

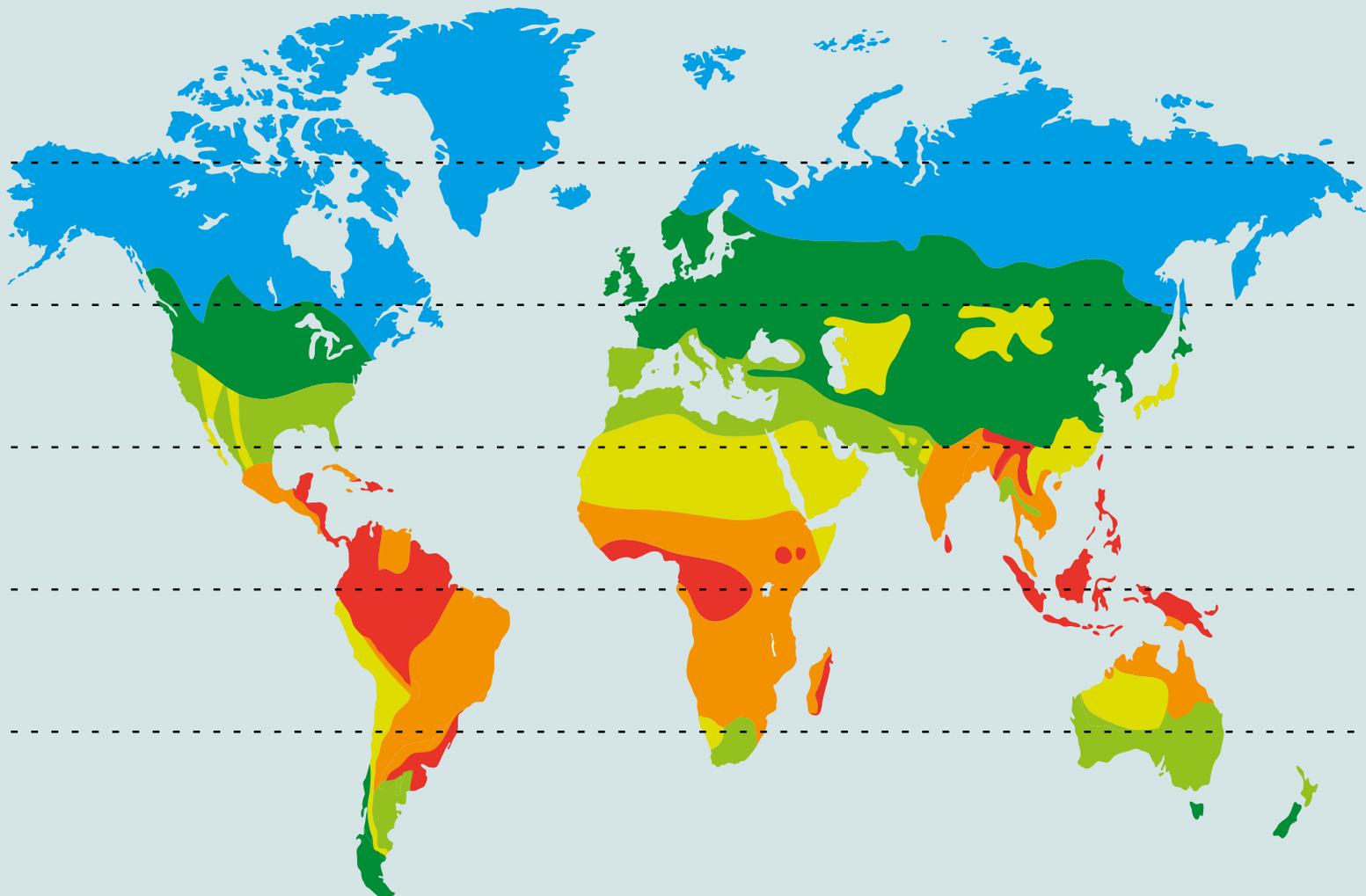


**Fraunhofer**

**IBP**

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

# HYGROTHERMIK



# ENERGIEEFFIZIENZ UND KOMFORT OHNE FEUCHTESCHÄDEN



# HYGROTHERMIK

## ARBEITSGEBIETE

- Wärmekennwerte und labortechnische Klimasimulation
- Freilanduntersuchungen und Klimaerfassung
- Feuchtetechnische Prüfungen und klimabedingtes Materialverhalten
- Feuchteschutzbeurteilung und hygrothermische Modellentwicklung
- Hygrothermische Gebäudeanalyse
- Biohygrothermik: Vermeidung von Schimmelpilzbildung und Fassadenbewuchs
- Denkmalschutz und Altbausanierung
- Bauen in anderen Klimazonen

