

# Nutzung von funktionalen Mockups zur Absicherung von innovativen Fassaden- und Versorgungskonzepten

Überprüfung und Optimierung von Funktion und Behaglichkeit im Vorfeld der Umsetzung am realen Bauvorhaben

M.-Eng. Michael Eberl, Dr.-Ing. Matthias Kersken, Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler, Prof. Dr.-Ing. Gunnar Grün



Abb. 1: Außenansicht VERU-Gebäude mit Mockup-Fassade

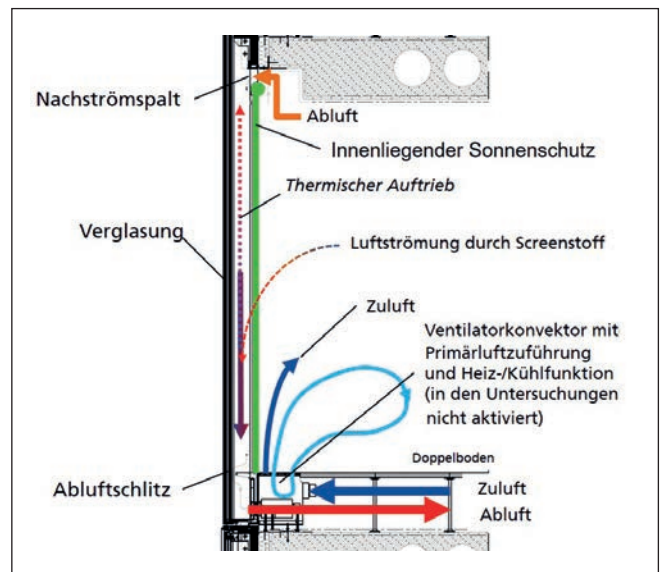


Diagramm 1: Schematische Darstellung der Luftführung in der Abluftfassade

Innovative Fassaden beruhen auf einer technologischen Disziplinenkombination aus Metallbau, Glaswesen, Leichtbau, Maschinenbau, Haustechnik etc. mit hohen bauphysikalischen Anforderungen. Dies stellt sowohl Planer als auch Ausführende vor immense Herausforderungen, da die unterschiedlichsten Fachdisziplinen zusammenzuführen sind. In den meisten Fällen werden diese nicht von nur einem einzelnen Fachplaner oder einem ausführenden Bauunternehmen beherrscht. Trotz dieser Systemkomplexität wird auch bei hohen Objektsummen vor der Fertigung häufig keine ausreichende funktionale Qualitätskontrolle eingesetzt, lediglich die ästhetische Bemusterung vor Ort findet regelmäßig statt. Komplexe Fassaden übernehmen diverse – eben nicht nur ästhetische – Funktionen, wie Wetterschutz, Sicherstellung der Raumbehaglichkeit, Belüften, Beleuchten sowie thermische und/oder elektrische Energieerzeugung. Um dieser Komplexität mit ihren Risiken (auch finanzieller Art, u.a. in Wartung und Betrieb) zu begegnen, werden funktionale Modelltests benötigt, so dass der Bauherr ausreichende Sicherheit über die Funktion der bestellten Fassade erlangt. Darüber hinaus erleichtert ein vorheriger Test im Bereich der

Gebäudetechnik die spätere Inbetriebnahme und schützt vor Überraschungen, d.h. im Idealfall wird das Gebäude in Betrieb genommen und das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten funktioniert auf Anhieb, ohne dass im laufenden Betrieb noch große Nachbesserungen vorgenommen werden müssen. Denn immerhin werden rund 15 bis 25 % der Baukosten bei Großprojekten (> 25 Mio. €Bausumme) in das Gewerk Fassade investiert. 2 bis 5 % dieser Investitionen sind Fachplanungskosten, worunter auch die „Fachtechnische Begleitung von Bemusterungen und Prüfungen“ fällt. Im Rahmen dieser Position/Tätigkeit sollte die technisch-funktionale Bemusterung implementiert werden, welche derzeit jedoch nur sehr selten für diese Zielsetzung durchgeführt wird. Mit seinen Kompetenzen und Versuchseinrichtungen kann das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP in Holzkirchen solche Bemusterungen unter Realbedingungen vornehmen, für welche es derzeit keine standardisierten und etablierten Testverfahren gibt. Im Folgenden werden die Möglichkeiten und die resultierenden Vorteile an zwei Beispielen einer Fassadenbemusterung an der Versuchseinrichtung für Energetische und Raumklimatische Untersuchungen VERU (Abb. 1) des Fraunhofer IBP dargestellt.

