

Die Fassade der Zukunft – statisch oder dynamisch?

The facade of the future – static or dynamic?

La façade du futur – statique ou dynamique ?

Prof. Dr.-Ing. Winfried Heusler
Schüco International KG
DE-Bielefeld



Die Fassade der Zukunft – statisch oder dynamisch?

Bei Fassaden lassen sich gegenwärtig zwei gegensätzliche Trends beobachten: Statische und dynamische Konzepte. Statische Fassaden schotten den Innenraum so weit wie möglich gegen äußere Einflüsse ab. Zeitgemäße Gebäudetechnik sorgt für behagliche Raumbedingungen. Im zweiten Fall reagieren dynamische Komponenten der Fassade zielgerichtet auf wechselnde äußere und innere Bedingungen. Dabei wird angestrebt, den Einsatz der Gebäudetechnik zu minimieren. Es zeigt sich, dass rein statische Fassaden gegenüber dynamischen nur dann Vorteile bieten, wenn der Standort, die Höhe oder die Nutzung des Gebäudes die natürliche Lüftung sowie Solarenergie- und Tageslichtnutzung in mindestens zwei Dritteln des Jahres ausschließen. Unabhängig davon gilt jedoch – gerade im Bauwesen – nach wie vor die Kernaussage: So viel Technik wie nötig, aber so wenig Technik wie möglich.

1. Ausgangssituation

Die Außenwand soll drei prinzipielle Aufgaben lösen: Es geht darum, den Innenraum vor unerwünschten äußeren Wettereinflüssen (und Eindringlingen) zu schützen, ihn betreten zu können (hierfür sorgen Türen und Tore als beweglicher Abschluss in der Wandöffnung) und ihn mit Licht und Luft zu versorgen (die primären Aufgaben von Fenstern). Über die Jahrhunderte wurden diese Bauteile in vielfacher Hinsicht optimiert. Allerdings geriet die frühere klima- und nutzergerechte Architektur zu Beginn des 20. Jahrhunderts mehr und mehr in Vergessenheit, als «das elektrische Licht» sowie moderne zentrale Heizungs- und Klimaanlage unabhängig von Wetter- und Nutzereinflüssen gleichmäßige Raumbedingungen versprachen. Insbesondere individuell zu öffnende Fenster schienen gegenüber mechanischen Lüftungsanlagen mehr Risiken als Chancen zu beinhalten.

Die menschliche Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden stehen in engem Zusammenhang mit dem Raumkomfort [1]. Energieeffiziente Gebäude zeichnen sich aber dadurch aus, dass sie mit geringem Energiebedarf einen hohen thermischen, hygienischen, hygrischen und visuellen Raumkomfort garantieren [2]. Die Grundlage hierfür bildet ein standort- und nutzungsgerechter Baukörper in Verbindung mit einem bezüglich Energieeffizienz optimierten, abgestimmten Konzept für Fassade und Gebäudetechnik (Bild 1).

Ist die Fassade der Zukunft statisch oder dynamisch? Beide Ansätze haben ihre spezifischen ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Vor- und Nachteile, die nachfolgend diskutiert werden.

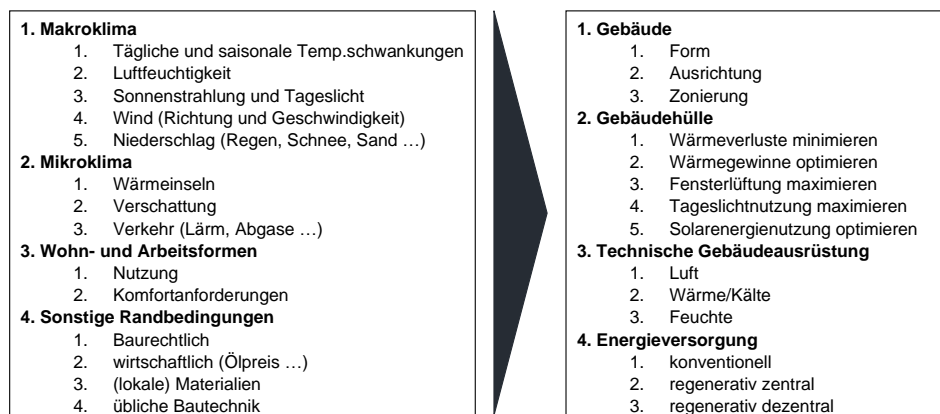


Abbildung 1: Standortparameter und Gebäudekonzept

2. Systemtypologie

Nachfolgend werden wichtige Begriffe im Umfeld statischer und dynamischer Fassaden in Form einer Systemtypologie definiert (Bild 2).