Die Abteilung Hygrothermik ist spezialisiert auf die Analyse des instationären Wärme- und Feuchteverhaltens von Baustoffen, Bauteilen und ganzen Gebäudekomplexen. Dazu gehört auch die Analyse des energetischen und feuchtetechnischen Verhaltens von raumluftechnischen Anlagen und deren Interaktion mit der Gebäudehülle sowie weiteren hygrothermischen Speichermassen. Solche Analysen bilden die Basis für eine optimierte und dem geplanten Betrieb eines Gebäudes angepasste Auslegung der Anlagentechnik.

Neben der Durchführung von Materialprüfungen werden auch ganze Bauteile und Anlagenkomponenten im Labor untersucht und bei Bedarf angepasst. Die entscheidenden Praxistests werden mithilfe von Freilandversuchen unter definierten Randbedingungen sowie durch Klimasimulationen in entsprechenden Differenzklimakammern und mit speziell am Fraunhofer IBP entwickelten neuen Prüfverfahren vorgenommen.

Einen wesentlichen Bestandteil der Aktivitäten stellt auch die Entwicklung und Anwendung numerischer Simulationsmodelle dar. Die langjährige Erfahrung der Abteilung mit experimentellen wie auch mit rechnerischen Untersuchungsmethoden erlaubt eine umfassende Beurteilung des energetischen Gebäude- und Anlagenverhaltens sowie des klimabedingten Feuchteschutzes von Baukonstruktionen. Darüber hinaus ermöglicht sie auch eine gezielte Optimierung

von Bauprodukten bis hin zur Entwicklung von neuartigen Anlagen, Baustoffen und Bausystemen.

Die Notwendigkeit, Energie zu sparen, bei gleichzeitig wachsenden Komfortansprüchen und der Wunsch nach einer nachhaltigen Entwicklung des Gebäudesektors stellen neue Herausforderungen für Planer und Ausführende dar, die ohne eine vertiefte Kenntnis der hygrothermischen Zusammenhänge nicht zu bewältigen sind.

Die Kernkompetenzen sowie die ständig erweiterten Versuchseinrichtungen und hygrothermischen Simulationswerkzeuge bilden die Voraussetzung für innovative Produktentwicklungen. Ein herausragendes Beispiel für die Entwicklungserfolge der Abteilung ist die feuchteadaptive Dampfbremse, die inzwischen in vielen Ländern vermarktet wird. Ein weiteres Beispiel mit großem Potenzial stellt die Entwicklung des Klimabrunnens dar (**siehe Bild links**). Im Gegensatz zu herkömmlichen Zierbrunnen arbeitet er mit einem stark gekühlten Wasserfilm. Dadurch wird neben einer Konditionierung der Raumluft eine zusätzliche Kühlung von Menschen oder Objekten im Raum durch langwellige Strahlungsaustausch erreicht. Da die Temperatur des Wasserfilms den Taupunkt unterschreitet, kondensiert Luftfeuchte auf dem Wasserfilm und führt zu einer Entfeuchtung der Raumluft, sodass selbst an schwülheißen Tagen immer ein angenehmes Raumklima herrscht.



## WÄRMEKENNWERTE – LABORTECHNISCHE KLIMASIMULATION

Das wärmetechnische Labor am Standort Stuttgart ist vom DIBt als Prüfstelle nach LBO/BRL und nach EU-Bauproduktenverordnung als Notified Body 1004 für Fenster, Fassaden und Dämmstoffe anerkannt und flexibel akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAKKS). Zur Charakterisierung von Bauteilen und Baustoffen werden zahlreiche Kennwerte ermittelt, z. B.:

- Wärmeleitfähigkeit
- Wärmedurchlasswiderstand
- U-Wert
- Wärmeableitung
- Formbeständigkeit bei Wärme- einwirkung
- Druckspannung und Zugfestigkeit, Abreißfestigkeit
- Frost-Tau-Wechselbeständigkeit
- Feuchteaufnahme durch Dampfdiffusion im Temperaturgefälle
- längenbezogener Strömungswiderstand
- Luftdurchlässigkeit
- Schlagregendichtheit
- Windwiderstandsfähigkeit

Außerdem werden strahlungstechnische, integrale Verfahren durchgeführt, z. B.:

- Emissionsgrad und Solar Reflectance Index (SRI) von Oberflächen (thermisches Prinzip),

- Gesamtenergiedurchlassgrad (kalorimetrisches Prinzip),
- Thermographie von Bauteilen

Weiterhin stehen unterschiedliche Sonnensimulationseinrichtungen bis 8 m<sup>2</sup> Probenfläche für die Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit von Bauteilen unter Strahlungsbelastung zur Verfügung.