### NEUBAU FESTO AG IN ESSLINGEN „AUTOMATIONCENTER“ (TEST- UND VALIDIERUNGSMESSUNG)

Am Standort der Firmenzentrale des Unternehmens Festo AG in Esslingen wurde mit dem „AutomationCenter“ ein neues Bürogebäude mit einer innovativen Fassadentechnologie, einer sogenannten Abluffassade, geplant und vor der Ausführung am realen Objekt einem Mockup Test unterzogen. Zur Minimierung der im Raum wirksam werdenden solaren Lasten wurde die einschalige Fassade mit

leistung von den solar erwärmten Oberflächen von Screen und Verglasung an die vorbeiströmende Abluft erreicht wird. Des Weiteren sind unmittelbar vor dem Screen Ventilator-konvektoren mit Primärluftzuführung (konstanter Zuluftvolumenstrom) und Heiz-/Kühlfunktion in den Doppelboden integriert. Darüber hinaus beinhaltet das TGA-Konzept zusätzliche Quellluftauslässe im hinteren Bereich des Raumes und eine Flächenkühlung mittels Betonkernaktivierung (BTA). Beide Komponenten (Quell-

- ▶ Bestimmung der Wärmeentzugsleistung der Abluffassade.
- ▶ Findet eine Rückströmung der erwärmten Luft aus dem Zwischenraum Screen/Verglasung in den dahinterliegenden Büroraum statt?
- ▶ Bildet sich eine homogene Kolbenströmung (von oben nach unten) zwischen Screen und Verglasung aus?
- ▶ Welche raumseitigen Oberflächentemperaturen stellen sich am Screen ein und welche Auswirkung hat dies auf das thermische Raumklima?



Abb.2, oben: Außenansicht Mockup-Fassade



Abb.3, rechts: Innenansicht Mockup-Fassade bei vollständig geschlossenem Sonnenschutz-Screen und mit Temperaturmessbaum für die Komfortbewertung

vollflächiger Sonnenschutzverglasung und einem innenliegenden Blend- und Sonnenschutzscreen ausgeführt. Bei dieser Konstruktionsvariante wird die Abluft aus dem Raum über den Spalt zwischen Screen und Verglasung, hier durch eine Absaugung im Bereich des Doppelbodens, abgeführt. Hierdurch soll ein Großteil der solar eingebrachten und am Screen bzw. der Verglasung absorbierten Wärme über den Abluftvolumenstrom unmittelbar wieder abgeführt werden, bevor sie im dahinterliegenden Büroraum wirksam werden kann (Diagramm 1). Die Richtung des Abluftvolumenstroms von oben nach unten (entgegen der Thermik) wurde gewählt, um eine möglichst turbulente Luftströmung im Bereich des Spaltes zwischen Screen und Verglasung zu erreichen. Es wurde erwartet, dass hierdurch eine höhere Wärmeübertragungs-

luftauslass und BTA) waren nicht Gegenstand der Untersuchungen und wurden deshalb im Versuchsraum nicht umgesetzt. Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Fassaden-/Lüftungskonzeptes wurde an der Versuchseinrichtung für energetische und raumklimatische Untersuchungen – VERU – ein Versuchsraum mit einer Mockup-Fassade (inkl. Lüftungskonzept) im Maßstab 1:1 eingerichtet und unter realen Witterungsbedingungen messtechnisch untersucht. Der Einbau erfolgte in die Südfassade des Versuchsgebäudes (Abb. 2 und Abb. 3).

#### METHODE

Die Untersuchungen am funktionalen Mockup adressierten die bestimmungsgemäße Funktion der Abluffassade. Hierbei sollten folgende Fragestellungen geklärt werden:

Bewertungen hinsichtlich des Kunstlichtbedarfs, der Tageslichtversorgung und des Blendverhaltens waren in diesem Projekt nicht Teil der Untersuchungen, können aber in den funktionalen Mockup-Tests typischerweise ebenfalls mit betrachtet werden.

