



**Kiesel Bauchemie GmbH & Co KG
Wolf-Hirth-Str. 2
73730 Esslingen**

Vorhaben:

„Entwicklung eines sehr umweltverträglichen Fugensystems auf Basis von Tonerzement zur Substitution umweltschädlicher Epoxydharzgebundener Fugensysteme“

**Abschlussbericht über ein FuE-Projekt,
gefördert unter dem Aktenzeichen AZ 30490 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

von:

**Dr. Matthias Hirsch
Tel. 0711/93134-345
Mail: hirsch@kiesel.com**

Esslingen, den 30.06.2013

Projektkennblatt

der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	30490	Referat	21/2	Fördersumme	55.000,00 €
----	--------------	---------	-------------	-------------	--------------------

Antragstitel	Entwicklung eines sehr umweltverträglichen Fugensystems auf Basis von Tonerdenzement zur Substitution umweltschädlicher Epoxydharzgebundener Fugensysteme
---------------------	--

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
9	02.07.2012	31.03.2013	--

Zwischenberichte	alle 6 Monate Kurzbericht
------------------	---------------------------

Bewilligungsempfänger	Kiesel Bauchemie GmbH & Co KG Wolf-Hirth-Str. 2 73730 Esslingen	Tel	0711/93134-130
		Fax	0711/93134-175
		Projektleitung	Herr Dr. Matthias Hirsch
		Bearbeiter	Herr Jörg Horn

Kooperationspartner***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Ziel des Vorhabens ist es, ein umweltverträgliches Fugensystem auf der Basis von Tonerdenzement (Aluminatzement) zu entwickeln. Mit Hilfe des neuen Systems können die umweltschädlichen Epoxydharzsysteme gebundener Fugensysteme substituiert werden. Ein weiterer Effekt der Substitution ist die signifikante Senkung des Energieverbrauchs sowie die Schonung natürlicher Ressourcen in der Baustoffindustrie.

Das Umweltproblem liegt bei der noch hohen Verwendung von Epoxydharzen als Bindemittel bei Fugenarbeiten. Die Synthese von Epoxydharzen ist sehr rohstoff- und energieintensiv. Fugen-EP-Systeme sind nicht dauerhaft umweltschädlich, sondern belasten bei ihrer Herstellung und Verarbeitung die Umwelt. Die Gefahrenstoffkennzeichnung von Epoxydharzsystemen bewegt sich von ätzend, gesundheitsschädlich, bis zu R-Sätzen, die ein Selbstbedienungsverbot im Verkauf zur Folge haben. Diese Deklaration der Stoffe geht einher mit einer aufwendigen Entsorgung der Epoxydharze. Bei einer Gesamtbetrachtung ist der gesamte Komplex Epoxydharze sehr Umwelt belastend.

Die neue CAC-Flexfuge wird an diesen Problemen ansetzen und eine umweltverträgliche Alternative aufzeigen. Der Herstellungsprozess des neuen Produktes ist weniger rohstoff- und energieintensiv. Die Gefahrenstoffkennzeichnung bei der Flexfuge beschränkt sich auf die Einstufung „reizend“. Das ist eine weitaus weniger umweltschädliche Einstufung als bei den Epoxydharzen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Folgende Arbeitsschritte werden durchgeführt:

- AP 1: Abstimmung der Verarbeitbarkeit
- AP 2: Volumenfüllung der Fugen + Viskositätsprofil
- AP 3: Chemikalienbeständigkeit
- AP 4: Besiedlungsprüfung
- AP 5: Prüfung Reinigungsfreundlichkeit und Praxisrobustheit
- AP 6: Redesign und Dokumentation

Ergebnisse und Diskussion

Die neue „royal“ Fuge kann auf den Eigenschaften der Vorläuferfuge HBF aufbauen. Die Praxisrobustheit ist erfüllt. Darüber hinaus erschließt sie den bisher nicht erreichten Flexfugenbereich. In Kombination mit einer Biofilmresistenz ist sie mit diesem Eigenschaftsprofil üblichen Epoxydharzfugen überlegen. Hier müsste man, um gleich zu ziehen, auf problematische organische Biozide zurückgreifen.

Die Grenzen der Beständigkeit sind starke Mineralsäuren. Dieser Bereich bleibt bis auf Weiteres den EP-Systemen vorbehalten. Im üblichen Bereich mit Standard-Kalkreiniger ist die Beständigkeit gegeben. Hier ist die neue CAC-Flexfuge (royal) mit der Resistenz gegen Biofilme sogar noch besser als übliche Epoxydharzfugen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann davon ausgegangen werden, dass zwischen 65 bis 75% der bisherigen Epoxydharzfuge durch die neuartige CAC-Flexfuge ersetzt werden können. Auf Basis der Produktionsmenge der Fa. Kiesel Bauchemie für das Jahr 2011 in Höhe von 63 t würden dadurch zwischen 40,95 t und 47,35 t der Epoxydharzfuge durch die umweltverträglichere CAC-Flexfuge substituiert. Als Anwendungsbereiche kommen Brauereien, Molkereien oder auch Schwimmbäder in Frage, wo die Anforderungen hinsichtlich der Chemikalienbeständigkeit nicht so hoch sind. Dadurch ist der Einsatz der Epoxydharzfuge aufgrund der dort auftretenden geringeren Chemikalienbelastung nicht zwingend erforderlich.

Was die Reduktion des CO₂-Ausstoßes durch die neuartige CAC-Flexfuge angeht, so kann auf Basis der oben genannten Substitutionsmengen der CO₂-Ausstoß um Werte zwischen 1.016.827,8 kg und 1.173.262,86 kg pro Jahr verringert werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Wir haben die „royal“ Fuge inzwischen der Presse und der Öffentlichkeit in Fachzeitschriften vorgestellt. Es wurde eine Säuretestbox erarbeitet. An gefertigten Normprismen einer Standardfuge im Vergleich zur „royal“ Fuge kann mit einem (sauren) Kalkreiniger das sogenannte Carbonataufschäumen im Versuch den Kunden demonstriert werden.

