



**JAHRESBERICHT 2019|20**  
**ÖKOLOGISCHE TRANSFORMATION**  
**UNSERER LEBENSÄRÄUME**

# VORWORT



**DAS FRAUNHOFER IBP –  
IHR PARTNER BEI DER ÖKOLOGISCHEN  
TRANSFORMATION  
UNSERER LEBENSÄÄUME!**



Corona hält derzeit die Welt in Atem. Auch wir fragen uns, welche Spuren die Pandemie in Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft hinterlassen wird. Bemerkenswert ist, das Virus löst Gegenmaßnahmen in einer Rigorosität aus, die wir seit Langem beim Klimaschutz vergeblich suchen. Letztlich wird es maßgeblich auf die Resilienz und Widerstandsfähigkeit unseres Systems und unserer Infrastruktur ankommen – auch bei der Bewältigung des Klimawandels.

Resilient waren auch die ersten Bakterienkolonien, die bereits vor rund dreieinhalb Milliarden Jahren fein geschichtete Sedimentgesteine aus Kalk hervorgebracht – sogenannte Stromatolithe. Bei diesen fossilen Überresten handelte es sich um erste Ökosysteme. Die diversen Bakterienarten koexistierten nicht nur, sondern kooperierten auch miteinander und trotzten damit feindlichen Umweltbedingungen.

Die Initiative »Primordial Cities« orientiert sich an diesem Vorbild. Mit wissenschaftlicher Methodik untersuchten der international bekannte Philosoph und Konzeptkünstler Jonathan Keats und ein Wissenschaftsteam des Fraunhofer IBP die Idee, Städte angesichts der durch den Klimawandel verursachten Belastungen funktionsfähig zu halten. Computersimulationen analysierten die thermischen Auswirkungen von schweren Überschwemmungen in den Bezirken Shanghai, Manhattan und Hamburg. Klimamodelle prognostizierten, wie hoch der Anstieg des Meeresspiegels und der saisonalen Temperaturen in den Jahren 2100 und 2300 sein wird. Obwohl sich die drei Städte in vielerlei Hinsicht unterscheiden, zeigt das Szenario deutlich: Besonders Menschen in Städten und Megametropolen sind klimatischen Belastungen ausgesetzt. Forscher und Künstler suchten nach Wegen, wie eine ultrasensible, von prähistorischen Stromatolithen inspirierte Architektur ein Leben in Städten erträglicher machen könnte.

Nicht nur in diesem Kunstprojekt aus der Reihe »Wissenschaft und Kunst im Dialog« erforscht und entwickelt das Fraunhofer IBP bedarfsgerechte Lösungen für die Herausforderungen von morgen. Für Inspirationen und die Verwirklichung

von Ideen müssen wir Menschen begeistern. Die beständige Offenheit für das noch Unentdeckte und Neue bringt uns unkonventionellen Lösungsansätzen näher. Diese Kultur der phantasievollen Planung und Umsetzung denken und fördern wir. Seit mehr als 90 Jahren sind unsere Wissenschaftsteams ganzheitlichen Ergebnissen verpflichtet.

Die ökologische Transformation unserer Lebensräume manifestiert sich in vielen Projekten in dem vorliegenden Jahresbericht 2019/20. Jedoch auch Ereignisse wie beispielsweise die Weltleitmesse BAU 2019, der 6. erfolgreiche Kongress »Zukunftsraum Schule« und viele weitere Fachveranstaltungen im Zeichen der Jubiläen prägten das Jahr 2019, in dem wir auf eine 90-jährige Geschichte zurückblicken und die Fraunhofer-Gesellschaft ihr 70-jähriges Jubiläum feierte.

Angesichts der herausfordernden Situation heißt es jetzt umso mehr: Ausdauer, Leistung und Teamgeist sowie der Wille, das Beste zu geben. An diesen Zielen halten wir fest, verbunden mit einem Dank an unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Förderer und Partner, die mit uns gemeinsam aktiv die Zukunft gestalten und die ökologische Transformation unserer Lebensräume vorantreiben.

   
Prof. Dr. Philip Leistner Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

**Titel** Klimamodelle simulierten die thermischen Effekte von Überschwemmungen in Shanghai, Manhattan, Hamburg in den Jahren 2100 und 2300.

**1** Der Philosoph und Konzeptkünstler Jonathan Keats entwickelte mit Beteiligung des Fraunhofer IBP sogenannte Stromatolithen-Städte.

**2, 3** Prof. Dr. Philip Leistner, geschäftsführender Leiter des Fraunhofer IBP (Bild 3), und Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer, Leiter des Fraunhofer IBP (Bild 4).

An aerial photograph of a paved plaza with a grid of light-colored stones. Several people are visible: one person in a blue shirt is kneeling on the pavement, another person in a white shirt is standing nearby, and a person in a black shirt is sitting on a bench to the right. A large, semi-transparent green circle with a horizontal line pattern is overlaid on the lower right portion of the image. The text is centered within this circle.

**WIR ARBEITEN AN  
GANZHEITLICHEN LÖSUNGEN  
UND SYSTEMEN FÜR MEHR  
LEBENS- UND UMWELTQUALITÄT  
IN STÄDTEN.**

# INHALT

Kuratorium	6
Organigramm	8
Personal und Finanzen	9
Highlightprojekte	10
Abteilungsprojekte	24
Geschäftsfelder und Fraunhofer-Allianz BAU	44
Namen, Daten und Ereignisse	48
Wissenschaftliches Profil	54
Die Fraunhofer-Gesellschaft	56
Impressum	58

# KURATORIUM



**Dipl.-Ing. Thomas Blinn** (bis 30. Juni 2019)

Geschäftsführender Gesellschafter der Hatex GmbH, Moers

**Jan Buck-Emden**

Kuratoriumsvorsitzender – Vorsitzender der Geschäftsführung  
hagebau Handelsgesellschaft für Baustoffe GmbH, Soltau

**Dipl.-Ing. Architektin Dipl.-Ing. (FH) Christine Degenhart**  
(ab 1. Juli 2019)

Präsidentin der Bayerischen Architektenkammer, München

**Dipl.-Ing. Sabine Djahanschah**

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Abteilung Umwelttechnik,  
Referat Architektur und Bauwesen, Osnabrück

**MinDir. Lothar Fehn Krestas** (ab 1. Juli 2019)

Leiter der Unterabteilung Bauwesen, Bauwirtschaft im Bundes-  
ministerium des Innern, für Bau und Heimat, Berlin

**Prof. Dr. Bettina Fischer**

Professur für Marketing und Unternehmensführung, Business  
School Wiesbaden der Hochschule RheinMain, Wiesbaden;  
Leitung des Research Center Nation Branding, Hochschule  
RheinMain, Wiesbaden

**Prof. Dr.-Ing. Viktor Grinewitschus**

Professur für Energiemanagement in der Immobilienwirtschaft,  
Hochschule Ruhr West, Mülheim; EBZ Business School –  
University of Applied Sciences, Bochum

**Annette von Hagel** (ab 1. Juli 2019)

Geschäftsführende Gesellschafterin der Circular Building UG,  
Berlin; geschäftsführende Vorständin der relcourse  
Stiftung e. V.; Sprecherin des BIM-Clusters Berlin-Brandenburg;  
Sprecherin des Beirats der DENEFF e. V.

**MinRat Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hegner**

Vorstand Bau der Stiftung Humboldt Forum im Berliner  
Schloss, Berlin

**Prof. Dr.-Ing. Winfried Heusler**

Senior Vice President Engineering der Schüco International KG, Bielefeld

**Helmut Hilzinger**

Geschäftsführer der hilzinger Holding GmbH, Fenster- und Türenwerk, Willstätt

**Dr. Stefan Hofmann**

Vorstand der Gips-Schüle-Stiftung, Stuttgart

**Dipl.-Ing. Wolfgang Maier-Afheldt**

Aufsichtsrat der Gips-Schüle-Stiftung, Stuttgart

**MRin Gabriele Maschke**

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, Referat 34, Rohstoffwirtschaft und Ressourcensicherung, Stuttgart

**Dipl.-Betriebswirt Klaus Niemann** (bis 30. Juni 2019)

Geschäftsführer »niemann.consulting«; ehem. Leiter der WOLFIN Bautechnik/Henkel AG & Co. KGaA, Wächtersbach; ehem. Vorstandsvorsitzender des Industrieverbands Kunststoff-Dach- und Dichtungsbahnen DUD e. V., Darmstadt; Vorstandsmitglied des Industrieverbands Kunststoffe (IVK), Frankfurt am Main; stv. Vorsitzender der Nationalen Marketinginitiative »Aktion DACH«, Köln

**Mathias Rauch**

Direktor des Fraunhofer EU Office, Fraunhofer-Gesellschaft für angewandte Forschung e. V., Brüssel

**Jochen Renz**

Geschäftsführer der Renz GmbH System Komplettbau, Aidlingen

**Dr.-Ing. Thomas Scherer**

Stellvertretender Kuratoriumsvorsitzender – Vizepräsident der Airbus Deutschland GmbH, Hamburg

**Dipl.-Ing. Torsten Schoch** (ab 1. Juli 2019)

Geschäftsführer der Xella Technologie und Forschungsgesellschaft mbH, Kloster Lehnin/Emstal

**Dipl.-Ing. (FH) Gerd Stotmeister**

Mitglied des Aufsichtsrats der STO Management SE; ehem. Vorstand Technik der Sto AG, Stühlingen

**Dipl.-Kfm. Dipl.-Phys. Christian Wetzel**

Aufsichtsratsvorsitzender der CalCon Deutschland AG, München

**Dr. Bernd Widera**

Ehem. Mitglied des Vorstands der RWE Deutschland AG, Essen

**MR Dr. Stefan Wimbauer**

Leiter des Referats Angewandte Forschung, Clusterpolitik im Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, München

# ORGANIGRAMM

## Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner  
(geschäftsführend)

Prof. Dr. Klaus Peter  
Sedlbauer

Prof. Dr. Gunnar Grün  
(stellv. Institutsleiter)

## Wissenschaftliche Lehre

- Institut für  
Akustik und Bauphysik  
(IABP),  
Universität Stuttgart
- Lehrstuhl für  
Bauphysik,  
Technische Universität  
München
- Promotionskollegs  
Climate – Culture –  
Building  
Menschen in Räumen

## Forschungs- management

Prof. Dr. Gunnar Grün

## Projekt- und Geschäftsfeld- entwicklung

Thomas Kirmayr

## Qualitätsmanagement

Dr. Ingo Heinemann

## Verwaltung

Johann Pongratz

## Akustik

Dr. Peter Brandstätt

## Energieeffizienz und Raumklima

Dr. Harald Will

## Ganzheitliche Bilanzierung

Matthias Fischer

## Hygrothermik

Prof. Dr. Hartwig M. Künzel

Dr. Simon Schmidt

## Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling

Dr. Volker Thome

## Umwelt, Hygiene und Sensorik

Dr. Christian Scherer

## Fraunhofer Cluster of Excellence

Programmierbare Materialien

## Allianzen und Verbünde

- Fraunhofer-Allianz Bau  
Sprecher: Prof. Dr. Klaus Peter  
Sedlbauer
- Fraunhofer-Allianz Energie
- Fraunhofer-Allianz Textil
- Fraunhofer-Allianz Verkehr
- Fraunhofer-Verbund  
Werkstoffe,  
Bauteile – MATERIALS  
sowie
- Forschungsallianz Kulturerbe  
(FALKE)  
Sprecher: Prof. Dr. Klaus Peter  
Sedlbauer

## Fraunhofer Innovation Platform

for Urban Eco-Development at  
Shanghai Jiao Tong University

## Innovationszentren

- Fraunhofer-Zentrum für  
energetische Altbausanierung  
und Denkmalpflege  
Benediktbeuern
- Leistungszentrum  
»Mass Personalization«
- Leistungszentrum  
»Sichere Intelligente Systeme«
- Mittelstand 4.0. – Kompetenzzentrum  
Planen und Bauen

Stand: 1. Juni 2020

# PERSONAL UND FINANZEN

## Personalentwicklung

Zum Jahresende 2019 waren am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP in Stuttgart und den Institutsteilen Holzkirchen und Nürnberg insgesamt 264 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (Stammebelegschaft ohne wissenschaftliche Hilfskräfte und Auszubildende) beschäftigt. Unter Berücksichtigung der Teilzeitbeschäftigung entspricht dies einem Vollzeitäquivalent in Höhe von 213,4 (Vorjahr 199,7) und damit einem Personalzuwachs von 13,7 Vollzeitstellen bzw. 6,8 Prozent gegenüber dem Haushaltsjahr 2018. Die Erhöhung der Personalkapazität konnte aufgrund der guten Auftragslage realisiert werden. Beim wissenschaftlichen Personal ist im Vergleich zum Vorjahr die Frauenquote um 2,9 Prozent auf 28,7 Prozent angewachsen. Die Personalentwicklung wurde nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ vorangetrieben. Durch zahlreiche Qualifizierungsmaßnahmen konnten sowohl die fachlichen als auch persönlichen Kompetenzen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter maßgeblich erweitert werden.

## Finanzentwicklung

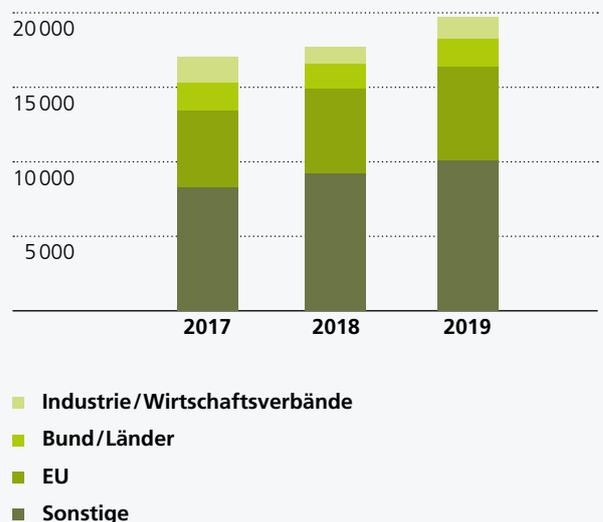
Der Betriebshaushalt umfasste im Berichtszeitraum ein Volumen von 27,8 Mio € und ist damit gegenüber 2018 um 2,6 Mio € angewachsen. Dabei entfielen 18,5 Mio € (Vorjahr: 16,8 Mio €) auf den Personal- und 9,3 Mio € (Vorjahr: 8,4 Mio €) auf den Sachaufwand. Der Investitionshaushalt (ohne Baumaßnahmen) verblieb mit 1,1 Mio € auf dem Vorjahresniveau und setzte sich aus vom Fraunhofer-Vorstand anteilig finanzierten strategischen sowie extern finanzierten Investitionen mit und ohne Projektbezug zusammen.

In Summe wurden externe Erträge in Höhe von 19,8 Mio € (Vorjahr: 17,7 Mio €) aus der Vertragsforschung realisiert, was einer Umsatzsteigerung von 12 Prozent entspricht. Insbesondere bei den Wirtschaftserträgen konnten deutliche Zuwächse in Folge verzeichnet werden. Der Anteil zum Betriebshaushalt (rhoWi) lag bei 36,4 Prozent.

## Personalentwicklung



## Externe Erträge im Gesamthaushalt (in T€)



# HIGHLIGHTPROJEKTE

A person in a blue suit is writing on a document with a blue pen. The background is a blurred office setting. There are two large green circular graphic elements with a diagonal line pattern. The top one contains the text 'HIGHLIGHTPROJEKTE'. The bottom one contains the text 'FÜR EINE BESSERE UMWELT FORSCHEN UND ENTWICKELN WIR ANWENDUNGSBEZOGEN AUF DEN GEBIETEN DER BAUPHYSIK.' Below the text, a pair of hands is shown holding a small tree with soil.

**FÜR EINE BESSERE UMWELT  
FORSCHEN UND ENTWICKELN WIR  
ANWENDUNGSBEZOGEN AUF DEN  
GEBIETEN DER BAUPHYSIK.**

A pair of hands is shown holding a small tree with soil. The tree is green and has a brown trunk. The hands are positioned at the bottom of the frame, with the fingers gently cupping the soil and the base of the tree.



## Akustik

Neue Perspektiven für leistungsstarke Arbeitswelten 12

## Energieeffizienz und Raumklima

Energie- und kosteneffiziente, fassadenintegrierte Tageslicht- und LED-Beleuchtung mittels mikrooptischer Baukomponenten 14

## Ganzheitliche Bilanzierung

GENERIS® – die intelligente Websoftware zum Erstellen von Gebäudeökobilanzen 16

## Hygrothermik

Rohrkolben aufs Dach – für die Umwelt und den Brandschutz 18

## Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling

Clean recovered Carbon Black – THINKING IN CLOSED LOOPS 20

## Umwelt, Hygiene und Sensorik

Abgasbehandlung in Verbrennungsanlagen: Optimierung eines Kombinationssystems 22

# NEUE PERSPEKTIVEN FÜR LEISTUNGS- STARKE ARBEITSWELTEN



Größere offene Arbeitsbereiche sind zunehmend im Kommen – sollen sie doch eine schnelle und einfache Kommunikation der Mitarbeiter fördern. Nicht nur große Unternehmen setzen immer mehr dieser flexiblen Raumkonzepte für die Büroarbeit ein, sondern auch im Mittelstand und in kleineren Büros sind sie auf dem Vormarsch. Allerdings ist für »Open Plan Offices« eine detaillierte integrale Planung nötig, um in den Räumen gute Arbeitsbedingungen zu realisieren. Hört ein Mitarbeiter beispielsweise ständig die Telefonate seiner Kollegen, kann er sich selbst nur schwer konzentrieren. Solcherlei Störungen haben nicht nur einen großen Einfluss auf die Zufriedenheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, sondern können auch die Arbeitsleistung und die Gesundheit beeinträchtigen.

In einem über zwei Jahre angelegten Projekt mit einem großen Versicherungsunternehmen begleitet ein abteilungsübergreifendes Team des Fraunhofer IBP die Realisierung eines solchen modernen Arbeitsplatzkonzepts: angefangen bei der Diskussion über Nutzerbedürfnisse in Workshops über die Gestaltung von Pilotflächen mit offener Raumstruktur und die raumakustische und raumklimatische Auslegung bis hin zur Festlegung von akustischen Zielsetzungen und deren Umsetzung. Das Ziel des Projekts ist es, durch wissenschaftliche Begleitung für das Unternehmen optimale Raum- und Arbeitsplatzgestaltungen zu erreichen, die, ausgehend von den untersuchten Pilotflächen, auf weitere Büroflächen übertragen werden können. Die Teams aus Psychologen und Wissenschaftlern des Fraunhofer IBP führten dazu Befragungen von Mitarbeitenden



in den Pilotflächen durch. Auch bei der Umsetzung von organisatorischen und raumakustischen Maßnahmen sowie der Ermittlung von finanziellen Aufwendungen für leistungsstarke Akustikkomponenten trugen die Forscherteams den Wünschen des Auftraggebers nach einem guten Preis-Leistungs-Verhältnis der Komponenten Rechnung. Außer den Befragungen wenden die Expertengruppen weitere Methoden und Verfahren an. Sie führen psychologisch begleitete Workshops durch, simulieren und optimieren die untersuchten Pilotflächen akustisch und thermisch und machen die akustischen Bedingungen in den Räumen per Auralisation künstlich hörbar. Auf diese Weise werden subjektive Beurteilungen von Planungsständen möglich. Zudem können in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen und dem Betriebsrat akustische Zielsetzungen festgelegt werden. Den Forschern erlauben die Ergebnisse zusätzlich, das akustische Bewertungssystem über die ISO 3382-3 hinaus weiterzuentwickeln. Ein wichtiges Element ist die praktische Überprüfung der Raumbedingungen: Dafür wurden umfangreiche Messungen der Akustik sowie ein Raumklima- und Raumluftmonitoring in Verbindung mit der Raumbelagung durchgeführt. Begleitend befragte

das Wissenschaftsteam die Mitarbeitenden ausführlich in mehreren Schritten. So konnten sie die Ergebnisse und deren Wirkung auf die Beschäftigten erfassen und die Wirksamkeit der bauphysikalischen und organisatorischen Maßnahmen bei der Gestaltung von Open Plan Offices validieren.