Untersucht wurden zwei unterschiedliche Verglasungsarten sowie neun verschiedene Screenmaterialien (Variation in Material, Beschichtung, Farbe und Perforation). Die dabei erzielten Messdaten waren für alle Planungsbeteiligten über einen gesicherten Zugang zum Messwerterfassungssystem Imedas™ (einer Eigenentwicklung des Fraunhofer IBP) verfügbar. Mit dieser Software werden die Messdaten und die einzelnen Regelungsparameter erfasst. Über Webbrowser kann der Zugriff auf die Datenbank, die Auswertoberflächen

und die Prozessvisualisierung aufgerufen werden. Weiterhin wurden dem Planungsteam Videos der durchgeführten Nebelversuche, die Thermogramme der raumseitigen Screenoberfläche und die tabellarische Zusammenfassung der Messergebnisse zur Verfügung gestellt.

**ERGEBNISSE**

Das wesentliche Ziel der Untersuchungen war die Validierung der Systemparameter der Abluffassade im Zusammenspiel mit dem dahinterliegenden Raum, um die gewünschte Funktionalität – eine

fall der Energiebedarf erhöht. Im Rahmen der Messungen an unterschiedlichen Screen-Materialien zeigte sich, dass bei einer zu starken Perforation des Textilgewebes die raumseitige Abluft nicht mehr wie gewünscht über den oberen Nachströmspalt (unabhängig von dessen freiem Querschnitt) angesaugt wird. Stattdessen strömt sie bereits zu einem großen Anteil durch den unteren Bereich des Textils nach, wodurch es zu einer Rückströmung der erwärmten Luft aus dem oberen Teil der Abluffassade in den Büroraum kommt. Diagramm 2 zeigt je-

gleich dazu relativ konstant niedrige Temperaturen im Nachströmspalt auf (nahezu Raumlufttemperatur) und liefert damit eine funktionierende Strömung aus dem Büroraum in den Zwischenraum Screen/Verglasung.

Weitere Optimierungspotenziale zeigten sich durch die Verwendung von Screen-Materialien mit einer raumseitigen low-E-Beschichtung. Hierdurch reduzierte sich die Wärmeabstrahlung des Sonnenschutzes an den Büroraum, was sich positiv auf das fassadenahe Raumklima auswirkt.

