
Integrale Planung von Bildungsbauten – Optimierung von Raum und Bau mit digitalen Modellen

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

Lehrstuhl für Bauphysik
Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt
Technische Universität München

Institutsleiter
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Stuttgart, Holzkirchen, Nürnberg



Was ändert sich?

Mega-Trends



Bevölkerungswachstum

Ca. 9 Milliarden Menschen 2050



Verstädterung

jeder 2. Mensch wohnt in der Stadt



Neue Arbeitsstrukturen, demografischer Wandel

Neue Anforderungen an Gebäude/Städte



Umwelt und Klima

Konsequenzen schon heute sichtbar



Energie

Energie wird immer rarer und teurer



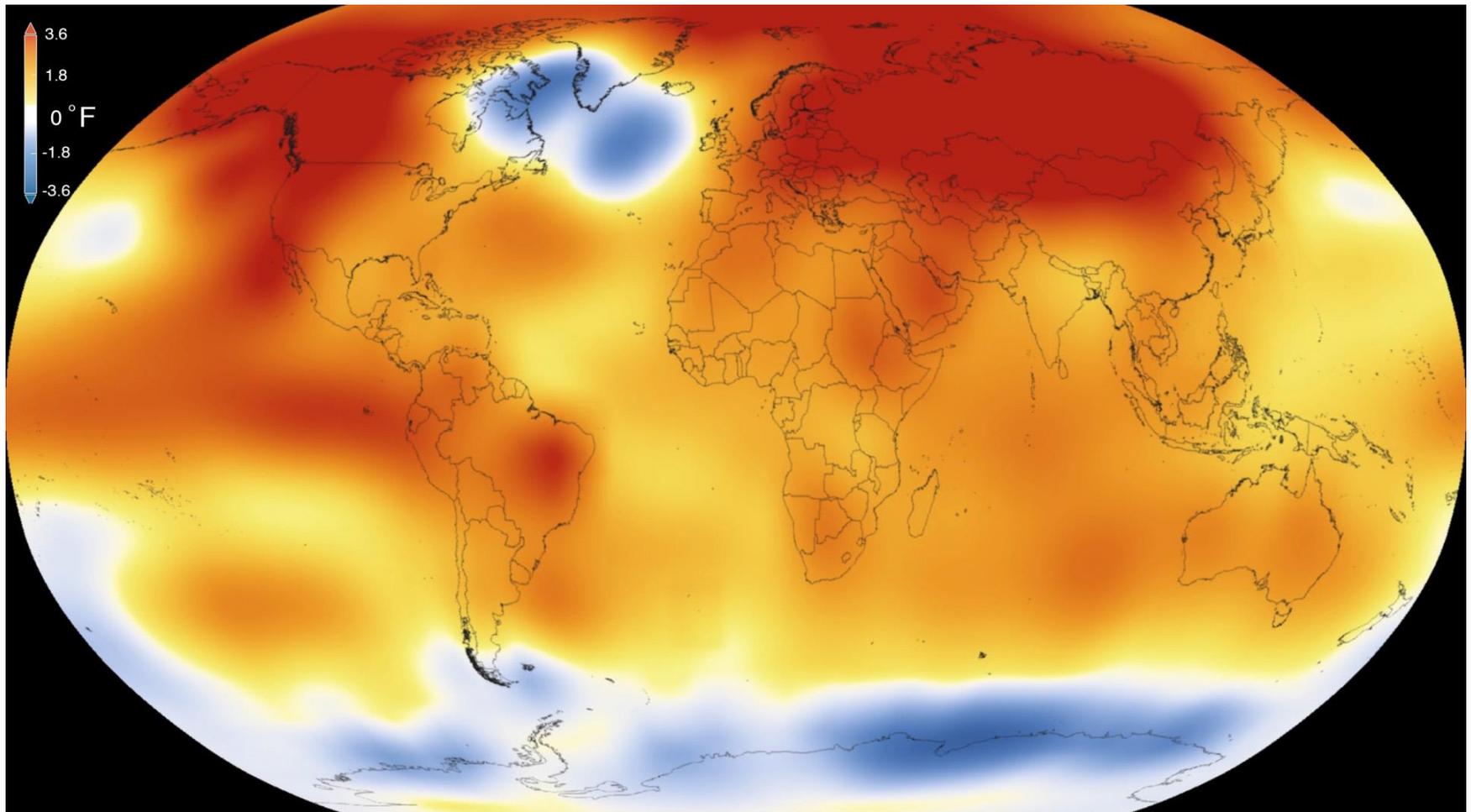
Gebäude

Erheblicher Anteil an den Ressourcen

Herausforderungen

- Klimawandel
- Erneuerbare Energien, Energiespeicher
- Ressourcengerechtes Bauen
- Digitalisierung
- Mensch – Gebäude – Leistung

Klimawandel



Global temperature anomalies for 2015 compared to the 1951–1980 baseline. 2015 was the [warmest year](#) in the [NASA/NOAA](#) temperature record, which starts in 1880. It has since been superseded by 2016 ([NASA/NOAA](#); 20 January 2016).

Klassische Energieversorgung

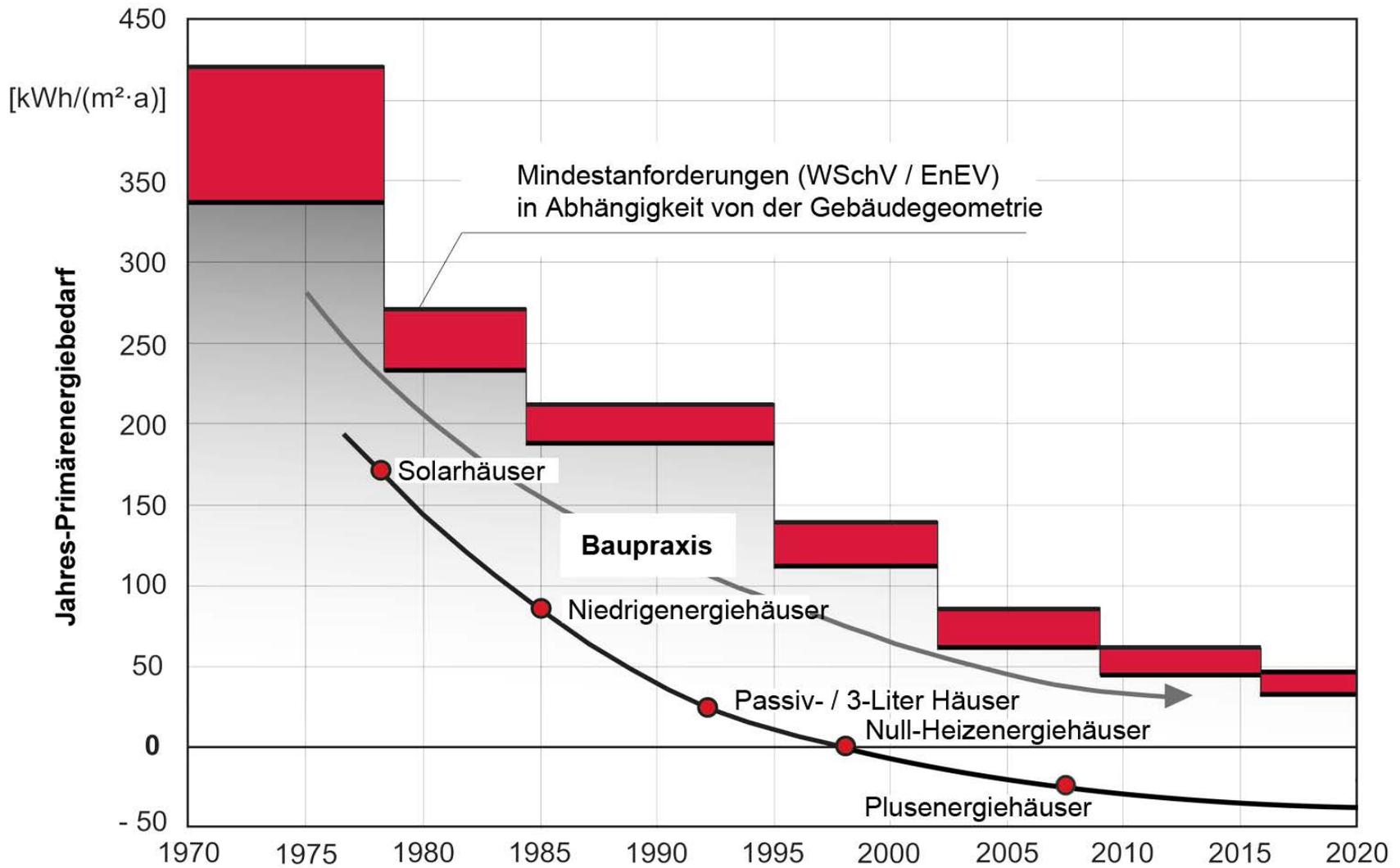


Erneuerbare Energieversorgung



Martina Nolte, CC-by-sa-3.0

Meilensteine des energiesparenden Bauens



Aus dem Solarhaus der 1. Generation



.... wird last but not least das Plus-Energiehaus (2011 – ...)