Fazit

Das Projektziel konnte erreicht werden. Auch wirtschaftlich wollen wir die „royal“ Fuge vom Start einen hohen Stellenwert geben. Wir haben mit sofortiger Wirkung alle Servoperl „Normal-Flex-Fugen“ aus der Produktion genommen, welche alle ein Carbonataufschäumen zeigen. Der Nachfolger ist ausschließlich die CAC-Flexfuge „royal“. Wir versprechen uns damit eine gesteigerte Nachhaltigkeit und eine geringere Reklamationsrate in der Praxis. Das Konzept, dass bei einem gewissen Mehrpreis im Vergleich zu einem Standfugenmörtel ein annähernd vergleichbares Leistungsspektrum wie bei einer Epoxydharzfuge gegenüber steht, wird offensichtlich von den Kunden sehr gut angenommen. Dabei ist die Biofilmresistenz ein in der Praxis immer wichtigeres Thema und wird zusätzlich gerne angenommen.

Inhaltsverzeichnis:

Projektkennblatt	2
1.1 Kurzfassung des Gesamtvorhabens	2
Hintergrund	2
Aktuelle Problemstellung	2
1.2 Projektvorhaben/ Umweltrelevanz	3
Stand der Technik in der industriellen Herstellung von Epoxydharzen (Fugen-EP-Systeme).....	3
Marktsituation	4
Darstellung der grundlegenden Idee.....	4
Ergebnisse eigener Vorarbeiten	4
Zielspezifikationen des Vorhabens und Umweltproblematik.....	5
Erläuterung des Lösungskonzeptes/ Lösungsweges.....	6
Modellcharakter des vorgesehenen Lösungsweges	6
Umweltentlastung	7
Inhaltliche Änderung / Laufzeitverlängerung	9
2. Darstellung der Arbeitsschritte	10
2.1. AP1: Abstimmung der Verarbeitbarkeit	10
2.2. AP 2: Volumenfüllung der Fugen + Viskositätsprofil.....	10
2.3. AP 3: Prüfung Chemikalienbeständigkeit	10
2.4. AP 4: Besiedlungsprüfung	11
2.5. AP 5: Prüfung Reinigungsfreundlichkeit und Praxisrobustheit.....	11
2.6. AP 6: Redesign und Dokumentation	11
3. Ergebnisse und Diskussion	12
3.1. AP1: Abstimmung der Verarbeitbarkeit	12
3.2. AP 2: Volumenfüllung der Fugen + Viskositätsprofil.....	12
3.3. AP 3: Prüfung Chemikalienbeständigkeit	12
3.4. AP 4: Besiedlungsprüfung	12
3.5. AP 5: Prüfung Reinigungsfreundlichkeit und Praxisrobustheit.....	13
3.6. AP 6: Redesign und Dokumentation	13
3.7. Zusammenfassung	16
4. Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation	16
5. Fazit	16

1.1 Kurzfassung des Gesamtvorhabens

Das Projekt befasst sich mit der Entwicklung einer CAC-Flexfuge für Fugen > 10mm sowie besonders zw. 1-10mm. Diese Neuentwicklung ist eine Weiterentwicklung der HBF-Fuge (Hochbelastungsfuge) und ist dieser u.a. in den Bereichen Flankenhaftung, Chemieresistenz überlegen. Bei der Entwicklung dieses neuen Fugentyps wird auch der Aspekt der umweltverträglichen Produktion in den Vordergrund gestellt. Der neue Fugentyp soll den alten Typen auch in diesem Bereich überlegen sein.

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung einer neuen, innovativen CAC-Flexfuge. Die neue CAC-Flexfuge wird eine Weiterentwicklung der HBF-Fuge (Hochbelastungsfuge) auf Basis von Aluminatzement sein. Sie wird daher ohne die Beimischung von Portlandzement auskommen und besitzt keine OPC-Empfindlichkeit. OPC beschreibt die Empfindlichkeit des Materials gegenüber Säure. Die Säurebeständigkeit des Materials gilt für 2%-ige Phosphorsäure und die Beständigkeit gegenüber reiner Zitronensäure. Säurebeständige Zuschläge können aus Quarz, Cristobalit, Korund, kristallwasserhaltigen Aluminiumoxiden oder aus Tonerden bestehen.

Hintergrund

Die CAC-Flexfuge ermöglicht ganz neue Anwendungsmöglichkeiten. Die Flexfuge kann für Fugenbreiten von 1-10mm verwendet werden. Durch die Zugabe von Kunststoffen kann die Flankenhaftung erheblich verbessert werden. Es handelt sich um ein 1-Komponentenmaterial statt eines üblich eingesetzten 2-Komponentenmaterials.

Neben den neuen Anwendungsmöglichkeiten steht auch die gesteigerte Umweltverträglichkeit, im Vergleich zu den bisherigen Epoxydharzsystemen, beim Herstellungsprozess im Vordergrund des Vorhabens.

Aktuelle Problemstellung

Das bisher verwendete Fugenmaterial (vor allem Epoxydharzfugenmaterial) hat als Grundlage den Portland-Zement. Die Hauptbestandteile von Zement sind Silikate, Aluminate und Ferrate.

Ein Problem bei der Herstellung von Portlandzement ist der hohe Verbrauch von natürlichen Rohstoffen. Teilweise konnte dieser Verbrauch durch Kompositzemente reduziert werden. Bei Kompositzementen handelt es sich um Stoffe, bei denen Klinker im Zementherstellungsprozess durch andere Zuschlagstoffe zu gewissen Anteilen ersetzt werden. Ein weiteres Problem bei der Herstellung von Portlandzement bleibt aber der relativ hohe Ausstoß an CO₂ in die Umwelt. Über die letzten Jahre konnte die CO₂-Emissionen der Zementindustrie gesenkt werden konnten. Es gibt aber dennoch enorme Einsparpotenziale.