Gebäude- konzept	Fassade					
	Komponenten		Bedienung		Vernetzung mit TGA	
	statisch	dynamisch	manuell	gesteuert/ geregelt	nein	ja
passiv	x				x	
aktiv		x	x	x	x	
kognitiv		x		x		x

Abbildung 2: Systemtypologie

Die Eigenschaften statischer Fassaden (insbesondere die Durchlässigkeit für Wärme, Luft, Solarstrahlung und Tageslicht) lassen sich im Betrieb nicht verändern. Sie schotten den Innenraum so weit wie möglich gegen äußere Einflüsse ab und sind hoch wärmege-dämmt sowie extrem luftdicht. Zur Minimierung der Wärmeverluste der Fassade bedarf es einer Gesamtoptimierung von Rahmen und Verglasung sowie von nichttransparenten Bereichen. Von Bedeutung sind auch Wärmebrücken innerhalb der Bauteile und an Übergängen zwischen den einzelnen Bauteilen. Heute gibt es hochwertige Wärmeschutzgläser mit thermisch optimierten Abstandhaltern. Diese werden von wärmege-dämmtten Rahmenprofilen gehalten, wobei auch die Wärmeverluste im Glasfalz durch ausgeklügelte Dichtungen minimiert sind. Zeitgemäße Gebäudetechnik (im Idealfall nur eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) sorgt für behagliche Raumbedingungen.

Dagegen beinhalten aktive Gebäudekonzepte dynamische Komponenten in der Fassade. Es geht dabei beispielsweise um Fenster oder Lüftungsklappen sowie um Schiebeläden zum Sonnenschutz oder zur temporären Wärmedämmung. Hierbei sind vielfältige Bewegungsmechanismen vorstellbar (Bild 3). Die Alternative sind Komponenten aus Materialien, deren Durchlässigkeit für Wärme, Luft, Solarstrahlung und Tageslicht sich gezielt beeinflussen lässt, beispielsweise schaltbare oder dimmbare Gläser [3]. Forscher und Entwickler arbeiten seit Anfang der 1980er-Jahre an derartigen Materialien und Techniken.

Fest stehende Flächen					
Fassadenflächen	Zu öffnende Flächen	Partielle Ortsveränderung	Bewegung um eine vertikale Achse (Rotation)	Drehen	innen außen
				Wenden	—
			Bewegung um eine horizontale Achse (Rotation)	Kippen	innen außen
				Klappen	innen außen
				Schwingen	—
				Vollständige Ortsveränderung	Ohne Veränderung des Elements (Translation)
		Ausstellen	außen innen		
		unter Veränderung der Elemente (Transformation)	Falten		horizontal vertikal
			Rollen		horizontal vertikal

Abbildung 3: Dynamische Fassaden: Bewegungstypologie (in Anlehnung an [4])

Die Komponenten reagieren zielgerichtet so auf wechselnde äußere (Wetter) und innere (z.B. Anwesenheit von Nutzern) Bedingungen, dass die Technische Gebäudeausrüstung nur in Extremsituationen zum Einsatz kommt. Dabei wird angestrebt, den Einsatz der Gebäudetechnik zu minimieren (möglichst kleine Heizungsanlage sowie möglichst keine Einrichtungen zur Raumlüftung und -kühlung). Die dynamischen Komponenten lassen sich durch den Nutzer individuell (manuell oder z.B. motorisch) bzw. bei fortschrittlichen aktiven Gebäudekonzepten von einer speziellen Steuerung oder Regelung zielgerichtet beeinflusst. Ein einfaches Beispiel ist ein Außensonnenschutz mit Windwächter. Dabei

hat es sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen, wenn dem Nutzer eine Einflussnahme ermöglicht wird, solange Schäden (z.B. Zerstörung einer Außenjalousie bei Sturm oder Regeneintritt durch Fenster) ausgeschlossen werden können. Die Steuerung («Fassadenautomation») ist hier mit der Technischen Gebäudeausrüstung nicht vernetzt.