Besonderheiten von Schulbauten:

- Hohe Belegungsdichte
- Temporäre Nutzung
- Bauphysik vs. normative Mindestanforderungen
- Integrale Planung

Noten abhängig vom Klassenraum?



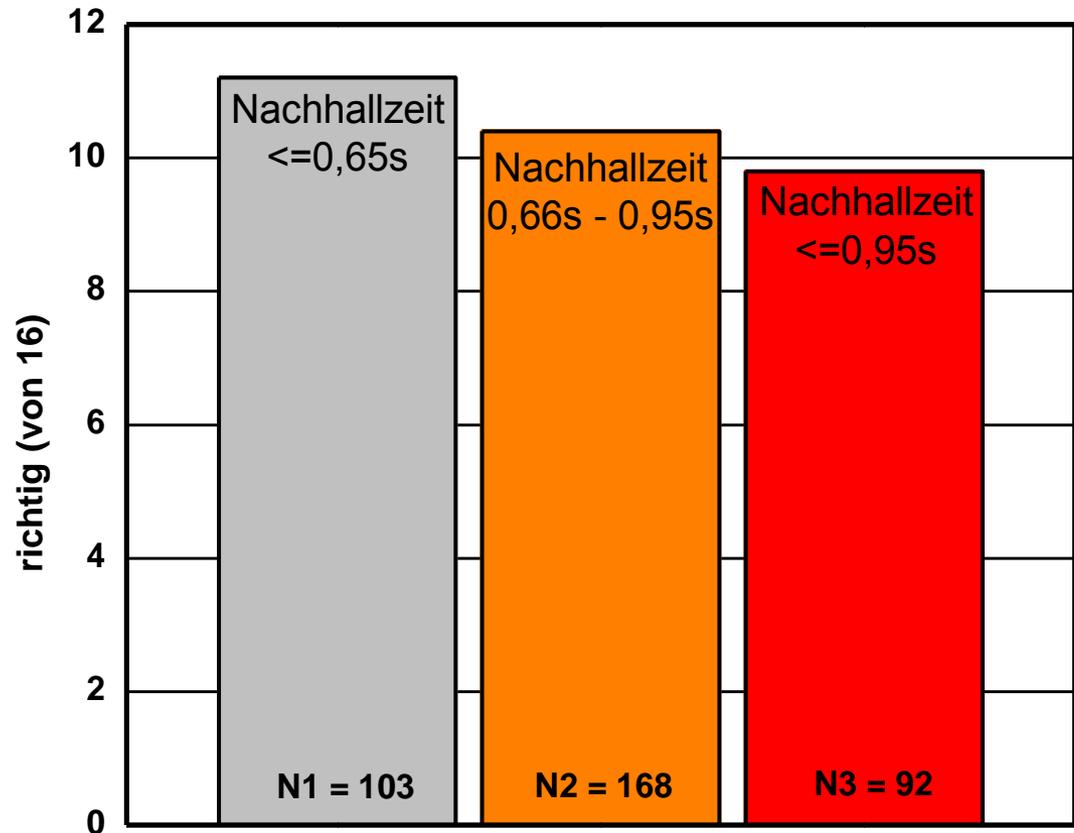
Problem: Schallharte Flächen
Folge: Sprachverständlichkeit zu gering
Nachhallzeit zu groß

Auswirkung der Nachhallzeiten in Klassenräumen

Chronische Wirkungen unterschiedlich langer Nachhallzeiten auf kognitive Grundfunktionen

Leistung von Zweitklässlern beim Kategorisieren von Lauten.

(Test unter gleichen Nachhallbedingungen)



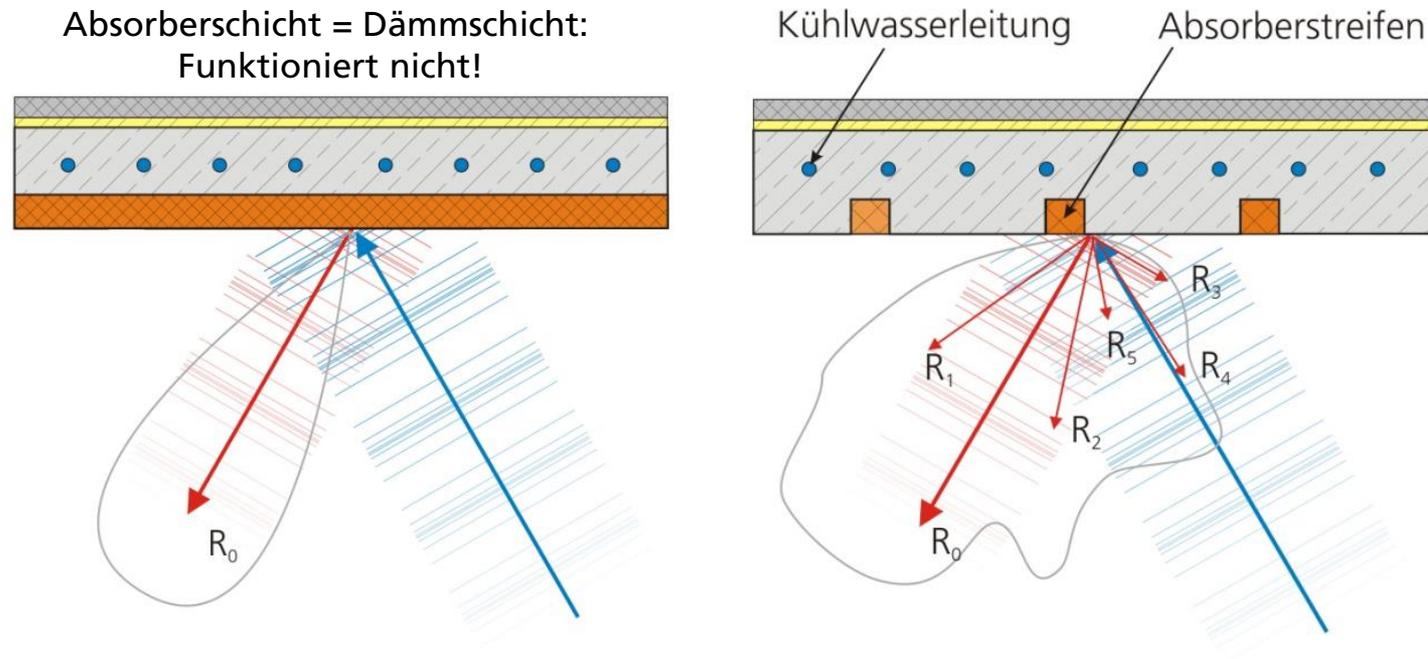
Schallabsorber

Poröse Absorberfläche reduzieren und „neu gestalten“



Absorberstreifen

Periodische Absorberstreifen in schallharter Fläche „versenkt“ (ggf. verputzt)



Thermische Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730

Beschreibung durch:

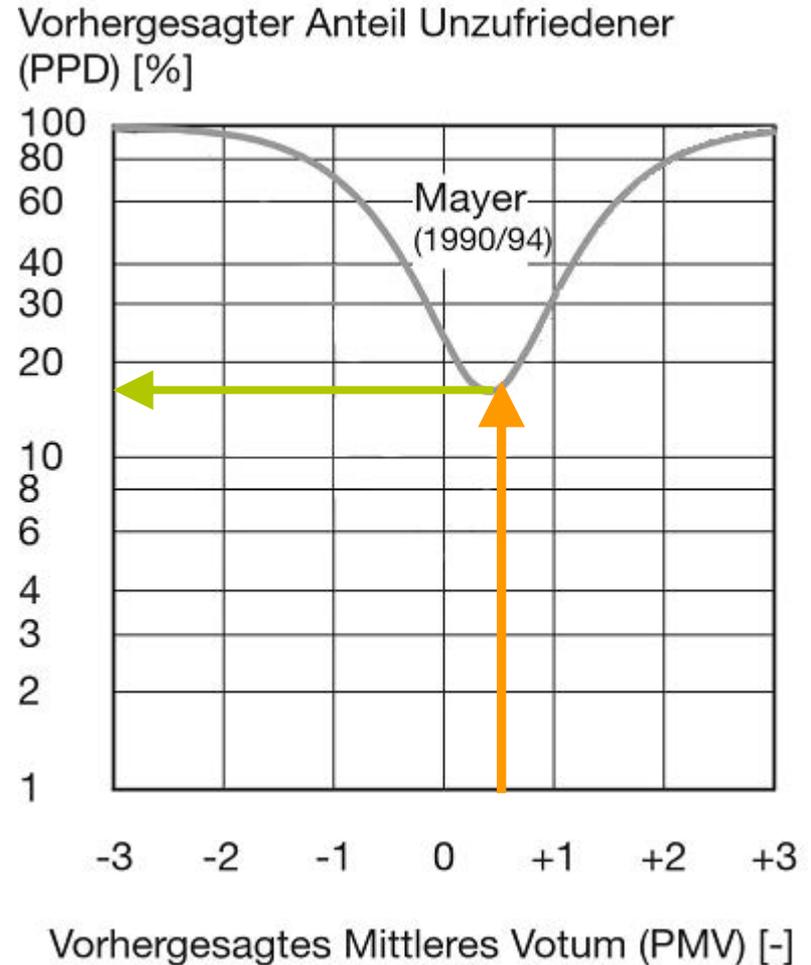
PMV: Vorhergesagtes Mittleres Votum
(Predicted Mean Vote)

PPD: Vorhergesagter Anteil Unzufriedener
(Predicted Percentage of Dissatisfied)

Aus Kombination der

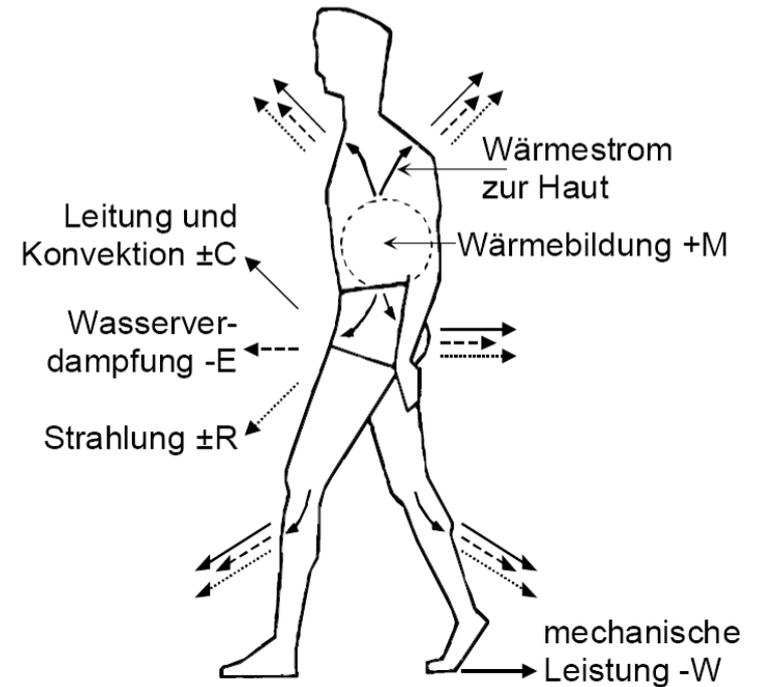
- Klimaparameter
- Wärmedurchgang bei Kleidung
- Aktivität

Optimale Randbedingungen:
mind. 15 % Unzufriedene



Thermische Behaglichkeit

Sensorik für die Gebäudeautomation



Wärmeregulation durch:

- Wärmeleitung
- Konvektion
- Verdunstung
- Wärmestrahlung

Luftqualität im Raum – CO₂ als Indikator

Pettenkofer-Wert

1.000 ppm

1.500 ppm

5.000 - 10.000 ppm

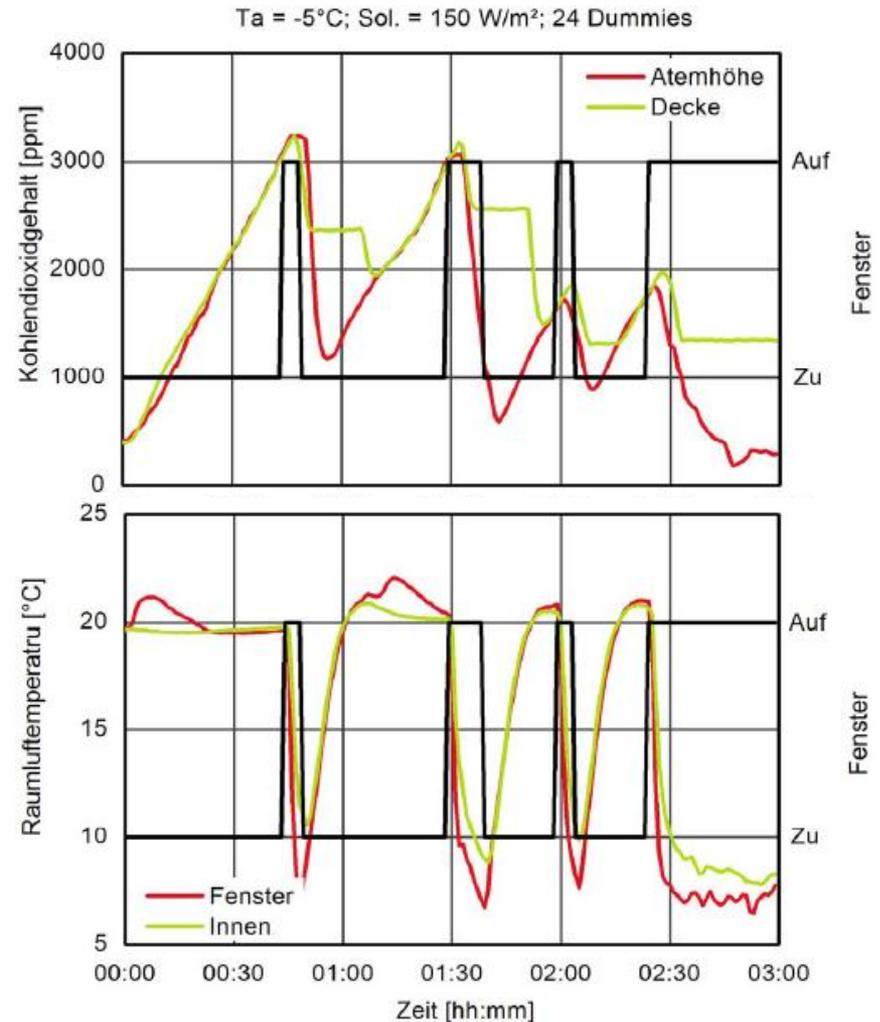
30.000 - 40.000 ppm



Stoßlüften im IBP Schulhaus

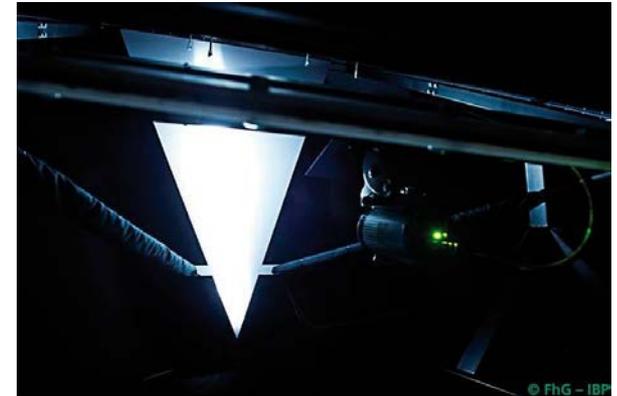
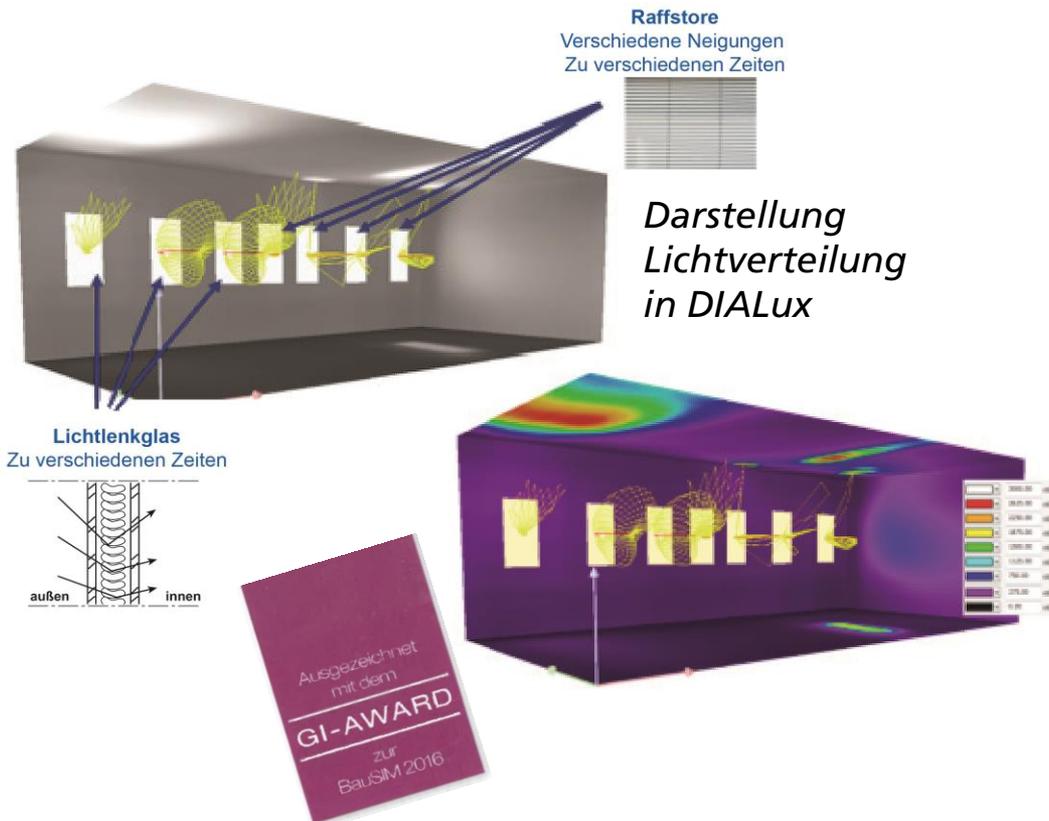


- Stoßlüften nur in „5min-Pausen“ nach „45min-Stunde“ nicht ausreichend!
- Test der Eignung von Fassadenvarianten für automatisierte Fensterlüftung

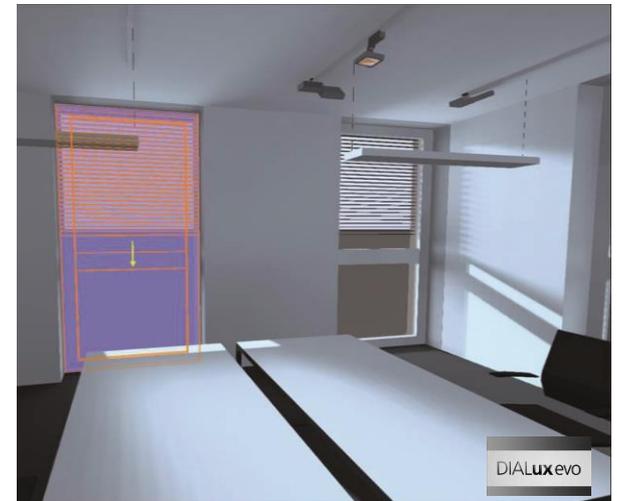


Sonnen- und Blendschutz lichttechnisch bewerten

- Verbesserung der lichttechnischen und energetischen Fassadenplanung



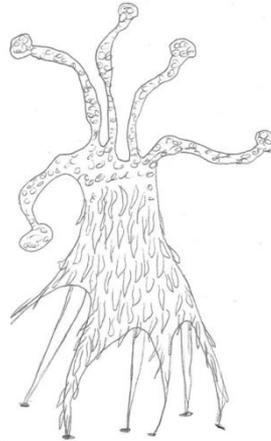
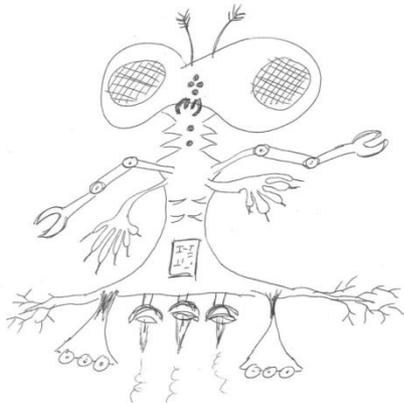
Goniophotometer