Diese können durch ein neues CAC-Flexfugenmaterial realisiert werden. Das neue CAC-Flexfugenmaterial verwendet als Basis nicht den Portlandzement, sondern Tonerdenzement. Tonerdenzemente sind Calciumaluminatzemente, deren Klinker aus Bauxit und Kalkstein bestehen. Die Herstellung von Calciumaluminatzement ist umweltfreundlicher als der Herstellungsprozess von Portlandzement.

Calciumaluminat sind Verbindungen von Calciumoxid (oder Calciumhydroxid) und Aluminiumoxid (oder Aluminiumhydroxid) von unterschiedlicher Zusammensetzung. Die verschiedenen Tonerzemente unterscheiden sich durch ihr unterschiedliches Verhältnis von Calciumoxid zu Aluminiumoxid:

Bisher wurden als Bindemittel nicht CAC sondern Epoxydharzsysteme verwendet. Bei den Epoxydharzsystemen sind, im Vergleich zu den mineralisch dominierten Systemen, alle organischen Bindemittel fossilen Ursprungs.

1.2 Projektvorhaben/ Umweltrelevanz

Stand der Technik in der industriellen Herstellung von Epoxydharzen (Fugen-EP-Systeme)

Bei der industriellen Herstellung von Fugensystemen werden bisher noch überwiegend Epoxydharze verwendet. Das Vorprodukt von Epoxydharzen wird in der Regel aus der Umsetzung von Epichlorhydrin mit multifunktionellen Alkoholen, Aminen oder Carbonsäuren gewonnen. Räumlich vernetzte Epoxydharze entstehen durch Addition organischer Verbindungen R-H (z.B. Alkohole, Carbonsäureanhydride, Amine, Amide) an die Epoxydgruppen des Vorprodukts.

Das häufigste industriell hergestellte Epoxydharz ist das Produkt der Polyaddition aus Bisphenol-A und Epichlorhydrin.

Viele positive Eigenschaften erklären die hohe Verwendung von Epoxydharzen in der Industrie:

- Epoxydharze lassen sich bei Raumtemperatur oder in der Wärme zu duroplastischen Produkten härten; der Reaktionsschwund ist gering. Da hierbei keine molekularen Substanzen abgespalten werden, können diese Harze bei normalem Druck verarbeitet werden.
- Der geringe Reaktionsschwund und die Polarität der Epoxydharze gewährleisten eine ausgezeichnete Adhäsion auf Metallen, Keramik, Glas und anderen Werkstoffen.
- Die Epoxydharze besitzen gute physikalische, mechanische und elektrische Eigenschaften. Ihr konstantes Verhalten innerhalb eines großen Temperaturbereiches sowie bei der Wärmealterung ist bemerkenswert. Wertvoll ist auch ihre weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber Säuren, Alkalien, Lösungsmitteln und Wasser.
- Epoxydharze können in einem großen Bereich der Viskosität zwischen flüssig und fest hergestellt werden; darüber hinaus kann ihre Viskosität durch den Zusatz von reaktiven Verdünnern, von Weichmachern oder von Füllstoffen erniedrigt oder erhöht werden. Die große Zahl der zur Verfügung stehenden Härtungsmitteln erlaubt es, den Härtungsverlauf bei verschiedenen Temperaturen zu beschleunigen oder zu verzögern.

Die Eigenschaften der verschiedenen Epoxydharze werden durch die Zusammensetzung der Komponenten bestimmt. Die Chemikalienbeständigkeit hängt u.a. auch vom Härter ab. Epoxydharze sind nicht beständig gegen starke Säuren oder starke Laugen, Ammoniak, Aceton, Ester und Ketone.

Bei Epoxydharz-Produkten (z.B. Fugen-EP-Systeme) wird das Epoxydharz üblicherweise in zwei Komponenten geliefert, die vom Anwender gebrauchsfertig zu mischen sind. Die „A-Komponente“ enthält meist das Epoxydharz und die „B-Komponente“ den Härter, der in einem vorbestimmten Mischungsverhältnis dem Epoxydharz zugegeben ist.

Marktsituation

Der bisherige Markt für Fugensysteme wird von Fugen-EP-Systemen dominiert. Damit haben Epoxydharze den größten Anteil am Gesamtmarkt. Die Firma Kiesel Bauchemie hat im Geschäftsjahr 2011 ca. 63 Tonnen Epoxydharzfugenmaterial am betreffenden Markt verkauft. Dies entspricht einem Marktanteil von 15%. Der Gesamtmarkt an Epoxydharzfugen hatte somit ein Volumen von 420 Tonnen. Der Markt wird über längere Sicht konstant bleiben und somit auch die Menge an Epoxydharzen, die zur Herstellung der Fugen-EP-Systeme benötigt wird.

Die neue CAC-Flexfuge wird somit einen bisher noch nicht vorhandenen Nischenmarkt bedienen. Der Bedarf an einem solchen Produkt ist aber groß, da viele Kunden und Anwender eine umweltverträgliche Alternative mit gleich guten Eigenschaften, wie die bisherigen Fugen-EP-Systeme, wollen. Diesen Nischenmarkt füllt die CAC-Flexfuge komplett aus, da es bei keinem Wettbewerber Verfahrensansätze in diese Richtung gibt.

Darstellung der grundlegenden Idee

Die grundlegende Idee besteht in der Substitution von Fugen-EP-Systemen (reaktive, organische Oxiranprepolymere, die mit Amidoaminen vernetzt sind) durch die neue CAC-Flexfuge. Die neue Fuge ist säurebeständiger als die alten EP-Systeme und bietet im Herstellungsprozess eine umweltverträglichere Alternative zu den bisherigen Epoxydharzsystemen.

Bei der Herstellung von Fugen-EP-Systemen werden natürliche Ressourcen wie Erdöl oder Erdgas benötigt. Durch die Neuentwicklung der CAC-Flexfuge könnten diese endlichen Ressourcen eingespart werden und damit ein erheblicher Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet werden.

