosteine vor sich auf den Tisch. Gelbe, rote, blaue und grüne Klötze sind dabei. Vor allem auf die grünen Steine müsse geachtet werden, gibt Stemmermann als Tipp, bevor das Spiel beginnt. Der Mineraloge baut in Windeseile bunte Stapel, zerlegt sie wieder und kombiniert sie neu. Jeder Stapel steht für eine chemische Verbindung, jedes Aufbrechen und Zusammensetzen für eine chemische Reaktion. Am Ende stehen drei Legosäulen, die zusammen die chemische Formel für Portlandzement darstellen, dem meistverwendeten Baustoff der Welt. Das Problem: Daneben liegen drei grüne Klötze – „das Kohlendioxid“, sagt Stemmermann. Jetzt kombiniert der KIT-Forscher die Steine zu einer neuen Reaktion, an deren Ende „Celitement“, ein neuer Hochleistungszement, steht und bei der nur ein einzelnes grünes Klötzchen übrigbleibt.

Peter Stemmermanns Botschaft ist klar: Die zweite Reaktionsvariante ist eine Revolution in der Bauindustrie, weil dieser Zement weniger kalkreiche Rohstoffe verbraucht und bei der Herstellung nur rund die Hälfte an CO₂ ausstößt. Das ist dringend nötig. Denn während sich bei der Diskussion um CO₂-Emissionen und Klimawandel

alle auf Stromerzeugung und Verkehr eingeschossen haben, wird vergessen, dass die Zementindustrie für rund sechs Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes verantwortlich ist – drei- bis viermal so viel wie der Flugverkehr. Und die Produktion steigt rasant: von 1,9 Milliarden Tonnen Zement im Jahr 2000 auf 2,9 Milliarden Tonnen 2010.

Großverbraucher China und Indien

Einen großen Anteil daran haben Schwellenländer wie Indien und vor allem China, das mehr als die Hälfte des weltweiten Zements herstellt und verbraucht. Der Grund liege auf der Hand, meint Stemmermann: „Wenn ein Entwicklungsland zum Industrieland wird, baut es erst mal Infrastruktur und dazu braucht es Zement.“ Doch die Klimabilanz von Zement könnte sich künftig drastisch verbessern. Die Forscher bauen ihre Hoffnungen auf Celitement als Nachfolger klassischer Portlandzemente. Der Name steht sowohl für das neue Herstellungsverfahren, das Stemmermann mit den Legosteinen er-

von Bernd Müller

klärt hat, als auch für die Firma, die alle Entwicklungs- und Vermarktungsaktivitäten bündelt. Gesellschafter sind neben den Erfindern das KIT sowie der Baustoffhersteller Schwenk in Ulm. Am Ende werden rund 10 Millionen Euro in das Projekt geflossen sein. Wenn der Wunderzement in Massen auf dem Weltmarkt hergestellt wird, könnte ein Vielfaches davon zurückfließen. „Wir werden aber selbst keinen Zement produzieren“, sagt Hanns-Günther Mayer, der Geschäftsführer der Celitement GmbH ist und gleichzeitig im Innovationsmanagement des KIT das Business Development verantwortet. Stattdessen soll Celitement weltweit Lizenzen an Produzenten, Anlagenbauer und Zement-Anwender vergeben.

Dass bei der Herstellung von Celitement wesentlich weniger CO₂ entsteht, hat zwei Gründe: Zum einen werden weniger kalkreiche Rohstoffe verbraucht und zum anderen benötigt die Herstellung weniger Energie. Denn statt den Zementklinker bei 1400 Grad Celsius zu brennen und den Rohstoffen alles Wasser zu entziehen, enthält das neue Bindemittel einen Teil des für die Anwendung nötigen Wassers. Dass man Zement herstellen kann, indem man Wasser zugibt statt es zu entziehen, hat viele in der Fachwelt überrascht. „Deshalb ist vorher auch niemand drauf gekommen“, sagt Stemmermann.