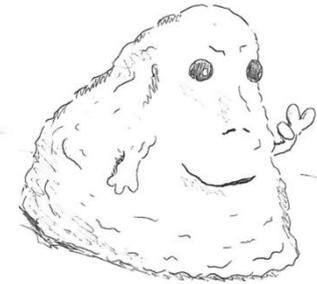
Lamellensystem in Simulation

Generierte „Aliens“ in Kreativitätsaufgaben

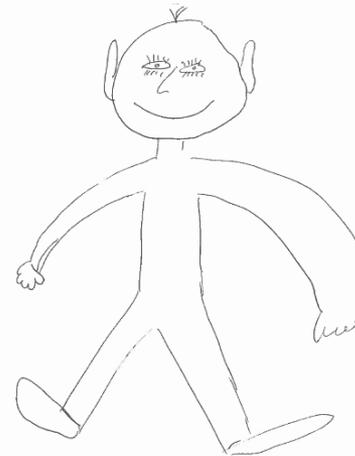
sehr kreativ



mittelmäßig
kreativ

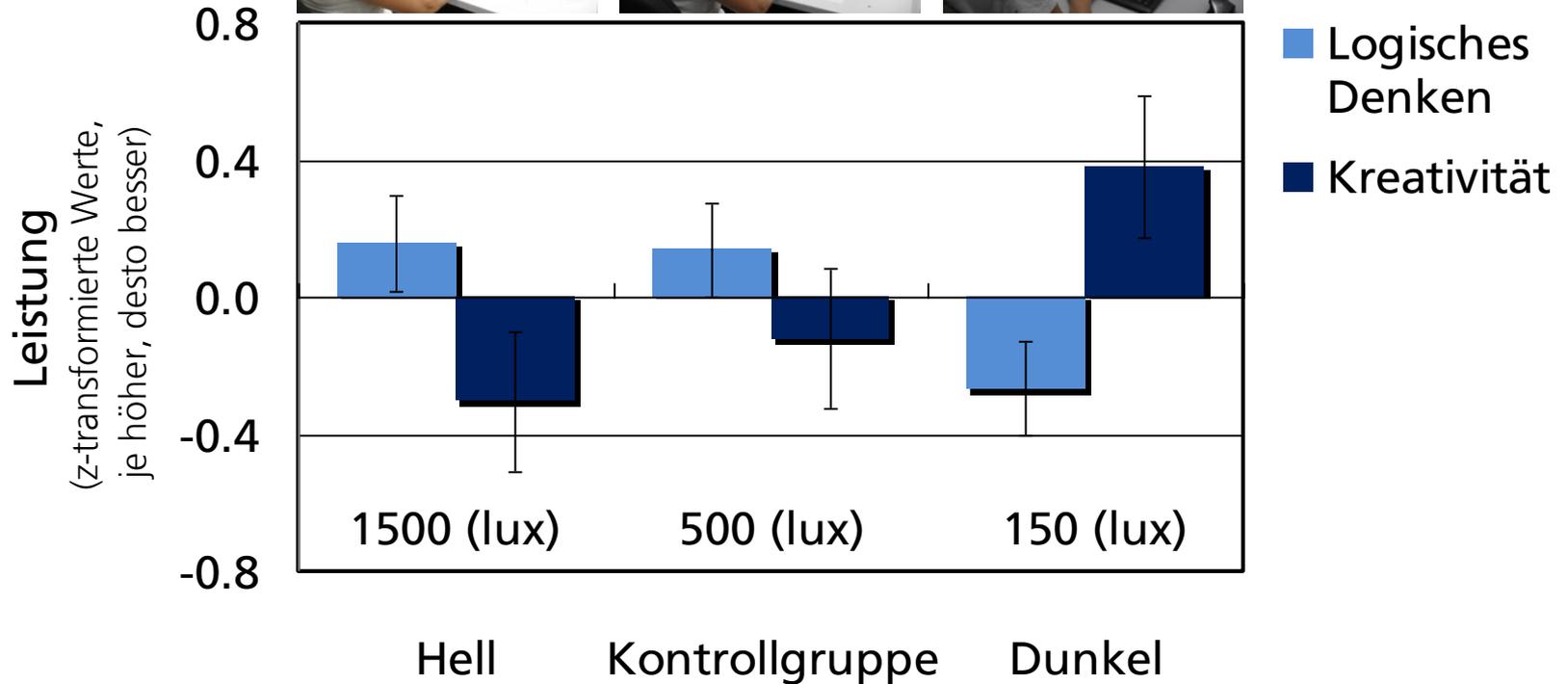


gar nicht kreativ



Steidle & Werth, 2013

Licht

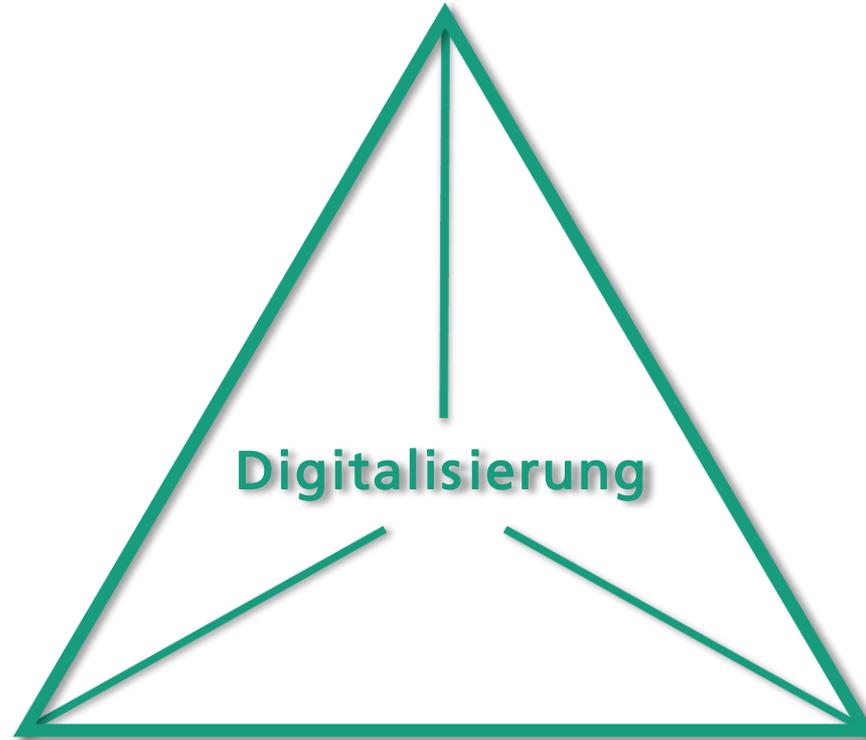


Interaktion: $F(2, 138) = 9.45, p < .01, \eta_p^2 = .20$
Logisches Denken: $F(2, 137) = 3.21, p < .05, \eta_p^2 = .05,$
Kreativität: $F(2, 137) = 7.21, p < .01, \eta_p^2 = .09$

Quelle: Steidle, Hanke & Werth, under review

Zielgrößen

Mensch
(Gesundheit, Leistung, Wohlbefinden)

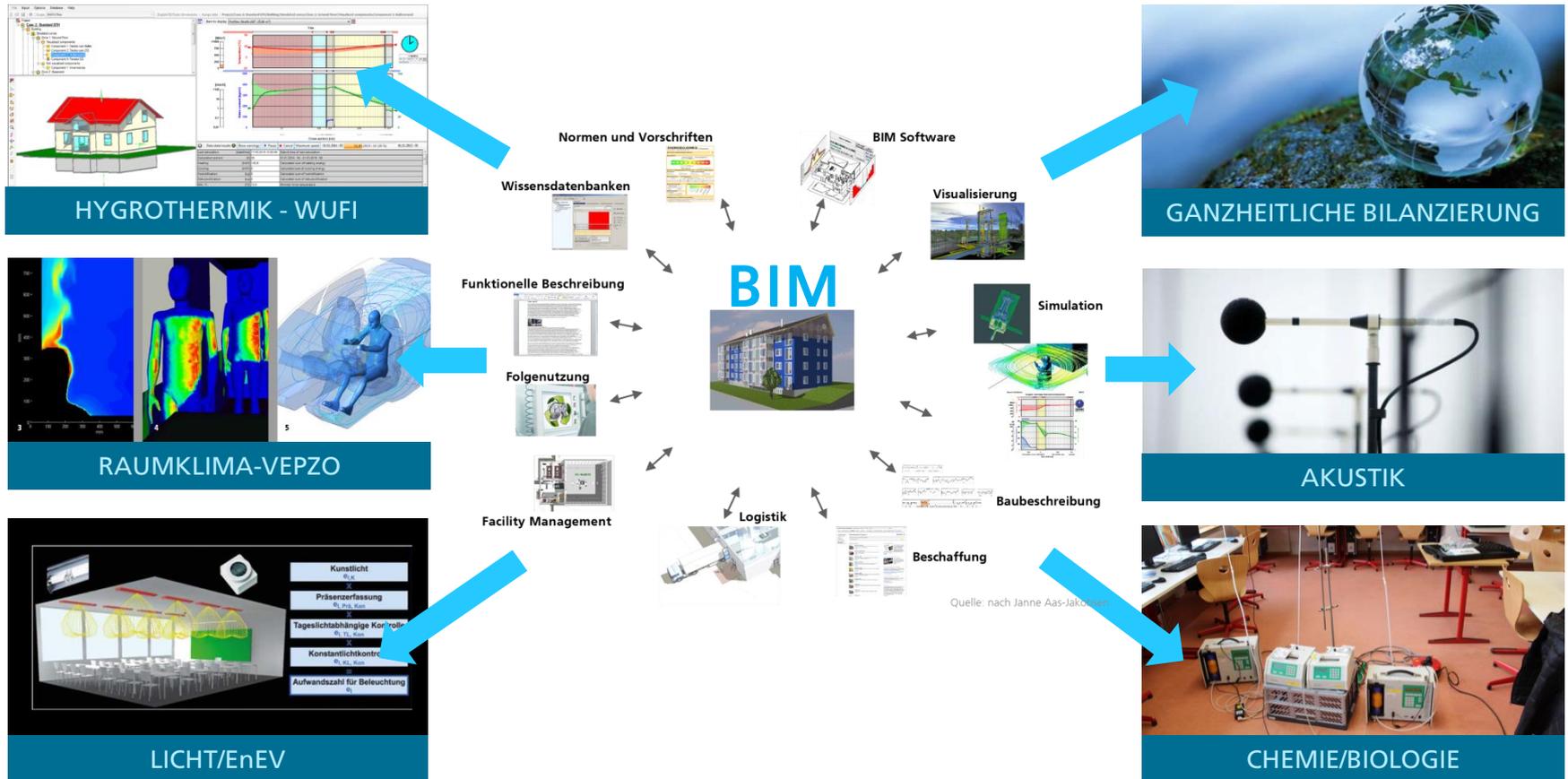


Ökonomie
Energieeffizienz
Bau- und Produktionsprozesse

Ökologie
Ressourceneffizienz

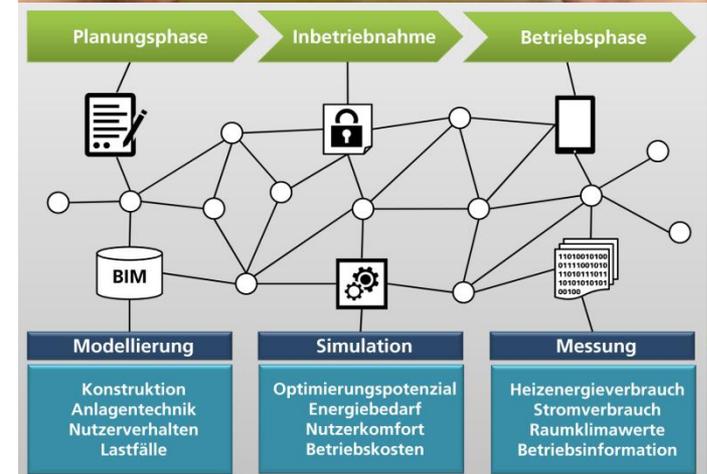
Bauen – BIM – Digitaler Gebäudezwilling

- Identifizieren und Heben der Potenziale von Prozessabläufen
- Mehrwert der Methode durch Simulation der Nutzungsphase