## FREILANDUNTERSUCHUNGEN UND KLIMAERFASSUNG

Freilanduntersuchungen unter realistischen instationären Randbedingungen haben nach wie vor die höchste Überzeugungskraft. Besonders vorteilhaft ist die Möglichkeit, die Freilanduntersuchungen mit Simulationen zu kombinieren und damit einerseits die Simulationen zu validieren und andererseits den Aufwand für die Freilanduntersuchungen auf ein sinnvolles Maß zu beschränken. Am Standort Holzkirchen befindet sich das weltweit größte Freilandversuchsgelände zur Untersuchung von Baukonstruktionen, Bauteilen, Baustoffen und Anlagenkomponenten im 1:1-Maßstab. Das örtliche Klima ist durch die extreme Witterung – strahlungsreiche Sommer, kalte Winter, starker Schlagregen – für derartige Untersuchungen ideal geeignet.

Eine große und mehrere kleine meteorologische Stationen auf dem Freilandversuchsgelände und in der näheren Umgebung, die teilweise seit den 80er-Jahren kontinuierlich alle wesentlichen

Klimaparameter erfassen, erlauben eine genaue Analyse der Witterungsverhältnisse sowie deren lokaler Ortsabhängigkeiten (Mikroklimaanalysen). Die gesammelten Daten dienen auch als Randbedingungen für hygrothermische und energetische Simulationen sowie zur genaueren Interpretation von Freilandversuchsergebnissen.

## FEUCHTETECHNISCHE PRÜFUNGEN – KLIMABEDINGTES MATERIALVERHALTEN

Das feuchtetechnische Labor ist nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAKKS) flexibel akkreditiert. Zum Prüfungsangebot gehört die Bestimmung von:

- Wasserdampfdiffusionskennwerten ( $\mu$ -Wert, sd-Wert)
- kapillarer Wasseraufnahme (w-Wert)
- Bezugsfeuchtegehalt ( $U_{80}$ )
- Sorptionsisotherme und Feuchtespeicherfunktion
- Kapillarttransportkoeffizienten
- Rohdichte und Porosität
- thermischen und hygrischen Längenänderungen

Damit können alle hygrischen Stoffkennwerte ermittelt werden, die für hygrothermische Simulationen erforderlich sind. Im Rahmen von Forschungsprojekten werden Verfahren modifiziert und neu entwickelt, u. a. zur Bestimmung der Oberflächenfeuchte von Fassaden oder die Entwicklung



3



4



5

**1** Prüfung des sommerlichen Wärmeschutzes an einem Dachbauteil mit einem modifizierten U-Wert-Prüfstand.

**2** Sonnensimulator für großflächige transparente, transluzente oder opake Dach- und Fassadenbauteile, insbesondere mit lichtlenkenden Elementen.

**3** Versuchsstand zur Prüfung der Luft- und Schlagregendichtheit von Fenstern.

**4** Entnahme von bewitterten Wandprüfkörpern in einer klimatisierten Testhalle zur Bestimmung des Feuchtegehalts durch Wägung.

**5** Messapparatur zur Bestimmung der Feuchtverteilung in porösen Baustoffen mittels kernmagnetischer Resonanz.

**6** In-situ-Messungen der Haftzugfestigkeit von Außendämmsystemen.

**7** Bauphysikalische Untersuchungen zum mikrobiellen Bewuchs von Fassaden in Abhängigkeit von Mikroklima und Materialeigenschaften.

**8** Luftdichtheitsmessung am Fachwerkhaus auf der Freilandversuchsfläche des Fraunhofer IBP in Holzkirchen.

eines standardisierten Verfahrens zur Beurteilung des Trocknungsverhaltens von Baustoffen. Zum Thema Alterungsverhalten und Dauerhaftigkeit von Materialien werden Untersuchungen im Freiland an Versuchswänden und kleinformatigen Prüfkörpern durchgeführt. Auch die Beurteilung der Verschmutzungsneigung von Fassadenbeschichtungen und Dachsteinen findet im Freiland statt. An Wandausschnitten, die in einem Ost-West-orientierten Prüfstand bewittert werden, kann der Feuchtehaushalt unter natürlichen Klimabedingungen vergleichend untersucht werden.