Gebäudehülle		Gebäudetechnik
Wärme erhalten	Wärme	Wärme effizient gewinnen
Überhitzung vermeiden	Kälte	Wärme effizient abführen
Natürlich lüften	Luft	effizient mechanisch lüften
Tageslicht nutzen	Licht	Kunstlicht optimieren

Abbildung 4: Aktivhaus-Konzepte (in Anlehnung an [5])

Bei kognitiven Gebäudekonzepten wird die Steuerung der Fassade mit der der Technischen Gebäudeausrüstung vernetzt. Es geht dabei um das optimale Zusammenspiel der Komponenten der Fassade und der Gebäudetechnik (Bild 4) im Sinne der Energieeffizienz («Gebäudeautomation»). Beispielsweise wird die künstlich Beleuchtung im Innenraum in Anhängigkeit der Verfügbarkeit von Tageslicht und der Anwesenheit von Nutzern geregelt. Ein anderes Beispiel ist ein Fensterkontakt zur Öffnungsüberwachung, der den darunter liegende Heizkörper über ein Thermostatventil an oder ausschaltet.

Schutzfunktionen	Tragfunktionen	Nutzfunktionen	Sicherheitsfunktionen	TGA-Funktionen
<ul style="list-style-type: none"> • Schlagregenschutz • Feuchteschutz • Schallschutz • Wärmeschutz • Blendschutz • Sonnenschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • Gebäudelasten • Eigenlasten • Windlasten • Verkehrslasten • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Tageslichtnutzung • Natürliche Lüftung • Solarenergienutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Brandschutz • Rauchschutz • Einbruchhemmung • Beschusshemmung • Sprengwirkung • Erdbebenwirkung • Blitzschutz • Radardämpfung 	<ul style="list-style-type: none"> • Stromführung • Heizung • Kühlung • Lüftung • Beleuchtung

Abbildung 5: Funktionale Optimierung von Fassaden

Zusätzliche Möglichkeiten bieten sich bei Gebäuden mit dezentraler Gebäudetechnik (z.B. Verknüpfung von Lüftungsklappen und Fassadenlüftern) und bei übergeordneten Sicherheitskonzepten, beispielsweise Vernetzung einer Fenster- und Türüberwachung mit der Alarmanlage (Bild 5).

3. Passive und aktive Konzepte bei Bürogebäuden

Die Büroarbeit hat sich in den letzten Jahren auf Grund der elektronischen Kommunikationsmittel rasant verändert. Im Kampf um die besten Kräfte werden Unternehmen ihren Mitarbeitern ein attraktives Arbeitsumfeld bieten müssen. Sind hierfür passive oder aktive Konzepte die bessere Lösung? Um diese Frage zu beantworten betrachten wir zwei ausgeführte Objekte. Das passive Bürogebäude (Bild 6) hat eine hoch wärmegeämmte Fassade. Die Fenster sind mit einer Sonnenschutzverglasung ausgestattet, die jedoch nicht geöffnet werden kann. Durch eine Klimaanlage werden ganzjährig behagliche Raumbedingungen sichergestellt.



Abbildung 6: Passive Gebäudehülle (Head Office Vodafone, PT-Porto (2010); Barbosa E Guimaraes, LDA, Matosinhos)