Digitaler Gebäudezwilling

- Validierte physikalische und statistische Gebäude- und Anlagenmodelle
- Ermittlung von Material-, Bauteil- und Systemkennwerten
- Datenbanken für thermische, hygrische und Lebenszyklus-Kennwerte
- Durchführung komplexer Gebäude- und Anlagentechniksimulation
- Innovative Sensorsysteme und Anbindung an die Gebäudeautomation
- Verknüpfung von Datenbanksystemen zentraler BIM-Lösungen, Messdatenbanken und Gebäudesimulationsmodellen
- Entwicklung von Nutzerschnittstellen und semantischer Datenverknüpfungen
- Bewertungsmethoden für die energetische, hygrische, raumklimatische und akustische Beurteilung



Building Performance Optimization

Kombination mehrerer Zielgrößen

Energieeffizienz

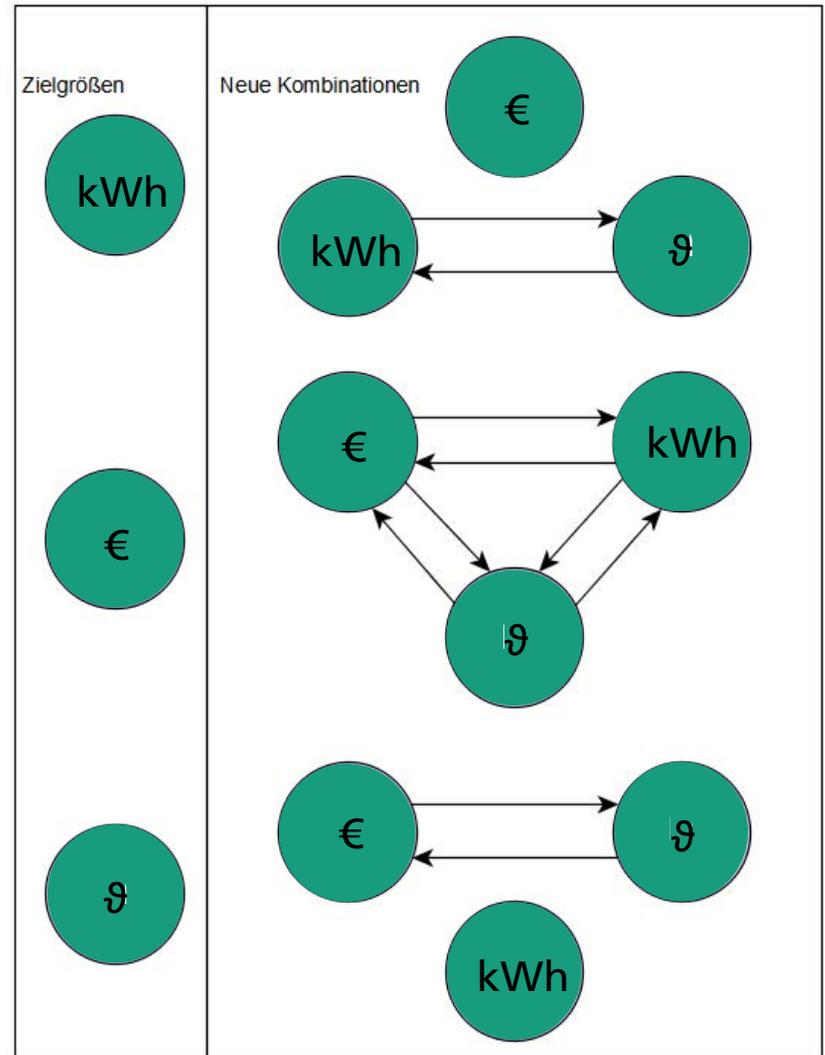
- Nutz-, Endenergiewerte aus dynamischer instationärer Simulation

Ökonomie

- Lebenszykluskosten

thermische Behaglichkeit

- Übertemperaturgradstunden auf Basis von Operativtemperaturen



BIMiIBP

Beispiel: Schulhaus

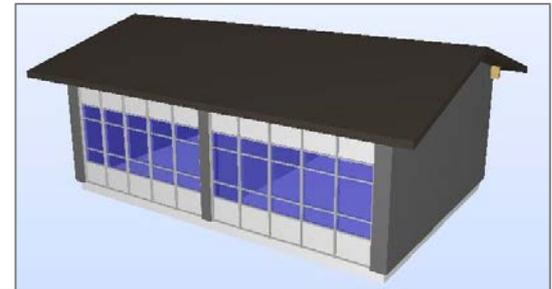
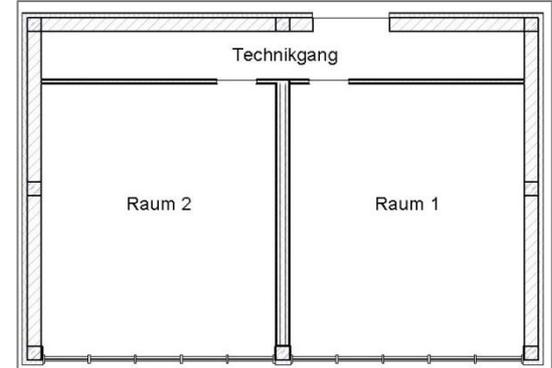
Eckdaten

Einstöckiges Schulgebäude auf dem Gelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen

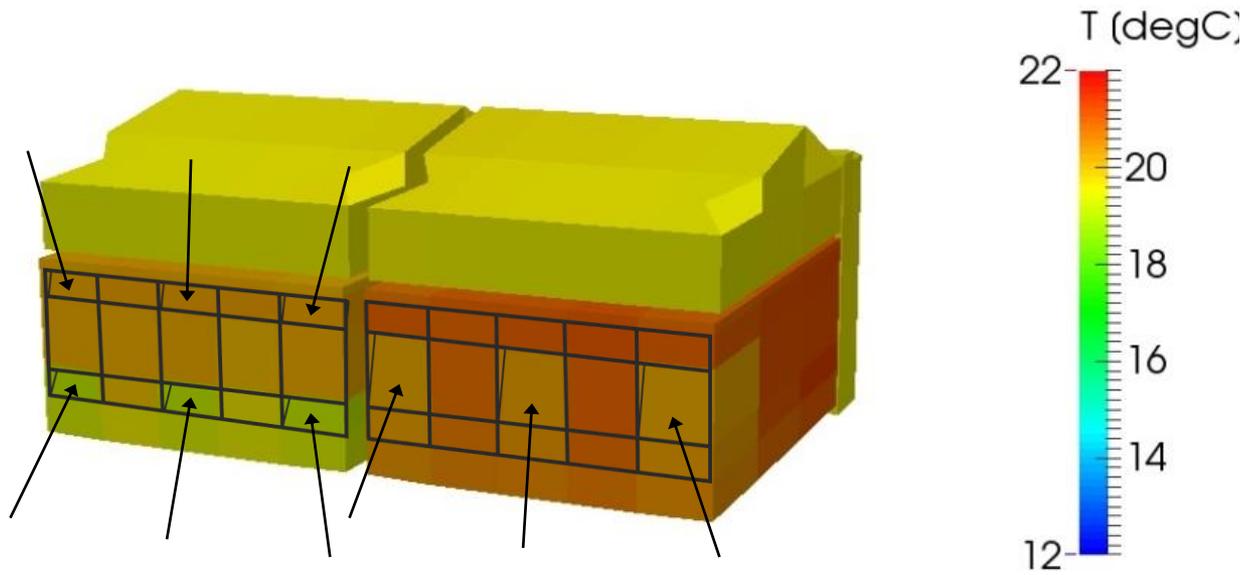
2 gleich große Klassenzimmer

Verfügbarkeit von ausführlichen Messdaten

➔ Bekannte Konstruktion erlaubt die Entwicklung und Bewertung einer Vorgehensweise in einer kontrollierten Umgebung