Mit dem Projekt wurden zahlreiche Erkenntnisse für den Auftraggeber gewonnen, die nun im Rollout des Konzepts Anwendung finden und das Unternehmen hinsichtlich der zeitgemäßen Bürogestaltung deutlich voranbringen.

Ansprechpartner

Dr. Moritz Späh  
 Telefon +49 711 970-3351  
 moritz.spah@  
 ibp.fraunhofer.de

**Titel** *Das Labor »High Performance Indoor Environment (HiPIE)« ermöglicht eine gezielte Konditionierung von bauphysikalischen Umgebungsbedingungen.*

**1** *Für große offene Arbeitsbereiche werden optimale Raum- und Arbeitsplatzgestaltungen immer bedeutsamer.*

**Graphik** *Verteilung des Speech-Transmission-Index (STI) in einem teilweise offenen Bürobereich mit Akustikmaßnahmen zur Optimierung der Raumakustik. Bezüglich der Störwirkung wird ein geringer STI zwischen entfernteren Arbeitsplätzen angestrebt.*



# ENERGIE- UND KOSTENEFFIZIENTE, FASSADENINTEGRIERTE TAGESLICHT- UND LED-BELEUCHTUNG MITTELS MIKROOPTISCHER BAUKOMPONENTEN



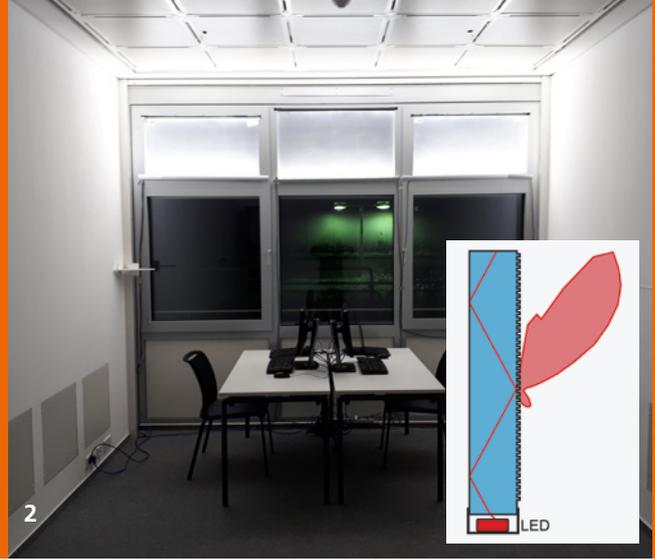
Steht der Schreibtisch weit vom Fenster entfernt, reicht das einfallende Tageslicht vielfach nicht aus – es bedarf einer zusätzlichen Beleuchtung. Neue mikrooptische Strukturen bieten Lösungen: Sie lenken Tageslicht blendfrei in fassadenferne Gebäudebereiche und ermöglichen die elektrische Beleuchtung fensternaher Arbeitsplätze durch transparente Fassaden. Die neuen Bauteile können zukünftig Energieeffizienz, Lebenszyklusbilanz und Aufenthaltsqualität im Gebäudebereich verbessern – auch gestalterische Spielräume nehmen zu.

---

## Vom Labormaßstab in gebaute Fassaden

---

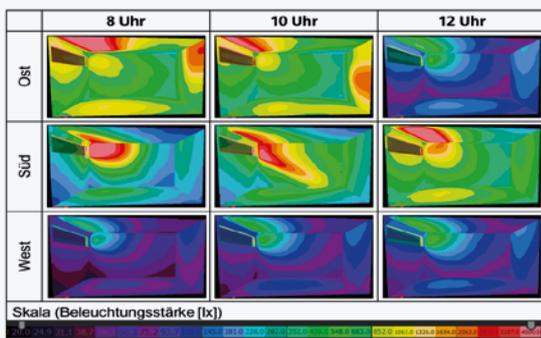
Ausgangspunkt bilden zwei optische Strukturen, die auf transparente Trägerschichten aufgebracht werden. Neun Partner waren an dem durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Verbundprojekt »TALED« beteiligt. Die erste Struktur wird in die Fassade eingesetzt und lenkt Tageslicht tief in fassadenferne Gebäudebereiche, ohne zu blenden. Die zweite – eine Licht auskoppelnde Struktur – strahlt LED-Licht, das über die Scheibenkanten eingekoppelt wird, gezielt aus der Trägerschichtfläche ab. Das Element selbst bleibt bei Draufsicht transparent. Die Struktur lässt sich direkt in Fassadenverglasungen sowie in Leuchten nutzen.



Die beiden Basisstrukturen lagen zu Projektbeginn als Labormuster vor. Im Projekt wurden diese Strukturen optimiert, mit neu entwickelten Fertigungsprozessen wie Heißprägen und UV-Nano-Imprint auf baupraktische Größen von 1,2 m × 0,6 m skaliert und in Scheibenverbünde integriert. Es sind auch größere Abmessungen fertigbar. Die Verfahren erlauben es, starre PMMA-Platten, Gläser und Folien zu strukturieren. Die erwarteten Kosten der einbaufertigen PMMA-Mikrooptiken zur Lichtumlenkung liegen bei 30 bis 35 € pro Quadratmeter. Zum Vergleich: Die lichtlenkenden eingestapelten PMMA-Stäbe eines funktional vergleichbaren Produkts lagen bisher bei ca. 250 € pro Quadratmeter. Die erwarteten Kosten für die Licht auskoppelnde Struktur sind vergleichbar.

### Bewertung und architektonische Anwendungskonzepte

Lichttechnische und energetische Kennwerte wurden ermittelt und für die Nutzung in Planungswerkzeugen aufbereitet. Auch die Lebenszyklusbilanz und der Einfluss auf das energetische Gebäudeverhalten schätzten die Expertenteams ab. Das Ergebnis: Der Energiebedarf für die Beleuchtung in einem Büroraum konnte durch die lichtlenkende Fassade im Messzeitraum um 58 Prozent gesenkt werden, die Nutzerakzeptanz stieg signifikant. Auch musste deutlich weniger PMMA eingesetzt werden: Verglichen mit dem existierenden funktional vergleichbaren Produkt mit eingestapelten Acrylglasstäben sank der PMMA-Einsatz um über 75 Prozent.



### Mehr Gestaltungsfreiheit

Die Licht auskoppelnden Elemente, die in die Fassade integriert wurden, beleuchteten die fassadennahen Raumbereiche ausreichend – der Lichtstrom war bei gleichem Energieeinsatz jedoch geringer als mit konventioneller Beleuchtung. Dies ist hauptsächlich auf die indirekte Beleuchtung zurückzuführen, bei der Absorptionsverluste an der Decke auftreten. Dagegen konnten die gestalterischen Vorzüge der Lösung – etwa die freie Decke und die Transparenz der Lichtquellen – und vergleichbare Nutzerakzeptanz gegenüber einer konventionellen Beleuchtung demonstriert werden.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erstellten zudem exemplarische, architektonische Anwendungskonzepte für Neubau und Altbausanierung. Diese erlaubten praxisnahe Rückschlüsse zum zukünftigen Einsatz der Systemlösungen.

Ansprechpartner

Dr. Jan de Boer  
 Telefon +49 711 970-3402  
 jan.deboer@  
 ibp.fraunhofer.de

**Titel** *Im »Heißprägeverfahren« strukturierte Plexiglasscheibe zur Auskoppelung von LED-Licht, das über die Scheibenkanten eingekoppelt wird.*

**Graphik** *Simulierte beispielhafte Beleuchtungsstärkeverteilung eines durch die lichtlenkende Struktur natürlich beleuchteten Beispielraums in unterschiedlichen Orientierungen.*

**1, 2** *Tageslichtlenkende Fassade (l.) und Kunstlicht aus der Fassade (r.) im Versuchsraum des Fraunhofer IBP.*

# GENERIS® – DIE INTELLIGENTE WEBSOFTWARE ZUM ERSTELLEN VON GEBÄUDEÖKOBILANZEN



Der Klimawandel ist im Jahr 2019 weiter in das Zentrum der gesellschaftlichen Debatte gerückt: Die Klimafolgen werden spürbar, der Druck der Öffentlichkeit, den globalen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu verringern, steigt. Die EU verabschiedete daher den europäischen »Green Deal«. Mit diesem werden Maßnahmen finanziert, die eine Umgestaltung der EU-Wirtschaft hin zu einer nachhaltigen Zukunft ermöglichen.

Die Reduktion der Emissionen im Gebäudesektor spielt hierbei eine zentrale Rolle – denn rund 30 Prozent der Emissionen in Deutschland stammen aus dem Gebäudesektor (Stand 2018, Quelle BMU: Klimaschutz in Zahlen 2019).

---

## Bedarf an effizienten Berechnungswerkzeugen

---

130 000 Architekten allein in Deutschland stellen sich zunehmend die Frage, wie sich Gebäude nachhaltiger planen lassen. Der Gebäudesektor benötigt daher ein effizientes Bewertungswerkzeug für die Analyse der Treibhausgasemissionen. Die Software GENERIS® liefert in diesem Themenbereich eine einfache und intuitive Lösung für den Nutzer.



1

## Die Software-Lösung

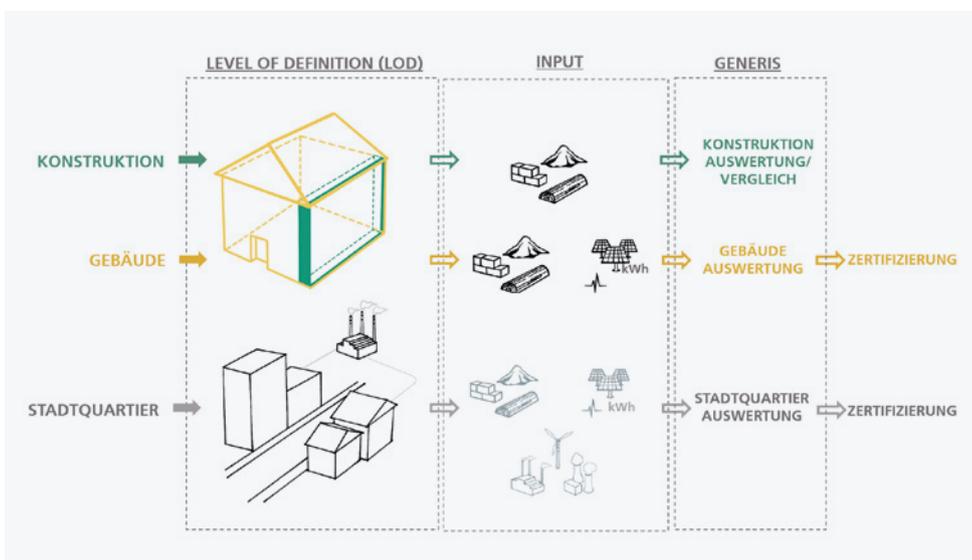
GENERIS® ist der Schlüssel für eine ganzheitliche Unterstützung bei der Gebäudeökobilanz-Erstellung. Ein Ziel könnte beispielsweise in einer Zertifizierung anhand der Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) liegen. Die Software bietet die Möglichkeit, aus einem umfangreichen Katalog mit Standardkonstruktionen ein Gebäude zu modellieren, zusätzlich die vorkalkulierten Betriebsparameter einzugeben und im Anschluss das Bauvorhaben hinsichtlich seiner ökobilanziellen Ergebnisse auszuwerten. Auf Grundlage der Ökobau.dat-Datenbank ist es gleichzeitig möglich, individuelle Konstruktionen inklusive Schichtaufbauten anzulegen und in das anstehende Bauprojekt einzufügen. Als Ergebnis wird eine Auswertung bereitgestellt, die über die Ökobilanz-Werte hinaus auch alle Bewertungspunkte für die DGNB-Zertifizierung beinhaltet. Sollte die Einbindung von ökologischen Bauteilen im Vordergrund stehen, leistet die Funktion »Bauteile vergleichen« gute Dienste. Insgesamt bietet das Fraunhofer IBP mit der GENERIS®-Software eine unkomplizierte Lösung für die Erstellung von Gebäudeökobilanzen. Das Softwaretool ist bereits für unterschiedliche Zwecke in Forschungsvorhaben und Industrieprojekten erfolgreich zum Einsatz gekommen.

## Viele Vorteile und Möglichkeiten

GENERIS® reduziert das Risiko einer unsicheren Bewertung im DGNB-Vorzertifikat erheblich und erhöht gleichzeitig die Effizienz des Nachweises für das Zertifikat. Anhand eines Standardkatalogs mit umfangreichen Beispielkonstruktionen lässt sich die Gebäudeökobilanz einfach und sicher berechnen. Neben den Basisdaten der Ökobau.dat werden auch europäische Daten (ESUCO) bereitgestellt; Datensätze aus anderen Ökobilanz-Datenbanken oder LCA-Programmen können importiert werden. Der Vergleich verschiedener Konstruktionen erleichtert die endgültige Auswahl. Bereits in der Designphase lassen sich erste ökobilanzielle Ergebnisse abschätzen, die Optimierungen in frühen Planungsphasen den Weg ebnen. Das Arbeiten von mehreren Beteiligten an einem Projekt ermöglicht die »Team«-Funktion. Darüber hinaus bietet GENERIS® eine Vielzahl an Auswertungsmöglichkeiten und die Weiterbearbeitung der Daten in Excel.

Ansprechpartner

Michael Jäger  
 Telefon +49 711 970-3184  
 michael.jaeger@  
 ibp.fraunhofer.de



**Titel** Die Software GENERIS® für die lebenszyklusbasierte Planung von Gebäuden.

**Graphik** Anwendungsbereiche der GENERIS®-Software.

1 Die einfache Bedienung mit vielen Beispielkonstruktionen zeichnen die Lösung aus.

# ROHRKOLBEN AUFS DACH – FÜR DIE UMWELT UND DEN BRANDSCHUTZ



Energie sparen bei Gebäuden? Am effektivsten gelingt das über die Dämmung der Gebäudehülle. Das Manko: Zwar bieten derzeitige Dämmstoffe einen hohen Dämmwert, doch ist ihre Herstellung ebenso wie ihr Recycling alles andere als nachhaltig. Nicht so jedoch der Rohrkolben, lateinisch Typha. Als Rohstoff für die Baustoffproduktion bieten Rohrkolben zahlreiche ökologische und ökonomische Vorteile.

---

## Ökologische und ökonomische Vorteile

---

Bereits der Typha-Anbau trägt erheblich zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Zudem reinigt die Pflanze nährstoffbelastete Oberflächenwasser. Sie eignet sich besonders aufgrund ihrer Struktur gut als Baurohstoff: Die Blätter haben ein faserverstärktes und stabiles Stützgewebe, das mit einem weichen, offenzelligen Schwammgewebe ausgefüllt ist. Dies ermöglicht die Erzeugung von Baustoffen, bei denen Dämmung und Tragwirkung auf eine am Markt einmalige Weise kombiniert ist. Setzt man ein mineralisches Bindemittel ein und verzichtet auf biozide Zusätze – was durch pflanzeneigene Gerbstoffe möglich ist –, ist dieser Baustoff voll recycelbar.



## Flexible Bearbeitung

Was die Produktion der Platten angeht, so werden mit einer speziellen Schneideeinrichtung weitgehend gleichartige, relativ große Partikel erzeugt – eine Zerfaserung findet dabei nicht statt. Auf diese Weise bleibt die Struktur der Pflanze erhalten und ihre positiven Eigenschaften werden in das Produkt überführt. Ausgehend von »Typhaboard«, das bereits Anwendung in der Praxis gefunden hat, entwickelte ein Wissenschaftsteam des Fraunhofer IBP in Zusammenarbeit mit den Firmen typha technik und Saint-Gobain ISOVER eine Aufdachdämmung. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert dieses Projekt.

Um die Anforderungen des Herstellers zu erfüllen, mussten dafür vor allem Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit des Materials reduziert werden. Dazu entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einerseits einen geschichteten Aufbau, dessen Kern mit größeren Partikeln und geringerem Bindemittelseinsatz eine höhere Dämmwirkung besitzt. Außen-seitig sorgen feinere Partikel für eine bessere Oberflächen-güte. Die Aufrüstung der vorhandenen Schneideeinrichtung sorgte für die Herstellung von Partikeln in zwei Größen. Zur Verbesserung der Dämmwirkung trug eine eigens konzipierte Einrichtung bei, über die sich seitliche Pflanzenteile mit wenig Schwammgewebe abtrennen lassen.

## Überzeugende Eigenschaften

Das Projekt zeigte auf: Das neu entwickelte Produkt lässt sich größtenteils mit Standardfertigungsverfahren produzieren, wie etwa bei der Herstellung von Holzwerkstoffplatten. Auf diese Weise konnte eine Aufdachdämmung hergestellt werden, die mit einer Rohdichte von ca. 150 kg/m<sup>3</sup> und einer Wärmeleitfähigkeit von zum Teil unter 0,045 W/mK eine gute Festigkeit aufweist, vor allem aber durch das mineralische

Bindemittel auch einen Brandschutz bietet, der für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen sehr gut ist.

Hält die Dämmung, was sie verspricht? Um darüber Klarheit zu erhalten, baute die Wissenschaftsgruppe mehrere Dämmplatten in ein Versuchsdach der Freilandversuchsstelle des Fraunhofer IBP ein und versah sie mit einer Monitoring-Sensorik. Der Dachaufbau mit Zwischensparrendämmung aus Mineralfaser repräsentiert eine typische Altsituation, die durch die neu entwickelte Aufdachdämmung energetisch verbessert werden soll. Zusätzlich wurde die neue Aufdachdämmung zu Demonstrationszwecken in einen Neubau appliziert und mit entsprechendem Monitoring versehen.