Auch das aktive Bürogebäude (Bild 7) verfügt über eine sehr gute Wärmedämmung. Es verfolgt jedoch das Prinzip eines kognitiven Gebäudesystems. Außen liegende, sturmefeste, motorisch betriebene Großlamellen mit den Tageslicht lenkenden Eigenschaften (gesteuert in Abhängigkeit von Sonnenstrahlung und Sonnenstand) verhindern eine übermäßige Raumerwärmung und optimieren die Raumbeleuchtung. Das Kunstlicht ist wie oben beschrieben energiesparend geregelt. Ein innen liegender Blendschutz lässt sich von den Nutzern individuell betätigen. Die Fassade enthält motorische Lüftungsflügel. Die Gebäudeautomation mit Sensoren zur Erfassung der Anwesenheit von Nutzern und der Luftqualität steuert deren Motoren und die Heizkörper so an, dass während der Nutzung mit minimalem Energieaufwand – ohne eine mechanische Lüftungsanlage – ein komfortabler Raumkomfort erzeugt wird. Das Gebäude verfügt über große innere Speichermassen, die in Verbindung mit einer Nachtauskühlung über Lüftungsflügel (und dem o.g. Sonnenschutz) auch Vorrichtungen zur mechanischen Raumkühlung entbehrlich machen. Die Nutzer haben (abgesehen von Extremsituationen) keine Möglichkeit, individuell in den Betrieb des kognitiven Systems einzugreifen.



Abbildung 7: Temporäre Doppelfassade als aktive Gebäudehülle (Coffee Plaza, D-Hamburg (2010), Richard Meier & Partners, New York)

Der qualitative Vergleich der beiden Gebäude führt zu folgenden Ergebnissen. Bezüglich der relevanten Investitionskosten liegen die beiden Konzepte etwa auf gleichem Niveau. Die Kosten der Klimaanlage bewegen sich in der Größenordnung der Zusatzkosten der dynamischen Fassade. Ihre erhöhten Reinigungs-, Wartungs- und Instandhaltungskosten werden durch die Energieeinsparung kompensiert. Auch in der ökologischen Bewertung schneiden die beiden Alternativen etwa gleich ab. Der Vorteil des passiven Gebäudekonzeptes bezüglich der Materialeffizienz wird durch die schlechtere Energieeffizienz ausgeglichen. Die Entscheidung fällt also bei der soziokulturellen Bewertung. Hier führt das kognitive Konzept – auf Grund der natürlichen Lüftung und verstärkten Tageslichtnutzung sowie wegen der Möglichkeit des individuellen Nutzereingriffs – zu einer wesentlich höheren Nutzerzufriedenheit.

4. Passive und aktive Konzepte bei Wohngebäuden

Wie man wohnt ist immer ein Ausdruck der eigenen Persönlichkeit. In keinem anderen Feld der Architektur müssen Architekten und Bauherren so eng zusammenarbeiten und einen Konsens finden, der sowohl die wirtschaftlichen Möglichkeiten, die sehr individuellen Lebensformen und gestalterischen Wünsche der Auftraggeber darstellen muss. Nachfolgend werden zwei typische passive und aktive Gebäudekonzepte für Wohngebäude in Mitteleuropa gegenübergestellt. Wohnhäuser, die nach dem Passivhausprinzip gebaut sind, haben eine hoch wärmedämmte, dichte Gebäudehülle, mit einem geringen Glasflächenanteil. Eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt ganzjährig für behagliche Raumbedingungen. Zeitgemäße aktive Wohngebäude verfügen ebenfalls über eine sehr gute Wärmedämmung, weisen jedoch – zur verbesserten Raumausleuchtung mit Tageslicht und in der kälteren Jahreszeit zur passiven Sonnen-

energienutzung – einen größeren Glasflächenanteil auf. Sie verfolgen das Konzept eines aktiven oder kognitiven Gebäudekonzeptes. Fenster ermöglichen die natürliche Lüftung. Immer häufiger stellen großflächige Schiebeanlagen eine komfortable (Sicht)Verbindung zu Balkon oder Terrasse dar. Außen liegende Sonnenschutzeinrichtungen verhindern eine übermäßige Raumerwärmung (sie dienen zum Teil nachts zudem dem Sichtschutz und der temporären Wärmedämmung). Fenster und Sonnenschutz sind (je nach Standard) manuell oder motorisch betrieben. Bezüglich der ökonomischen und ökologischen Bewertung schneiden die beiden Alternativen etwa gleich ab. Allerdings führt das aktive Konzept, wie bei dem zuvor beschriebenen aktiven Bürogebäude – auf Grund der natürlichen Lüftung und verstärkten Tageslichtnutzung sowie wegen der Möglichkeit des individuellen Nutzereingriffs – zu einer deutlich höheren Nutzerzufriedenheit.