## FEUCHTESCHUTZBEURTEILUNG UND HYGROTHERMISCHE MODELL-ENTWICKLUNG

Die Anstrengungen zur Energieeinsparung haben zu einer wesentlichen Verbesserung der Wärmedämmung und der Gebäudedichtheit geführt. Damit verbunden ist jedoch ein größeres Feuchteschadensrisiko, da sich höhere Raumluftheuchten einstellen und durch die größeren Temperaturunterschiede zwischen innen und außen die Gefahr von Tauwasserbildung zunimmt. Außerdem steht weniger Wärme für die Verdunstung von Feuchte in den Bauteilen zur Verfügung, sodass auch andere Feuchteeinwirkungen wie z. B. Niederschlagswasser, Tauwasser von außen oder Baufeuchte ein größeres Problem als in der Vergangenheit darstellen.

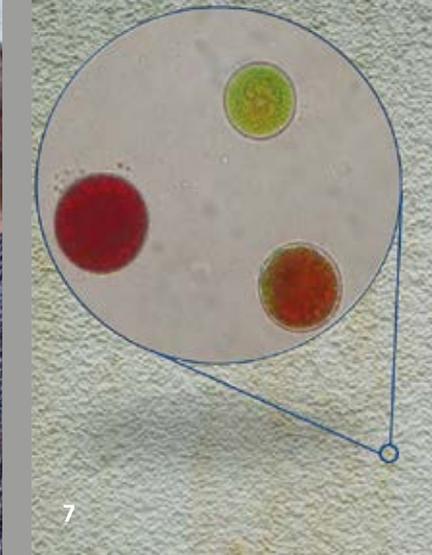
Die genaue Betrachtung der hygrothermischen Bedingungen sowie eine gezielte Feuchteschutzplanung, oder aber die

Suche nach neuen Lösungsansätzen, sind deshalb heute wichtiger denn je. Durch sorgfältige Planung und Ausführung des Feuchteschutzes sowie die richtige Materialauswahl lassen sich die meisten Schäden vermeiden. Ein traditionelles Verfahren zur Feuchteschutzbeurteilung ist das sogenannte Glaser-Verfahren. Dieses Verfahren berücksichtigt jedoch ausschließlich die winterliche Tauwasserbildung infolge von Diffusion aus dem Innenraum – andere, für viele Konstruktionen wesentliche Beanspruchungen, wie z. B. Baufeuchte, Schlagregen oder Sommerkondensation, werden nicht erfasst.

Hygrothermische Simulationssoftware erlaubt heute eine realitätsnahe Berechnung aller relevanten hygrothermischen Speicher- und Transportvorgänge in den Bauteilen unter realen Klimabedingungen. Das ermöglicht die Planung eines umfassenden Feuchteschutzes sowie die Berücksichtigung der energetischen Auswirkungen der Feuchte. Seit 1995, als am Fraunhofer mit der Lizenzierung der Softwarefamilie WUFI® begonnen wurde, wächst die Nachfrage weltweit stark an. Intensive Programmpflege garantiert die rasche Umsetzung neuer bauphysikalischer Erkenntnisse sowie die kontinuierliche Erweiterung von Material- und Klimadatenbanken. In Kooperation mit vielen internationalen Partnern wird die Funktionalität der Programme ständig erweitert, u. a. für die Beurteilung von Leckagen, Schadensmechanismen und Alterungsvorgängen.



6



7



8

## HYGROTHERMISCHE GEBÄUDEANALYSE

Die Interaktion zwischen Gebäudehülle und Raum bestimmt maßgeblich das hygrothermische Verhalten eines Gebäudes. Die integrale Betrachtung aller Randbedingungen, die diese Interaktion bestimmen, erlaubt eine detaillierte Analyse in Bezug auf Energiebedarf, Raumklima und die hygrothermischen Verhältnisse in der Gebäudehülle. Dies beinhaltet die experimentelle Erfassung sowie die Bewertung von Randbedingungen wie innerer Wärme- und Feuchtequellen, des Luftwechsels, gemessener und simulierter Wetterdatensätze, aber auch des Nutzerverhaltens in Bezug auf Sollwerteneinstellungen oder Fensteröffnungsverhalten in verschiedenen Klimazonen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden bei der Entwicklung und Anwendung eines hygrothermischen Gebäudesimulationstools umgesetzt.