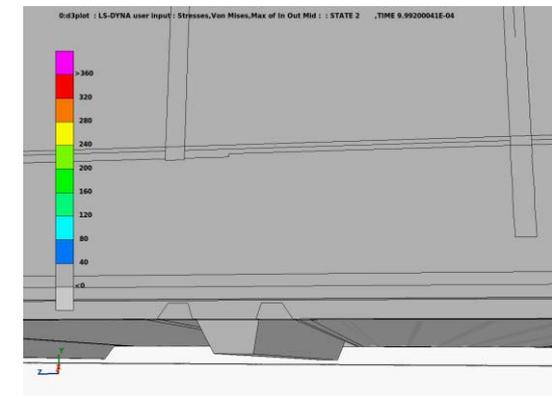
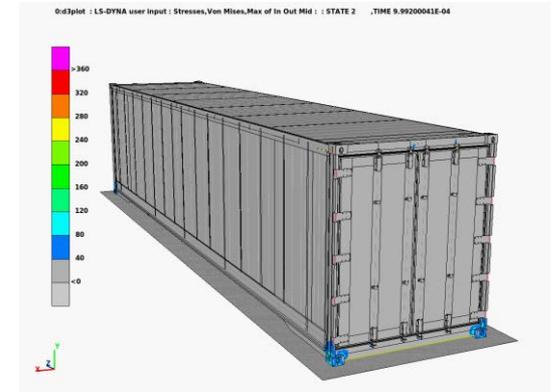
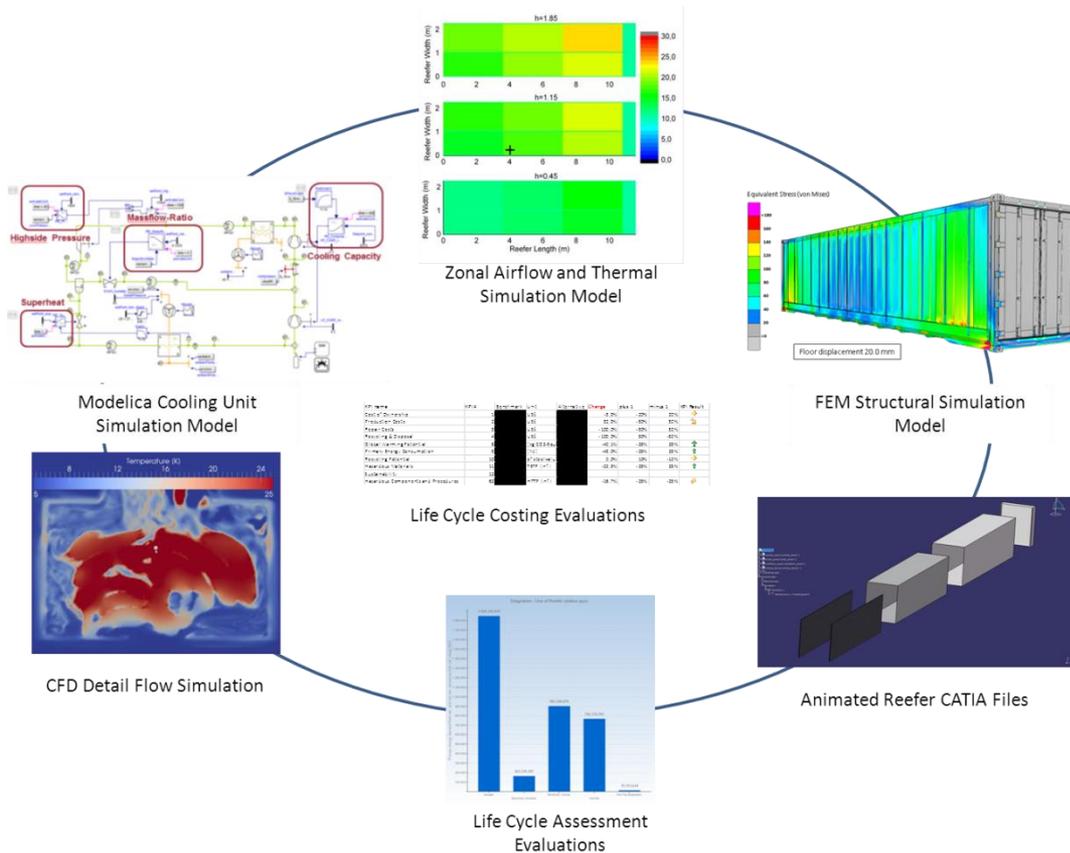
Time: 100 min



Temperaturverteilung im Schulhaus nach 100 min
(Variante 5)
inklusive Kennzeichnung der gekippten Fenster

Systemlösungen

Einrichtung einer virtuellen Entwicklungsplattform – ISO-Container



DIE WORKSHOPS UND IHRE INHALTE



WORKSHOPS

SCHULBAU INTEGRAL

Moderation: Prof. Dr. Philip Leistner, Fraunhofer IBP

Brandschutzkonzepte für Schulen

Thomas Kolb, Brandschutzconsult GmbH & Co. KG, Ettenheim

Sicherheit für Schulen – Konzepte, Technik, Praxisbeispiele

Raphael Mayer, Bosch Sicherheitssysteme GmbH, Stuttgart

Digitalisierung und Inklusion

Jochen Nossek, Tausschule Backnang

Visuelle Barrierefreiheit durch die Gestaltung von Kontrasten

Prof. Irene Lohaus, TU Dresden

Vom Container zum l'espace vécu –

Ein multiprofessionelles Lehrprojekt aus der demokratisch-inkluisiven BildungsRAUMentwicklung

Prof. Dr. Christina Hansen, Kathrin Eveline Plank, Universität Passau

Garderobenschränke und Schließfächer – Best Practice

Lorenz Schirmer, C+P Möbelsysteme GmbH & Co. KG, Breidenbach

Lebensmittelabfälle und deren Vermeidung in der Schulverpflegung – Status Quo, Messmethoden und Maßnahmen

Prof. Dr. Martin Kranert, Dominik Leverenz, Universität Stuttgart

Nachhaltigkeit von Sportfreianlagen –

Ansätze zur nachhaltigen Entwicklung

Prof. Dr. Martin Thieme-Hack, Jutta Katthage, Hochschule Osnabrück

Effizienz macht Schule – Mit Energiecontracting

gegen den Sanierungsstau

Rüdiger Lohse, Kompetenzzentrum Contracting BW, Karlsruhe

Akustik in Sporthallen

Prof. Dr. Philip Leistner, Fraunhofer IBP

VIEL RAUM FÜR LEISTUNG

Moderation: Andreas Kaufmann, Fraunhofer IBP

Lernimpulse durch Raumimpulse

Prof. Eva Filter, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Detmold

Schulen der Zukunft – Gestaltungsvorschläge der Architekturspsychologie

PD Dr. Rotraut Walden, Universität in Koblenz

Großbaustelle Schulverpflegung

Dr. Michael Polster, DNSV e.V., Berlin

Richtig verstanden – Gute Akustik in Unterrichtsräumen

Dr. Moritz Späh, Fraunhofer IBP

Qualität der Räume – Abgleich mit der Wirklichkeit

Hans Bühler, Immo Scholze, Riehle+Assoziierte, Reutlingen

Gutes Klima – gutes Lernen

Prof. Dr. Gunnar Grün, Fraunhofer IBP

Lichtstrahlung und Farbkonzeption:

Ressourcen oder auch Blockaden für Lernprozesse

Prof. Karl Albert Fischer, Österreichisches Institut für Licht und Farbe, Wien

Wirksame Räume für eine Pädagogik der Vielfalt

Ueli Keller, Europäisches Netzwerk Bildung&Raum, Basel (Schweiz)

Potenzialentfaltung durch Raumanpassungen

Željko Marin, Architekturbüro Marin, Basel (Schweiz)

Raum und Zeit am Süsteresch

Heike Draber, Heinrich Brinker, Grundschule auf dem Süsteresch, Schütteldorf

ENERGIEEFFIZIENZ

Moderation: Hans Erhorn, Fraunhofer IBP

1. Tag: Energieeffiziente Schul- und Hochschul-Campus Querauswertung und Merkmale von EnEff:Campus-Projekten

Heike Erhorn-Kluttig, Fraunhofer IBP

Best-Practice-Projekte:

– Planungsstrategien am Beispiel Campus Aachen/Jülich

Prof. Dr. Dirk Müller; RWTH Aachen University

– Campus Technische Universität Braunschweig –

Auf dem Weg zum klimaneutralen Stadtquartier

Prof. Dr. Norbert Fisch; Thomas Wilken; TU-Braunschweig

– Leuphana Universität Lüneburg

Dr. Oliver Opel, Leuphana Universität Lüneburg

– Ludwig-Maximilian-Universität München

Prof. Dr. Werner Jensch, Hochschule München

– CAMPER (CAMPus EnergieverbrauchsReduktion)

Prof. Dr. John Grunewald; Prof. Dr. Clemens Felsmann, Technische Universität Dresden

Energie- und Klimaschutzkonzepte für Hochschulen und andere landeseigene Liegenschaften

Torsten Wenisch, Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg

Technisches Monitoring, Inbetriebnahmemanagement und Betriebsoptimierung

Dr.-Ing. Stefan Plesser, SIZ energie+ an der TU Braunschweig

2. Tag: Energieeffiziente Bildungsbauten

Initiative Effizienzhaus Plus

Lothar Fehn Krestas, BMUB

10 Jahre energetische Schulforschung – Resümee

Hans Erhorn, Fraunhofer IBP

Effizienzhaus Plus Bildungsbauten –

Die neue Forschungsinitiative

Arnd Rose, BBSR

Best-Practice-Projekte:

– LOP Schule Hockenheim – Vorstellung Architektur, technisches Konzept, Kosten, Monitoring

Jürgen Roth, Roth.Architekten; Michael Keller, ina Planungsges.

