

* Siegfried Delzer

Risiko und Chance aus energetischer Sicht

DOPPELFASSADE FÜR DEN PHOENIX

Gebäudehüllen haben heute vielfältige Aufgaben, neben der Schutzfunktion vor dem Wetter ist die Tageslichtversorgung, die Heizung und die Kühlung mit zu berücksichtigen. Dabei hat die Gebäudehülle/Doppelfassade die Aufgabe, die Bedingungen so zu konditionieren (Umweltenergie für den Benutzer zu nutzen), dass im Gebäude selbst mit minimalem Eingriff optimale Bedingungen bei minimalen Kosten erreicht werden. Doppelfassaden haben weiter den Vorteil, dass neben der Pufferzone in der Fassade auch die dort integrierte Technik vor Wind und Wetter geschützt ist. Die hohen Kosten der Doppelfassaden können so durch Zusatzfunktionen zur wirtschaftlichen Investition werden.

Doppelfassaden führen ein Eigenleben. Die transparente Aussenhülle lässt Sonnenenergie herein und kann als Tageslicht und für die Heizung genutzt werden. Im Kühlfall ist dieses Gratisangebot lästig, aber die Sonnenenergie ganz ausschalten/ausblenden ist auch nicht sinnvoll, da mit Kunstlicht der Wärmeinput bei gleicher Helligkeit in den Räumen höher ist als mit Tageslicht und auch das Auge wird bei geschlossenem Sonnenschutz um einen schönen freien Blick gebracht. Der schlechte Ruf ist in den meisten Fällen durch fehlende Planung entstanden.

Somit ist die Basis für die Beurteilung von Doppelfassaden je nach Blickwinkel oder selbstgemachten Erfahrungen sehr unterschiedlich. Von heller Begeisterung bis zur totalen Ablehnung ist alles zu finden. Der Autor hat selbst ein Gebäude mit einer Doppelfassade als Luftkollektor und gekoppelter Hypokaustenheizung entwickelt. Er nutzt es als Wohn- und Bürogebäude seit 13 Jahren. Für diese anspruchsvolle Aufgabe wurde das Simulationsprogramm DK-Solar entwickelt und validiert. Der Sprung zu einer Gebäudegröße wie dem Phoenix war auf der Basis der so gewonnenen Erfahrungen deshalb etwas einfacher.

Heute wissen wir, dass kreative Leistung und Effizienz stark vom Wohlbefinden der Person abhängig sind, deshalb sollen architektonische und technische Lösungen diese Bedingung für den Menschen möglichst gut erfüllen.

Da das Wetter ständig wechselt, muss die Doppelfassade ebenso flexibel auf die unterschiedlichen Umweltbedingungen und auch unterschiedlichen Anforderungen im Gebäude reagieren. Ohne intelligente Regelung ist so eine flexible Lösung nicht realisierbar.

Trotzdem, ein Freibrief für komplizierte und störanfällige und gleichzeitig teure Technik ist das nicht. Es muss immer das Ziel sein, stabile Lösungen zu entwickeln. Deshalb sollte eine Hybridtechnologie gesucht werden, die passiv möglichst viele der gewünschten Funktionen schon erfüllt und die aktiven Systeme nur noch die Restoptimierung übernehmen. Diese theoretische Überlegung wird zum Glück durch die Bahn der Sonne im Winter und Sommer und in den Übergangszeiten

unterstützt. Der hohe Sonnenstand der Sonne im Sommer und der flache im Winter kann für eine erste Optimierung mit passiven Mitteln genutzt werden.

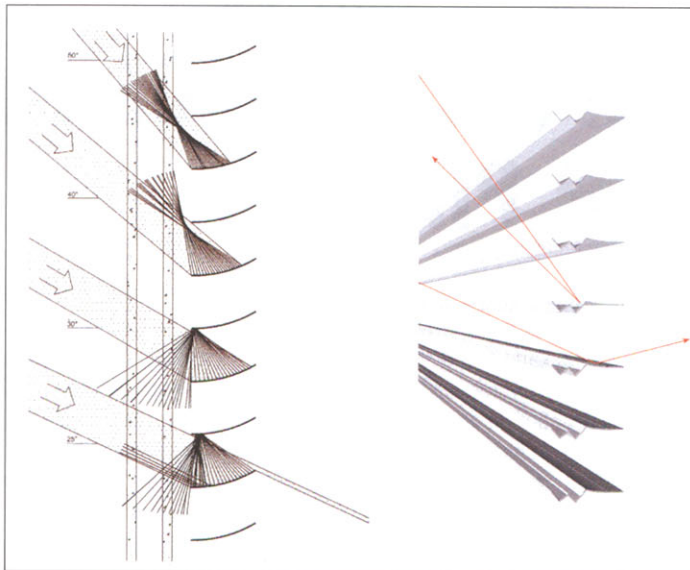
Damit die passiven Methoden auch richtig zum Tragen kommen, sind bei dieser Optimierungsarbeit dynamische Simulationstechniken notwendig, um die Wirksamkeit und die Kosten/Nutzen-Betrachtungen möglichst realistisch durchzuführen. Dass die technischen Voraussetzungen verfügbar sind, ist ein wichtiger Punkt, wichtiger jedoch ist die Bereitschaft bei den Architekten und Bauherren, neue Wege zu gehen. Mit den Herren Läuپی und Zimmermann sowie der MOBIMO waren ideale Bedingungen gegeben. Neue Wege zu gehen bedeutet, die eigene Arbeit und die der Partner konstruktiv kritisch betrachten und im Team nach Lösungen suchen.