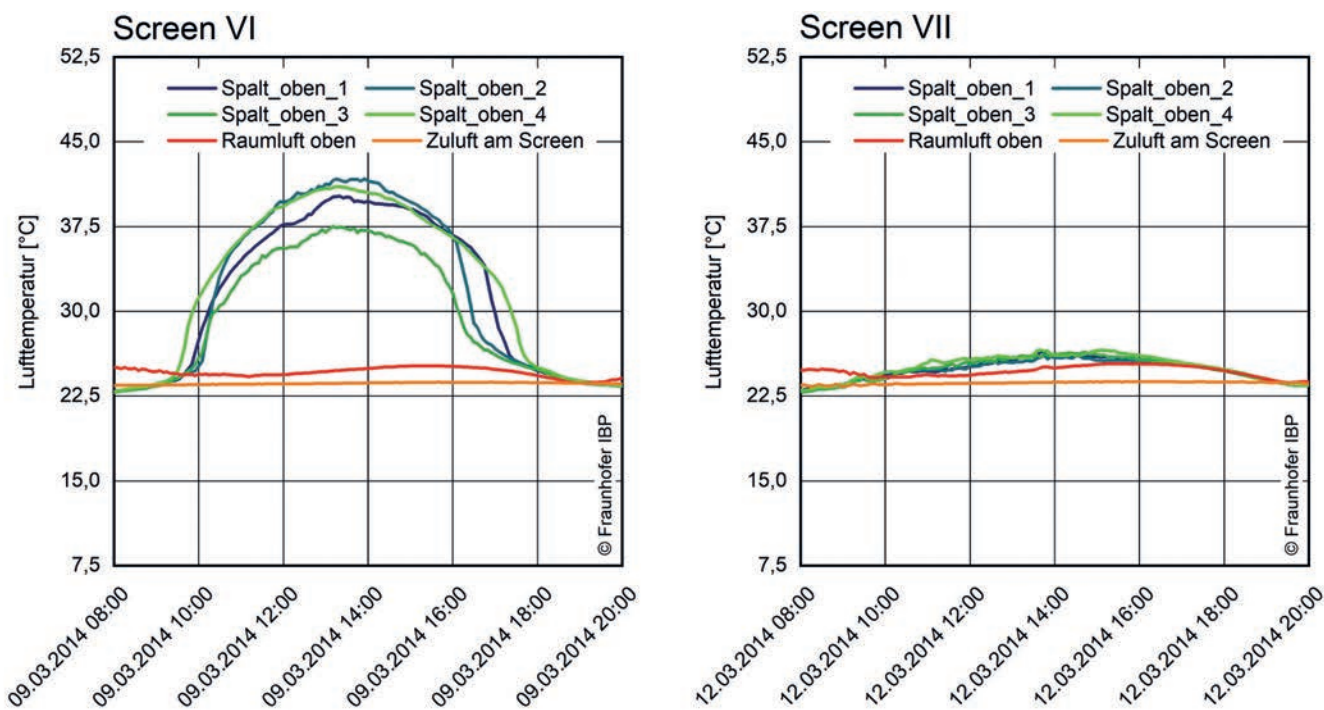


Diagramm 2: Zeitlicher Verlauf der Lufttemperaturen im oberen Nachströmspalt am Beispiel zweier strahlungsreicher Frühlingstage; links: Screen VI mit Rückströmung erwärmter Luft in den Raum, rechts: Screen VII mit funktionierender Strömung aus dem Büroraum in den Zwischenraum Screen/Verglasung

Reduzierung der raumseitigen Kühllast – bestmöglich sicherzustellen.

Hierzu wurde zunächst die Spaltbreite des unteren Abluftschlitzes am Doppelboden zwischen Screen und Verglasung optimiert. Ein weiterer wichtiger Parameter ist zudem der freie Querschnitt des oberen Nachströmspalt (zwischen Screenkasten und Betondecke), durch den die Abluft des Büroraumes in den Zwischenraum Screen/Verglasung gesaugt wird. Ist dieser zu großzügig dimensioniert, findet eine Rückströmung der solar erwärmten Luft in den Büroraum statt, wodurch sich im Kühl-

weils beispielhaft den Tagesverlauf der gemessenen Lufttemperaturen im oberen Nachströmspalt (Spalt\_oben\_1 bis Spalt\_oben\_4) bei einem Textilgewebe mit einem zu hohen Perforationsgrad (Screen VI, links) im Vergleich zu einem Gewebe mit einem geringerem Perforationsgrad (Screen VII, rechts). Bei Screen VI sind dabei im Tagesverlauf deutlich ansteigende Lufttemperaturen im oberen Nachströmspalt erkennbar (teilweise über 40°C), was auf eine Rückströmung aus dem Zwischenraum Screen/Verglasung in den dahinterliegenden Büroraum hinweist. Screen VII zeigt im direkten Ver-

Um den raumklimatischen Einfluss der zu untersuchenden Screenmaterialien messtechnisch zu beurteilen, wurden während der Untersuchungen die Äquivalenttemperaturen an zwei Positionen (1 m und 3 m vor der Fassade) jeweils in zwei Raumrichtungen (fassadengerichtet und rückwandgerichtet) erfasst. Dabei wurde der vom Fraunhofer IBP entwickelte Äquivalenttemperatur-Sensor (DressMAN 2.0, <https://www.pruefstellen.ibp.fraunhofer.de/de/energieeffizienz-und-raumklima/dressman.html>) eingesetzt. Die Äquivalenttemperatur ( $T_{eq}$ ) fasst dabei die Luft- und Strahl-



lungstemperatur sowie die Luftbewegung zu einem Indikator zusammen. Im vorliegende Versuchsaufbau deutet ei-

1m\_Fassade\_T<sub>eq</sub> und 1m\_Innenraum\_T<sub>eq</sub> – wurde mit dem Screenmuster VI erreicht, bei dem aufgrund des höheren

ringe Äquivalenttemperaturasymmetrie auf eine reduzierte thermische Belastung der Personen durch die Wärmeabstrah-