– Um- und Neubau des Jakob-Brucker-Gymnasiums

Kaufbeuren zum Effizienzhaus Plus

Rainer Bäurle, Stadt Kaufbeuren

– Effizienzhaus Plus Berufsschulzentrum Mühldorf am Inn

Andreas Reithmeier, aris architekten | ingenieure | sachverständige

– Gymnasium Neutraubling –

Wirtschaftliche Lösungen durch integrale Planung

Werner Haase, Architekturbüro Werner Haase

Öffentliches Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus

Was bewegt die Initiative Effizienzhaus Plus

Petra Alten, BMUB

Diskussionsrunden (World-Café-Format):

– Harmonisierung energetischer Standards erforderlich?

– Monitoring und Betriebsoptimierung

– Vergleichbarkeit oder lokales Optimum: Bilanzierung mit EnEV-Randbedingungen oder Standortwetter und stundenplanscharf

– Vorbehalte des Bauherren gegenüber Effizienzhaus Plus-Gebäuden

– Zusammenfassung der Ergebnisse der Thementische

Exkursion zur Plusenergieschule Stuttgart (mit Bustransfer)

anschließend ÖPNV Transfer zum Hbf. Stuttgart

(Ankunft ca.16.30)

Programmänderungen vorbehalten



DANK

Unser herzlicher Dank gilt den Partnern und Förderern des Kongresses, die dem Zukunftsraum Schule ihre besondere Aufmerksamkeit widmen.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE
Zukunft BAU



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

ENERGIEWENDEBAUEN
Wissenschaftliche
Begleitforschung



Universität Stuttgart

TUM TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU

 **Fraunhofer**
IBP

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

5. KONGRESS ZUKUNFTSRAUM SCHULE



WORKSHOP: SCHULBAU INTEGRAL

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

5. KONGRESS ZUKUNFTSRAUM SCHULE



Brandschutzkonzepte für Schulen

Thomas Kolb, Brandschutzconsult GmbH & Co. KG, Ettenheim

Sicherheit für Schulen – Konzepte, Technik, Praxisbeispiele

Raphael Mayer, Bosch Sicherheitssysteme GmbH, Stuttgart

Digitalisierung und Inklusion

Jochen Nossek, Tausschule Backnang

Visuelle Barrierefreiheit durch die Gestaltung von Kontrasten

Prof. Irene Lohaus, TU Dresden

Vom Container zum l'espace vécu –

Ein multiprofessionelles Lehrprojekt aus der demokratisch-inklusive BildungsRAUMentwicklung

Prof. Dr. Christina Hansen, Kathrin Eveline Plank, Universität Passau

Garderobenschränke und Schließfächer – Best Practice

Lorenz Schirmer, C+P Möbelsysteme GmbH & Co. KG, Breidenbach

Lebensmittelabfälle und deren Vermeidung in der Schulpflegung – Status Quo, Messmethoden und Maßnahmen

Prof. Dr. Martin Kranert, Dominik Leverenz, Universität Stuttgart

Nachhaltigkeit von Sportfreianlagen –

Ansätze zur nachhaltigen Entwicklung

Prof. Dr. Martin Thieme-Hack, Jutta Katthage, Hochschule Osnabrück

Effizienz macht Schule – Mit Energiecontracting gegen den Sanierungsstau

Rüdiger Lohse, Kompetenzzentrum Contracting BW, Karlsruhe

Akustik in Sporthallen

Prof. Dr. Philip Leistner, Fraunhofer IBP

Nachhaltigkeit in Schulen

Besondere bauphysikalische Anforderungen für Schulen in der Zertifizierung

- Innenraumhygiene
 - Hohe CO₂-Konzentration
 - Lüftungssystem
- Akustischer Komfort
 - Hohe Ansprüche an Kommunikationsbedingungen
 - Berechnung der Nachhallzeit
 - Was fehlt: Sprachverständlichkeit (Bezug zum Störgeräuschpegel)



WORKSHOP: VIEL RAUM FÜR LEISTUNG

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

5. KONGRESS ZUKUNFTSRAUM SCHULE

Lernimpulse durch Raumimpulse

Prof. Eva Filter, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Detmold

Schulen der Zukunft – Gestaltungsvorschläge der Architekturpsychologie

PD Dr. Rotraut Walden, Universität in Koblenz

Großbaustelle Schulverpflegung

Dr. Michael Polster, DNSV e.V., Berlin

Richtig verstanden – Gute Akustik in Unterrichtsräumen

Dr. Moritz Späh, Fraunhofer IBP

Qualität der Räume – Abgleich mit der Wirklichkeit

Hans Bühler, Immo Scholze, Riehle+Assoziierte, Reutlingen

Gutes Klima – gutes Lernen

Prof. Dr. Gunnar Grün, Fraunhofer IBP

Lichtstrahlung und Farbkonzeption:

Ressourcen oder auch Blockaden für Lernprozesse

Prof. Karl Albert Fischer, Österreichisches Institut für Licht und Farbe, Wien

Wirksame Räume für eine Pädagogik der Vielfalt

Ueli Keller, Europäisches Netzwerk Bildung&Raum, Basel (Schweiz)

Potenzialentfaltung durch Raumanpassungen

Željko Marin, Architekturbüro Marin, Basel (Schweiz)

Raum und Zeit am Süsteresch

Heike Draber, Heinrich Brinker, Grundschule auf dem Süsteresch, Schüttdorf



Aktuelles aus der Forschung zu »Menschen in Räumen«



WORKSHOP: ENERGIEEFFIZIENZ – TAG 1

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

5. KONGRESS ZUKUNFTSRAUM SCHULE

1. Tag: Energieeffiziente Schul- und Hochschul-Campus

Querauswertung und Merkmale von EnEff:Campus-Projekten

Heike Erhorn-Kluttig, Fraunhofer IBP

Best-Practice-Projekte:

– Planungsstrategien am Beispiel Campus Aachen/Jülich

Prof. Dr. Dirk Müller; RWTH Aachen University

– Campus Technische Universität Braunschweig –

Auf dem Weg zum klimaneutralen Stadtquartier

Prof. Dr. Norbert Fisch; Thomas Wilken; TU-Braunschweig

– Leuphana Universität Lüneburg

Dr. Oliver Opel, Leuphana Universität Lüneburg

– Ludwig-Maximilian-Universität München

Prof. Dr. Werner Jensch, Hochschule München

– CAMPER (CAMPus EnergieverbrauchsReduktion)

Prof. Dr. John Grunewald; Prof. Dr. Clemens Felsmann,
Technische Universität Dresden

Energie- und Klimaschutzkonzepte für Hochschulen und andere landeseigene Liegenschaften

Torsten Wenisch, Ministerium für Finanzen Baden-Württemberg

Technisches Monitoring, Inbetriebnahmemanagement und Betriebsoptimierung

Dr.-Ing. Stefan Plesser, SIZ energie+ an der TU Braunschweig



WORKSHOP: ENERGIEEFFIZIENZ – TAG 2

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

5. KONGRESS ZUKUNFTSRAUM SCHULE

2. Tag: Energieeffiziente Bildungsbauten

Initiative Effizienzhaus Plus

Lothar Fehn Krestas, BMUB

10 Jahre energetische Schulforschung – Resümee

Hans Erhorn, Fraunhofer IBP

Effizienzhaus Plus Bildungsbauten –

Die neue Forschungsinitiative

Arnd Rose, BBSR

Best-Practice-Projekte:

– LOP Schule Hockenheim – Vorstellung Architektur, technisches Konzept, Kosten, Monitoring

Jürgen Roth, Roth.Architekten; Michael Keller, ina Planungsges.

– Um- und Neubau des Jakob-Brucker-Gymnasiums

Kaufbeuren zum Effizienzhaus Plus

Rainer Bäurle, Stadt Kaufbeuren

– Effizienzhaus Plus Berufsschulzentrum Mühldorf am Inn

Andreas Reithmeier, aris architekten | ingenieure | sachverständige

– Gymnasium Neutraubling –

Wirtschaftliche Lösungen durch integrale Planung

Werner Haase, Architekturbüro Werner Haase