Fast 1900 Jahre, seit dem Bau des Pantheons in Rom, nutzen Menschen Zement. Trotzdem diskutiert die Wissenschaft er-



Revolution unter der Alufolie: In einem kochtopfgroßen Spezialbehälter produziert Peter Stemmermann „Celitement“ – einen Zement, der die Bauindustrie mächtig aufmischen wird. Denn seine Herstellung verschlingt weit weniger Rohstoffe und belastet die Atmosphäre nur mit halb soviel klimaschädlichem Kohlendioxid wie die Produktion des bislang gebräuchlichen Portlandzements.

staunlich kontrovers über den Allerweltstoff, zum Beispiel was genau die Erhärtungseigenschaften von Zement bestimmt. Auch Peter Stemmermann biss sich 15 Jahre lang die Zähne an dieser Frage aus, bis er und sein Team 2006 ein entscheidendes Teil des Puzzles fanden – und geheim hielten. Denn wer die chemischen Vorgänge kennt, kann auch neue Herstellungsverfahren für Zement entwickeln und damit einen riesigen Markt völlig umkrempeln. 2008 wurden die stofflichen und verfahrenstechnischen Grundlagen von Celitement patentiert. Dass die Forscher am KIT den Wunderzement fanden, verdanken sie auch einer Portion Zufall. Viele vergebliche Versuche waren nötig, bevor eine Mixtur ins Schwarze traf. „Plötzlich gab es im Labor den typischen Geruch von Portlandzement“, erinnert sich Stemmermann. „Da wusste ich, dass wir was gefunden hatten.“ Wie bei vielen anderen technischen Fortschritten, muss auch

bei Celitement zunächst die Skalierung des Herstellungsprozesses vom Labormaßstab auf industrielle Mengen bewältigt werden. Die Versuchsanlage am KIT besteht derzeit aus einem Behälter von der Größe eines kleinen Kochtopfs, in dem das Pulver gerührt und erhitzt wird. Nur ein Kilogramm Celitement lässt sich darin pro Tag herstellen.

Sicherheit ist Trumpf

Als nächster Schritt geht Mitte 2011 am KIT eine Pilotanlage in Betrieb, die etwa 100 Kilogramm pro Tag produziert. Wenn das klappt, dürfte der großtechnischen Produktion nichts mehr im Weg stehen. Für 2014 plant der Industriepartner Schwenk dann die Errichtung einer industriellen Anlage mit rund 30000 Tonnen Jahresproduktion. Ab 2020 könnten Anlagen in Betrieb gehen, die für die Branche typische Mengen von bis zu einer Million Tonnen pro Jahr herstellen. Parallel dazu müssen auch die rechtlichen

Voraussetzungen für den praktischen Einsatz geschaffen werden. Denn Zement wird in vielen sicherheitsrelevanten Bauwerken eingesetzt, etwa als Bindemittel für Beton in Brücken und Gebäuden. So muss auch Celitement alle Normen und Prüfverfahren wie Portlandzement durchlaufen.

Schwellenländer wie Indien und China werden Celitement aber nur einsetzen, wenn es ökonomische Vorteile bringt. Die Chancen dafür stehen gut: Die Produktion ist in die bisherigen Anlagen zur Zementherstellung integrierbar und der Wunderstoff dürfte bei weiter drastisch steigenden Energiekosten auch bezüglich der Herstellungskosten zunehmend die Nase vorn haben. „Für diese Länder ist der ökologische Vorteil dann höchstens noch das Sahnehäubchen“, sagt Peter Stemmermann.

Für die Zementindustrie bietet der Designerzement viele weitere Chancen. Denn die Zusammensetzung von Celitement ist



Herr der Hitze: Lambert Feher hatte die Idee, faserverstärkte Kunststoffe (CFK) mithilfe von Mikrowellen auszuhärten. Das geht viel schneller und energiesparender als in einem herkömmlichen Ofen.

sehr variabel, es können verschiedene Rohstoffe und Mixturen verwendet werden, um Zemente mit ganz neuen Eigenschaften zu designen. So sind Mörtel und Betone auf Basis von Celitement wegen deutlich dichterem Porensystem wesentlich resistenter gegen Schadstoffe und Chemikalien als beim Einsatz herkömmlicher Zemente. Dies kann große Vorteile etwa bei der Errichtung von Klär- oder Biogasanlagen oder auch in stark belasteten Abwassersystemen haben. Oder man schäumt den Beton mit Luftporen auf und erhält einen Baustoff mit gleichzeitig hervorragenden Dämmeigenschaften.