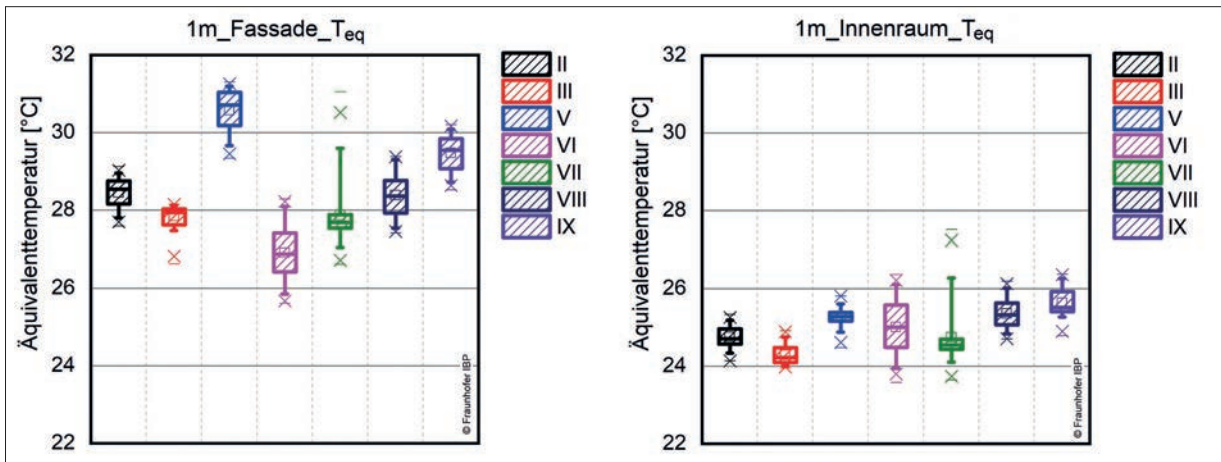


Diagramm 3: Box-Plot der fassadengerichteten (links) und rückwandgerichteten Äquivalenttemperaturen (rechts) für die einzelnen Screenmuster (II, III und V – IX); Auswertzeitraum zwischen 11:00 und 14:00 Uhr. In dieser Darstellung entspricht die Box dem Median und dem 25%- und dem 75%-Quantil, □ ist das arithmetische Mittel, die Whisker zeigen das 5%- und 95%-Quantil an, X die 1%- und 99% Quantile und – das Minimum und das Maximum.

ne hohe Äquivalenttemperatur dabei eine hohe Strahlungstemperatur an. Diese wird durch die direkte solare Einstrahlung, die Oberflächentemperaturen der Umgebungsflächen (u.a. des Screens), deren Emissionsgrade und den Winkel-faktoren zu einer betrachteten Person (in einer bestimmten Position des Raumes) bestimmt. Diagramm 3 zeigt die Box-Plots der fassaden- (Messpunkt 1m\_Fassade\_T<sub>eq</sub>) und rückwandgerichteten (Messpunkt 1m\_Innenraum\_T<sub>eq</sub>) Äquivalenttemperaturen (T<sub>eq</sub>) jeweils für die unterschiedlichen Screenmuster. Die Screenmuster I und IV dienten zu Test-zwecken bzgl. des Perforationsgrades (Durchsicht nach außen) und wurden hinsichtlich der Äquivalenttemperatur nicht untersucht. Während die rückwandge-richteten Äquivalenttemperaturen bei allen Materialien annähernd Raumlufttem-peratur aufweisen (zwischen 24 °C und 26 °C; Diagramm 3 rechts), zeigen die fassadengerichteten Äquivalenttem-peraturen (Diagramm 3, links) deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Screenmustern. Eine als komfortabel empfundene Umgebung zeichnet sich unter anderem durch eine geringe Asym-metrie der thermischen Strahlung aus. Die geringste Äquivalenttemperatur-asymmetrie – d.h. die geringste Tempera-turdifferenz zwischen den Messpunkten

Perforationsgrades die Raumluft unmit-telbar über die untere Hälfte des Screens abgesaugt wurde. Gleichzeitig strömte jedoch die im Zwischenraum Screen/Verglasung erwärmte Luft durch den oberen Nachströmspalt in den Raum zurück. Im Kühlbetrieb würde dieses Strömungsverhalten zu einer höheren Kühllast im Raum führen. Bei einer funktionierenden Strömung im Zwischenraum deutet eine ge-

lung des Screens bzw. eine Solarstrah-lungstransmission durch den Screen, wie auch auf eine geringere Kühllast hin. Von den fünf Screenmustern, welche das ge-wünschte Strömungsbild im Zwischen-raum aufwiesen, sind die Tuchmuster VII und VIII auf Grund der geringen Differenz der Äquivalenttemperatur als raumklima-tisch am besten geeignet anzusehen, (Diagramm 4).