Bei der Herstellung von Epoxydharzen mittels Polyaddition werden die Chemikalien Epichlorhydrin und Bisphenol-A verwendet. Beide Chemikalien haben negative Auswirkungen auf die Umwelt. Epichlorhydrin ist giftig, krebserzeugend und sensibilisierend. Bisphenol-A ist reizend und die gesundheitlichen Gefährdungen für den Menschen werden seit Jahren kontrovers diskutiert.

Durch den Einsatz der neuen CAC-Flexfuge wird die Herstellung von Epoxydharzen mittels Polyaddition unter Verwendung der oben genannten Chemikalien hinfällig. Die umweltgefährdenden Stoffe wären im Herstellungsprozess der CAC-Flexfuge nicht mehr erforderlich. Der gesamte Herstellungsprozess von Epoxydharzen bzw. Fugen-EP-Systemen ist mit umweltgefährdenden Aspekten behaftet und diese Aspekte könnten durch den neuen Herstellungsprozess aufgehoben werden.

Ergebnisse eigener Vorarbeiten

Bezüglich des Projektes „Entwicklung eines sehr umweltverträglichen Fugensystems auf Basis von Tonerzement (Aluminatzement), zur Substitution umweltschädlicher Epoxydharz-gebundener Fugensysteme (Ersatzreaktive,

organische Oxiranprepolymere) zur signifikanten Senkung des Energieverbrauches sowie Schonung natürlicher Ressourcen in der Baustoffindustrie“ hat die Firma Kiesel Bauchemie bereits Vorarbeiten geleistet.

Bei der Fa. Kiesel Bauchemie wird schon seit Jahren in der Produktion von Fugen-EP-Systemen mit den Epoxydharzen gearbeitet. Mit Hilfe dieser Erfahrung sowie der vorhandenen Produktionsstätten konnten bereits erste Erfahrungen mit einer Hochbelastungsfuge auf Basis von Aluminatzement gesammelt werden. Diese Vorform der CAC-Flexfuge kommt in der Herstellung bereits ohne Zusatz von Portlandzement aus.

Die CAC-Fuge HBF kann nur einen kleinen Teil der Fugen-EP-Systeme ersetzen, weil starke Einschränkungen in Fliesenarten und Fugenbreiten bestehen. Weiterhin ist nur ein geringer Besiedlungsschutz gegen Mikroorganismen gegeben. Sie ist beständig gegen Zitronensäure und 2%ige Phosphorsäure. Die Besiedlung der Prüfkörper erfolgte nach 1 Woche nach Impfung im Brutschrank.

Zusätzlich zur Neuwicklung der Vorform wurden bereits folgende Vorarbeiten von der Firma Kiesel Bauchemie zur besseren Einschätzung der Machbarkeit der CAC-Flexfuge geleistet:

- Bestimmung des Kornaufbaus bezüglich des Einbringens in kleine Fugen
- Auswahl Besiedlungsschutz: Zugabe eines additiven Silberiodids gegen die Bildung eines Biofilms
- Kunststoffmodifizierung: Vorauswahl für die Flankenhaltung in Kombination mit dem Erreichen moderner Emissionsanforderungen (VOC)
- Summe des Zusammenspiels aller Komponenten um die EMICODE: EC1+ Anforderungen zu erreichen.

Das Unternehmen ist durch seine Erfahrungen im Bereich der Entwicklung und der Herstellung von Spachtelmassen und Dispersionsklebstoffen der richtige Ansprechpartner, um in diesem Markt neue innovative Ideen zu entwickeln und voranzubringen.

Zielspezifikationen des Vorhabens und Umweltproblematik

Ziel des Vorhabens ist es, ein umweltverträgliches Fugensystem auf der Basis von Tonerdenzement (Aluminatzement) zu entwickeln. Mit Hilfe des neuen Systems können die umweltschädlichen Epoxydharzsysteme gebundener Fugensysteme substituiert werden. Ein weiterer Effekt der Substitution ist die signifikante Senkung des Energieverbrauches sowie die Schonung natürlicher Ressourcen in der Baustoffindustrie.

Das Umweltproblem liegt bei der noch hohen Verwendung von Epoxydharzen als Bindemittel bei Fugenarbeiten. Die Synthese von Epoxydharzen ist sehr rohstoff- und energieintensiv. Fugen-EP-Systeme sind nicht dauerhaft umweltschädlich, sondern belasten bei ihrer Herstellung und Verarbeitung die Umwelt. Die Gefahrstoffkennzeichnung von Epoxydharzsystemen bewegt sich von ätzend, gesundheitsschädlich, bis zu R-Sätzen, die ein Selbstbedienungsverbot im Verkauf zur Folge haben. Diese Deklaration der Stoffe geht einher mit einer aufwendigen

Entsorgung der Epoxydharze. Bei einer Gesamtbetrachtung ist der gesamte Komplex Epoxydharze sehr Umwelt belastend.

Die neue CAC-Flexfuge wird an diesen Problemen ansetzen und eine umweltverträgliche Alternative aufzeigen. Der Herstellungsprozess des neuen Produktes ist weniger rohstoff- und energieintensiv. Die Gefahrstoffkennzeichnung bei der Flexfuge beschränkt sich auf die Einstufung „reizend“. Das ist eine weitaus weniger umweltschädliche Einstufung als bei den Epoxydharzen.

Die neue CAC-Flexfuge hat somit Substitutionscharakter für die Epoxydharze. Sie ist in allen wesentlichen Punkten umweltverträglicher und Ressourcen schonender als die herkömmlichen Epoxydharzfugen.

Die neue CAC-Flexfuge wird ab 3 mm Fugenbreite mit allen Fugenarten einsetzbar sein. Die Flankenhaftung ohne Abriss mit Steingutfliessen soll ab 3 mm Fugenbreite erfolgen. Die Besiedlungsresistenz erfolgt über 4 Wochen nach Impfung im Brutschrank.