5. Passive und aktive Konzepte bei Hochhäusern

Der weltweite Trend der Urbanisierung geht in vielen Ländern Hand in Hand mit einem Anwachsen der Gebäudehöhen. Nicht nur in Megastädten steigt die Anzahl von Hochhäusern. Bei den erhöhten Windlasten stoßen die natürliche Lüftung über konventionelle Fenster und außen liegende Sonnenschutzeinrichtungen an ihre Grenzen. Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit nicht nur die meisten Büro-, sondern auch Wohnhochhäuser mit passiven Fassaden ausgestattet und ganzjährig mit energie- und wartungsintensiven Einrichtungen zur mechanischen Lüftung (und meist auch zur Raumkühlung) betrieben.

Im höherwertigen Marktsegment liegen nach wie vor Doppelfassaden [6] im Trend. Sie bestehen aus einer gut wärmedämmten Innenfassade und einer vorgelagerten zweiten Fassade mit Einfachverglasung und regengeschützten Lüftungsöffnungen. Die äußere Fassade reduziert – in Verbindung mit dem Zwischenraum – die Windlasten und insbesondere die negativen Wirkungen von Windböen. So lassen sich innerhalb des Zwischenraumes konventionelle Sonnenschutzeinrichtungen (meist Raffstores) wirkungsvoll einsetzen. Der Zwischenraum wirkt zudem als thermischer Puffer. Er reduziert die Wärmeverluste und steigert die passiven Solargewinne. Bei einfacheren Doppelfassaden sind die äußeren Lüftungsöffnungen starr und die Innenfassade fest verglast. Das Gebäude folgt (mit Ausnahme der größeren Glasflächen und des beweglichen Sonnenschutzes) dem Passivhausprinzip. Durch eine Lüftungs- oder Klimaanlage werden ganzjährig behagliche Raumbedingungen sichergestellt.

Die Alternative ist ein aktives Gebäudekonzept mit Lüftungsfenstern in der Innenfassade. Die durch den Nutzer betätigten Fenster dienen der Komfortlüftung und ermöglichen in Verbindung mit inneren Speichermassen eine Nachtauskühlung. Zudem lässt sich durch das Öffnen der Fenster die passive Solarenergienutzung verbessern. In den meisten Fällen kann auf diese Weise die Lüftungs- oder Klimaanlage kleiner dimensioniert und ihre Betriebsdauer um mehr als 50 % reduziert werden. Die dadurch erzielte Investitions- und Betriebskosteneinsparung deckt in vielen Fällen langfristig die Mehrkosten der Doppelfassade. Unter günstigen Voraussetzungen kann auf die Lüftungs- und Klimaanlage vollständig verzichtet werden. Gegenüber dem o.g. passiven Konzept steigern die Möglichkeit der natürlichen Lüftung und die verstärkte Tageslichtnutzung (größere Fensterflächen möglich) die Nutzerzufriedenheit. Bei dynamischen Doppelfassaden besteht jedoch das Risiko, dass der Nutzer die Fenster zu einem ungünstigen Zeitpunkt betätigt. So kann im Winter im Zwischenraum Kondensat entstehen und im Sommer überhitzte Luft aus dem Zwischenraum den Innenraum unzulässig erwärmen. Diese Risiken lassen sich mit kognitiven Gebäudekonzepten praktisch ausschließen, indem die Fenster bei ungünstigen Bedingungen für den Nutzer gesperrt werden. Die Alternative ist eine temporäre dynamische Doppelfassade (Bild 7), deren Außenfassade aus motorisch betätigten Glaslamellen besteht. Bei kognitiven Systemen lässt sich die Fensterbetätigung meist so optimieren, dass die erhöhten Investitionskosten durch die weiter reduzierten Energiekosten (Komfortlüftung, Nachtauskühlung passive Sonnenenergienutzung) kompensiert werden.