Ansprechpartner

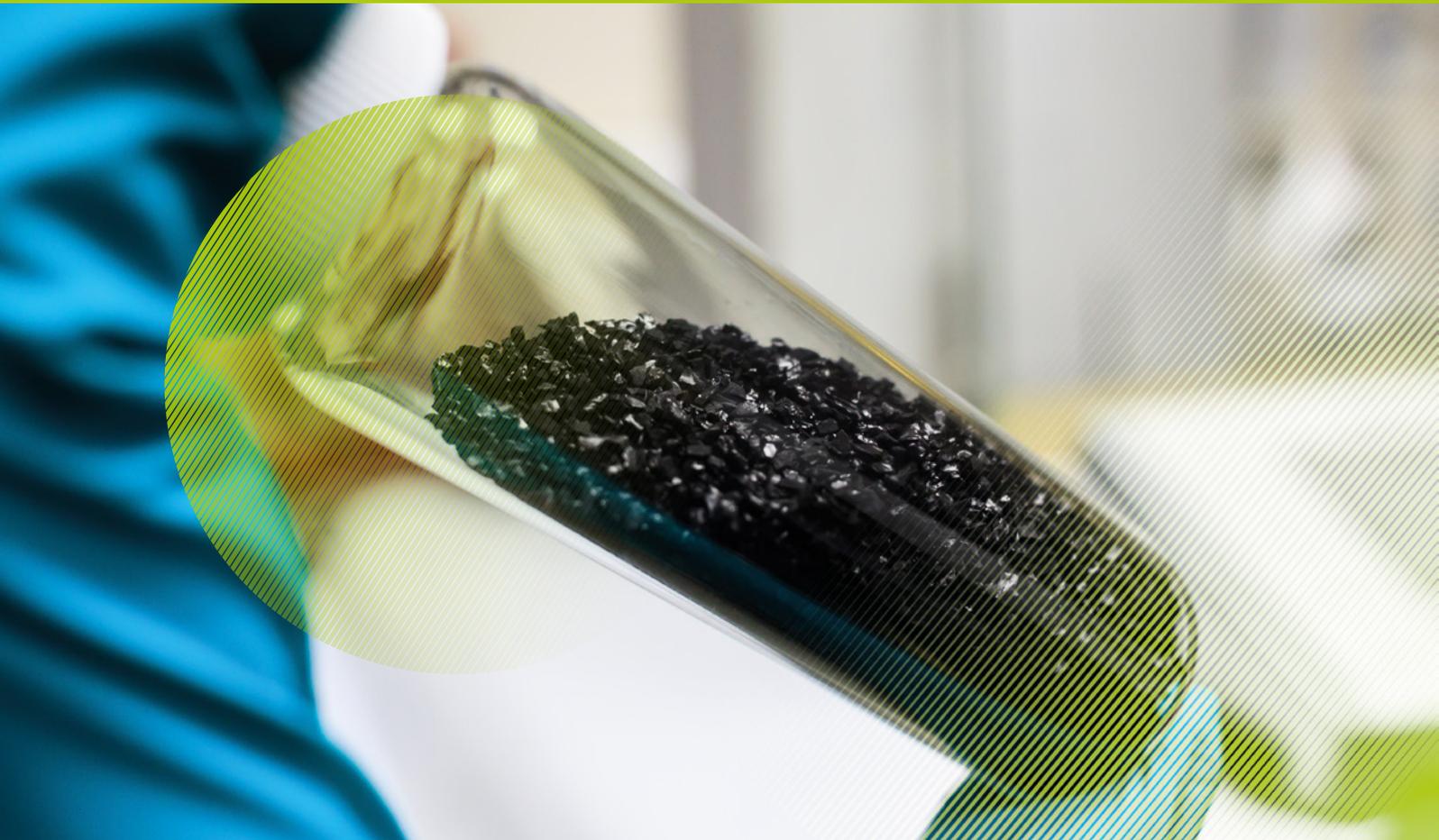
Prof. Dr. Martin Krus  
 Telefon +49 8024 643-258  
 martin.krus@  
 ibp.fraunhofer.de

**Titel** *Der Rohrkolben, lateinisch Typha, punktet mit vielen positiven Eigenschaften.*

**1** *Herstellung von magnesitgebundenen Typhaplaten im Standard-Streuverfahren.*

**2** *Einbau und Monitoring der Aufdachdämmung am Demonstrationsgebäude.*

# CLEAN RECOVERED CARBON BLACK – THINKING IN CLOSED LOOPS



Carbon Black ist einer der wichtigsten Bestandteile von Reifen- bzw. Gummiartikeln; auch in Farbmitteln der Kunststoffindustrie ist er enthalten. Was verbirgt sich hinter dem Namen? – Es ist ein speziell hergestellter, aufbereiteter, synthetischer Ruß, basierend auf Partikeln graphitähnlichen Kohlenstoffs. Anders gesagt: Es ist ein Hightech-Produkt mit einem Marktvolumen von 15 Millionen Tonnen à 900 bis 1200 € pro Tonne, das ökonomische Vorzüge bietet und – bei reiner Betrachtung des Materials – ökologisch »unproblematisch« erscheint.

---

## Rückgewinnung spielt eine wichtige Rolle

---

Doch die Herstellung von Carbon Black und die damit verbundenen hohen Emissionen von CO<sub>2</sub> sind zunehmend problematisch. Die Anstrengungen, neue innovative Lösungen zu finden, haben sich deshalb in den letzten Jahren intensiviert. Insbesondere die Rückgewinnung des Werkstoffs aus pyrolysierten Altreifen spielt eine wichtige Rolle. Schließlich kommen von den jährlich weltweit mehr als 15 Millionen Tonnen hergestelltem Carbon Black mit steigender Tendenz 80 Prozent in technischen Gummiharz-Stoffgruppen oder Reifen zum Einsatz. Carbon Black liegt dabei als äußerst stabile chemische Verbindung sowie als strukturelle Form vor, welche bei unterschiedlichsten Anwendungen beibehalten wird. Das Material



ist somit prädestiniert für eine Rückgewinnung. Seit einigen Jahren gibt es Bestrebungen, Recovered Carbon Black (rCB) im Markt zu etablieren. Bisher konnte das Pyrolysematerial jedoch nur 10 Prozent des Marktes adressieren. Ein neu entwickeltes Aufbereitungsverfahren des Fraunhofer IBP kann mit dem Sekundärrohstoff dagegen gut 50 Prozent des Carbon-Black-Marktes abdecken. Die Forschungen laufen noch; in Zusammenarbeit mit Industriepartnern wird die Entwicklung nun bis zur Marktreife gebracht.

---

### Lösungen gesucht

---

Beim Pyrolyseprozess von Altreifen wird die gasförmige Fraktion zurückgewonnen und zu flüssigen Brennstoffen kondensiert. Das recycelte Carbon Black (rCB) fällt als festes Nebenprodukt an. Auf jede verarbeitete Tonne entfällt etwa ein Drittel Rohruß – eine Mischung aus Kohlenstoffschwarz, Asche und Koks. Dieser Stoff könnte wieder für industrielle Anwendungen eingesetzt werden, stellt allerdings bislang keine adäquate Alternative für die Primärressource Carbon Black dar. Denn der Anteil an mineralischer »Asche« ist hoch; er enthält in der Regel Zinksulfide, Zinkoxide, Siliziumdioxid, Aluminiumoxide und beispielsweise auch Cobalt-Verbindungen. Diese anorganischen Stoffe bedecken die »aktive« Oberfläche des Carbon Black, die für industrielle Anwendungen erforderlich ist. Darüber hinaus sind sie auch aus gesundheitlichen Gründen bedenklich und somit ist die hochwertigere Wiederverwendung begrenzt. Zudem kann es bei technischen Produkten wie Reifen zu Problemen führen, wenn die Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Gummis abnimmt. Auch als Farbmittel lässt sich die Substanz nicht ohne Weiteres einsetzen. Der erzielbare Schwarzwert ist gering, ebenso der Härtegrad des mineralischen Anteils.

Soll das recycelte Carbon Black (rCB) mehr genutzt werden als bisher, müssen die mineralischen Reststoffe extrahiert werden, ohne dabei dessen Eigenschaften maßgeblich zu verändern. Hierfür entwickelte das Fraunhofer IBP ein Entmineralisierungsverfahren. Es vereint die Ansätze ökonomisch sowie auch ökologisch und bietet die Möglichkeit, diesen Stoffkreislauf zu schließen.

### Ansprechpartner

Christian Kaiser  
Telefon +49 8024 643-665  
christian.kaiser@  
ibp.fraunhofer.de

Dr. Severin Seifert  
Telefon +49 8024 643-676  
severin.seifert@  
ibp.fraunhofer.de

**Titel** *Das Material Carbon Black ist prädestiniert für eine Rückgewinnung.*

**1** *Die Rückgewinnung von Carbon Black aus pyrolysierten Altreifen spielt eine wichtige Rolle.*

# ABGASBEHANDLUNG IN VERBRENNUNGSANLAGEN: OPTIMIERUNG EINES KOMBINATIONSSYSTEMS



Nachwachsende Rohstoffe statt fossile Energieträger – darauf basieren viele Ansätze zum Klimaschutz. Auch wenn es um die Bereitstellung von Wärme im Wohnungsbau geht, ist dieser Ansatz realisierbar. Allerdings geht er mit einer Herausforderung einher: Werden Biomassefeuerungsanlagen unsachgemäß betrieben, pusten sie staub- und gasförmige Emissionen in die Umgebungsluft. Bereits heute jedoch ist die Luftqualität in vielen ländlichen und städtischen Wohngebieten in Deutschland nicht zufriedenstellend; der verstärkte Einsatz nachwachsender Energieträger kann diese Situation noch verschärfen. Um die Luftqualität zu verbessern, müssen die Schadstoffemissionen, vor allem von Feinstaub, aus allen potenziellen Quellen gesenkt werden. In welchem Maße die

Biomassefeuerungsanlagen zur Umweltbelastung beitragen, hängt von der Vielzahl veralteter Anlagen bzw. ihrer ungünstigen Verteilung in Wohngebieten ab und davon, dass der Betrieb vieler Anlagen bisher nicht permanent überwacht wird. Sollen Biomassefeuerungsanlagen emissionsarm betrieben werden, müssen die Anlagen mit entsprechenden Staubabscheidetechnologien ausgestattet werden. Diese Technologie erlaubt es, den Ausstoß an Feinstaub wirksam zu reduzieren.



---

### Erfolg mit neuartiger Kombination

---

Die Gruppe Verbrennungs- und Umweltschutztechnik des Fraunhofer IBP arbeitet seit dem Jahr 2015 mit einem Partner aus der Industrie an der Entwicklung von adäquaten Staubabscheidesystemen. Die Vorteile: Die Systeme sind kostengünstig in der Anschaffung sowie im Betrieb und weisen eine hohe und stabile Abscheideleistung auf – unabhängig von der Verbrennungstechnik sowie dem eingesetzten Brennstoff. Das Ergebnis der mehrjährigen intensiven Zusammenarbeit ist ein innovatives Abgasbehandlungssystem, das neu entwickelt und für den Praxisbetrieb optimiert wurde. Beim ENF-System handelt es sich um eine innovative Kombination aus den Abscheideprinzipien Elektro-, Nass- und Fliehkraftabscheider. Dazu kommt eine neuartige Abgasrückführung, welche für eine hohe Stabilität des Abscheideverhaltens sorgt – unabhängig von den Schwankungen des Abgasvolumenstroms und der Staubkonzentrationen während des Betriebs.

---

### Emissionen radikal reduziert

---

Der Erfolg kann sich sehen lassen: Bei der Erprobung des ENF-System ließ sich der Feinstaubanteil im Abgas um mehr als 95 Prozent reduzieren. Eine ähnliche Abscheideleistung konnte bei der Dauererprobung des ENF-Systems in der Praxis bei realen Anlagen bzw. Heizkesseln erzielt werden.

Die Abscheidetechnik des ENF-Systems wurde vom Fraunhofer IBP patentiert. Die Firma Kutzner + Weber verfügt über die ausschließlichen Rechte zur Nutzung bzw. zur Vermarktung dieser Abscheidetechnik. Das ENF-System wurde von der Firma Kutzner + Weber GmbH übernommen und unter dem Produktnamen Cyclojekt in den Markt eingeführt. Dieses Vorhaben ist ein klassisches Beispiel für das Funktionieren des Fraunhofer-Prinzips: die Überführung von Ergebnissen der angewandten Forschung in innovative Produkte und Verfahren und deren Markteinführung durch mittelständische Unternehmen.

Ansprechpartner

Dr. Mohammad Aleysa  
Telefon +49 711 970-3455  
mohammadshayesh.aleysa@  
ibp.fraunhofer.de

**Titel** *Das Produkt »Cyclojekt«.*

**1** *Technische Einrichtung am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP zur Entwicklung von Abgasbehandlungsanlagen.*

# ABTEILUNGSPROJEKTE

**UNSERE EXPERTISE –  
IHR NUTZEN!**

## **Akustik**

- Porositätsmessung – der Schlüssel für ein Gesamtsystem 26  
Messung wie im Freien:  
Simulierte Vorbefahrt im Akustikrollenprüfstand 27

## **Energieeffizienz und Raumklima**

- Schön kühl dank Grünfassaden! 29  
Kostengünstig und energieeffizient geht nicht? Doch! 29  
DressMAN 3.2 – objektive Komfortmessung in  
Bürobauten, Fahrzeugen und Flugzeugen 30  
Fraunhofer Innovation Platform for  
Urban Eco-Development 30  
Energieeffizienznachweise für Länder  
der Energy Community 31  
ComAir und CognitAir – Einfluss von Luftqualität  
auf Komfort und Leistungsfähigkeit im Flugzeug 31

## **Ganzheitliche Bilanzierung**

- ISOPREP – Polypropylen-Recycling aus Teppichabfällen 33  
Integrale Planung und Herstellung von ressourceneffizienten  
Betonbauteilen aus mineralischer Faserverbundbewehrung  
und gradiertem Beton 34

## **Hygrothermik**

- Feuchteschutzrichtlinie für Südkorea 36  
Dämmstoff aus dem nachwachsenden Rohstoff Schilfrohr 37

## **Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling**

- Schnelle Identifikation von AKR-Schäden  
mittels Ramanspektroskopie 39  
Entwicklung von zementfreien und CO<sub>2</sub>-armen  
Dämmstoffen aus Geopolymeren 40

## **Umwelt, Hygiene und Sensorik**

- Modellierung der Umwelteigenschaften von  
Putzen und Mörteln 42  
INSIBIO – In Silico-Driven Bioprocesses 43



## AKUSTIK

Akustik ist in allen Bereichen unseres täglichen Lebens spürbar. So beeinflusst sie in Bauwerken, Räumen und Fahrzeugen das Wohlbefinden und den Höreindruck, aber auch die Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Der technische Schallschutz fokussiert sich auf ihre Analyse, während in der Psychoakustik die Wirkung von Schall auf den Menschen im Vordergrund steht. In der ganzen Bandbreite dieser Themen finden sich die Forschungsgebiete der Abteilung Akustik des Fraunhofer IBP.

Die themenübergreifende Ausrichtung der Abteilung Akustik ist strategisches Ziel und zugleich Ausgangspunkt interdisziplinärer Forschung und Entwicklung. Die Wissenschaftler entwickeln Berechnungs- und Simulationsverfahren sowie Analyse- und Prognosemethoden. Dabei geht der Anwendungsbereich dieser Methoden häufig über rein akustische Fragestellungen hinaus – diese reichen in den Maschinen- und Anlagenbau hinein, in die Aerodynamik, aber auch in die Psychoakustik und die akustische Diagnostik.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Entwicklung von neuartigen Akustikbauteilen: alternative Schallabsorber, passive, reaktive und aktive Schalldämpfer sowie Schallschutz-Bauteile, die in Gebäuden eingesetzt werden oder den Lärm an Maschinen, Anlagen und Fahrzeugen mindern. Gemeinsam mit mehr als fünfzehn industriellen Lizenz- und Kooperationspartnern bietet das Fraunhofer IBP eine stetig wachsende, internationale Plattform für innovative Akustik. Ziel ist es, die akustische Systemqualität komplexer Produkte und Strukturen zu optimieren.

Moderne Analysesysteme bilden in Verbindung mit mehr als 25 akustischen Prüfständen die Basis für die Forschungsarbeit. So ermöglicht ein leistungsfähiger Allrad-Rollenprüfstand den Forschern, die Fahrzeugakustik zu untersuchen; ein Windkanal erlaubt aeroakustische und aerodynamische Messungen. Weiterhin verfügt die Abteilung über eine durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) flexibel akkreditierte Prüfstelle in den Bereichen Bauakustik und Schallimmissionsschutz.

Für den Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis organisiert das Fraunhofer IBP in Kooperation mit der Fachpresse regelmäßig Akustik-Foren und führt Schulungen für Firmen oder spezifische Fachgruppen durch.

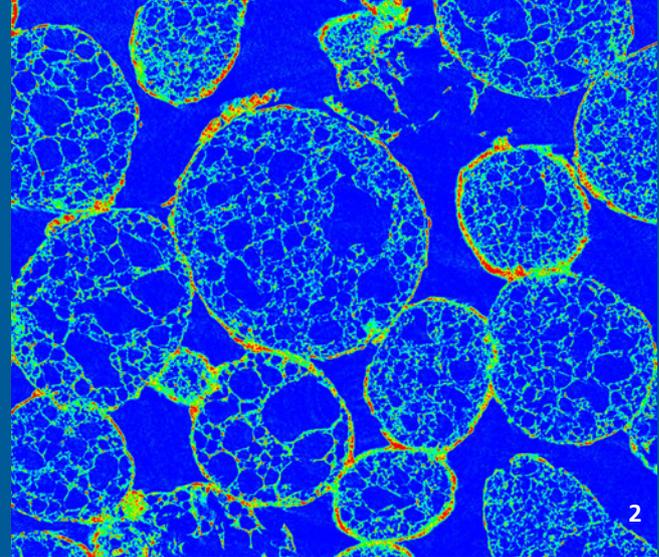
- Bauakustik
- Psychoakustik und kognitive Ergonomie
- Raumakustik
- Technischer Schallschutz und Fahrzeugakustik

### Akkreditierte Prüflabore

- Bauakustik und Schallimmissionsschutz

Abteilungsleiter

Dr. Peter Brandstät  
 Telefon +49 711 970-3392  
 peter.brandstaett@  
 ibp.fraunhofer.de



## Porositätsmessung – der Schlüssel für ein Gesamtsystem

Gut angepasster Strömungswiderstand und Porosität nahe 100 Prozent? – Bei der Entwicklung poröser Schallabsorber geht es längst um mehr. Im Fokus stehen Produktsysteme, die aus kreislauffähigen Materialien bestehen, mit neuen Herstellungsverfahren produziert sind und komplexe Porenmorphologien für verringerte Schichtdicken nutzen. Derzeit untersucht ein Expertenteam am Fraunhofer IBP das Absorptionsvermögen 3D-gedruckter Pasten auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Ein Pilzmycel durchwächst danach das Substrat und soll eine Verhautung der gedruckten Materialphase verhindern. Entscheidend dabei ist der Anteil der offenzellig angeschlossenen Poren.

### Robuste Messtechnik

Zur direkten Messung der offenzelligen Porosität bauten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein robustes Luftpyknometer-System mit einem vergleichsweise günstigen Absolutdruck-Messer auf. Die Konzeption stützte sich auf rechnerische Fehlerabschätzungen, nach denen die Messgenauigkeit bei Porositäten bis zu 90 Prozent für akustische Zwecke ausreichend ist. Dazu lassen sich die beiden Messgefäße präzise für unterschiedliche Probendicken und Porositäten konditionieren. Das Verfahren kommt ohne aufwendige Messgase aus, erlaubt große Probenvolumen und ist durch die vergleichsweise geringen Drücke vor allem zerstörungsfrei. Das wissenschaftliche Team kann die Proben dadurch ohne Umbau in demselben Probenhalter mit weiteren Verfahren im Impedanzrohr des Fraunhofer IBP untersuchen und zwar so zeitnah, dass die meist erforderliche Randabdichtung die Proben nicht beeinflusst.

## Rückschlüsse auf den Herstellungsprozess

Der Schalldurchgang durch poröse Absorber kann gut in Impedanzrohren gemessen werden. Für viele homogene Materialien lassen sich daraus Eingangsdaten für Absorbermodelle indirekt, also nicht modellbasiert bestimmen. Alternativ können die Forschenden diese Eingangsdaten aus Simulationsrechnungen mit parametrisierten Geometriemodellen auf der Grundlage von Mikrotomographien gewinnen. Bei beiden Methoden muss die offenzellige Porosität des Materials jedoch vorab bekannt sein. Gelingt eine analytische Beschreibung, lassen sich Zusammenhänge zwischen den wesentlichen Herstellungsparametern und den schallabsorbierenden Eigenschaften erarbeiten. Gut gelungen ist dies bereits bei der Prozessführung eines mineralischen Schlagschaums. Komplexe Porengeometrien werden somit deutlich besser steuerbar.

Ansprechpartner

Roman Wack  
 Telefon +49 711 970-3488  
 roman.wack@  
 ibp.fraunhofer.de

**1** Messaufbau des Luftpyknometers.

**2** Tomographische Aufnahme eines mineralischen Schlagschaums.



### Messung wie im Freien: Simulierte Vorbeifahrt im Akustikrollenprüfstand

Wie laut sind verschiedene Typen von Fahrzeugen? Bisher wurde dies auf genormten Außengeräuschprüfstrecken ermittelt – anhand von real vorbeifahrenden Fahrzeugen. Da die Vorschriften verschärft wurden und die Grenzwerte gesunken sind, ist der Umfang der Untersuchungen gestiegen: Bestehende Außengeräuschprüfstrecken gelangen hinsichtlich Kapazität und umweltbedingter Randparameter an ihre Grenzen. Abhilfe soll die simulierte Vorbeifahrt im Akustikrollenprüfstand schaffen. Die Vorteile: Anders als bei Außengeräuschprüfstrecken sind die Umgebungsbedingungen in der Messhalle reproduzierbar und kontrollierbar – sie können sowohl konstant gehalten als auch teilweise variiert werden. Zudem sind die Akustikmessungen unabhängig von meteorologischen Einflüssen wie Temperatur, Wind und Regen und auch das Hintergrundgeräusch in der Halle ist gering. Weiterhin sind dort keine Störungen aus der Umgebung durch andere Fahrzeuge oder sonstige Umwelteinflüsse vorhanden.