Durch hygrothermisches Gebäudemonitoring können Lösungsansätze zum Vermeiden kritischer Bedingungen, zur Verbesserung des hygrothermischen Komforts und zur Verringerung des Energieverbrauchs entwickelt werden. Basierend auf diesen Messungen unter realen Bedingungen und im Labor sowie auf theoretischen Zusammenhängen werden Modelle entwickelt. Nach Validierung dieser Modelle werden sie in die Software WUFI® Plus implementiert.

Durch Verknüpfung hygrothermischer Bauteilsimulation und energetischer Gebäudesimulation werden so integrale Lösungen erarbeitet, die Bedingungen im Raum und im Bauteil in deren Interaktion berücksichtigen und dabei den Einfluss verschiedener Ansätze auf den Energieverbrauch nicht vernachlässigen. So werden nicht nur für den Wohn- und Bürobereich angepasste Strategien erarbeitet, sondern beispielsweise auch im historischen Gebäudebestand passive Maßnahmen zur Klimastabilität vorgeschlagen. Mit der vorhandenen Simulationsumgebung wird der Einfluss verschiedener Klimazonen, Nutzungen, Bauteilaufbauten, Geometrien und Orientierungen und verschiedener Gebäudebetriebsstrategien auf Raumklima, Energieverbrauch und die Schadensfreiheit der Gebäudehülle quantifizierbar.

## BIOHYGROTHERMIK: VERMEIDUNG VON SCHIMMELPILZBILDUNG UND FASSADENBEWUCHS

Schimmelpilzwachstum bedeutet aufgrund der Produktion und Verbreitung von pathogenen Schadstoffen eine potenzielle Gesundheitsgefährdung. Um Pilzwachstum zu vermeiden, gilt es deshalb, Verhinderungsstrategien zu entwickeln, die zum einen die Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze und zum anderen die realen instationären Randbedingungen berücksichtigen. Mit dem biohygrothermischen

Berechnungsverfahren WUFI® Bio kann auf Basis bekannter Klimarandbedingungen Schimmelpilzbildung beurteilt und können Vermeidungsstrategien entwickelt werden.

Im Gegensatz zum Innenraum handelt es sich bei mikrobiellem Bewuchs auf der Fassade meist um ein rein optisches Problem. Die verbesserte Wärmedämmung von Außenbauteilen erhöht die Oberflächenfeuchte und somit das Risiko von Algen- und Pilzwachstum. Durch chemische, biologische und bauphysikalische Untersuchungen wird nach Möglichkeiten zur Verminderung des Bewuchses geforscht.

## DENKMALSCHUTZ UND ALTBAUSANIERUNG

Baudenkmäler können auf Dauer nur erhalten werden, wenn sie genutzt werden und dabei den heutigen Anforderungen an Behaglichkeit und Energieeffizienz genügen. Bei deren energetischer Sanierung sind Denkmalschutzbelange mit zu berücksichtigen. In Zusammenarbeit mit den Arbeitsgruppen »Präventive Konservierung und Denkmalpflege« sowie »Denkmalpflege und Bauen im Bestand« der Abteilung Raumklima werden die besonderen bauphysikalischen Fragestellungen bei der Altbausanierung behandelt.

Die Instandsetzung alter Gebäude sollte nach Möglichkeit mit einer energetischen

## Ihr Ansprechpartner

Dr.-Ing. Hartwig M. Künzel

Abteilungsleiter

Telefon +49 8024 643-0

Fax +49 8024 643-366

hartwig.kuenzel@ibp.fraunhofer.de



Verbesserung der Gebäudehülle einhergehen. Wenn eine Außendämmung nicht infrage kommt, ist das Anbringen einer Innendämmung meist die einzige Alternative. Dies stellt jedoch die Baukonstruktion hinsichtlich ihres Feuchtehaushalts vor besondere Herausforderungen. Platzmangel im Bereich der Anschlüsse und erhöhte Raumluftfeuchten verlangen eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung der Dämmmaßnahme. Anhand von hygrothermischen Simulationen sowie labor- und objektbezogenen Untersuchungen werden Innendämmungslösungen analysiert und entsprechend der raumklimatischen Nutzung optimiert.