Abbildung 8: Hochhaus mit Himmelsgärten (Sapphire Tower, TR-Istanbul (2011), TabanlıoğluArchitects, Istanbul)

Atrien, Loggien und verglaste Himmelsgärten verfolgen ähnliche Ziele wie Doppelfassaden (Bild 8) und lassen sich ebenso in passive, aktive oder kognitive Gebäudesysteme integrieren. Sie bieten in Bürogebäuden einen Zusatznutzen als temporäre Gemeinschaftszonen, in Wohnhochhäusern als temporäre Wohnflächenerweiterung. Die Nutzungsdauer lässt sich ausdehnen, wenn die äußere Fassade wärmegeklämt verglast und mit motorisch verschließbaren Öffnungen ausgestattet wird.

6. Kundenorientierung

Auch in der Zukunft werden Bauherren und Nutzer von Gebäuden mit ihrem Gebäude nur dann wirklich zufrieden sein, wenn ihre Anforderungen im Bauprozess konsequent umgesetzt werden. Gefragt sind Innovationen, die konsequent an den Bedürfnissen der Bauherren und Gebäudenutzer ausgerichtet sind. Die für die Kundenzufriedenheit relevanten Merkmale lassen sich nach dem Kano-Modell [7] in drei Kategorien differenzieren (Bild 9). Basisfaktoren sind selbstverständlich und werden in der Regel gar nicht ausgesprochen. Fehlen diese Faktoren, so löst dies beim Kunden starke Unzufriedenheit aus. Dagegen werden Leistungsfaktoren detailliert spezifiziert und explizit gefordert. Bei hoher Ausprägung werden sie mit entsprechender Kundenzufriedenheit honoriert. Das wirkliche Differenzierungsmerkmal drückt sich in den unausgesprochenen Begeisterungsfaktoren aus. Kunden lassen sich durch Produktmerkmale, die sie nicht erwarten, die jedoch ihren Bedarf besonders treffen, begeistern.

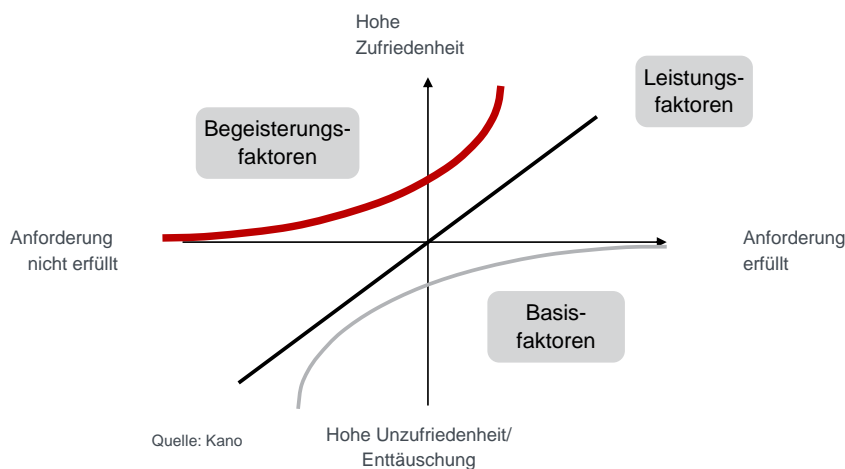


Abbildung 9: Kategorisierung der für die Kundenzufriedenheit relevanten Merkmale von Produkten nach dem Kano-Modell [7]

Was macht es aus, dass manche Sportwägen für mehr als den 10-fachen Preis eines Kleinwagens gekauft werden? Und wie sieht eine Fassade aus, die zum 3-fachen des

üblichen Marktpreises gekauft wird? Die technische und wirtschaftliche Qualität sind hier wahrscheinlich nicht entscheidend. Sie stellen für potenzielle Mieter bestenfalls Leistungsfaktoren dar. Begeisterungsfaktoren lassen sich hinter dem Raum- und Bedienkomfort sowie insbesondere hinter der Individualität vermuten. Letztere beinhaltet aber Faktoren, welche rein emotionalen Ursprungs, trendgebunden und schwer vorher-sagbar sind. Großes Potenzial steckt im Dialog zwischen Architekten, Ingenieuren und Bauherren sowie zwischen Wissenschaft und Industrie, insbesondere in einem die Branchen übergreifenden Dialog. Dies verhindert kostenintensive Entwürfe und Produkte ohne nachvollziehbaren Nutzen und daraus resultierende spätere Enttäuschungen. Es geht also darum, marktspezifische Lösungen zu entwickeln. Diese sollten sich an dem regionalen Klima und den jeweiligen Gesellschafts-, Wohn- und Arbeitsformen sowie an den Fähigkeiten und Kenntnissen der lokalen Baupraktiker orientieren.