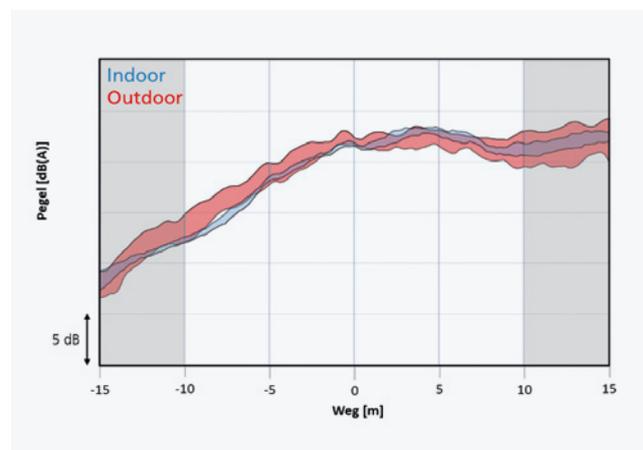
#### Tests bestanden

Validierungsuntersuchungen zeigten: Für Frontmotorfahrzeuge stimmen die Vorbeifahrtpegel der realen Vorbeifahrt »outdoor« nach ISO 362-1 und der simulierten Vorbeifahrt »indoor« nach ISO 362-3 bereits gut überein. Bei Sportfahrzeugen mit Heckmotor konnte dies bisher jedoch nur bedingt bestätigt werden. Neueste Abgleiche, die auf dem Allradrollenprüfstand am Fraunhofer IBP (Bild 3) durchgeführt wurden, bescheinigen nun auch für Heckmotor-Sportfahrzeuge übereinstimmende Ergebnisse zur Außengeräuschprüfstrecke. Insbesondere in dem Bereich, der von Geräuschen aus dem Antriebsstrang dominiert wird und in dem die bewertungsrelevanten Spitzenpegel liegen, konnten die auf der Außengeräuschprüfstrecke ermittelten Vorbeifahrtpegel im Prüfstand reproduziert werden. Allerdings müssen dabei auf dem Prüfstand einige Dinge beachtet werden. So ist es unabdingbar, Prüfstandsparameter wie Trägheit oder Ausrollkoeffizien-

ten sorgfältig auszuwählen. Gleiches gilt für die passenden Reifen-Fahrbahn-Geräusche, die energetisch zu den »indoor« ermittelten Pegeln addiert werden. Auch die Umströmung und Kühlung, die für Heckmotor-Fahrzeuge typisch ist, muss beachtet und entsprechend kontrolliert werden.

#### Entwicklungspotenziale nutzen

Die Ergebnisse im Prüfstand weisen eine deutlich geringere Streubreite auf. Somit bietet der Prüfstand nicht nur eine von Umwelteinflüssen unabhängige Alternative zur »outdoor«-Messung, sondern auch ein Verfahren, das sich besonders für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten eignet.



Ansprechpartner

Pascal Teller  
 Telefon +49 711 970-3410  
 pascal.teller@  
 ibp.fraunhofer.de

**Graphik** Pegel-Streuband eines Heckmotor-Sportfahrzeugs bei beschleunigten Vorbeifahrten unter normgerechten Randbedingungen auf dem Akustikrollenprüfstand (blau) und auf einer ISO-Außengeräusch-Messstrecke (rot).

**3** Akustik-Allradrollenprüfstand für die Messung der simulierten Vorbeifahrt am Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart.



## ENERGIEEFFIZIENZ UND RAUMKLIMA

Im Fokus der Abteilung Energieeffizienz und Raumklima stehen energetische Fragestellungen zu Gebäuden und Siedlungen, die Entwicklung effizienter Gebäudesysteme sowie Maßnahmen zur Bedarfsminimierung unter Einbeziehung erneuerbarer Energien. Wir konzipieren, betreuen und bewerten Niedrigstenergie-, Null-Emissions- und Plusenergiehäuser (Neubau und im Bestand). Einher geht die Entwicklung von Kriterien für ein nutzer- und nutzungsgerechtes Raumklima in Innenräumen (Gebäude, Fahr- und Flugzeuge).

In maßgeschneiderten Evaluationsprogrammen überführen wir innovative Gebäude- und Fassadentechnologien in die Praxis-tauglichkeit. Dazu nutzen und bewerten wir Testgebäude auf unserem Freilandversuchsgelände. Demonstrationsgebäude zeigen Lösungsansätze auf, weisen die Machbarkeit nach und regen zur Nachahmung an.

Wir erforschen energieeffiziente Systeme, Konzepte und Technologien, die das Raumklima ressourcenschonend nutzer- und nutzungsorientiert gestalten. Zudem bearbeiten wir die Integration in BIM-Planungsmethoden (BIM = Building Information Modeling) sowie anlagen- und informationstechnische Ansätze der Gebäudeautomation für Betrieb und Nutzer.

Der anforderungsgerechten Planung und Gestaltung des visuellen Umfelds kommt eine große Bedeutung zu, denn etwa 80 bis 90 Prozent der Informationen nehmen wir über das Auge auf. Zu unserem Portfolio zählt die Projektbearbeitung zur lichttechnischen Fassadenoptimierung, Straßen- sowie Allgemeinbeleuchtung in Gebäuden.

In unserem weltweit einzigartigen Fluglabor – eine Niederdruckkammer mit mehreren Flugzeugsegmenten und Platz für bis zu 80 Probanden – erforschen wir das Kabinenklima sowie das Flugzeug als Gesamtsystem mit seinen Klimatisierungslösungen unter realen Bedingungen und in Co-Validierung mit speziell entwickelten thermischen Modellen.

Wir entwickeln und validieren leistungsfähige Planungswerkzeuge und stellen Datengrundlagen für Berechnungen und modellbasierte Analysen bei. So bieten wir im Zusammenhang mit neuen Bewertungsverfahren einen umfangreichen Satz an digitalen Planungsinstrumenten an.

- Gebäude – Quartier – Stadt
- Evaluierung und Demonstration
- Gebäudesystemlösungen
- Lichttechnik und passive Solarsysteme
- Flug- und Fahrzeugklimatisierung
- Planungswerkzeuge

Abteilungsleiter

Dr. Harald Will  
 Telefon +49 8024 643-620  
 harald.will@  
 ibp.fraunhofer.de



### Schön kühl dank Grünfassaden

Werden Schul- und Verwaltungsbauten saniert, setzt man dabei verstärkt auf dezentrale Lüftungseinheiten. Allerdings ist ihre Kühlleistung begrenzt. Gleichzeitig wächst die Nachfrage nach Grünfassaden als natürliche Klimaanlage. Inwieweit lässt sich der Energieverbrauch von dezentralen Lüftungsgeräten durch den Einsatz von begrünten Fassadenelementen senken? Dies wird im Projekt »GreenFaBS« mit der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm und mit Unterstützung des Bundesverbands GebäudeGrün e. V. (BuGG) untersucht – gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

An einem Versuchstand an der Technischen Hochschule Nürnberg wurden erste experimentelle Studien an Begrünungssystemen durchgeführt, das vielversprechendste untersucht das Fraunhofer IBP im Sommer 2020 an den Zwillingsräumen der Versuchseinrichtung für energetische und raumklimatische Untersuchungen (VERU). Hierbei wird ein Testraum mit einer wandgebundenen Begrünung versehen, während die Fassade des Referenzraums nicht begrünt ist. Beide Räume sind mit identischen dezentralen Lüftungsgeräten inklusive Kühlfunktion ausgestattet. Vergleicht man den Energiebedarf der dezentralen Lüftungstechnik, lässt sich der Einfluss der Begrünung bestimmen.

Ansprechpartnerin

Almuth Schade  
 Telefon +49 8024 643-275  
 almuth.schade@  
 ibp.fraunhofer.de

**1** *Versuchsstand der Technischen Hochschule Nürnberg in Rednitzhembach.*

### Kostengünstig und energieeffizient geht nicht? Doch.

Wie können energetisch hocheffiziente Wohngebäude konzipiert und gebaut werden, die nur minimale Mehrinvestitionen gegenüber einer Standardausführung verursachen? Wie wirkt sich das auf die Lebenszykluskosten und die Ökobilanz aus, d. h. die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen inklusive der Herstellungsphase? Welche kostensparenden Energiekonzepte sind auch in zehn Jahren noch vorteilhaft? Diese Fragestellungen hat das EU/BBSR-Projekt CoNZEBS unter der Leitung des Fraunhofer IBP untersucht.

Als interessant erwiesen sich dabei Lösungen mit elektrischen Wärmepumpen oder direkt elektrischer Heizung in Kombination mit Photovoltaik. Je effizienter die Anlagentechnik, desto geringer können die Dämmstoffstärken in der Gebäudehülle bei gleichem Primärenergiebedarf ausfallen – somit lassen sich Kosten einsparen. Wird berücksichtigt, dass sich die Randbedingungen bei Primärenergiefaktoren, Effizienzen und Kosten bis zum Jahr 2030 verändern, so gewinnen elektrische Systeme und auch Plusenergiekonzepte investiv noch weiter an Attraktivität.

Weitere Projektergebnisse beinhalten Maßnahmen, mit denen sich bei der Planung und Umsetzung auf der Baustelle Kosten einsparen lassen, sowie eine Broschüre zum Wohnen in Niedrigstenergiegebäuden mit Erwartungen, Erfahrungen und Zusatznutzen.

Ansprechpartnerin

Heike Erhorn-Kluttig  
 Telefon +49 711 970-3322  
 heike.erhorn-kluttig@  
 ibp.fraunhofer.de

**2** *Energieeffizienz bei Mehrfamilienhäusern: kostengünstig durch intelligenten Technikmix.*



3

### DressMAN 3.2 – objektive Komfortmessung in Bürobauten, Fahrzeugen und Flugzeugen

Wie warm oder kalt der Mensch seine Umgebung empfindet, ist individuell ganz verschieden – diese Wahrnehmung hängt von Parametern wie der Stoffwechselrate und dem Dämmwert der Bekleidung ebenso ab wie von vier physikalischen Umgebungsparametern: Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und relative Luftfeuchtigkeit. Diese raumklimatischen Größen können mit einzelnen Sensoren gemessen werden, die dann als Grundlage für die Komfortbewertung der Umgebung verwendet werden. Das ist ein gängiger Ansatz, um den thermischen Komfort in homogenen Umgebungen wie Büroräumen zu bewerten.

Um die thermischen Bedingungen in einer Fahrzeugkabine zu bewerten, empfiehlt sich stattdessen die Messung und Auswertung der Äquivalenttemperatur, wie in Norm ISO 14505-2 definiert. Diese fasst die resultierenden Effekte der genannten Klimaparameter zusammen, indem sie den trockenen Wärmeverlust einer Person auf einer künstlichen Haut nachstellt. Das neu entwickelte DressMAN-Sensorsystem liefert in der dritten Generation ein höheres Maß an Benutzerfreundlichkeit und Modularität. So konnten Größe und thermische Masse des Sensors erheblich reduziert werden – somit lassen sich nun auch schnelle Abkühl- und Aufheizphasen im Fahrzeug exakt erfassen. Das neue Datenerfassungssystem arbeitet zudem mit Funktechnik, sodass bis zu 60 batteriebetriebene, drahtlose Sensoren flexibel auf einer Messpuppe angebracht bzw. von Probanden getragen werden können.

Ansprechpartner

Dr. Victor Norrefeldt  
Telefon +49 8024 643-273  
victor.norrefeldt@  
ibp.fraunhofer.de

**3** Nutzung des DressMAN-  
Systems im Fahrzeug.



4

### Fraunhofer Innovation Platform for Urban Eco-Development

Ökologische und nachhaltige Lösungen im Gebäudebereich erforschen und den vielfältigen Herausforderungen der stark wachsenden Metropolen Chinas begegnen – diese Herausforderungen gehen das Fraunhofer IBP und die School of Design der Shanghai Jiao Tong University (SJTU) künftig gemeinsam. Dies haben sie im Frühjahr 2019 beschlossen.

Das erfolgreiche deutsche Fraunhofer-Modell für angewandte Forschung wird dazu über die Fraunhofer Innovation Platform for Urban Eco-Development – früher ein Fraunhofer Project Center – an der Shanghai Jiao Tong University (SJTU) etabliert. Die Bundesregierung unterstützt diese Zusammenarbeit im Rahmen ihrer internationalen Strategie. Es sollen sowohl technologische Lösungen für den Gebäude- und Quartiersbereich großer Metropolen entwickelt als auch Forschungsergebnisse in die Bauwirtschaft transferiert werden. Die Verantwortlichen betonen, dass die Marktchancen in China sich auch positiv auf den deutschen Markt auswirken werden.

Eine effiziente Energieversorgung über Kraft-Wärme-Kopplung planen, ein robustes Regenwassermanagement konzipieren, Grünflächen in Mega-Cities integrieren, all dies gehört zu den Forschungsschwerpunkten des Zentrums. Auf Gebäudeebene stellen sich andere Fragen: Für ökologische Neubauten und Sanierungen müssen Lösungen für eine kosten- und zeitsparende Planung gefunden werden, die vorgefertigtes und künftig auch industrialisiertes Bauen ermöglichen und Informationen für einen nachhaltigen Gebäudebetrieb und eine effiziente Liegenschaftsverwaltung automatisch bereitstellen.

Ansprechpartner

Prof. Dr. Gunnar Grün  
Telefon +49 8024 643-228  
gunnar.gruen@  
ibp.fraunhofer.de

**4** Auftaktveranstaltung am  
4. November 2019 in Shanghai.



### Energieeffizienznachweise für Länder der Energy Community

Die Länder des Westbalkans und der Schwarzmeerregion streben über den Zusammenschluss »Energy Community« eine Erweiterung des EU-Energiebinnenmarkts an: Dazu haben sie sich u. a. verpflichtet, die aktuelle europäische Gebäude-Energierrichtlinie »Energy Performance of Building Directive« (EPBD) einzuführen. Dieser Prozess wird aktiv unterstützt – so werden Handlungsempfehlungen für Anpassungen der nationalen Energiesparverordnungen gegeben und eine angepasste Software für den Energieeffizienznachweis in Gebäuden entwickelt und eingeführt. Die Basis bildet die bewährte Software der Abteilung Energieeffizienz und Raumklima des Fraunhofer IBP, die wiederum auf der deutschen Umsetzung der Gebäude-Energierrichtlinie EPBD und der dazugehörigen DIN V 18599 basiert.

Diese Software wird für die Länder entsprechend angepasst. Schließlich müssen die jeweiligen Energieausweise (Energy Performance Certificates, EPC) eingebunden, die Berechnungen an das jeweilige Klima angepasst und vor allem mit jeweiligen nationalen Vorschriften abgeglichen werden, etwa bei Mindest-U-Werten. Ziel ist es, die Nachweismethode nach DIN V 18599 auch in den Nicht-EU-Ländern auf dem Balkan und in Georgien zu verankern und die Einführung mit der IBP-Software »Energy Performance Certificate« zu unterstützen, wie dies bereits in Montenegro erfolgreich durchgeführt wurde.

Ansprechpartner

Simon Wössner  
Telefon +49 711 970-3400  
simon.woessner@  
ibp.fraunhofer.de

**5** *Energieeffizienznachweis  
in Gebäuden mit angepasster  
Software für Länder der  
»Energy Community«.*

### ComAir und CognitAir – Einfluss von Luftqualität auf Komfort und Leistungsfähigkeit im Flugzeug

Wie behaglich wird das Klima im Flugzeug empfunden? Um diese Frage zu klären, wurden in den Projekten ComAir und CognitAir zusammen mit der Abteilung Umwelt, Hygiene und Sensorik Probandentests im Flugzeugdemonstrator der »Flight Test Facility« (FTF) durchgeführt. Mehr als 1000 Probanden bewerteten an insgesamt 27 Testtagen, wie sich die Umluftrate, der CO<sub>2</sub>-Gehalt sowie der Gehalt an flüchtigen organischen Verbindungen auf den Komfort in der Kabine und die Leistungsfähigkeit auswirkt. Ziel ist es, langfristig eine Bemessungsgrundlage für »Adaptive Environmental Control Systems« zu schaffen. Diese sollen ermöglichen, das Flugzeuglüftungssystem bedarfsgeführt zu betreiben und somit Energie einzusparen.

In beiden Projekten bildet das Fraunhofer IBP mit der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) sowie mit der Danmarks Tekniske Universitet (DTU) eine Partnerschaft. Das ComAir-Projekt wird aus EU-Forschungsgeldern finanziert und von UTRC betreut. CognitAir wurde von Honeywell, Airbus, Embraer, Pall, Liebherr, UTRC und enVerid mit Co-Finanzierung durch ASHRAE beauftragt. An den Messungen im Fluglabor nahm zusätzlich NPL teil. Mit diesen Projekten konnte das Fraunhofer IBP nicht nur den Partner- und Kundenkreis für das FTF weiter ausbauen, sondern auch die interne Abteilungsvernetzung wurde weiter gestärkt.

Ansprechpartner

Dr. Victor Norrefeldt  
Telefon +49 8024 643-273  
victor.norrefeldt@  
ibp.fraunhofer.de

**6** *Proband beim Ausfüllen des  
Fragebogens.*



## GANZHEITLICHE BILANZIERUNG

Die Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung, kurz GaBi, ist seit 2006 am Institut für Akustik und Bauphysik (IABP; ehemals Lehrstuhl für Bauphysik) der Universität Stuttgart und seit 2008 auch am Fraunhofer IBP angesiedelt.

Arbeitsschwerpunkt der Abteilung ist die Ganzheitliche Bilanzierung und Analyse von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen. Hierbei werden ökologische, ökonomische, soziale und technische Gesichtspunkte über den gesamten Lebensweg berücksichtigt. Forschungsinhalte sind hierbei:

- Ganzheitliche Bilanzierung/Life Cycle Engineering (LCE)
- Ökobilanzierung/Life Cycle Assessment (LCA)
- Lebenszykluskosten/Life Cycle Costing (LCC)
- Soziale Aspekte/Life Cycle Working Environment (LCWE)
- Nachhaltigkeitsbewertung –  
ökologisch/ökonomisch/sozial – (LCA/LCC/LCWE)
- Umweltgerechte Produktentwicklung/Design for Environment (DfE)
- Umweltproduktdeklarationen/Environmental Product Declarations (EPD)
- Stoffstromanalysen/Material Flow Analysis (MFA)

Sei es bei der Sachbilanzierung, der Wirkungsabschätzung und der Integration sozialer Nachhaltigkeitsbewertung, die Erarbeitung von Methoden ist stark international ausgerichtet. Die Ganzheitliche Bilanzierung kann auch die Kosten über den gesamten Lebenszyklus mit einbeziehen – in Erweiterung der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040/14044. Zudem gleicht sie die technischen Eigenschaften der untersuchten Produkte und Prozess-Systeme mit ab. In konkreten Projekten verbinden die Forscher lebenswegbezogene Fragestellungen mit übergeordneten Fragen im Bereich technische Machbarkeit, Kapazitäten, Infrastruktur und Stoffstrommanagement.

Die Methode der Ganzheitlichen Bilanzierung wenden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in zahlreichen Projekten an. Auftraggeber sind Industrieunternehmen sowie öffentliche Forschungsförderer. Der ingenieurwissenschaftliche Hintergrund, umfangreiche Projekterfahrung und die erfolgreiche Verknüpfung von Forschung und praktischer Industrieanwendung führen zu qualitativ hochwertigen, verlässlichen und kundenorientierten Lösungen. Die entwickelten Tools und Datenbanken werden weltweit in Industrie, Forschung und Beratung zur Nachhaltigkeitsbewertung eingesetzt.