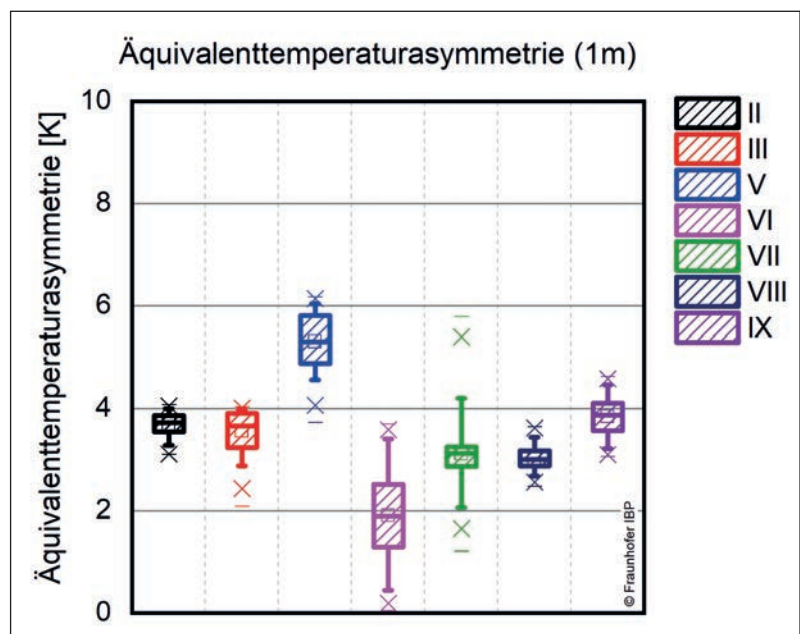


Diagramm 4: Box-Plot der Äquivalenttemperatur-Differenz zwischen fassaden- und rückwandgerichteter Messung für die einzelnen Screenmuster (II, III und V – IX); Auswertzeitraum zwischen 11:00 und 14:00 Uhr. In dieser Darstellung entspricht die Box dem Median und dem 25%- und dem 75%-Quantil, □ ist das arithmetische Mittel, die Whisker zeigen das 5%- und 95%-Quantil an, X die 1%- und 99% Quantile und – das Minimum und das Maximum.

Zum Abschluss der Untersuchungen wurde die final ausgewählte Zusammensetzung (Abstände, Luftvolumenströme und Screenmaterial) im Versuchsstand eingebaut und messtechnisch bewertet. Dabei wurde das Verhalten der Abluftfassade nochmals unter sommerlichen Bedingungen untersucht – bei Außenlufttemperaturen um 30 °C und hohem Sonnenstand (Südfassade).

## INTEGRALER PLANUNGSPROZESS

Die Messdaten aus diesen Untersuchungen wurden dem am Bau beteiligten Planungsteam (Architekt, Fassaden- und

## NEUBAU LA ROCHE AG IN BASEL “VERWALTUNGSZENTRALE“ (TEST- UND VALIDIERUNGSMESSUNG)

Im Rahmen einer weiteren Bemusterung wurde in der VERU-Versuchseinrichtung ein Büroraum des geplanten Hochhaus-Neubaus für die neue Verwaltungszentrale der La Roche AG während der Planungsphase aufgebaut und ein knappes Jahr lang unter sommerlichen und winterlichen Bedingungen messtechnisch geprüft.

Hierzu wurde zunächst ein Prototyp des geplanten Fassadenkonzepts inklusive des Sonnenschutzsystems in eine der

Feuchteabgabe der Raumnutzer und der technischen Ausstattung an Arbeitsgeräten.

Bei dem vorliegenden Objekt kam eine Sonderform der Glasdoppelfassade (GDF), eine Closed Cavity Facade (CCF) zum Einsatz. Eine gewöhnliche GDF ist von einer großen Bauteil-Tiefe gekennzeichnet. Dies resultiert aus der Tatsache, dass der Fassadenkorridor für Reinigungsarbeiten zugänglich sein muss. Eine hermetisch gedichtete CCF erfordert keinen Reinigungszugang und kann somit deutlich schlanker ausgebildet werden. Um die Migration von Staubpartikeln in den Korridor zu verhindern und die Bildung von Tauwasser (vor allem von ablaufendem Tauwasser) zu vermeiden wird über ein zentrales Versorgungsnetz getrocknete Stützluft in den Korridor eingeblasen. Da der Fassadenkorridor nicht mehr zugänglich ist, war die korrekte Funktion dieses Fassadenkonzepts und der zugehörigen Versorgungssysteme ein zentraler Punkt. Hierfür wurden zwei unterschiedliche Stützluftsysteme (rotierender Adsorptionstrockner mit Druckgebläse und Schraubenkompressor mit Ölabscheider) miteinander verglichen. Die untersuchte CCF bestand raumseitig aus einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und außenseitig aus einem Verbund-Sicherheitsglas.