Wahrscheinlich liegt auch künftig der einzig mögliche Lösungsansatz für die Bedürfnisse rein kostenorientierter Kunden in der konsequenten Standardisierung bzw. Typisierung von Gebäuden. Die Mehrheit der Mitteleuropäer zeichnet sich heute aber durch ein Bedürfnis nach Individualität aus. Hier dürfte es vorteilhafter sein, die Standardisierung auf einzelne Bauteile, idealer Weise ohne Einschränkung der gestalterischen Freiheit – zu beschränken. Es geht dann um marktgerecht verstandene und nachhaltige Systemtechnik [8]. Je nachdem, wie gestaltungsorientiert und geometrisch flexibel der Systemlösungsansatz gelingt, eignet sich dieser auch für das Premiumsegment.

Die Einstellung zur Technik wird aber nicht nur durch den Nutzwert, sondern durch zwei weitere Faktoren bestimmt [9]: durch die emotionale Beurteilung der Technik und durch die persönliche Nähe zur Technik. «Nicht-Verstehen erzeugt Unsicherheit, Unsicherheit erzeugt Unwillen, Unwissen und Unwille erzeugen Feindbilder und/oder Ängste» [10]. Dies bewirkt, dass neue Technologien, die als risikoreich eingeschätzt werden, eher skeptisch oder gar ablehnend betrachtet werden. Technik, die man schnell «begreift» und von der man unmittelbar profitiert, wird hingegen bereitwillig angenommen. Daran sollten auch Unternehmen in der Baubranche ihr Innovationsmanagement ausrichten.

7. Literatur

- [1] Dompke M., Kruppa B., Mayer E.: Sick-Building Syndrome II (Forschungsstand und Umsetzung) Verlag TGC GmbH / Bonn (1996)
- [2] Heusler, W.: Nachhaltige Gebäudehüllen – Anforderungen und Lösungsansätze für Büros. In Spath, D., Bauer, W., Rief, S.: Green Office – Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung; Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (2010)
- [3] Heusler W.: Sommerlicher Wärmeschutz - Glasmodifikationen und Additivsysteme in: VDI (Hrsg.): Innovative Fassaden II, Tagung Baden-Baden, 18./19.03.2004, Tagungsband; VDI Verlag GmbH, Düsseldorf (2004)
- [4] Westenberger D.: Untersuchungen zu Vertikalschiebefenstern als Komponenten im Bereich von Fassadenöffnungen; Dissertation TU München (2005)
- [5] Hegger, M.; Fuchs, M.; Stark, Th.; Zeumer, M.: Energie-Atlas. Nachhaltige Architektur. Basel: Birkhäuser, (2008)
- [6] Heusler W.: Abluftfassaden - Chancen und Risiken im Vergleich zu anderen Fassadenkonzepten; Fassade - Facade, 3/2008, Verlag SZFF, Dietikon (Switzerland) (2008)
- [7] Kano N.: Attractive Quality and Must-be Quality, Journal of the Japanese Society for Quality Control, H. 4 (1984)
- [8] Heusler W.: Fassaden- integraler Bestandteil nachhaltiger Gebäude, in: VDI (Hrsg.): Jahrbuch 2009 Bautechnik, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf (2008)
- [9] Zwick M. M., Renn O.: Wahrnehmung und Bewertung von Technik in Baden-Württemberg. Stuttgart: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg (1998).
- [10] Jakobs, E.-M.: Technikakzeptanz und Technikteilhabe, in: Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis, Jg. 14, Nr. 3, S. 68-75 (2005)