- Energie und Mobilität
- Nachhaltiges Bauen
- Werkstoffe und Produktsysteme

Abteilungsleiter

Matthias Fischer  
 Telefon +49 711 970-3155  
 matthias.fischer@  
 ibp.fraunhofer.de



---

### ISOPREP – Polypropylen-Recycling aus Teppichabfällen

---

Kunststoffe sowie die damit verbundenen Herausforderungen und gravierenden Umweltprobleme sind heutzutage allgegenwärtig. Mehrheitlich ist Kunststoff erdölbasiert und trägt zum Verbrauch fossiler Ressourcen bei. Um eine nachhaltige Kunststoffwirtschaft zu erreichen, müssen Kreisläufe durch verstärktes und zum Teil neuartiges Recycling sowie Wiederverwendung geschlossen und Kunststoffabfälle reduziert werden.

Bei vielen Recyclingmethoden handelt es sich häufig um Downcycling. Das heißt: Die Qualität des Rohstoffs sinkt, da Pigmente oder andere eventuell störende Stoffe nicht oder nur schwer entfernt werden können. Insbesondere Verbundwerkstoffe, beispielsweise Teppiche, stellen für das Recycling eine große Herausforderung dar: Eine rein mechanische Trennung und Aufbereitung kommt hier nur sehr eingeschränkt infrage. Andererseits stellen Teppichabfälle eine große potenzielle Rohstoffquelle dar, da sie im Schnitt etwa zur Hälfte aus dem Kunststoff Polypropylen bestehen und jährlich in großen Mengen anfallen – allein in der EU sind es 1,6 Millionen Tonnen pro Jahr. Momentan gehen diese Ressourcen jedoch verloren. Teppichabfälle werden vorrangig deponiert oder verbrannt.

Im EU-geförderten Horizont-2020-Projekt »ISOPREP« wird eine innovative, marktfähige Lösung für das Recycling von Teppichabfällen entwickelt. Basis bildet ein neues, bereits patentiertes lösungsmittelbasiertes Verfahren, mit dem Teppiche am Ende ihres Lebenszyklus behandelt werden können. In einem zu entwickelnden Prototyp wird dabei Polypropylen in Primärqualität extrahiert, das für den hochwertigen Gebrauch geeignet ist. Der große Vorteil dieses Verfahrens ist, es kann auf andere Abfallströme, die Polypropylen enthalten und für das konventionelle Recycling ungeeignet sind, übertragen werden.

Ist das innovative Recyclingverfahren eine ökologische und ökonomische Alternative zur Primärrohstoffgewinnung? Kann es ein notwendiger Baustein sein, um Kunststoffkreisläufe ökologisch sinnvoll zu schließen? Diese Fragen beantwortet

die Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung des Fraunhofer IBP in diesem Projekt. Mithilfe des standardisierten Life Cycle Assessment und eines in der Abteilung entwickelten ökonomischen Analyse-Tools werden Optimierungspotenziale aufgezeigt, um den Prozess projektbegleitend konkurrenzfähig zu machen.

Dieses Projekt wird mit Mitteln aus dem Horizont-2020-Forschungs- und Innovationsprogramm der Europäischen Union unter Grant Agreement Nr. 820787 gefördert.

Ansprechpartnerin

Maike Illner  
Telefon +49 711 970-3177  
maike.illner@  
ibp.fraunhofer.de

**1** *Teppiche oder andere Verbundwerkstoffe zu recyceln ist eine große Herausforderung.*

**2** *Polypropylen in Primärqualität als Ziel für das neuartige Recyclingverfahren für Teppichabfälle.*




---

### **Integrale Planung und Herstellung von ressourceneffizienten Betonbauteilen aus mineralischer Faserverbundbewehrung und gradiertem Beton**

---

Wie lassen sich Betonbauteile nachhaltig anwenden? Einen Ansatz dazu verfolgt das Fraunhofer IBP mit den Projektpartnern Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) und Institut für Systemdynamik (ISYS) der Universität Stuttgart. Ziel ist, die Weiterentwicklung einer sortenreinen und gewichtsoptimierten Betonbauweise, bei der mineralische und lastpfadgerechte Faserverbundbewehrung eingesetzt wird. Der Gradientenbeton, der vom ILEK entwickelt wurde, ermöglicht es, nicht wie üblich einen Beton zu verbauen, sondern den Bauteilinnenraum durch hohlraumbildende Maßnahmen (Grädierung) an den tatsächlich vorherrschenden Beanspruchungszustand anzupassen. Durch die Platzierung dieser Hohlräume im Bauteilinneren, die sich in Form und Größe unterscheiden, werden die Spannungszustände so gesteuert, dass das Material vollständig ausgenutzt werden kann.

Was die Ressourceneffizienz der Bewehrung angeht, so fokussieren sich die Untersuchungen auf den Einsatz einer Faserverbundbewehrung aus Basalt. Um die Herstellprozesse weitestgehend zu automatisieren, entwickelt das ISYS Pick&Place-Anwendungen durch ein Greifersystem. Anhand des Bilanzierungsmodells, das von der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung des Fraunhofer IBP konzipiert wird, können ökologische und ökonomische Potenziale entlang der Wertschöpfungskette für gradierte Betonbauteile zum jeweils aktuellen Projektstand ermittelt und Kennwerte bereitgestellt werden.

#### **Planungsmodelle schaffen Sicherheit**

Damit sich diese Technologie zukünftig durchsetzen kann, müssen die Optimierungs- und Berechnungsansätze in validierten Planungsmodellen aufbereitet werden. Hierfür wird erstmals ein Planungsmodell bestehend aus Entwurf, Herstellung und Bilanzierung für den Gradientenbeton erstellt.

Dieses ermöglicht es, bereits in der Entwurfsphase der Bauteile zu bewerten, wie sich diese auf Ökologie und Ökonomie auswirken.

#### **Transparente Entscheidungsprozesse**

Entscheidungsprozesse sind somit für die Akteure der Wertschöpfungskette frühzeitig transparent und nachvollziehbar. Dies stellt einerseits die Nähe zur Baupraxis sicher, andererseits können Hemmnisse für den Einsatz der Gradientenbetonbauweise bei den ausführenden Firmen abgebaut werden. Durch die interdisziplinäre Forschergruppe wird die Interaktion zwischen technologischen Entwicklungen und der Bilanzierung geschaffen, wodurch der ökologische und ökonomische Mehrwert für kleinere und mittlere Unternehmen verdeutlicht werden kann.

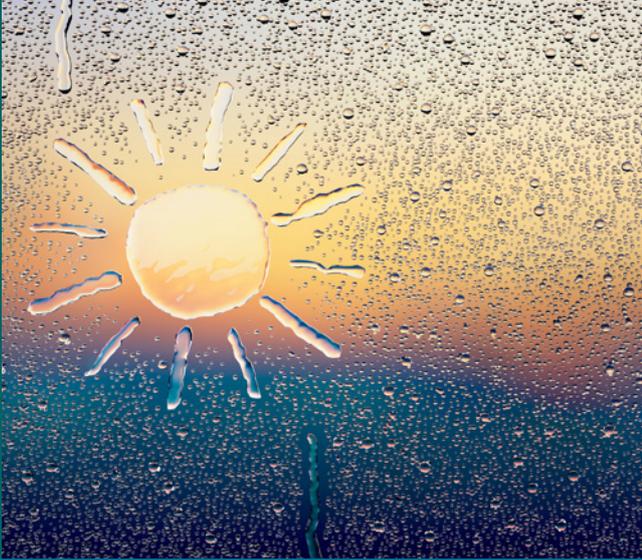
*Das Forschungsprojekt wird mit Mitteln des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg gefördert (Förderkennzeichen: 3-4332.62-ILEK/1).*

Ansprechpartnerin

Katrin Lenz  
 Telefon +49 711 970-3183  
 katrin.lenz@  
 ibp.fraunhofer.de

**3** Mineralische Hohlkugeln in verschiedenen Größen.

**4** Einsatz von Gradientenbeton in einem Deckenbauteil.



# HYGROTHERMIK

Die Abteilung Hygrothermik analysiert und beurteilt das Wärme- und Feuchteverhalten von Baustoffen bis hin zu ganzen Gebäudekomplexen. Dazu gehören auch RLT-Anlagen und deren Interaktion mit der Gebäudehülle sowie der Einfluss weiterer hygrothermischer Speichermassen. Solche Analysen bilden die Basis für die optimierte und anforderungsgerechte Planung im Neubau und bei der Altbausanierung.

## Hygrothermische Material- und Systemprüfung

Die Forscherinnen und Forscher der Abteilung bestimmen die wärme-, feuchte- und strahlungstechnischen Kennwerte und überprüfen die Spezifikationen von Bauprodukten, z. B. durch Luft- und Regendichtheitsprüfungen.

## Klimasimulation und Freilanduntersuchung

Standardprüfungen stoßen beim Test neuer Produkte oder beim Einsatz bewährter Produkte in neuen Anwendungsgebieten häufig an ihre Grenzen. Hier ist eine maßgeschneiderte Klimasimulation oder eine Freilanduntersuchung die Methode der Wahl, um Eignung und Dauerhaftigkeit eines Produkts zu beurteilen.

## Hygrothermische System-Analysen

Durch hygrothermisches Bauteil- oder Gebäudemonitoring werden vorhandene Probleme analysiert und Lösungsansätze zum Vermeiden kritischer Bedingungen, zur Verbesserung des hygrothermischen Komforts und zur Verringerung des Energieverbrauchs entwickelt. Solche Analysen sind vor allem zum Schutz unserer Kulturgüter notwendig, da Fehler bei der Sanierung oder Nutzung unwiederbringliches Kulturerbe zerstören können.

## Markttechnische Umsetzung

Erst wenn ein Produkt erfolgreich vom Markt angenommen ist, wird aus einer Idee eine tatsächliche Innovation. Bereits von Beginn an gestalten wir die Vermarktung Ihrer Idee mit und berücksichtigen die besonderen Herausforderungen, die der Baustoffmarkt mit sich bringt. Außerdem prüfen wir bei Bedarf die Einsetzbarkeit von Bauprodukten für unterschiedliche Klimazonen und Nutzungsbedingungen.

- Hygrothermische Material- und Systemprüfung
- Klimasimulation und Freilanduntersuchung
- Hygrothermische System-Analysen
- Markttechnische Umsetzung

## Akkreditierte Prüflabore

- Kennwerte für Dämmstoffe, Fenster, Fassaden, Bauteile
- Feuchte/mineralische Werkstoffe

Abteilungsleiter

Prof. Dr. Hartwig M. Künzel  
 Telefon +49 8024 643-245  
 hartwig.kuenzel@  
 ibp.fraunhofer.de

Dr. Simon Schmidt  
 Telefon +49 8024 643-680  
 simon.schmidt@  
 ibp.fraunhofer.de



## Feuchteschutzrichtlinie für Südkorea

Gebäude müssen stetig höhere Anforderungen an den Wärmeschutz und die Energiebilanz erfüllen – das gilt auch in Korea. Werden Gebäude in Niedrigenergiebauweise gebaut, treten jedoch vielfach Schimmelprobleme auf. Denn: Je besser ein Gebäude gedämmt und je luftdichter es ausgeführt ist, desto geringer ist oft auch das Trocknungspotenzial und desto höher werden die hygrothermischen Belastungen. Der Feuchteschutz, der zuvor kaum ein Thema war, rückt daher stark in den Fokus. Der Feuchteschutzplanung muss dementsprechend deutlich mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden.

### Langjährige hygrothermische Expertise

Die Abteilung Hygrothermik des Fraunhofer IBP entwickelt in Kooperation mit koreanischen Partnern eine neue Feuchteschutzrichtlinie für Südkorea. Das koreanische Bauministerium finanziert dieses Vorhaben. Die neue Richtlinie orientiert sich an der Neufassung der DIN 4108 vom Oktober 2018, die jedoch an die bautechnischen, klimatischen und rechtlichen Anforderungen in Korea angepasst werden. Die koreanischen Partner wollen von der langjährigen hygrothermischen Expertise des Fraunhofer IBP profitieren und die Feuchteschutzthematik in Korea auf den neuesten Stand bringen.

### Aufbau von Laboren vor Ort

Neben den theoretischen Arbeiten sind auch praktische Schritte erforderlich: Üblicherweise werden von Baustoffen in Korea bisher weder das Wasserdampfdiffusionsverhalten noch die Sorptionseigenschaften oder der Flüssigtransport ermittelt. Es ist daher bis dato nicht möglich, vereinfachte Bewertungsverfahren wie das nach Glaser heranzuziehen. Im Kontext des Projekts und mit Unterstützung des Fraunhofer IBP erfolgt der Aufbau von Laboren, um alle hygrothermischen Materialkennwerte vor Ort ermitteln zu können.

## Verschiedene Klimaregionen

Weiterhin entwickeln Expertenteams hygrothermische Referenzjahre für die verschiedenen Klimaregionen, ebenso wie Raumklimamodelle, die auf den Nutzergewohnheiten in Korea basieren. Auch die dort maßgeblichsten Schadensmechanismen sollen analysiert und entsprechende Grenzwerte für die Bemessung in der Praxis erarbeitet werden.

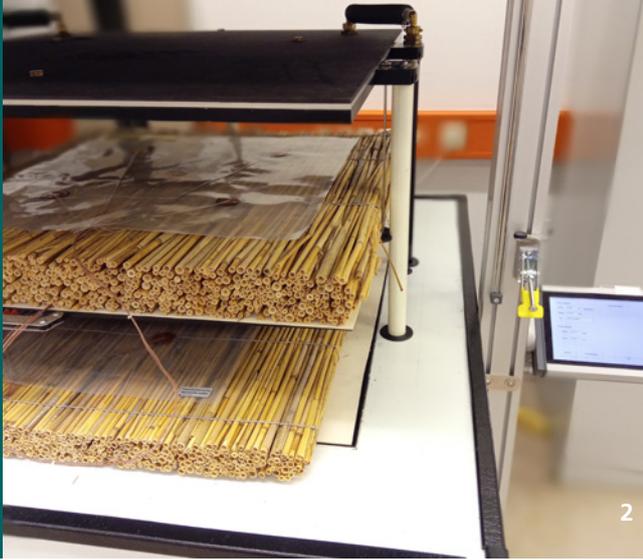
### Großes Konsortium

Partner neben dem langjährigen WUFI®-Kooperationspartner Passive House Institute Korea (PHIKO) sind das Korea Institute of Civil Engineering and Construction Technology (KICT), das Korea Appraisal Board, das Architectural Institute of Korea sowie weitere Universitäten und Forschungsinstitute. Auch große Planungs- und Bauunternehmen wie SAMOO C.M. und LG sind involviert.

### Ansprechpartner

Dr. Daniel Zirkelbach  
 Telefon +49 711 970-229  
 daniel.zirkelbach@  
 ibp.fraunhofer.de

1 Projektaufstart im Oktober  
 2019 in Seoul.



## Dämmstoff aus dem nachwachsenden Rohstoff Schilfrohr

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen im eigenen Haus einzubauen und so das Klima zu schonen – dieser Wunsch ist seit »Greta« stärker denn je. Ein Dämmstoff muss jedoch zunächst einige Zulassungsrichtlinien erfüllen, bevor er in Deutschland verwendet werden darf. Genauer gesagt: Er muss nach Norm oder nach einer Zulassung/Bauartgenehmigung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin, oder nach einer europäischen Zulassung hergestellt sein.

Als anerkannte nationale und europäische Prüfstelle – BWU 10 und Notified Body 1004 – prüft, überwacht und zertifiziert die Gruppe »Wärmekennwerte, Klimasimulation« des Fraunhofer IBP Dämmstoffe und ermöglicht Herstellern somit den Zugang zum nationalen und europäischen Markt. In den Dämmstoffzulassungen wird in der Regel auch eine »Güteüberwachung« durch ein anerkanntes Institut verlangt. Es bestehen deshalb zahlreiche Überwachungsverträge des Fraunhofer IBP mit deutschen und ausländischen Dämmstoffherstellern. In diesen Verträgen sind laufende Kontrollbesuche und Prüfungen geregelt, welche die Qualität der Dämmstoffe für den Verbraucher sicherstellen sollen.

Im vergangenen Jahr schloss das Fraunhofer IBP einen weiteren Vertrag mit einem Dämmstoffhersteller ab, dessen Dämmstoff aus Schilfrohr in Deutschland erhältlich ist. In Deutschland können die Schilfrohre aufgrund des Vogelschutzes meist nicht geerntet werden. Daher kommt der Rohstoff aus der Südtürkei. In einem Werk vor Ort mit Drähten zu Schilfplatten zusammengespannt, wird er nach der Qualitätskontrolle nach Deutschland geschickt. Die »Werkseigene Produktions- und Qualitätskontrolle im Herstellwerk« erfolgt regelmäßig durch einen Mitarbeiter der Hygrothermik. Dazu gehört auch die Probenahme von Material im Herstellwerk. Kennwerte wie Wärmeleitfähigkeit, Zugspannung, Abmessungen, Feuchteaufnahme und Dimensionsstabilität unter hygrothermischer

Belastung werden teilweise produktionsbegleitend getestet, zweimal jährlich auch in den Laboren des Fraunhofer IBP.

Der Dämmstoff aus nachwachsendem Schilfrohr bietet interessante Vorteile. Das Material in Verbindung mit dem Herstellungsverfahren weist gute Brandschutzwerte und hohe Schimmelresistenz auf und dies ohne Einsatz von Chemikalien. Mit einem Messwert der Wärmeleitfähigkeit von 0,053 W/mk lässt sich ein Bemessungswert von 0,061 W/mk erreichen. Das heißt, die Wärmeleitfähigkeit des natürlichen Schilfrohrs ist z. B. vergleichbar mit kapillaraktiven Dämmungen, die speziell als Innendämmstoff konzipiert wurden.

### Ansprechpartner

Andreas Zegowitz  
 Telefon +49 711 970-3333  
 andreas.zegowitz@  
 ibp.fraunhofer.de

**2** Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit der Schilfrohrmatten im Plattengerät am Fraunhofer IBP.

**3** Überprüfung der Dämmstoffplattengeometrie im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle.

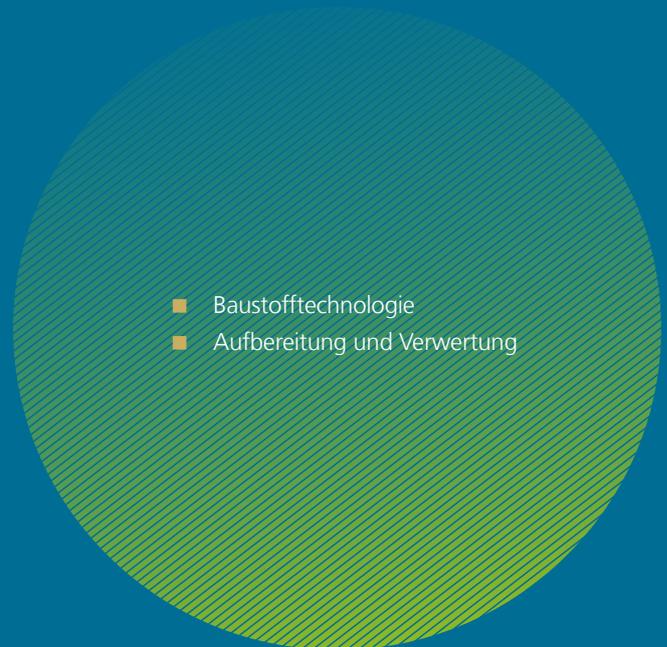


# MINERALISCHE WERKSTOFFE UND BAUSTOFFRECYCLING

Die Abteilung Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling, bestehend aus den Gruppen »Baustofftechnologie« und »Aufbereitung und Verwertung«, vereint Kompetenzen aus Mineralogie, Restaurierung und Bauingenieurwesen. Im Vordergrund der Forschung steht die Entwicklung von neuen Baustoffen, die Aufbereitung von Bauschutt und die Analyse von Baumaterialien.

Neben der Herstellung von Leichtbetonen, faserverstärkten Betonen und porosierten Dämmstoffen liegt ein besonderer Fokus auf der Formulierung von Geopolymeren. Das Baustofflabor kann sämtliche Schritte in der Betonherstellung – von der Rezepturerstellung, über die Mischungsoptimierung bis hin zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften – durchführen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung der Dauerhaftigkeit von Baustoffen sowie der Aufklärung von Mechanismen, welche zu Schädigungen in Baustoffen führen.