Interessant ist die Tatsache, dass Celitement einen pH-Wert von etwa 11 entwickelt. Zum Vergleich: Portlandzement ist mit einem pH-Wert von 13 extrem alkalisch. Beides ist gut, weil über pH 9 der Zement die Stahlarmierungen im Beton gegen Korrosion schützt. Doch was gut für Stahl ist, muss nicht gut für andere Materialien sein. Beispiel Zellulose: Sie wird zersetzt, wenn Wasser aggressive Lauge aus Portlandzement freisetzt. Celitement aber würde Zellulose wegen des niedrigeren pH-Werts fast nicht angreifen. Das erlaubt neue Gedankenspiele: Bauteile könnten statt mit Stahl künftig mit Holz oder gar mit altem Zeitungspapier verstärkt werden. Das brächte Kostenvorteile und würde dem Betonbau die Nutzung nachwachsender Rohstoffe erschließen. All das will die Celitement GmbH ausloten. Dabei hilft die enge Anbindung ans KIT. „Viele Ausgründungen aus Forschungsinstituten haben das Problem, dass sie mit einem Mal vom Nachschub an Forschungserkenntnissen abgeschnitten sind“, sagt Peter Stemmermann. Celitement soll das nicht passieren. Stemmermann wird am KIT weiter zu neuen Mixturen und Anwendungen des Zements forschen und so für einen stetigen Innovationsfluss sorgen.

Eine ähnliche Strategie verfolgt Lambert Feher. Der Ingenieur war Leiter für industrielle Mikrowellentechnologien am KIT und lehrt seit neuestem Grundlagen der Faserverbundtechnologie und -prozessentechnik an der privaten Universität Stade. Die liegt im sogenannten CFK-Valley. Dort werden faserverstärkte Kunststoffe, kurz CFK, her-

gestellt und zwar vor allem für Flugzeuge des Airbus-Konzerns, der dort eine Produktion betreibt. Feher hatte sich 1996 in seiner Doktorarbeit eine Methode ausgedacht, um das Harz in Verbundwerkstoffen mit Mikrowellen zu härten. Das hatten andere Wissenschaftler schon in den 1960er-Jahren versucht, allerdings ohne Erfolg.

Mikrowellen in der Bienenwabe

Vor rund zehn Jahren startete Feher erste Versuche, 2004 baute er mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig den Prototyp eines Ofens mit der Form einer Bienenwabe. Diese sechseckige Geometrie erwies sich in Berechnungen und Experimenten als optimal für die Verteilung des elektromagnetischen Feldes. Das Feld ist so gestaltet, dass auch Metallteile im Ofen nicht stören – im Gegensatz zu Haushaltsmikrowellenöfen, wo zum Beispiel Aluschalen mit Tiefkühlkost Funken schlagen. Feher taufte den Ofen „Hephaistos“ – benannt nach dem griechischen Gott des Feuers und der Schmiede. Das Konzept bewährte sich und die Luftfahrtindustrie wurde aufmerksam. An verschiedenen Produktionsstandorten in Deutschland stehen mittlerweile die Mikrowellenöfen und beweisen ihre Tauglichkeit für die Serienproduktion, etwa bei GKN Aerospace in München, wo zwei Meter lange CFK-Teile gehärtet werden.

Airbus & Co setzen bei Bauteilen für Flügel und Rumpf verstärkt auf Faserverbundwerkstoffe, weil diese leichter sind als Metall und dennoch widerstandsfähig. Das spart Kerosin und erhöht die Sicherheit. Das herkömmliche Härten des Kunststoffs in Autoklaven erfordert jedoch hohe Drücke und Temperaturen und ist daher sehr teuer. Der Mikrowellenofen arbeitet dagegen fast ohne Druck bei 200 Grad Celsius. Dabei verbraucht er weniger Energie, denn wie bei der Tiefkühlkost in der Küche müssen die Mikrowellen nur das zu wärmende Objekt aufheizen, nicht den Ofen selbst. „Das spart in Vergleichsversuchen der EADS bis zu 80 Prozent Energie“, sagt Feher. Und es spart Zeit: Statt in fünf härtet das Bauteil in der Mikrowelle in weniger als zwei Stunden aus.

„Unterm Strich werden die Teile billiger sein“, verspricht Feher. Noch werden die Bauteile von Hand in den Ofen geschoben, doch das soll künftig automatisch und schneller gehen. Aber das ist nicht



Wirkungsvolle Wellen aus der Wabe: In dem riesigen Mikrowellenofen lassen sich selbst große Platten aus CFK-Material effizient und ungestört stählen.

der Grund, warum Hephaistos noch nicht in der Luftfahrt-industrie eingesetzt wird. Die Bauteile an Flügeln oder Rumpf sind sicherheitskritisch und ein neues Herstellungsverfahren muss erst nachweisen, dass es eine ausreichende Haltbarkeit liefert.