Dynamische Simulationsprogramme

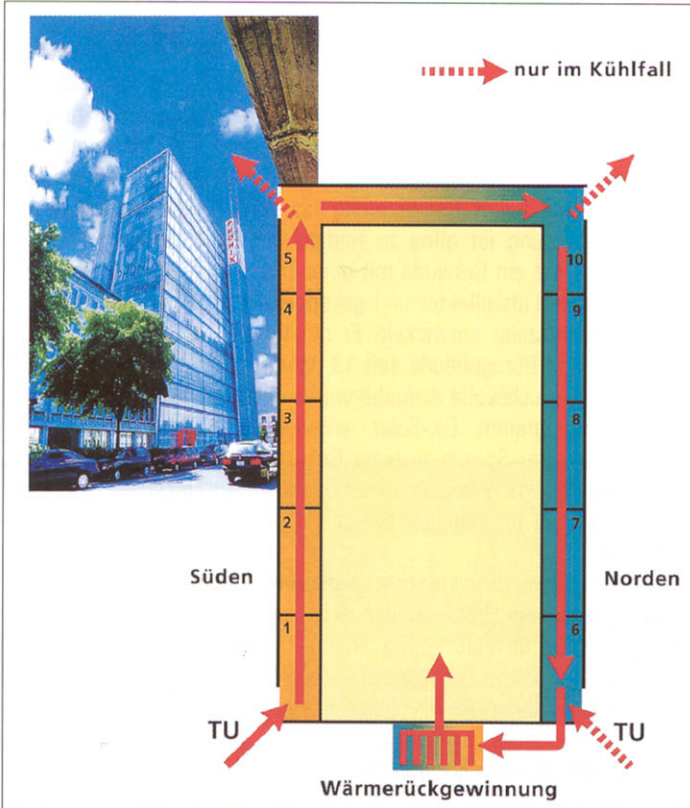
Die Wechselwirkung von Doppelfassade, Büros und auch die eingesetzte Technologie und vor allem die Regelungstechnik mit dem Nutzerverhalten sind wichtige Einflussgrößen auf das Optimierungsergebnis und müssen deshalb mit berücksichtigt werden. Dabei wird für die Gesamtoptimierung der ideale Benutzer angenommen, während für die reale Verbrauchsabschätzung möglichst der reale Benutzer als Randbedingung eingegeben werden muss. Dabei ist natürlich allein schon die Frage, was ist ein realer Benutzer, nicht beantwortbar. Wir hoffen, dass mit der Zeit der reale Benutzer sich immer mehr dem idealen Nutzerverhalten nähern wird, damit das Potenzial der optimierten Gebäude auch voll genutzt wird. Der ideale Benutzer ist einfacher zu definieren. Die Antwort ist jedoch immer vom Stand unserer Erkenntnisse abhängig, das heisst: Der ideale Benutzer/Bewohner handelt nach dem Stand des aktuellen Wissens optimal, um die gewünschte Behaglichkeit bei minimalem Energiebedarf zu erreichen. Beispiel: Der 3 Liter Lupo von VW verbraucht bei idealer Nutzung den Zielwert, im realen Einsatz liegt der Wert höher. Der engagierte Fahrer fragt sich, wo die Ursachen für die Abweichung liegen, und kann, wenn er will, sein praktisches Verhalten so

*Delzer Kybernetik
Siegfried Delzer, Dipl.-Ing. (U)
Ritterstrasse 51
D-79541 Lörrach

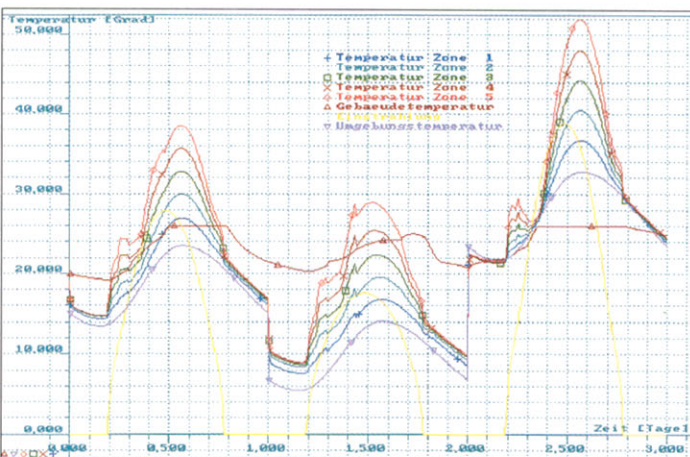
1 Zwei Beispiele für die Retroreflexion von Köster, für den Phoenix wurde die linke Lamellenvariante gewählt.