Die chemisch-technischen Eigenschaften nach EN 13888 mit den EN 12808 Prüfnormen sollen wie folgend dargestellt ausfallen:

- Steigerung der Biegezugfestigkeiten nach Trockenlagerung auf $> 4,0 \text{ N/mm}^2$
- Nach Frost-Tau-Lagerung sollen die Werte nicht unter $4,0 \text{ N/mm}^2$ fallen.
- Bei den Druckfestigkeiten werden nach den beiden Lagerungsarten $> 35 \text{ N/mm}^2$ angestrebt
- Die Wasseraufnahme soll nach 30 min $< 0,6 \text{ g}$ sein. Nach 210 min sollen $< 0,8 \text{ g}$ erzielt werden
- Der Abrieb soll mit trockener und gewaschener Platte $< 100 \text{ mm}^3$ liegen

Erläuterung des Lösungskonzeptes/ Lösungsweges

Es soll ein völlig neuartiger Produktionsprozess im Gegensatz zum bisherigen entwickelt werden. Durch das neue Verfahren werden weniger Prozessschritte benötigt, da es nun möglich sein wird, die CAC-Flexfuge Energie sparender und Ressourcen schonender herzustellen als die bisherigen Fugen-EP-Systeme. Es werden reaktive, organische Oxiranpolymere, die mit Amidoaminen vernetzt sind (EP-Systeme), ersetzt. Bei dem Ersatz handelt es sich um ein Trockenfeinmörtelsystem, das sich im Vergleich mit dem Flüssig-EP-System auch wesentlich einfacher lagern, dosieren und mischen lässt. Der Herstellungsprozess erfordert nur einen Trockenmischer mit Mischzeiten kleiner 2 Minuten. Längere Mischzeiten oder Dispergierprozesse wie bei EP-Systemen sind zur Herstellung nicht erforderlich.

Modellcharakter des vorgesehenen Lösungsweges

Durch das neue Produktionsverfahren wird es möglich sein, umweltverträgliche CAC-Flexfugen für den Markt herzustellen. Diese können die Fugen-EP-Systeme ersetzen und somit umweltschädliche Aspekte im Herstellungsprozess substituieren. Es gibt am Markt zwar schon vergleichbare Produkte, aber nicht mit den neuen, innovativen Eigenschaften der CAC-Flexfuge.

Das Unternehmen PCI hat am Markt ein Fugenmörtel namens „Geofug“ etabliert. Der Fugenmörtel besitzt eine nahezu selbstreinigende Oberfläche und eine gute Beständigkeit gegen saure Haushaltsreiniger. Das Produkt ist, nach eigenen Angaben des Unternehmens, photokatalytisch und wirksam gegen bestimmte Schimmelpilze. Quantifizierte Analyseergebnisse können jedoch nicht bereitgestellt werden. Somit ist der tatsächliche Nutzen fraglich.

Das Unternehmen SOPRO Bauchemie GmbH hat als Mitbewerber den Fugenmörtel SOPRO DF 10 am Markt eingeführt. Das Produkt ist kalkschleierfrei, wasser- und schmutzabweisend und besitzt eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen saure Reiniger sowie einen erhöhten Schutz gegen Schimmelpilze und Mikroorganismen. Hier kann auf dieselben Nachteile wie bei PCI verwiesen werden.

Das neu zu entwickelnde Fugensystem auf der Basis von Aluminatzement (CAC-Flexfuge) ist am Markt bisher noch einzigartig und stellt somit eine Innovation am Markt für Fugensysteme dar.

Erwartete Verbesserungen im Produktionsverfahren:

- Kein Einsatz von umwelt- und gesundheitsgefährdenden Chemikalien mehr im Produktionsprozess → verbesserter Gesundheitsschutz für die Mitarbeiter in der Produktion
- Ressourcenschonende, neue Produktionsverfahren → Kosteneinsparung
- Energiesparende, neue Produktionsverfahren → Kosteneinsparung.

Umweltentlastung

Der größte Vorteil der neunten CAC-Flexfuge liegt in der Einsparung von Epoxydharzen. Der Herstellungsprozess der neuen Fuge ist weniger energie- und rohstoffintensiv als die Herstellung von Fugenbinder auf der Basis von Epoxydharzen. Die Epoxydharzsysteme haben meist den doppelten Rohstoffeinstand, durch energieintensive reaktive, organische Prepolymere. Pro kg reinem [Bindemittel](#) werden ca. 145 MJ Energie benötigt.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den sehr energieintensiven Herstellungsprozess von Epoxydharzen:

Tabelle 1: Energieaufwand für die Herstellung verschiedener Bindemittel (Quelle: www.wecobis.de)

	Dispersions-Klebstoffe	Kleister	Lösemittel-Klebstoffe	Polyurethan-Klebstoffe	Epoxydharz-Klebstoffe
Bindemittel/ Hilfsstoffe MJ/kg]	80-120	20-30	80-120	100-110	140-150
Lösemittel [MJ/kg]	50-80	-	50-80	50-80	50-80
Füllstoffe [MJ/kg]	1-5	1-5	1-5	1-5	5-10
Wasser [MJ/kg]	< 0.1	< 0.1	-	-	-
Klebstoff- Produkte [MJ/kg]	30-50	3-8	50-70	60-80	95-115

In Summe liegen die EPD-Kennwerte (Umweltproduktdeklaration) eines abgeschätzten Epoxydsystems ca. 3 bis 3,5 Mal höher, als bei der geplanten säurebeständigen CAC-Flexfuge.

Die CAC-Flexfuge wird als „reizend“ eingestuft, durch die bei der Verarbeitung gegebene mittlere Alkalität von Tonerdezementen. Das Epoxydharzsystem hat im Vergleich dazu weitergehende Kennzeichnungen: Ätzend, Gesundheitsschädlich, R-Sätze, die ein Selbstbedienungsverbot im Verkauf zur Folge haben. Einige chemische Produkte unterliegen der Chemikalien-Verbotsverordnung und dürfen nur an gewerbliche Verarbeiter und nicht an private Endverbraucher verkauft werden. Diese Einschränkung gilt auch für Epoxydharze mit einer R-Kennzeichnung wie z.B. (R 21, R 34, R 35, R 38, R 40, R 42, R 43, R 66).