Für die Aufbereitung von Bauerstrmassen werden neue Technologien und Verfahren entwickelt und neben Trennverfahren auch Sortiertechniken und neue Verwertungswege für Bauschutt-Fractionen erforscht. Dabei sollen aus aufbereiteten Abfallstoffen neuartige und kosteneffiziente Baumaterialien entstehen. Für die Materialanalyse stehen unterschiedliche Röntgenmethoden als auch mikroskopische und spektroskopische Verfahren zur Verfügung.



- Baustofftechnologie
- Aufbereitung und Verwertung

Abteilungsleiter

Dr. Volker Thome  
 Telefon +49 8024 643-623  
 volker.thome@  
 ibp.fraunhofer.de



### Schnelle Identifikation von AKR-Schäden mittels Ramanspektroskopie

Die schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR), die auch als Betonkrebs bezeichnet wird, ist ein weltweit auftretendes Problem, welches die Nutzungsdauer von Beton verkürzt und dadurch immense Kosten in Millionenhöhe verursacht. Hauptverantwortlich für AKR sind ungeeignete Gesteinskörnungen, die mit der alkalischen Porenlösung des Betons reagieren. Allein in Deutschland sind über 400 Kilometer Autobahn (Fahrbahndecken aus Beton und Betonbrücken) von den Auswirkungen der AKR betroffen. Die AKR ist ein langwieriger Prozess, und Schäden treten in der Regel erst nach fünf Jahren auf. Bisherige labortechnische Untersuchungen nehmen viel Zeit in Anspruch und können nur in entsprechend ausgestatteten Prüflaboren durchgeführt werden.

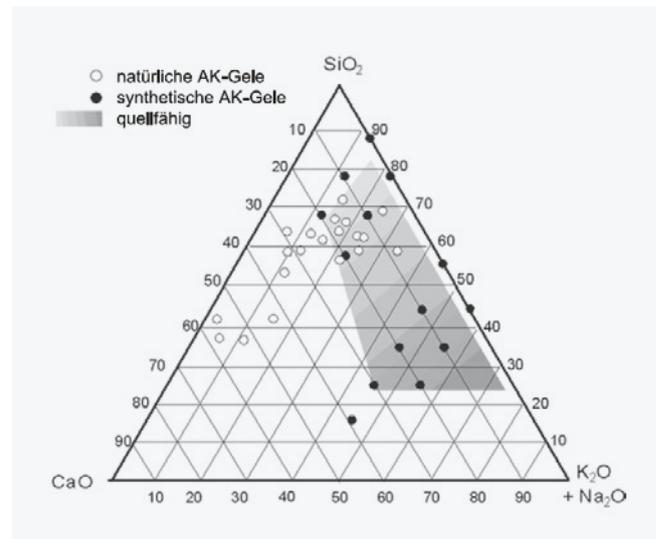
In dem Forschungsprojekt »AKR-Prüfverfahren« aus diesem Grund, spektroskopische Methoden zur Erkennung von AKR-Schäden entwickelt werden. Expertenteams des Fraunhofer IBP stellen dazu im Labor verschiedene Alkali-Kieselsäure-Gele – also die Reaktionsprodukte der AKR –, her und untersuchen sie ramanspektroskopisch.

Die Ramanspektroskopie bietet hier eine schnelle, nahezu zerstörungsfreie Methode zur Untersuchung der schlechtkristallinen bzw. amorphen AK-Gele. Durch diese Untersuchung kann an den Gelen festgestellt werden, ob diese zur Schädigung im Beton führen oder keine Schäden im Beton verursachen. Je nach Alkali- und Calciumgehalt der Gele verfügen diese über unterschiedliches Schädigungspotenzial.

Das Projekt zeigte, dass sich mittels der Ramanspektroskopie der Alkali- und Calcium-Gehalt in den AK-Gelen bestimmen lässt, was wiederum Rückschlüsse auf das Schädigungspotenzial der Gele erlaubt. Durch den Vergleich der gemessenen Spektren mit Referenzspektren bekannter, synthetischer Gele kann dieses Verfahren beschleunigt werden.

Am Fraunhofer IBP wurde bereits mit dem Ausbau einer Referenzdatenbank begonnen und die Anwendbarkeit der Ramanspektroskopie zur Untersuchung von AKR-Schäden bestätigt.

Ziel des Projekts ist es, ein schnelles AKR-Prüfverfahren zu entwickeln, welches den Unternehmen eine schnelle und sichere Erkennung von AKR-Schäden und Unterscheidung von anderen betonschädigenden Reaktionen anhand der Reaktionsprodukte ermöglichen.



Ansprechpartner

Dr. Severin Seifert  
 Telefon +49 8024 643-676  
 severin.seifert@  
 ibp.fraunhofer.de

**Graphik** Chemische Zusammensetzung quellfähiger (potenziell schädigender) und nicht quellfähiger (nicht schädigender) AK-Gele.

1 Schäden an Beton verursachen immense Kosten.

## Entwicklung von zementfreien und CO<sub>2</sub>-armen Dämmstoffen aus Geopolymeren

Geopolymere sind alkalisch aktivierte Alumosilikate und besitzen ein sehr großes Potenzial, als zementfreier Baustoff in vielfältigen Anwendungsgebieten zum Einsatz zu kommen. Obwohl schon im Jahr 1974 ein erster Artikel zu Geopolymeren veröffentlicht wurde, sind die Geopolymere erst seit rund zwölf Jahren in den Fokus der internationalen Bauchemieforschung gerückt. Ursprünglich hat man Geopolymere aus Metakaolin hergestellt; mittlerweile kann man Geopolymere aus sehr unterschiedlichen silikatischen Materialien wie z. B. Flugaschen oder Hüttensanden bis hin zu Reishülsenaschen herstellen.

### Materialien mit vielfältigen Eigenschaften

Die größte wissenschaftliche Herausforderung ist, dass der Bildungsmechanismus für Geopolymere immer noch nicht geklärt ist. Mit herkömmlichen Analysemethoden erscheinen Geopolymere als amorphe glasartige Stoffe. Die ungewöhnlichen Materialeigenschaften deuten eher auf ein nanostrukturiertes Material mit einem dichten Gefüge hin. Streng genommen sind Geopolymere gar keine Polymere, da bei der Materialanalyse noch nie ein Polymer nachgewiesen wurde. Lange Zeit ging man davon aus, dass Geopolymere aus polymerisierten Silikat-Tetraedern bestehen.

### Formstabiler Dämmstoff

Je nach Ausgangszusammensetzung kann man Geopolymere auch unterschiedlich funktionalisieren. In Australien werden beispielsweise Frost-Tau-resistente Geopolymere als Material für Flugzeug-Landebahnen verwendet; in Indien baut man ganze Häuser aus Geopolymeren und in der Formel 1 werden carbonfaserverstärkte Geopolymere für Auspuffrohre verwendet. Aufgrund ihrer hohen Resistenz gegenüber Säuren ist auch ein zukünftiger Einsatz von Geopolymeren z. B. in Abwasserrohren denkbar.

Am Fraunhofer IBP haben sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Abteilung Mineralische Werkstoffe und Baustoffrecycling auf eine andere Idee spezialisiert. Mithilfe neuartiger Schäumungsverfahren sollen Geopolymere entwickelt werden, um einen nicht brennbaren und zementfreien Dämmstoff herzustellen. Systematische Versuchsplanung und moderne Analysemethoden zielen auf eine Optimierung der Geopolymere hinsichtlich ihrer Rohdichte und Wärmeleitfähigkeit, um sie als hochwertigen und innovativen Dämmstoff auf den Markt zu bringen. Es wurden bereits formstabile und dauerhafte Geopolymere hergestellt, welche ähnliche Eigenschaften wie Porenleichtbetone besitzen.

Ansprechpartner

Christian Kaiser  
 Telefon +49 8024 643-665  
 christian.kaiser@  
 ibp.fraunhofer.de



## UMWELT, HYGIENE UND SENSORIK

Gesunde Innenraumluft in Gebäuden und Verkehrsmitteln, umweltverträgliche Materialien, Bauprodukte und Bauweisen sowie die Bereitstellung von Heizenergie aus regenerativen Quellen sind die wichtigsten Arbeitsfelder der Abteilung Umwelt, Hygiene und Sensorik. Zur Bearbeitung unserer Projekte nutzen wir Einrichtungen zur Umweltsimulation, Umweltmesstechnik, instrumentelle Spurenanalytik, materialwissenschaftliche Verfahren, mikrobiologische und molekulargenetische Methoden sowie Software zur Modellierung und Simulation.

Während die Luftqualität in den Innenräumen von Gebäuden in erster Linie Auswirkungen auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit hat, kann eine schlechte Luftqualität in Verkehrsmitteln, insbesondere in der kommerziellen Luftfahrt, zu einem Sicherheitsproblem werden. Mit der Inbetriebnahme der Anlage »Bleed Air Contamination Simulators« (BACS) verfügt die Abteilung über eine einzigartige Versuchseinrichtung, mit der sich die Zustände in einem Strahltriebwerk, die zu einem sogenannten Fume Event führen können, nachstellen lassen. Damit ist es möglich, Stoffe zu erzeugen, die auch bei einem Fume Event auftreten können, von denen aber bislang weder die chemische Struktur aufgeklärt noch deren Wirkung auf den Menschen bekannt ist. Der BACS erlaubt es, diese Stoffe in ausreichender Menge zu produzieren und sie chemisch sowie toxikologisch zu charakterisieren.

Das Volksbegehren für mehr Artenschutz in den vergangenen Jahren haben den Artenschwund ins öffentliche Bewusstsein gerückt. Insbesondere in urbanen Räumen fehlt es vielfach an zusammenhängenden Grünflächen, Brachen, Biotopverbänden und Rückzugsmöglichkeiten für Insekten und andere Lebewesen. Die Begrünung von Dächern und Fassaden könnte, neben bauphysikalisch erwünschten Effekten wie

Wasserretention bei Starkregenereignissen und Temperaturausgleich, solche Rückzugsräume bieten. Deshalb werden in der Abteilung Pflanzen auf ihre Eignung für die dauerhafte und wartungsarme Gebäudebegrünung untersucht und Befestigungssysteme dafür entwickelt.

Sommerzeit ist Grillzeit. Was für die einen eine Freude ist, mag für den Nachbarn ein qualmendes Ärgernis sein. Und das nicht ganz zu Unrecht, werden doch beim Grillen auf einem Holzkohlegrill eine Vielzahl unerwünschter Stoffe in die Luft freigesetzt. Die Entwicklung einer neuartigen Holzkohle-Grill-einrichtung für die Gastronomie trägt dazu bei, den Schadstoffausstoß und die Freisetzung unerwünschter Gerüche in die Umgebung zu reduzieren.

- Analytik und angewandte Sensorik
- Ökologische Chemie und Mikrobiologie
- Verbrennungs- und Umweltschutztechnik
- Automotive

### Akkreditierte Prüflabore

- Emissionen, Umwelt und Hygiene
- Feuerstätten, Abgasanlagen

Abteilungsleiter

Dr. Christian Scherer  
 Telefon +49 8024 643-246  
 christian.scherer@  
 ibp.fraunhofer.de



## Modellierung der Umwelteigenschaften von Putzen und Mörteln

Bauprodukte müssen strenge Anforderungen erfüllen: Sieben Grundanforderungen sind es, die die europäische Bauprodukte-Verordnung adressiert. Eine davon bezieht sich auf Hygiene, Gesundheits- und Umweltschutz. Bauprodukte wie Putze und Mörtel, die im Außenbereich angewendet werden, müssen Wind, Regen, Sonne und Co. direkt standhalten. Prasselt Regenwasser auf die Materialien, können Inhaltsstoffe herausgelöst werden und durch ablaufendes Wasser direkt in die Umwelt gelangen. Nicht jede freigesetzte Substanz wirkt sich dabei negativ auf die Umwelt aus. Derzeit ist es jedoch noch nicht möglich, die Umwelteigenschaften von Putzen und Mörteln auf Basis von Werten zu beurteilen, die im Labor mittels Standardverfahren gewonnen wurden.

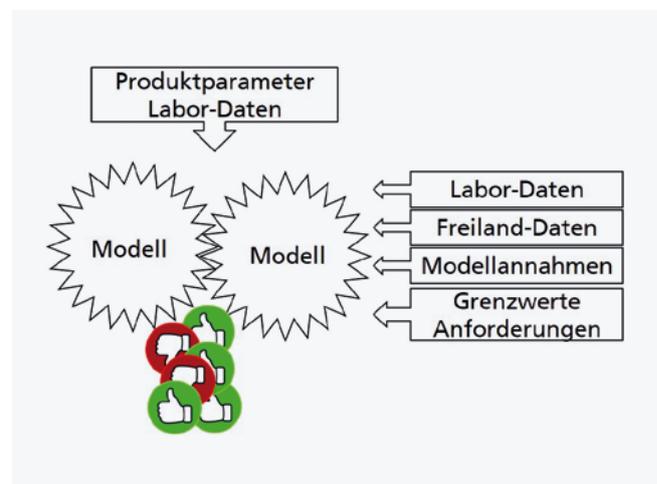
Das Fraunhofer IBP entwickelt daher ein Übertragungsmodell, das den Rückschluss von Laborergebnissen auf mögliche Umweltwirkungen erlaubt. Dabei müssen sowohl die Prozesse berücksichtigt werden, die an der Fassade ablaufen, als auch die Transportvorgänge im angrenzenden Boden. Zudem gilt es, die Grenzwerte zu beachten, die von den Regulierungsbehörden vorgegeben werden.

Die Modellentwicklung umfasst drei Schritte: Welche Wassermenge tritt bei einem zufälligen Regenereignis mit einer Fassade in Kontakt? Dies lässt sich mit dem Teilmodell 1 rechnerisch ermitteln. Denn die Wassermenge ist entscheidend für die Freisetzungs- und Transportprozesse – und hängt zudem stark vom Schlagregen ab. Eingangsparemeter für dieses Teilmodell sind standortspezifische Wetterdaten und die Materialeigenschaften der Fassadenbeschichtung.

Teilmodell 2 beschreibt die Mechanismen und Transportvorgänge innerhalb einer Fassade. Dabei werden chemische Prozesse sowie ihre Kinetik berücksichtigt. Als Resultat kann, basierend auf Laborergebnissen, simuliert werden, wie die Stoffe aus einer Fassade in der Realität freigesetzt werden.

Die ersten beiden Schritte beschreiben, wie Stoffe aus einem Bauprodukt freigesetzt werden. Der dritte Schritt widmet sich dagegen der Frage, wie das ablaufende Regenwasser und die darin gelösten Stoffe im Boden versickern – und dem Vergleich mit vorgegebenen Grenzwerten an einem definierten »Ort der Beurteilung«. Dazu werden die Modelle aus der »Sickerwasserprognose« angewendet.

Die in den einzelnen Schritten rechnerisch ermittelten Ergebnisse werden anhand einer umfangreichen Datenbasis validiert, die in verschiedenen Vorgänger-Forschungsvorhaben aufgebaut wurde. Die Ergebnisse diskutieren die beteiligten Forscher regelmäßig mit Experten aus Industrie, Forschung und Regulierungsbehörden.

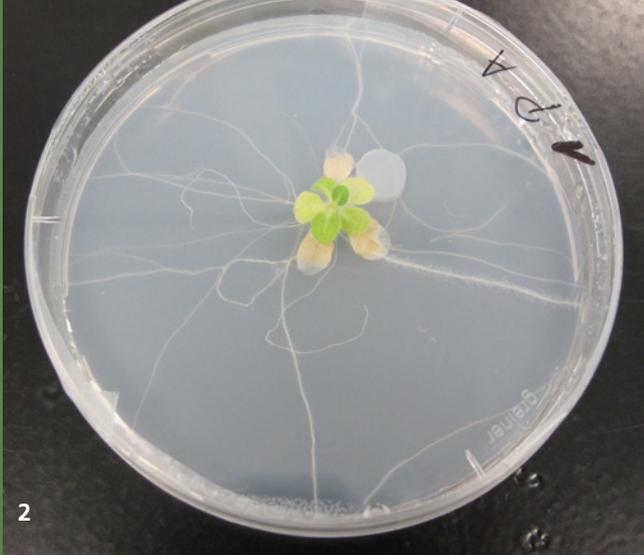


Ansprechpartnerin

Dr. Regina Schwerd  
 Telefon +49 8024 643-298  
 regina.schwerd@  
 ibp.fraunhofer.de

**Graphik** Konzept der Modellierung.

**1** Materialproben in der Freibewitterung zum Aufbau der Datenbasis.



## INSIBIO – In Silico-Driven Bioprocesses

Die Produktion von Gütern in den Industrieländern verschlingt bis jetzt viel Energie und Ressourcen. Effektive Maßnahmen gegen den Klimawandel müssen daher zukünftige Produktionsprozesse und Wertschöpfungsketten berücksichtigen. Ein vielversprechender Ansatz hierzu ist die »biologische Transformation«: Mit dem Ziel, die Wertschöpfung nachhaltiger zu gestalten, werden Materialien, Strukturen und Prozesse von der belebten Natur in die Technik überführt. Im Projekt »BioACCEPT – Biological Attempts Concerning Circular Economy, Production and Technology« konkretisierten Forscher die biologische Transformation in expliziten Anwendungen. In vier überlappenden Teilprojekten wurden verschiedene Aspekte so bearbeitet, dass sich die Gesamtheit der biologischen Transformation abbilden lässt.

Das Teilprojekt »INSIBIO – In Silico-Driven Bioprocesses« koppelt vier Technologiefelder, um biologische Prozesse ganzheitlich zu betrachten und gezielt optimieren zu können. Vernetzt werden die Felder Synökologie, Bioprozesstechnik, zerstörungsfreie Sensorik und mathematische Simulation. Zum einen werden ausgewählte praktische Experimente durchgeführt. Zum anderen werden – um den experimentellen und zeitlichen Aufwand zu reduzieren – die verwendeten biologischen Komponenten simuliert und in Form eines »digitalen Zwillings« dargestellt. Die Computersimulationen werden über eine sensorbasierte Kalibrierung optimiert. Das Fernziel: eine allgemeine Methode, um hochoptimierte biotechnologische Prozesse zu identifizieren.

Wie die neue Methode funktioniert, demonstriert das folgende Beispiel: Das Wachstum von Tabakpflanzen wird über zerstörungsfreie Sensorik überwacht, aus den gewonnenen Daten lässt sich mittels kalibrierter Simulation eine Vorhersage für das zukünftige Wachstum treffen. Für die Überwachung werden u. a. bildgebende Verfahren wie die Computertomographie eingesetzt. Die Simulation erlaubt es, die optimalen Wachstumsbedingungen rechnerisch zu bestimmen.

Neben klassischen Parametern wie Temperatur, Feuchte oder Licht liegt der Fokus auf der Co-Kultivierung – mit einem Mikroorganismus als Einflussfaktor für das Wachstum (Synökologie). So lieferten die ersten Versuche mit *Nicotiana tabacum* und *Piriformospora indica* Hinweise darauf, dass sich eine Co-Kultivierung möglicherweise tatsächlich positiv auf das Wachstum und damit auch auf eine spätere Wirkstoffausbeute auswirken kann. Dieser erste erfolgversprechende Ansatz wird in weiteren Vorhaben auf eine universellere Anwendbarkeit hin untersucht.



Ansprechpartnerin

Nicole Krueger  
 Telefon +49 8024 643-487  
 nicole.krueger@  
 ibp.fraunhofer.de

**Graphik** Verknüpfung von vier Technologiefeldern im Teilprojekt »INSIBIO«.

**2** Co-Kultivierung von *Nicotiana tabacum* und *Piriformospora indica*.

# GESCHÄFTSFELDER UND FRAUNHOFER-ALLIANZ BAU

A woman in a white lab coat is looking at a tablet in a laboratory setting. Large, silver, insulated ducts are visible in the background. A large, semi-transparent green circle with a grid pattern is overlaid on the image, containing the text.