Abb.4: Außenansicht der beiden Mockup-Fassaden

TGA-Planer) zur Validierung ihrer Simulationsmodelle bzw. Rechenansätze zur Verfügung gestellt. Anhand der messtechnisch validierten Modelle lassen sich so zuverlässigere Aussagen zur Funktion neuer, komplexer Fassadensysteme ableiten. Kostensicherheit im Aufbau, Vermeidung von kostenintensiven Nachbesserungen, Erleichterungen bei der Inbetriebnahme des Gebäudes und Sicherheit hinsichtlich der Betriebskosten sind nur einige Vorteile dieses Planungsprozesses.

Darüber hinaus erhalten Bauherr und beteiligte Planer die Möglichkeit, die Fassade und den dahinter liegenden Büroraum anhand des Mockups bereits im Vorfeld optisch und funktional zu begutachten. Das Gebäude und die späteren Büroräume werden so bereits im Planungsprozess »erlebbar«.

Fassaden-Prüföffnungen der VERU eingebaut (Abb.4). Anschließend wurde der Raum hinter der Fassade in Originalgröße nachgebaut und mit der geplanten Innenausstattung des Neubaus versehen. Diese beinhaltete den Prototyp der Heiz-/Kühldecke, den geplanten Luftauslass im fassadennahen Bodenbereich, die original Decken- und Schreibtischleuchten (die in Kombination die erforderlichen Beleuchtungsstärken im Arbeitsbereich bereitstellen), sowie die geplanten Regelungseinheiten für Heiz-/Kühldecke, Sonnenschutz und Kunstlicht. Auch weitere Raumdetails, die das lichttechnische und thermische Raumverhalten beeinflussen können, wurden nachgebildet. Dies waren unter anderem die exakten thermischen Speichermassen des aufgeständerten Bodens, die Wand- und Teppichfarben sowie die Wärme- und

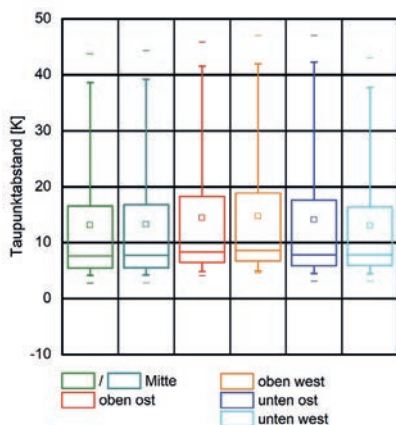
## METHODE

Ziel der Untersuchungen war die Bewertung des Innenraumklimas bezüglich Operativ- und Raumlufttemperatur, Temperaturschichtung, Strahlungstemperatur-Asymmetrie und Zuglufterscheinung am Arbeitsplatz. Darüber hinaus wurden auch die Qualität der Tageslichtversorgung, der Kunstlichtregelung und die Blendsituation an der besonnten Fassade bewertet. Wegen ihres ungewöhnlich hohen Lochanteils war die Überprüfung der Leistungsfähigkeit der umschaltbaren Heiz- und Kühldecke mit den errechneten Leistungsdaten ein weiterer zentraler Aspekt der Untersuchungen. Die Messdaten aus den Untersuchungen wurden darüber hinaus von den in den Planungsprozess eingebundenen Fachplanern

verwendet, um das vorhandene dynamische thermisch-energetische Simulationsmodell des Raums und der Fassade zu validieren. Hierdurch konnte die Aussagekraft und Planungssicherheit für die aus der Gebäudesimulation abgeleiteten Ergebnisse nochmals gesteigert werden. Der zur Erhaltung der Staubfreiheit erforderliche Überdruck in dem Fassadenkorridor wurde permanent überwacht. Um den Energieaufwand für die Versorgung mit Trockenluft zu reduzieren, wurden zwei unterschiedliche Verfahren zur Luftaufbereitung untersucht – ein rotierender Adsorptionstrockner mit Druckgebläse und ein Schraubenkompressor mit Ölabscheider. Zusätzlich wurde die minimal erforderliche Stützluftmenge im Winterhalbjahr ermittelt. Zur messtechnischen Erfassung der Tauwasserfreiheit wurden die korridorseitigen Oberflächentemperaturen und die Taupunkttemperatur der Korridorluft bestimmt, miteinander verglichen und hieraus der Taupunkt- abstand errechnet.