Tabelle 2: Gefahrstoffkennzeichnung von Epoxydharz Produkten (Quelle: www.wecobis.de)

GISBAU Produkt-Codes Epoxydharz-Produkte				
wasser- verdünnbar	nicht wasserverdünnbar			
Dispersionen < 5%	lösemittelfrei ≤ 0.5%	lösemittelarm ≤ 5%	lösemittelhaltig >5%	
<u>RE 0</u>	<u>RE 1</u>	<u>RE 2</u>	<u>RE 2.5</u>	<u>RE 3</u>
reizend	gesundheits- schädlich, ätzend, sensibilisierend	gesundheits- schädlich, ätzend, sensibilisierend	gesundheits- schädlich, reizend	gesundheits- schädlich, reizend, sensibilisierend

Alle Epoxydharz-Klebstoffe können im nicht ausgehärteten Zustand in Gewässern längerfristig schädliche Wirkung haben. Sie sind je nach Rezeptur schädlich bis giftig für Wasserorganismen.

Eng verbunden mit der Gefahrstoffkennzeichnung ist auch die Frage der Entsorgung. Ausgehärtete Produktreste zählen nicht zu Sonderabfall. Nicht ausgehärtete Produktreste zählen zu Sonderabfall sowie Gebinde mit nicht ausgehärteten Produktresten. Die Entsorgung von Sondermüll ist aufwendig und teuer.

Im Jahr 2011 hat die Kiesel Bauchemie ca. 63 Tonnen Epoxydharzfugen verkauft. Das entspricht einem Marktanteil von ca. 15 %.

Einen Großteil der 63 Tonnen könnte die CAC-Flexfuge abdecken und die Epoxydharzfugen substituieren. Es ist somit möglich Epoxydharz einzusparen und mit dem neuen Produkt einen großen Schritt in Richtung umweltverträgliche Fugensysteme zu gehen.

Berechnungsansatz zur möglichen CO₂ Einsparung bei der Fa. Kiesel (Annahme):

Verkauf Epoxydharzsysteme 2011 durch Fa. Kiesel: 63.000 kg
Energieansatz: 145 MJ/kg = 40,31 kWh

Vereinfachter Ansatz des Energieverbrauchs (Herstellung):

$63.000 \text{ kg pro Jahr} \times 40,31 \text{ kWh/kg} = 2.539.530 \text{ kWh pro Jahr}$

Der Emissionsfaktor für den Strombezug aus deutscher Energieerzeugung kann bei aktuell bestehendem Energiemix auf 0,616 kg/kWh angesetzt werden (Quelle: Umweltbundesamt).

Tabelle 3: Gesamtmenge der möglichen CO₂-Ersparnis

Energieträger	Menge	Einheit	Gesamtmenge CO ₂ - Äquivalente inkl. Vorkette
Strom	2.539.530,00	kWh	1564350,48 kg
Heizöl		l	0,00 kg
Erdgas		m ³	0,00 kg
Flüssiggas		l	0,00 kg
Diesel		l	0,00 kg
Benzin		l	0,00 kg
Holzpellets		kg	0,00 kg

Summe: 1564350,48 kg

Auf Basis der gewählten Berechnungsansätze und den Bezug der angegebenen Quellen kann eine Reduktion des CO₂ Ausstoßes in Höhe von 1.564.350,48 kg pro Jahr alleine bei der Fa. Kiesel, durch Substitution der Epoxydharzsysteme erfolgen.

Die, mit vereinfachtem Ansatz, berechnete Energieersparnis basiert auf der Annahme der Herstellung des „neuen“ Fugensystems auf Basis von Tonerzement mittels regenerativen Energiequellen.

Inhaltliche Änderung / Laufzeitverlängerung

Es waren keine inhaltliche Änderungen bzw. keine Laufzeitverlängerung erforderlich.

2. Darstellung der Arbeitsschritte

2.1. AP1: Abstimmung der Verarbeitbarkeit

Bei diesem Schritt geht es um die Erarbeitung „optimaler“ Abbindezeiten des Materials, den Wasserfaktor sowie die Einschlammbarkeit des Materials (Stichwort: Rheologieprofil) in der Fuge. Das Fließverhalten ist hier von entscheidender Bedeutung.

2.2. AP 2: Volumenfüllung der Fugen + Viskositätsprofil

- Erarbeitung eines gemeinsamen Versuchskonzeptes
- Festlegung der Testkriterien
- Auswahl geeigneter Konzeptionen
- Durchführung umfangreicher Testreihen
 - Schwindungsverhalten
 - Einfallstellen
 - Oberflächenstörungen
- Statistische Auswertungen

Ziel ist das Erreichen einer Volumenfüllung der betreffenden Fuge ohne signifikante Volumenverluste. Das „Mitreißen“ des Materials aus der Fuge soll verhindert werden. Ein mögliches Viskositätsprofil soll für die Praxis, mit möglichen Wasserfaktorbereichen, entwickelt werden.

2.3. AP 3: Prüfung Chemikalienbeständigkeit

- Erarbeitung eines gemeinsamen Versuchskonzeptes
- Festlegung der Testkriterien
- Auswahl geeigneten Konzeptionen
- Durchführung umfangreicher Testreihen
 - mit verschiedenen Chemikalien
 - Abzeichnungen auf der Oberfläche
 - Oberflächenstörungen
- Ermittlung der Anwendungsgrenzen
- Statistische Auswertungen

Die Chemikalienbeständigkeit der CAC-Flexfuge wird in diesem Teilschritt getestet. Die Tests werden aller Voraussicht nach durch das Hygiene-Institut des

Ruhrgebietes mit Sitz in Gelsenkirchen durchgeführt. Geprüft wird nach der DIN EN 12004 für Fliesenkleber. Eine mögliche Zertifizierung durch das Institut ist nicht ausgeschlossen.