**FÜR GANZHEITLICHE LÖSUNGEN  
BÜNDELN WIR UNSERE KOMPETENZEN  
DISZIPLINÜBERGREIFEND.**



## GESCHÄFTSFELD AVIATION

### Die Thermal Test Bench (TTB) des Fraunhofer IBP macht Flugtests am Boden kostengünstiger und umweltverträglicher

Um die kontinuierlich steigenden Passagiere im Luftverkehr gesund, komfortabel, aber auch zunehmend ökologischer und ökonomischer an ihre Ziele zu bringen, betreibt das Fraunhofer IBP intensiv Forschung rund um das Thema Flugzeug.

Dazu verfügt das Fraunhofer IBP über eine weltweit einmalige Testeinrichtung, die »Flight Test Facility« (FTF). In einer Niederdruckkammer befinden sich das originale Flugzeugsegment eines A310 mit rund 15 Meter Länge und Platz für bis zu 80 Probanden sowie drei Business-Jet-Demonstratoren. In der Niederdruckröhre können die Druck- und Temperaturbedingungen eines Fluges nachgestellt und somit Studien mit Bodendruckhöhe und für Flugsimulationen durchgeführt werden.

#### Thermal Test Bench

Doch inzwischen hat das Fraunhofer IBP seine Testlabore um die Thermal Test Bench (TTB) erweitert. Dieser einzigartige thermische Prüfstand eröffnet den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie ihren Partnern aus der Industrie spannende Forschungsmöglichkeiten, denn sie spielt eine wichtige Rolle bei der Simulation, Validierung und Prüfung neuer Systeme unter thermischen Gesichtspunkten.

Ein originaler Flugzeugrumpf, mit den drei typischen Bereichen Cockpit, Kabine und Heck ermöglicht vielseitige thermische Messungen. Ergänzt wird der Prüfstand durch das »AirCRAFT Calorimeter« (ACC) zur Simulation extremer Bedingungen wie »Rapid Decompression« (rasanter Druckabfall in der Kabine) oder einem »Thermal Shock«. Hier handelt es sich um äußerst schnelle Temperaturveränderungen, wie sie beispielsweise durch die Beschädigung der Kabinenstruktur während des Fluges auftreten können.

#### Vorteilhaft und vielseitig

Die TTB bietet enorme Vorteile. Nicht nur die Anzahl notwendiger und kostenaufwendiger realer Testflüge reduziert sich, auch die Umwelt wird in besonderem Maße geschont. Zudem ist es mit der TTB auch möglich, solche Fälle zu testen, die potenziell gefährlich für den Menschen wären. So wurden im CleanSky2-Airframe-Projekt Fehlerfälle im Business-Jet-Kabinendemonstrator untersucht, wie beispielsweise einen Ausfall der Lüftung. Anhand der gewonnenen Messdaten bestimmte das Expertenteam, wie lange die Kabine ein erträgliches Klima für die Passagiere aufweisen würde und ab welcher Zeitspanne die Gesundheit der Passagiere ernsthaft gefährdet wäre. Hieraus können nun effiziente Maßnahmen abgeleitet werden.

Ansprechpartner

Dr. Victor Norrefeldt  
 Telefon +49 8024 643-273  
 victor.norrefeldt@  
 ibp.fraunhofer.de

**1** Innenansicht des Business-Jet-Kabinendemonstrators mit Messaufbau.



## GESCHÄFTSFELD KULTURERBE-FORSCHUNG

### Gutes Klima und gute Energiebilanz – Entwicklung eines neuen Plusenergie-Bautypus für Museumsdepots und Archive

Kann ein Archiv oder Museumsdepot ein gutes Klima für die Erhaltung von Kunst und Kulturgut haben und dabei gleichzeitig hoch energieeffizient sein? Dieser Frage ging ein Forschungsverbund des Fraunhofer IBP mit der Hochschule Erfurt, der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg sowie mit der Moduldepot GmbH unter Leitung der Kulturerbe-Forschung in den Jahren 2015 bis 2019 im Forschungsprojekt »EnOB-Plusenergie-Depot« nach. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert dieses Vorhaben. Das Ziel: eine Musterlösung für Depots und Archive mit Plusenergie-Standard, das den Vorgaben der Präventiven Konservierung entspricht. Im Mittelpunkt dabei stehen Überlegungen der Prävention, das konservatorische Konzept, niedrige Bau- und Betriebskosten, geringer Technikeinsatz, hohe Energieeffizienz und die Nachhaltigkeit.

Ein wesentlicher Teil der Sammlungen deutscher Museen, Bibliotheken und Archive lagert in Depots und Magazinen. Zentrale gesellschaftliche Aufgaben jeder dieser Einrichtungen sind, die Bestände durch Sammlungstätigkeit zu erweitern und dauerhaft zu bewahren. Soll unser Kulturgut langfristig und sicher bewahrt werden, sind auf Dauer energieeffiziente, kostengünstige und einfache Strategien für Depot- und Archivbauten gefragt. Vor diesem Hintergrund erarbeitete das Forschungskonsortium zusammen mit den öffentlichen Partnern neue Konzepte für konservatorisch sichere, wirtschaftliche und hoch energieeffiziente Depot- und Archivgebäude. Dazu fanden zunächst umfassende Klima-Messungen in verschiedenen Typen von bestehenden Depot- und Archivbauten statt, die nach unterschiedlichen Konzepten errichtet und betrieben werden. In der Folge bewertete das

Konsortium unterschiedliche Konzepte und Modelle aus konservatorischer, bauphysikalischer und energetischer Sicht.

Welchen Einfluss haben Bauweise und Klimastrategien auf das Raumklima? Um diese Frage zu beantworten, wurden verschiedene Bauten rechnerisch simuliert und energetisch optimiert. Das Ergebnis: Durch passive Klimatisierung mit hochgedämmter und hoch luftdichter Gebäudehülle lässt sich ein sehr stabiles Klima erreichen – bei extrem niedrigem Energiebedarf. Die geringe Energiemenge, die noch zum Betrieb notwendig ist, kann beispielsweise über Photovoltaik am Gebäude produziert werden. In der Jahresbilanz lässt sich so der Plusenergie-Standard erreichen. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden in einem Handbuch zusammengestellt und der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Ansprechpartner

Dr. Ralf Kilian  
Telefon +49 8024 643-285  
ralf.kilian@  
ibp.fraunhofer.de

**2** Das Depot des Freilichtmuseums Neusath-Perschen besteht aus einer wärmedämmten Stahlbetonkonstruktion und erhielt eine ansprechende Fassade in Holzoptik, die sich gelungen in die ländliche Umgebung einfügt. Der angegebene Endenergieverbrauch des Depots mit Werkstätten beträgt für die letzten 3 Jahre im Durchschnitt 33,7 kWh/m<sup>2</sup>.



## FRAUNHOFER-ALLIANZ BAU

### BAU 2019 – neue Impulse für nachhaltiges und innovatives Bauen

Die Teilnahme an der Weltleitmesse BAU zählt unbestritten zu den Highlights der Aktivitäten der Fraunhofer-Allianz BAU. Unter dem Motto »Lebensräume der Zukunft: digital, nachhaltig, smart« wurde auf der BAU 2019 eine Verbindung zwischen Innovation, Veränderung und Neuausrichtung der Bau- und Immobilienwirtschaft aufgezeigt. Der »Innovation Cube«, ein neues zweigeschossiges Ausstellungselement, demonstrierte Innovationen zur Gebäudehülle und auch zum physischen und virtuellen Raum. Als zentrales Exponat zog es nicht nur von Weitem bereits die Blicke auf sich, es eröffnete auch den Weg in die drei Dimensionen des Leitthemas am Stand.

Die Digitalisierung wurde bereits erlebbar, noch bevor man den Stand betreten hatte. Denn bereits vor Messebeginn erzeugte ein wissenschaftliches Team über Nacht einen dreidimensionalen digitalen Zwilling des Messestands und machte ihn im Netz zugänglich. So war es möglich, dass Interessierte den Stand bereits virtuell »begehen« und alle Innovationen bestaunen konnten.

Auf dem Stand selbst setzte sich diese Erfahrungsreise fort, denn virtuelle Räume konnten auch »gehört« und »gefühl« werden. Damit erschließt sich eine völlig neue Dimension des immersiven Erlebens mit großem Potenzial für bessere und transparentere Systementscheidungen.

Dem Thema »Nachhaltigkeit« widmeten sich nicht nur neuartige Materiallösungen zum Wärmeschutz und verbesserten Brandschutz, auch neue Verfahren der Aufbereitung und Wiederverwertung von Rückbauprodukten konnten live erlebt werden. Geschlossene Produktkreisläufe üben in der Bauwirtschaft in den kommenden Jahren einen ähnlich starken Einfluss aus wie die Digitalisierung – da sind sich die Fachleute sicher.

Das Themenfeld »Smart« schließt beide vorgenannten Aspekte mit ein. So liegen große Chancen in der zukünftig stärker vernetzten Stadt in Kombination mit mehr Information und Daten aus dem Internet der Dinge (IoT). Gleichzeitig müssen unsere Städte widerstandsfähiger gegen häufigere und in der Schwere zunehmende Wetterereignisse werden. Die »Resiliente Stadt« als Synonym für die Fähigkeit, als intelligenter Puffer aktiv gegen Hitze, Überschwemmung und Luftbelastung zu wirken, setzt ganz neue Impulse für Städte- und Gebäudeplanung.

Die erstmalig in Kooperation mit dem bayerischen Wirtschaftsministerium veranstaltete »Digital Night« fand als weitere Möglichkeit der Information und Vernetzung großen Anklang.

Ansprechpartner

Thomas Kirmayr  
 Telefon +49 8024 643-250  
 thomas.kirmayr@  
 ibp.fraunhofer.de

**3** *Prominenz am Fraunhofer-Messestand der BAU 2019: Hubert Aiwanger, Bayerischer Staatsminister für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, im Gespräch mit Prof. Dr. Leistner (r) und Prof. Dr. Gunnar Grün (l).*

# NAMEN, DATEN UND EREIGNISSE



**SEIT MEHR ALS 90 JAHREN VERBINDEN  
WIR TRADITION UND FORTSCHRITT,  
ERHALTUNG UND WEITERENTWICKLUNG,  
INNOVATION UND PRAKTISCHE ANWENDUNG.**



## Das Wesentliche im Rückblick

### Das Fraunhofer IBP feierte Geburtstag: 90 Jahre auf Wissen bauen

Seit dem 4. Mai 1929 ist das Fraunhofer IBP im Vereinsregister eingetragen und blickt 2019 auf 90 Jahre Forschung und Entwicklung zurück. Im Gründungsjahr 1949 der Fraunhofer-Gesellschaft ging auch die Aufnahme des »Instituts für Technische Physik« vonstatten; im Jahr 1972 erfolgte dann die Umbenennung in »Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP«.

Im Rahmen der Jubiläumsfeierlichkeiten veranstaltete das Fraunhofer IBP ein festliches Abendessen mit Ehrengästen aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Wegbereiter, Förderer und Freunde, die das Fraunhofer IBP in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten geprägt und gestaltet haben, waren eingeladen.

### Ausstellung »Primordial Cities Initiative«

Unterstützt von wissenschaftlicher Methodik untersucht »Primordial Cities« die Idee, Städte angesichts der durch den Klimawandel verursachten Belastungen jederzeit voll funktionsfähig zu halten. Die architektonischen Visionen des Projekts sollen dazu anregen, über mögliche Zukunftsszenarien nachzudenken, und gleichzeitig eine Kultur der phantasievollen Planung fördern.

Im STATE Studio in Berlin konnte das Kunstobjekt von »Stromatolithen-Städten« des US-amerikanischen und international bekannten Philosophen und Konzeptkünstlers Jonathan Keats, das in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IBP entstanden ist, in Berlin besichtigt werden.

**1** 90 Jahre auf Wissen bauen: Fraunhofer IBP feierte 2019 einen runden Geburtstag.

**2** Das Langzeitverhalten der »Asterix« ist für die Wissenschaft ein wahrer Schatz.

### Akustik in Schwimmbädern

Trotz bestehender Richtwerte gelingt eine zufriedenstellende Akustik in Schwimmhallen bisher kaum. »Akustik in Schwimmbädern« ist eine neue Initiative des Fraunhofer IBP und der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen, die konkrete Handlungsanweisungen zur Verbesserung der akustischen Arbeitsbedingungen und zu einem hohen Verweilkomfort der Gäste erarbeitet sowie Normen und Richtlinien überarbeitet.

### Kompetenzzentrum Biointelligenz nimmt Fahrt auf

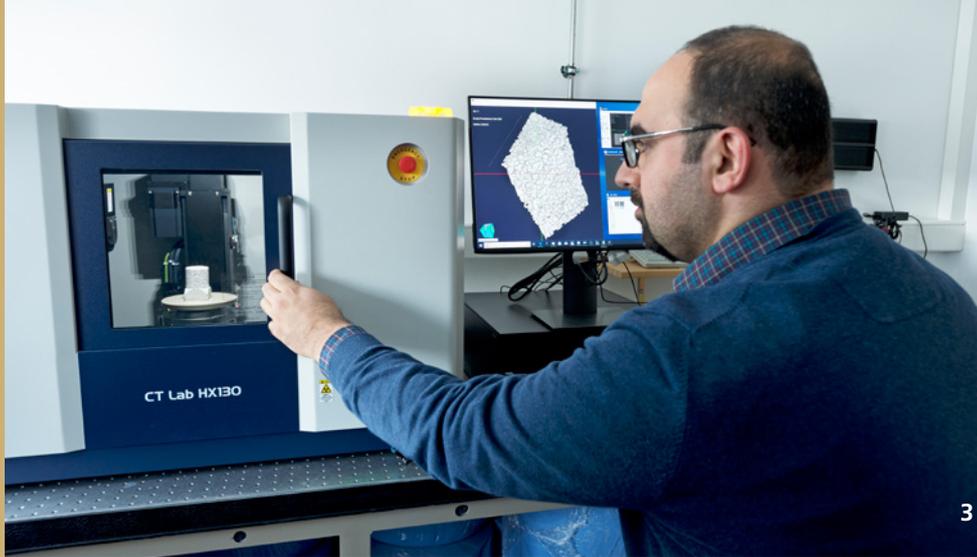
Im »Kompetenzzentrum Biointelligenz« kooperieren 40 Forschende der Universitäten Stuttgart und Hohenheim sowie des NMI in Reutlingen und der Fraunhofer-Institute IPA, IGB, IAO, IBP, um die biologische Transformation in Fahrt zu bringen. Der Politik wurde ein White Paper übergeben, das den Nutzen biointelligenter Systeme verdeutlicht und warum sie für eine nachhaltige Zukunft unerlässlich sind.

### Für eine umweltfreundliche Personenkreuzfahrt

Das Fraunhofer IBP entwickelt die nachhaltige Niedrigenergiekabine. Zwei große Trends – Kreuzfahrt und Digitalisierung – werden im Projekt »EcoCab« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) miteinander verknüpft. Im Fokus stehen die digitale und nachhaltige Entwicklung, der übergreifende Wissenstransfer und flankierende Laboruntersuchungen.

### »Asterix« im Fokus der Forschungsallianz Kulturerbe

Im Projekt »Mit Fraunhofer-Innovationen unser Kulturerbe schützen II: Kulturerbe in Gefahr – Auswirkungen des Klimawandels und Digitalisierung – Schutz, Prävention und Adaption« arbeiten 20 Fraunhofer-Institute, das Deutsche Bergbaumuseum Bochum, die Staatlichen Kunstsammlungen Dresden, die Sächsische Landesbibliothek sowie zehn weitere Partner Hand in Hand. Das Fraunhofer IBP erforscht in diesem Kontext Auswirkungen des Klimawandels auf Gesteinsprüfkörper, die seit mehr als 30 Jahren auf dem Freilandversuchsgelände in Holzkirchen stehen. Sie stammen aus dem Projekt »Steinzerfall« aus den 90er-Jahren und gaben wertvolle Erkenntnisse zu Verwitterungsprozessen und Steinschutzstoffen.



### **Aktualisierter Energieausweis für das Reichstagsgebäude**

Für das Reichstagsgebäude hat das Fraunhofer IBP am 15. Juni 2009 den ersten Energieausweis ausgestellt; Genau zehn Jahre später wurde nun um Aktualisierung gebeten. Für die Erstellung kommt erneut das IBP-eigene Bewertungstool IBP:18599 zum Einsatz. Inzwischen ist der aktualisierte Energieausweis an prominenter Stelle im Reichstag ausgehängt.

### **Energieminimiertes Depot- und Archivgebäude**

Im ENOB-Fördervorhaben »Plus-Energie-Depot« des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) geht es unter Vorgaben der Präventiven Konservierung um Musterlösungen für Depots und Archive mit Plusenergie-Standard. Mit wissenschaftlicher Begleitung des Fraunhofer IBP beschloss der Stadtrat Wasserburg, ein Zentraldepot für das städtische Museum zu errichten.

### **BACS is running!**

»Fume Events« sind das plötzliche Auftreten von irritierenden Gerüchen und sichtbaren Dämpfen während des Flugs. Mit der Anlage »Bleed Air Contamination Simulators (BACS)« (siehe Bild Seite 48) ist es möglich, »Fume Events« mit beliebigen Triebwerksölen, Enteisungsmitteln und Hydraulikflüssigkeiten reproduzierbar zu erzeugen. Ziel ist es, Inhalts- oder Abbaustoffe von Triebwerksölen zu identifizieren und ihre toxikologische Bedeutung abzuschätzen bzw. diese Stoffe in der Luft möglichst sicher auszuschließen.

### **Zerstörungsfreie Visualisierung von Mikrostrukturen**

Das Mikrogefüge funktionaler Bauprodukte bestimmt maßgeblich die funktionalen Eigenschaften wie Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit oder Schallabsorption. Ein neuer Mikro-Computertomograph ( $\mu$ CT) des Fraunhofer IBP analysiert Bauteile bis zu einer Größe von  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}^3$  mit einer maximalen Auflösung von  $2,2 \mu\text{m}$ . Dabei lässt sich durch entsprechende Auswertung die Art der Porosität (offen/geschlossen), die Porenverteilung und die Porenform bestimmen. Dies ermöglicht Aussagen zum Schallabsorptionsvermögen. Für die gezielte Optimierung von Herstellungsprozessen können Gefügeänderungen in situ – z. B. während der Schäumung von Materialien – verfolgt werden. Auch für die Schadensanalytik ist das  $\mu$ CT geeignet, denn Risse in Bauteilen oder Fehlstellen – z. B. Hohlräume – können detektiert und lokalisiert werden.

### **Offizieller Projektstart mit Vietnam Institute for Building Materials (VIBM)**

Das Fraunhofer IBP unterstützt das Vietnam Institute for Building Materials (VIBM) und weitere Partner bei der Er- und Einrichtung eines Bauphysik-Labors mit anspruchsvoller Messtechnik für die Kennwerte-Ermittlung. Weitere Arbeitspakete beinhalten den Bau und Betrieb einer Freilandversuchseinrichtung für Wände, eine Machbarkeitsstudie für die Ermittlung bauphysikalischer Kennwerte für Vietnam, hygrothermische Schulungen und WUFI®-Simulationen.

**3** *Der neue Computertomograph bietet vielfältige Testmöglichkeiten.*

**4** *Symbolische Schlüsselübergabe an Bundeskanzlerin Angela Merkel bei der Eröffnung des »Effizienzhauses Plus« in Berlin im Jahr 2011.*

**5** *Hans Erhorn erhält den »Effizienzhaus Plus Schlüssel am Bande«.*




---

## Unsere Top-Veranstaltungen

---

### Das war die BAU 2019

Erneut erreichte die BAU 2019 Spitzenwerte. Mit den Themeninseln Digitalisierung, neue Nachhaltigkeit, smarte Gebäude, vernetzte Stadt und resiliente Quartiere demonstrierten die Aussteller die hohe Innovationskraft der Bauforschung. Besuchermagnet war der in der Mitte des Messestands platzierte aus einzelnen Modulen bestehende »Innovation Cube«. Direkt am Objekt waren die Exponate des Fraunhofer IBP wie das energieeffiziente Wandtrocknungssystem »Fast Dry«, eine fassadenintegrierte Tageslicht- und LED-Beleuchtung mittels mikrooptischer Baukomponenten oder der aus nachwachsenden Rohstoffen bestehende Baustoff Typhaboard zu sehen. Exponate zur Bauphysik urbaner Oberflächen, ein Mock-up zur Absicherung integraler Planungskonzepte von Fassaden, Porenbeton und Fassadenplatten aus porosiertem Geopolymer boten Messebesuchern ein übergreifendes Lösungsportfolio.