Sportwagen mit CFK-Spoiler

Auch Automobilhersteller müssen Gewicht reduzieren, um Sprit zu sparen. Daher werden auch in Autos Faserverbundwerkstoffe Einzug halten – vielleicht schneller als in Flugzeugen, glaubt Feher. In der Laborhalle am KIT, wo einige Prototypen von Hephaistos stehen, hängt ein Spoiler aus CFK für die nächste Generation des Porsche 911. Der Stuttgarter Sportwagenbauer war neugierig und lässt das Verfahren testen. So sollte die Frage geklärt werden, ob der Kunststoffspoiler auch unter ästhetischen Gesichtspunkten mit der Blechvariante mithalten kann. Die Teile sehen in jedem Fall sehr edel aus. Und so wird die Serienproduktion vorbereitet. Porsche ist zudem einer von neun Partnern, die im Projekt „Leichtbau – innovative modulare Mikrowellentechnik“ des Bundesforschungsministeriums unter Federführung des KIT-Instituts für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik die Nutzung der Hephaistos-Entwicklung vorantreiben. Für die Autoindustrie interessant könnte



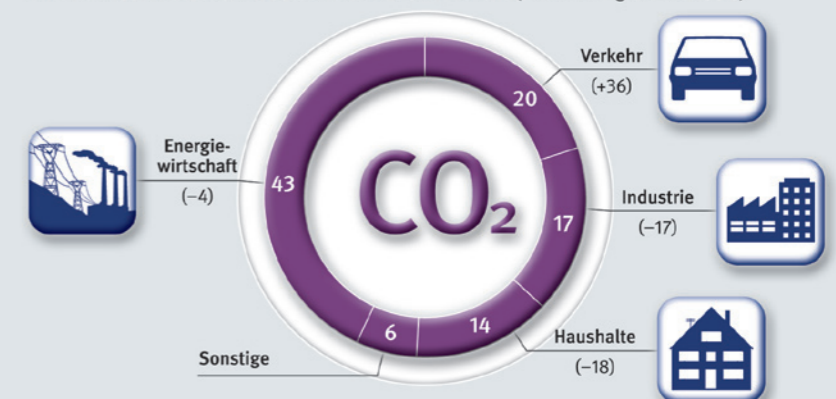
Am Drücker der Werkstoff-Zukunft: Mitarbeiter des KIT steuern von einem Rechnerpult aus die Hephaistos-Anlage. Die energiesparende neue Technologie soll den leichten und robusten faserverstärkten Kunststoffen zum Durchbruch verhelfen – zum Beispiel im Flugzeug- und Automobilbau.

auch Fehers neueste Entwicklung sein: Bleche fürs Auto werden mit heißen Pressen verformt, was auch bei Kunststoffen geht. Doch heiße Pressen benötigen teure Formwerkzeuge. Feher kam auf die Idee, Pressen mit Mikrowellensendern zu bauen, die das Werkstück formen, es aber mit Mikrowellen erhitzen. Das Werkzeug besteht aus Keramik, weil diese die Strahlung der Mikrowellenresonatoren durchlässt, Metall wäre dazu nicht geeignet. Eine erste Test-

anlage ist schon fertig. Wie bei Celitement dürfte auch Hephaistos zu einem finanziellen Erfolg des KIT werden. Denn die Karlsruher haben alle wichtigen Verfahren patentiert und können so Lizenzentnahmen erzielen. Und wie beim Wunderzement wollen sie den Innovationsstrom nicht abreißen lassen. Deshalb möchte Feher nach seinem Wechsel nach Stade weiterhin mit dem Team am KIT zusammenarbeiten, um weitere Anwendungen zu erschließen.

DER KREIS DER CO₂-PRODUZENTEN

Anteil am CO₂-Ausstoß in Deutschland 2008 in Prozent (und im Vergleich zu 1990)



Der größte Teil des emittierten Kohlendioxids stammt aus der Energieerzeugung. Es folgt der Verkehr, dessen Beitrag seit 1990 kräftig gewachsen ist. Dagegen stoßen vor allem Industrie und private Haushalte inzwischen deutlich weniger CO₂ aus als vor 20 Jahren.

bw-Gratik; Quelle: Statistisches Bundesamt