## BAUEN IN ANDEREN KLIMAZONEN

Die Naturgesetze sind zwar überall dieselben, dennoch können Baubestimmungen und -traditionen im Ausland stark von den hiesigen Verhältnissen abweichen. Häufig ist dies durch die anderen Klimaverhältnisse im Zielland begründet. Während Brand- und Schallschutz weitgehend klimunabhängig funktionieren, sind Erfahrungen und Vorgaben beim Wärme- und Feuchteschutz in der Regel nicht einfach auf andere Länder übertragbar. Aufgrund zahlreicher internationaler Projekte und Produktentwicklungen sowie weltweiter Kooperationspartner besitzt die Abteilung Hygrothermik ein umfangreiches Know-how und entsprechende Werkzeuge für die Beurteilung von

energetischen und feuchtetechnischen Fragestellungen zu Gebäuden in beliebigen Klimazonen weltweit. Zu den routinemäßigen Untersuchungen gehören beispielsweise:

- die Beurteilung der Tauwassergefahr aufgrund von Dampfdiffusion von innen (z. B. Kaltgebiete und Gebirge) oder von außen (z. B. tropische und subtropische Gebiete)
- die Lebensdauerprognose und Dauerhaftigkeitsbeurteilung von Baukonstruktionen für andere Klimazonen durch Vergleich der hygrothermischen Belastungen in der Zielregion mit den Verhältnissen im Ursprungsland
- Klimadatenanalyse oder auch die Erstellung bzw. Überprüfung meteorologischer Datensätze für die hygrothermische Simulation

Auf diese Weise werden energieeffiziente Baukonzepte für Wachstumsmärkte z. B. in Asien entwickelt, die angepasst sind an die kompakte urbane Bauweise und das dortige Klima. Darüber hinaus werden zusammen mit Industrieunternehmen neue Bauprodukte und Systeme entwickelt, die kosteneffizient sind und neben der technischen Qualität auch durch ein besseres Raumklima für den Nutzer dieser Länder einen Mehrwert bieten.

## WUFI®-SOFTWARE

Seit 1995 entwickelt die Abteilung hygrothermische Simulationswerkzeuge zur energetischen und feuchteschutztechnischen Beurteilung und Bemessung von Baukonstruktionen für Wissenschaft und Praxis.

**WUFI® Pro, WUFI® 2D:** Ein- und zweidimensionale, instationäre Bauteilberechnung, basierend auf den relevanten hygrothermischen Speicher- und Transportphänomenen wie Wärmeleitung, Latentwärmeeffekte, Dampfdiffusion und Flüssigtransport.

**WUFI® Plus:** Hygrothermische Gebäudesimulation unter Berücksichtigung der instationären Wärme- und Feuchteausstauschvorgänge zwischen der Gebäudehülle und dem Raum zur integralen Bewertung von Energiebedarf, Komfort und Schadensfreiheit der Gebäudehülle.

**WUFI® Passive:** Energetisches Monatsbilanzverfahren, verbunden mit der dynamischen Gebäudesimulation nach WUFI® Plus für die Passivhausplanung.

**WUFI® Bio, WUFI® Corr:** Postprozessmodelle zur Beurteilung des Schimmelpilzwachstumsrisikos auf Bauteiloberflächen bzw. des Korrosionsfortschritts von Metallelementen im Mauerwerk oder in Holzbauteilen in Abhängigkeit vom Mikroklima im betrachteten Bereich.

**INSTITUT STUTTGART**

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-00  
Fax +49 711 970-3395  
info@ibp.fraunhofer.de

**STANDORT**

**HOLZKIRCHEN**  
Postfach 11 52  
83601 Holzkirchen  
Fraunhoferstraße 10  
83626 Valley  
Telefon +49 8024 643-0  
Fax +49 8024 643-366  
info@hoki.ibp.fraunhofer.de

© Fraunhofer IBP 2014

---

**STANDORT KASSEL**

Gottschalkstraße 28a  
34127 Kassel  
Telefon +49 561 804-1870  
Fax +49 561 804-3187  
info-ks@ibp.fraunhofer.de

**STANDORT NÜRNBERG**

c/o Energie Campus  
Nürnberg  
Fürther Straße 250  
Auf AEG, Bau 16  
90429 Nürnberg  
Telefon +49 911 56854-9144

**STANDORT ROSENHEIM**

Fraunhofer-Zentrum  
Bautechnik  
c/o Hochschule Rosenheim  
Hochschulstraße 1  
83024 Rosenheim  
Telefon +49 8031 805-2684