2.4. AP 4: Besiedlungsprüfung

- Auswahl geeigneter Prüfkörper und Konzeptionen
- Durchführung umfangreicher Testreihen
 - mit verschiedenen Probekörpern
- Ermittlung der Anwendungsgrenzen
- Statistische Auswertungen

In diesem Schritt werden durch die Kiesel Bauchemie hergestellte Mörteltestscheiben mit Bakterien und Pilzen behandelt. Es wird die Widerstandsfähigkeit des Mörtels gegen diese Schadorganismen getestet. Die Prüfung wird zusammen mit den Biozidlieferanten durchgeführt.

2.5. AP 5: Prüfung Reinigungsfreundlichkeit und Praxisrobustheit

- Auswahl geeigneter Prüfkörper und Konzeptionen
- Durchführung umfangreicher Testreihen
 - mit verschiedenen Probekörpern
- Ermittlung der Anwendungsgrenzen
- Statistische Auswertungen

Es wird ein HBF-Belastungstest gegen Auswaschen durchgeführt. Beim Test werden die CAC-Flexfugen mit einem Hochdruckreiniger in einem dafür eigens eingerichteten Testraum behandelt. Der Test wird durch die Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart ausgeführt und dokumentiert. Eine Zertifizierung durch die MPA Stuttgart ist möglich.

2.6. AP 6: Redesign und Dokumentation

- Durchführung abschließender Versuche
- Feinoptimierung zu finalem Produkt
- Berücksichtigung von Langzeittests
- Qualitätssicherungskonzept
- Ökonomische und ökologische Bewertung
- Analyse und Festlegung offener Entwicklungsinhalte
- Erstellung Projektdokumentation

- Erstellung Abschlussbericht
- Erstellung Abschlussbewertung technisch und wirtschaftlich

Das neue Produkt soll am Markt präsentiert werden und die Kundenresonanz soll ausgewertet werden. Bei möglichen Beanstandungen soll das Produkt nachgebessert werden.

Der gesamte Entwicklungsprozess muss hinreichend dokumentiert werden, um mögliche Serienproduktionen des Produktes gewährleisten zu können.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. AP1: Abstimmung der Verarbeitbarkeit

Die Verarbeitbarkeit des CAC-Fugenmörtels in Serie ist der Fuge des Mitbewerbers SOPRO, DF 10, deutlich überlegen. Dies Ziel wurde uns bei verschiedenen Praxistestes mit Verarbeitern, Gutachtern und Außendienstmitarbeitern bestätigt. Es wurde die einheitliche Oberfläche des Fugenbildes hervorgehoben. In den Praxisflächen zeigten sich, wie das Materialkonzept erwarten lässt, keine Kalkschleiereffekte oder „scheckige“ Fugenfarben.

3.2. AP 2: Volumenfüllung der Fugen + Viskositätsprofil

Das Rheologieprofil der CAC-Flexfuge ist so optimiert, dass Einschlämbarkeit, Abwaschbarkeit, Fugenbreitenbereich, und Volumenfüllung den besten Fugenmörtelsystemen entsprechen. Die Eignung für praktisch jedes Belagsmaterial ist gegeben. Es sind nur die üblichen Einschränkungen bei bruchrauen Naturstein zu machen. Hier muss gegebenenfalls eine Fughilfe verwendet werden. Dies ist mörteltypisch und dem Verarbeiter bekannt. In diesem Bereich wären EP-Fugensysteme gar nicht verwendbar.

3.3. AP 3: Prüfung Chemikalienbeständigkeit

Die Prüfung der Chemikalienbeständigkeit ist erfolgt und in der Beständigkeitstabelle im beigefügten Merkblatt (als pdf) „Servoperl royal 06 2013“ zusammengefasst. Es konnten alle Beständigkeiten der Vorläuferfuge HBF bestätigt werden. Die verwendeten Polymere zur „Flexibilisierung“ der Fuge sind in diesem pH-Bereich hydrolysestabil.

3.4. AP 4: Besiedlungsprüfung

Der mineralische Besiedlungsschutz gegen die Bildung und Aufbau von Biofilmen wurde von unserem Biozidlieferanten Thor/Speyer untersucht und als mindestens gleichwertig mit üblichen organischen Bioziden für den Filmschutz nachgewiesen. Es wurde dafür die Fuge testweise mit OIT (Oktylisothiazolinon) in hoher Konzentration zum Vergleich versehen. Der beigefügte Prüfbericht zeigt noch Einzelheiten. Im Vergleich zum OIT ist das Besiedlungsschutzmineral nicht migrierfähig, wird nicht ausgewaschen und wird in das oxidische CAC Bindemittel integriert. Es ist damit langzeitbeständig.

Der Prüfbericht ist als pdf „Royal-biofilm“ beigefügt.

3.5. AP 5: Prüfung Reinigungsfreundlichkeit und Praxisrobustheit

Die hierfür angestrebten mechanischen Festigkeiten konnten erreicht oder übertroffen werden. Die wichtigen Biegezugfestigkeiten liegen nach Frost-Tau-Lagerung $> 6 \text{ N/mm}^2$. Bei Normallagerung werden ca. 8 N/mm^2 erreicht. Die Druckfestigkeiten sind im erwarteten Bereich von 30 N/mm^2 nach beiden Lagerungsarten. Die weiteren Prüfungen nach EN 13888 haben die beste Klasse Klasse CG 2 WA ergeben. Die Prüfung aus Dampfstrahlerbeständigkeit in einer internen Vergleichprüfung mit der Vorläuferfuge HBF, zeigt die Gleichwertigkeit mit dieser schon langjährig bewährten Hochbelastungsfuge. Abschließend wurde die sogenannte Holzspatelabriebfestigkeit bei Technikumstestflächen mit unterschiedlichem Belagsmaterial bestätigt. Auch in diesem wichtigen Praxistest ist die Abriebbeständigkeit gegeben.