**BEWERTUNG DER TAUWASSERFREIHEIT**

Während der Messungen zeigte sich, dass die energieintensive Trocknung mittels Schraubenkompressor zu unnötig hohen Taupunkt- abständen von über 13 K



**BEWERTUNG DER HEIZ-/ KÜHLDECKE**

Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Heiz- und Kühldecke erfolgte durch die Bewertung des Zusammenhangs zwischen gemessener Kühlleistung und Temperaturunterschied zwischen Deckenoberfläche und Raumluft. Die Steigung der schwarzen Ausgleichsgeraden (Diagramm 6) zeigt eine Wärmeübertragung von 75 W/K, womit der angesetzte Auslegungswert sogar leicht übertroffen wurde.

**ZUSÄTZLICHE PLANUNGSSICHERHEIT FÜR DEN BAUHERRN**

Anhand von Erkenntnissen aus der Bemusterung des Mockups konnte das gewählte Raumkonzept für den Neubau der La Roche AG weiter optimiert und mit der Fassadentechnik abgestimmt werden. Die nötigen Leistungskennwerte (Heiz-/Kühldecke, Lüftung, Beleuchtung) wurden ermittelt und nötige Optimierungen an der Regelung des Sonnenschutzes durchgeführt. Durch die messtechnische Überprüfung des Gesamtkonzeptes erhält der Bauherr Planungssicherheit in Hinblick auf die gewünschten Komfortanforderungen und die zu erwartenden Betriebskosten. Darüber hinaus konnte auch die Fassadenkonstruktion auf Schadens-

Diagramm 5: Boxplot-Darstellung der Häufigkeit der auftretenden Taupunkt- abstände an den 6 Messstellen der Außenscheibe (Druckgebläse und Kompressor zur Luftaufbereitung). In dieser Darstellung entspricht die Box dem Median und dem 25%- und dem 75%-Quantil, □ ist das arithmetische Mittel, die Whisker zeigen das 5%- und 95%-Quantil an und – das Minimum und das Maximum.

führte. Durch die optimierte Versorgung mittels Druckgebläse konnte der minimale Taupunkt- temperaturabstand auf 4 K verringert werden (Diagramm 5, Minimum), wodurch sich auch der Energieaufwand für die Luftaufbereitung reduziert.

freiheit hin abgeprüft und durch ein optimiertes Luftversorgungs- konzept gleichzeitig der erforderliche Energieaufwand für die Fassaden- Stützluft reduziert werden.

**DANKSAGUNG**

Wir bedanken uns bei unseren Projektpartnern für die gute und konstruktive Zusammenarbeit im Rahmen dieser Untersuchungen

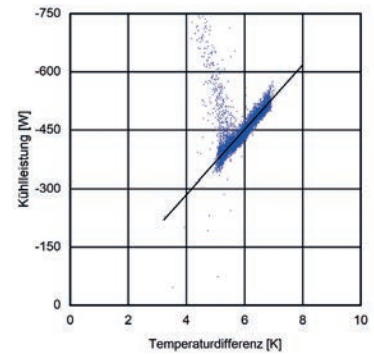


Diagramm 6: Verfügbare thermische Leistung der Kühldecke in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Deckenoberfläche und Raumluft

**Autoren:**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Leitung: Prof. Dr. Philip Leistner und Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer), Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley/Holzkirchen und Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

M.-Ing. Michael Eberl, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Wissenschaftlicher Mitarbeiter Arbeitsgruppe Evaluierung und Demonstration.

Dr.-Ing. Matthias Kersken, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Abteilung Energieeffizienz und Raumklima. Arbeitsgruppe Evaluierung und Demonstration.

Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Leiter der Arbeitsgruppe Evaluierung und Demonstration, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima.

Prof. Dr.-Ing. Gunnar Grün, Stv. Institutsleitung des Fraunhofer IBP. Bereich „Systemintegration effiziente Gebäude“ TH Nürnberg, Energiecampus Nürnberg.

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP 83626 Valley/Holzkirchen Fotos u. Grafiken: Fraunhofer [www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)