### FastDry Technologies auf der IFA in Berlin

Viele positive Rückmeldungen erhielt das auf der Internationalen Funkausstellung (IFA) vorgestellte »FastDry Technologies«-Modul. Eine ferngesteuerte Sensorik und Regelungselektronik überwacht und erleichtert die Trocknung.

### Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus wieder ausgebucht

Der 14. Workshop »Netzwerk Effizienzhaus Plus – Marktreife erreicht?« unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) war bis auf den letzten Platz ausgebucht. Hans-Dieter Hegner, Vorstand Bau Stiftung Humboldt Forum im Berliner Schloss, ehrte das Fraunhofer IBP mit dem »Effizienzhaus Plus Schlüssel am Bande«. Überdies wurde der symbolische Schlüssel, den Bundeskanzlerin Angela Merkel zur Eröffnung des Pilotvorhabens im Jahr 2011 erhalten hatte, an das Fraunhofer IBP ausgehändigt.

### Wieder ein voller Erfolg: 6. Kongress »Zukunftsraum Schule«

Mit nahezu 600 Gästen und einer Rekordzahl an Ausstellern war auch der 6. Kongress »Zukunftsraum Schule – Schulbauten nachhaltig gestalten« ausgebucht. Das Rezept dieses Kongresses war und bleibt, die vielfältigen und konkreten Herausforderungen der Bau- und Schulentwicklung aufzugreifen. Die Brisanz und Präsenz der Räume und Gebäude für Erziehung und Bildung in der öffentlichen Debatte sind unvermindert. Dabei hat sich die adressierte bauliche Zielgruppe um weitere Bildungsbauten erweitert. Bildungsqualität und Investitionsbedarf, verpasste Chancen und versäumte Trends sorgen für Aufsehen.

### Fraunhofer Innovation Platform for Urban Eco-Development in Shanghai eingeweiht

Das Fraunhofer IBP und die School of Design der SJTU erforschen in der »Fraunhofer Innovation Platform for Urban Eco-Development« Lösungen für wachsende Metropolen. Im Mittelpunkt stehen nachhaltiges und digitalisiertes Bauen, das Betreiben von Immobilien, die resiliente Stadtplanung und Smart-City-Technologien. Den chinesischen Marktanforderungen und -möglichkeiten wird somit mit dringend benötigten Innovationen in der Bauwirtschaft begegnet.

### BUOLUS-Fachsymposium

Im ersten BUOLUS-Fachsymposium im Ballhaus in Rosenheim spannten die Referenten einen weiten Bogen von der Bauphysik über die Transformation des öffentlichen Raumes zu digitalen Stadtmodellen und Begrünung bis hin zu Reinigung und nachhaltiger Bewirtschaftung. Begleitet wurde die gelungene Veranstaltung von einer Ausstellung, auf der sich nicht nur die industriellen BUOLUS-Partner, sondern auch weitere einschlägige Firmen präsentieren konnten.

*6 Institutsleiter Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer bei seinem Vortrag zum 6. Kongress »Zukunftsraum Schule«.*



## Ausgezeichnete wissenschaftliche Arbeiten

### BauCycle erhält Sustainability-Challenge-Preis der DGNB

Das Projekt »BauCycle« wurde mit dem Preis »Sustainability Challenge« der DGNB e. V. in der Kategorie »Forschung« ausgezeichnet. BauCycle erforscht eine ganzheitliche Verwertungsstrategie für Bauschutt und dessen Feinfraktion. Dieser Lösungsansatz ermöglicht mittels eines optischen Sortierungsverfahrens die Wiederverwendung von heterogenem Bauschuttmaterial für hochwertige Produkte. Es ist ein Gemeinschaftsprojekt der Fraunhofer-Institute IBP, IML, UMSICHT und IOSB.

### Benjamin Müller erhält Preis der Hochschule der Medien

Mit seiner Masterarbeit »Entwicklung und Untersuchung elektroakustischer Maßnahmen zur Reduktion der Störwirkung von Hintergrundsprache in offenen Büroumgebungen« hat Benjamin Müller den Preis der Etzold Stiftung für die hochschulweit beste Abschlussarbeit im Wintersemester 2018/19 erhalten. Benjamin Müller wird für seine enorme theoretische Forschungsleistung ausgezeichnet, die er in eine praxisrelevante und anwendungsorientierte Methodik zukünftiger Raumakustik überführt hat. Dieser außergewöhnliche Erfolg kommt auch in einer mit der von ihm entwickelten innovativen Methodik verbundenen Patentanmeldung zum Ausdruck.

### Carla Maria Scagnetti gewinnt bei der Doppler Changemaker Challenge 2019

Carla Maria Scagnetti hat beim Finale der »Doppler Changemaker Challenge 2019« in Berlin den ersten Platz belegt. Verfasst hat sie ihre Masterarbeit »Abschätzung des Einflusses von Meeresabfällen auf die Bestimmung eines Kunststoffverpackungs-Fußabdrucks von Produkten« in der Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung. Als Erstplatzierte erhielt sie ein Forschungsstipendium. Gewinnbringende Erfahrungen waren die Medienberichterstattung und die wertvollen Netzwerkkontakte zu Branchenexperten.

## Die wichtigsten Medienauftritte

### Sand aus Altbeton gewinnen

Eine weltweit akute Sandknappheit droht. Das ProSieben-Wissensmagazin »Galileo« sowie der SWR-Beitrag »Kraft der Blitze« zeigten, wie Volker Thome Altbeton in seine Bestandteile zerlegt und der Wiederverwertung zuführt. Dabei kommen künstlich erzeugte Blitze zum Einsatz. Das zugrunde liegende Verfahren ist die »Elektrodynamische Fragmentierung«.

### Warum Wellenrauschen entspannt

Wellen machen zwar Krach, das Geräusch stört uns aber nicht, sondern entspannt sogar. Da es kein monotones Rauschen ist, wird es als angenehm und positiv empfunden. Wie Menschen Wellengeräusche wahrnehmen, erklärte eine Sendung der Deutschen Welle.

### Lärmbelästigung durch (leistungsstarke) Autos

Autos sind im Verkehr mitunter viel lauter als in der offiziellen Geräuschmessung. Im Beitrag »Nach Diesel-Gate das Dezibel-Gate?« beleuchtet die Sendung »odyssey – Wissen im SWR« dieses Thema. Peter Brandstätter erläuterte und demonstrierte messtechnische Verfahren der Fahrzeugakustik.

### Landesschau Baden-Württemberg über Straßenlärm

Im Beitrag »Verkehrslärm – Wann es zu laut ist« erklärt Prof. Schew-Ram Mehra, ab welchem Pegel Betroffene den Straßenlärm als zu laut empfinden und welche Lärminderungsmaßnahmen sich eignen.

**6** Preisträger Benjamin Müller, Christine Etzold, Lilly Sparenberg, Rüdiger Etzold und Anika Bader (v.l.).

**7** Dr. Volker Thome erklärt das Prinzip der »Elektrodynamischen Fragmentierung«.



---

## Personelles

---

### **Neuer Abteilungsleiter Dr. Harald Will**

Zum 1. März 2019 hat Dr. Harald Will die Leitung der Abteilung »Energieeffizienz und Raumklima« übernommen. Insbesondere in der energetischen Modernisierung und Integration erneuerbarer Energien sieht er eine gute Chancen, die Themen der Abteilung weiter voranzubringen.

### **Doppelspitze für die Abteilung Hygrothermik**

Gemeinsam mit Prof. Dr. Hartwig M. Künzel führt Dr. Simon Schmidt als Doppelspitze die Abteilung »Hygrothermik« seit dem 1. Juli 2019.

### **Ernennung von Gunnar Grün zum Professor für Bauphysik an der Universität Stuttgart**

Mit Wirkung zum 3. September 2019 wurde Gunnar Grün zum Professor für Bauphysik an der Universität Stuttgart ernannt und ergänzt mit seinen Kompetenzen das Institut für Akustik und Bauphysik (IABP) in Forschung und Lehre. Seine Funktion als stellvertretender Institutsleiter nimmt er weiterhin wahr.

Klimaschutzziele und Klimawandel stellen auch die Bauphysik vor neue Fragestellungen – insbesondere bei der erforderlichen Gebäudesanierung. Während immer komplexere Systeme für mehr Energieeffizienz integriert und robuste und zugleich ressourcenschonende Bauweisen angewendet werden müssen, gilt es verstärkt, Nutzer mit ihren Bedürfnissen in den Betrieb und die Planung einzubinden. Digitalisierung und computerbasierte Methoden werden eine wesentliche Rolle spielen.

Diesen Schwerpunkten wird sich Prof. Dr. Gunnar Grün auch im Kontext seiner Professur widmen und sie in Forschung und Lehre ausbauen.

**8** Harald Will leitet ab 1. März 2019 die Abteilung »Energieeffizienz und Raumklima«.

**9** Dr. Simon Schmidt (Bild 9) und Prof. Dr. Hartwig Künzel leiten die Abteilung Hygrothermik als Doppelspitze.

**10** Prof. Dr. Gunnar Grün (l.) nimmt seine Ernennungsurkunde von Prof. Dr. Wolfram Ressel, Rektor der Universität Stuttgart, entgegen.

# WISSENSCHAFTLICHES PROFIL



---

## Akkreditierte Prüflabore

---

Fünf Prüflabore des Fraunhofer IBP sind nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) akkreditiert. Unsere Prüflabore sind klassische wissenschaftliche und wirtschaftliche Grundpfeiler unserer Arbeit. Aus dem Prüfgeschäft gewonnene Erkenntnisse, z. B. durch die systematische Auswertung von Messdaten, optimieren wir nicht nur unsere Verfahren. Sie sind zugleich Ausgangspunkt neuer Forschungsaktivitäten. Mit dieser Kompetenz ist das Fraunhofer IBP insbesondere für Unternehmen der Baustoffindustrie ein gefragter Partner.

Deshalb ist es besonders erfreulich, dass die Akkreditierung unserer bisherigen Prüflabore im vergangenen Jahr 2019 nach der überarbeiteten Norm DIN EN ISO/IEC 17025:2018 auf höchster Stufe bestätigt wurde. Das heißt, dass wir in diesem Bereich weiterhin selbst Prüfverfahren entwickeln und anwenden dürfen.

Darüber hinaus konnten wir unseren akkreditierten Bereich um die Fachgebiete »Mineralische Werkstoffe« und »Emissionen, Umwelt, Hygiene« am Standort Holzkirchen erweitern. Damit werden die bisherigen Leistungen um die Herstellung, Lagerung und Analytik von Baustoffen und der Untersuchung von Umwelteigenschaften aus Bauprodukten ergänzt. Neben der chemischen Zusammensetzung mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) können die bautechnisch wichtigen Werte für Druck- und Biegezugfestigkeit für Beton und Porenbeton bestimmt werden. Das Spektrum der neu akkreditierten Leistungen erstreckt sich von der Rohstoffkontrolle (Glühverlust und Korngrößenanalyse) bis zur Analytik der Auslaugung von gefährlichen Stoffen und der Dauerhaftigkeit (Frost-Tau-/Frost-Tausalz-Widerstand) über den gesamten Lebenszyklus eines Baustoffs.

[www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de/prueflabore](http://www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de/prueflabore)

---

## Akkreditierte Zertifizierungsstelle

---

Die Zertifizierungsstelle ist eine eigenständige Einheit innerhalb des Fraunhofer IBP und führt im Rahmen der Landesbauordnungen und des Bauproduktengesetzes oder der -verordnung Überwachungs- und Zertifizierungstätigkeiten für verschiedene Baustoffe aus den Bereichen Fenster, Wärmedämmung, Feuerstätten und Abgasanlagen.

[www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de/zertifizierungsstelle](http://www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de/zertifizierungsstelle)

---

## Spezielle Versuchseinrichtungen

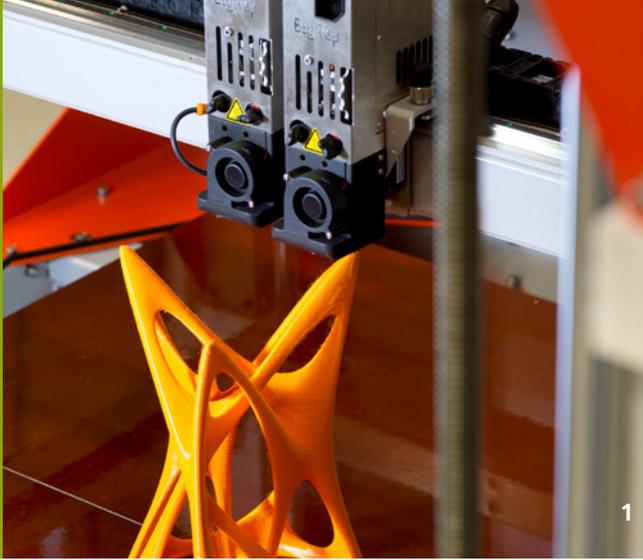
---

Leistungsfähige Labore und einmalige Prüfeinrichtungen sowie das größte bekannte Freilandversuchsgelände am Standort Holzkirchen erforschen ein breites Spektrum komplexer Forschungs- und Entwicklungsthemen. Moderne Labormesstechnik und Berechnungsmethoden, Untersuchungen in Modellräumen, im Prüffeld und am ausgeführten Objekt dienen der Erprobung von Komponenten und Gesamtsystemen.

[www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de](http://www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de)

**Titel** Fassadenelement zur licht- und strahlungstechnischen Prüfung in der Ulbrichtkugel.

**1** 3D-Drucker zur Additiven Fertigung von Prototypen und Kleinserien im Industriestandard.



1

---

### **Bauphysikalische Software**

---

Die am Fraunhofer IBP entwickelten und/oder validierten Programme ermöglichen Berechnungen von Gebäude und Bauteilverhalten unter akustischen, feuchte-, licht- und wärmetechnischen Aspekten.

[www.ibp.fraunhofer.de/software](http://www.ibp.fraunhofer.de/software)

---

### **Internationale Kooperationen**

---

Das Institut hat mit vielen nationalen und internationalen Institutionen Vereinbarungen zur projektbezogenen Zusammenarbeit und verfolgt das Konzept von »strategischen Partnerschaften« weltweit.

[www.ibp.fraunhofer.de/kooperationen](http://www.ibp.fraunhofer.de/kooperationen)

---

### **Mitarbeit in Ausschüssen und Gremien**

---

Die Mitarbeit in vielen nationalen und internationalen Ausschüssen und Gremien ermöglicht ein direkter Erfahrungs- und Informationsaustausch auf relevanten Fachebenen.

[www.ibp.fraunhofer.de/ausschuesse-und-gremien](http://www.ibp.fraunhofer.de/ausschuesse-und-gremien)

---

### **Publikationen**

---

Das Fraunhofer IBP blickt im Berichtszeitraum auf eine Vielzahl von Publikationen in vielen Disziplinen zurück. Das generierte Wissen steht der Fachwelt und allen Interessierten offen.

[www.ibp.fraunhofer.de/publikationen](http://www.ibp.fraunhofer.de/publikationen)

---

### **Wissenschaftliche Vorträge**

---

Die Vorträge der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weisen eine große thematische Bandbreite auf und spiegeln die Vielfalt der Forschungsthemen des Instituts wider.

[www.ibp.fraunhofer.de/vortraege](http://www.ibp.fraunhofer.de/vortraege)

---

### **Lehrtätigkeiten**

---

Im Zusammenspiel von Forschung und Lehre befruchten sich neueste Erkenntnisse aus der Wissenschaft und langjährige Erfahrung in der Praxis wechselseitig. Die Lehrbeauftragten vermitteln den Studierenden sowohl theoretische als auch praxisbezogene Inhalte und sichern die hohe Qualität der Lehre.

[www.ibp.fraunhofer.de/lehrttaetigkeiten-und-vorlesungen](http://www.ibp.fraunhofer.de/lehrttaetigkeiten-und-vorlesungen)

---

### **Abschlussarbeiten**

[www.ibp.fraunhofer.de/abschlussarbeiten](http://www.ibp.fraunhofer.de/abschlussarbeiten)

### **Dissertationen**

[www.ibp.fraunhofer.de/dissertationen](http://www.ibp.fraunhofer.de/dissertationen)

### **Lizenzpartner und -produkte**

[www.ibp.fraunhofer.de/lizenzpartner-und-produkte](http://www.ibp.fraunhofer.de/lizenzpartner-und-produkte)

### **Erteilte und angemeldete Patente**

[www.ibp.fraunhofer.de/erteilte-patente](http://www.ibp.fraunhofer.de/erteilte-patente)

[www.ibp.fraunhofer.de/publizierte-patente](http://www.ibp.fraunhofer.de/publizierte-patente)

# DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft.

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 74 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 28.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 30 Prozent steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Hochmotivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

**Stand der Zahlen: Januar 2020**  
[www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)



# IMPRESSUM

---

## Herausgeber

---

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP  
Institutsleitung  
Prof. Dr. Philip Leistner (geschäftsführend)  
Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

---

## Anschriften

---

### Institut Stuttgart

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-00  
info@ibp.fraunhofer.de  
www.ibp.fraunhofer.de

### Standort Holzkirchen

Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley  
Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen  
Telefon +49 8024 643-0

### Standort Nürnberg

c/o Energie Campus Nürnberg  
Fürther Straße 250, 90429 Nürnberg  
Telefon +49 911 56854-9143

### Abteilung Ganzheitliche Bilanzierung

Wankelstraße 5, 70563 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-00

## Redaktion und Text

Britta Fey-Kögl, Tanja Fleck, Silke Kern (Leitung Unternehmenskommunikation), Annette Maske, Daniela Ruhnau und Rita Schwab (Projektleitung), Janine van Ackeren sowie Mitarbeitende des Fraunhofer IBP

## Gestaltung

Ansichtssache, München

## Druck

Fraunhofer IRB, Stuttgart

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, sowie Übersetzung nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion.

## Bildquellen

Bayerischer Rundfunk BR, Seite 52 (r.)  
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Seite 51 (l.)  
c + Möbelsysteme, Seite 44 (unten)  
Fraunhofer-Gesellschaft, Seite 56  
HdM Stuttgart/kai Gundacker, Seite 52 (l.)  
ILEK, Seite 34 (l. und r.)  
M. Jakobowsky und A. Neyer (TU Dortmund), Seite 15, Graphiken (l. und r.)  
Karl Jungbecker GmbH, Seite 14  
Kutzner + Weber, Seite 22  
Marc Müller, Seite 47  
Shutterstock, Titelbild, Seite 3, 4, 5, 6, 7 unten, 13 oben, 16, 17, 18, 19, 20, 24 (l.), 29 (r.), 31 (l.), 32, 33 (l. und r.), 35, 39  
Technische Hochschule Nürnberg, Seite 29

Alle übrigen Abbildungen:

© Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

© Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart 2020

# INFORMATIONEN

Besuchen Sie auch unsere  
Social-Media-Kanäle:



**Twitter**

[www.twitter.com/Fraunhofer\\_IBP](https://www.twitter.com/Fraunhofer_IBP)



**Xing**

[www.xing.com/companies/  
fraunhofer-institutfürbauphysikibp](https://www.xing.com/companies/fraunhofer-institutfürbauphysikibp)



**LinkedIn**

[www.linkedin.com/company/  
fraunhofer-ibp](https://www.linkedin.com/company/fraunhofer-ibp)



**YouTube**

[www.youtube.com/channel/  
UC6JAnojcYCxVk0h2sqqCQXA](https://www.youtube.com/channel/UC6JAnojcYCxVk0h2sqqCQXA)

Gedruckt auf RecySatin®  
Bilderdruckpapier, hergestellt  
aus 100% Recyclingfasern