3.6. AP 6: Redesign und Dokumentation

Unser beiliegendes Merkblatt zur jetzt Servoperl royal genannten CAC-Flexfuge fasst die Dokumentation aller Parameter zusammen. Die Fugenfamilie teilt sich in 20 langsam abbindende unterschiedliche Farben und 12 verschieden farbige Schnellsysteme. Je nach gewünschter Farbe waren unterschiedliche Mengen an Verzögerern zur Einstellung der Verarbeitungszeit erforderlich. Dies bedeutet, dass die CAC-Flexfuge mit ihren ca. 30 Varianten jeweils einzeln auf die Verarbeitungszeiten für die jetzig laufende Serienproduktion eingestellt wurde. Es zeigte sich, dass höhere Pigmentmengen in den meisten Fällen auch höhere Verzögerungsmengen erfordern.

Das gefundene Ablagerungsverhalten ist als gut zu bezeichnen. Es findet nur eine sehr langsame Ablagerung des CAC-Flexmörtels mit der Lagerdauer statt. Die ausgelobten Lagerzeiten können problemlos gewährleistet werden. Entsprechende Mörtel auf Portlandzementbasis sind 2-3 mal weniger lagerstabil und zeigen die entsprechende Verlängerung der Erhärtungszeit.

Qualitätsprüfung des Materials in der Großserie: Neben den üblichen Parametern für ein Mörtelsystem in der Produktkontrolle wurde ein Ultraschallmeßsystem zur Erfassung der Abbindeparameter zur Geschwindigkeitseinstellung und Prüfung der Festigkeiten eingeführt. Dies war erforderlich, weil das Mörtelsystem während der ersten Phase der Erhärtung keine thermische Reaktion zeigt. Das Verarbeitungszeitende ist nur rheologisch zu erkennen. Hier ist Messung der Schallgeschwindigkeit im Ultraschallbereich die geeignete Meßmethode.

In den verlegten Flächen mit Testkunden wurde die Praxisrobustheit bestätigt. In Großflächen konnte problemlos die wichtige Holzspatelabriebfestigkeit gefunden werden. Es bestätigten sich hier auch die angestrebte einheitliche Fugenbild und die hervorragend feine Fugenmörteloberfläche. Die Erprobung der CAC-Flexfuge ist in den Abbildungen 1 bis 4 dargestellt:



Abb. 1: Praxistest: Einschlämmen



Abb. 2: Praxistest: Fugenkreuz



Abb. 3: Praxistest: Abwaschen



Abb. 4: Praxistest: ausgefliestes Bad

3.7. Zusammenfassung

Die neue „royal“ Fuge kann auf den Eigenschaften der Vorläuferfuge HBF aufbauen. Die Praxisrobustheit ist erfüllt. Darüber hinaus erschließt sie den bisher nicht erreichten Flexfugenbereich. In Kombination mit einer Biofilmresistenz ist sie mit diesem Eigenschaftsprofil üblichen Epoxydharzfugen überlegen. Hier müsste man, um gleich zu ziehen, auf problematische organische Biozide zurückgreifen.

Die Grenzen der Beständigkeit sind starke Mineralsäuren. Dieser Bereich bleibt bis auf Weiteres den EP-Systemen vorbehalten. Im üblichen Bereich mit Standard-Kalkreiniger ist die Beständigkeit gegeben. Hier ist die neue CAC-Flexfuge (royal) mit der Resistenz gegen Biofilme sogar noch besser als übliche Epoxydharzfugen.

ökonomische und ökologische Bewertung:

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann davon ausgegangen werden, dass zwischen 65 bis 75% der bisherigen Epoxydharzfuge durch die neuartige CAC-Flexfuge ersetzt werden kann. Auf Basis der Produktionsmenge der Fa. Kiesel Bauchemie für das Jahr 2011 in Höhe von 63 t würden dadurch zwischen 40,95 t und 47,35 t der Epoxydharzfuge durch die umweltverträglichere CAC-Flexfuge substituiert. Als Anwendungsbereiche kommen Brauereien, Molkereien oder auch Schwimmbäder in Frage, wo die Anforderungen hinsichtlich der Chemikalienbeständigkeit nicht so hoch sind. Dadurch ist der Einsatz der Epoxydharzfuge aufgrund der dort auftretenden geringeren Chemikalienbelastung nicht zwingend erforderlich.

Was die Reduktion des CO₂-Ausstoßes durch die neuartige CAC-Flexfuge angeht, so kann auf Basis der oben genannten Substitutionsmengen der CO₂-Ausstoß um Werte zwischen 1.016.827,8 kg und 1.173.262,86 kg pro Jahr verringert werden.

4. Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Wir haben die „royal“ Fuge inzwischen der Presse und der Öffentlichkeit in Fachzeitschriften vorgestellt. Es wurde eine Säuretestbox erarbeitet. An gefertigten Normprismen einer Standardfuge im Vergleich zur „royal“ Fuge kann mit einem (sauren) Kalkreiniger das sogenannte Carbonataufschäumen im Versuch den Kunden demonstriert werden.

5. Fazit

Das Projektziel konnte erreicht werden. Auch wirtschaftlich wollen wir die „royal“ Fuge vom Start einen hohen Stellenwert geben. Wir haben mit sofortiger Wirkung alle Servoperl „Normal-Flex-Fugen“ aus der Produktion genommen, welche alle ein Carbonataufschäumen zeigen. Der Nachfolger ist ausschließlich die CAC-Flexfuge „royal“. Wir versprechen uns damit eine gesteigerte Nachhaltigkeit und eine geringere Reklamationsrate in der Praxis. Das Konzept, dass bei einem gewissen Mehrpreis im Vergleich zu einem Standfugenmörtel ein annähernd vergleichbares Leistungsspektrum wie bei einer Epoxydharzfuge gegenüber steht, wird offensichtlich von den Kunden sehr gut angenommen. Dabei ist die Biofilmresistenz ein in der Praxis immer wichtigeres Thema und wird zusätzlich gerne angenommen.