2 Doppelfassade. Mit der dynamischen Gebäudesimulation konnten verschiedene Lüftungs-, Heizungs- und Kühlkonzepte in Hinblick auf Behaglichkeit und Energieverbrauch detailliert untersucht werden. Mit einer intelligenten Regelung aller Haustechnikkomponenten ergeben sich grosse Energieeinsparpotenziale für Beleuchtung, Heizung und Kühlung. In Fig. 3 sind entsprechend der Nummerierung in den Zonen die Temperaturverläufe dargestellt.



3 Temperaturprofil in der Südfassade im Sommer: in der Grafik sieht man die Temperatursituation in der Südfassade und im Gebäude an drei Tagen im Sommer. Man erkennt deutlich das Temperaturprofil in der Südfassade, das sich durch Einströmen der Umgebungsluft unten und durch Aufsteigen der durch Einstrahlung erwärmten Luft ergibt. Die Gebäudeinnentemperatur wird mit Hilfe von Kühldecken und durch Luftabkühlung mit der Wärmerückgewinnungsanlage auf 26 °C gehalten. Die Maximaltemperatur in der Fassade wird ca. zwei Stunden nach Sonnenhöchststand erreicht, da die Südfassade etwa 20 °C nach Westen gedreht ist.



4 Microcontroller-Steuergeräte nehmen die Sensorsignale der Umgebungsbedingungen und der Raumbedingungen in verschiedenen Zonen auf und regeln mittels optimalen Regelungsstrategien.

1 optimieren, bis der erreichbare Zielwert 3 Liter auf 100 km auch im Praxisbetrieb erreicht ist. Analog gilt diese Betrachtung auch für Gebäude. Die dynamische Simulation liefert den erreichbaren Zielwert für den Verbrauch bei idealem Nutzerverhalten. Der Nutzer kann seinen Verbrauch als Vergleich sehen und entsprechend lernen und handeln. Damit das Lernen nicht zu intensiv ausfallen muss, sollte die Doppelfassade möglichst gute Bedingungen für den Benutzer/Bewohner liefern. Folgende Tabelle soll für einen Teilbereich den Zusammenhang veranschaulichen, die mittels dynamischer Simulation für den Phoenix ermittelt wurde.

Energieverbrauch/Leistung	Referenz Variante	1 Kunstlichtregelung	2 wie 1 jedoch Sonnenschutz reduziert und mehr Licht über Lenksystem
Lichtenergiebedarf [kWh/a]	214 650	153 692	127 158
Maximal erforderliche Kühlleistung [kW]	261	219	195
Kühlenergiebedarf [kWh/a]	75 222	40 877	28 920
Heizenergiebedarf [kWh/a]	134 887	148 393	148 307
Schätzung der Gesamtenergiekosten [SFr/a]	92 927	69 122	58762

2

Die Zusammenhänge in der Tabelle sind klar erkennbar. Im Vergleich zur Referenzvariante wird der Lichtenergiebedarf mit der Kunstlichtregelung und mit dem Lichtlenksystem in der Fassade kleiner. Gleichzeitig wird die maximal erforderliche Kühlleistung von 261 kW auf 195 kW reduziert. Der Kühlenergiebedarf wird von 75 000 kWh/Jahr auf 29 000 kWh/Jahr reduziert. Da die reduzierte Beleuchtung nicht mehr soviel Wärme abgibt, steigt jedoch der Heizenergiebedarf um ca. 14 000 kWh/Jahr. Da die Wärme deutlich günstiger bereitgestellt werden kann als Kälte und Strom und die Einsparung auch in Kilowattstunden bei Kälte und Strom deutlich grösser ist, liegt der Einspareffekt bei mehr als 30% bei den laufenden Kosten für Heizung, Kühlung und Beleuchtung. Bei den Lichtlenksystemen sind von Köster neue Systeme mit Retroreflexion entwickelt worden. Hier wird das Licht möglichst in Richtung Sonne zurückreflektiert, so dass nur minimale Störungen durch Reflexionen auftreten und der freie Blick nach draussen erhalten bleibt.

3

Das Prinzip der von Köster entwickelten Mikroreflektoren ist eine mikroprismenstrukturierte Oberfläche, die ähnlich einem Fresnelschen Spiegel ausgebildet ist. Durch die Mikrostrukturierung wird die Retroreflexion bei flacher

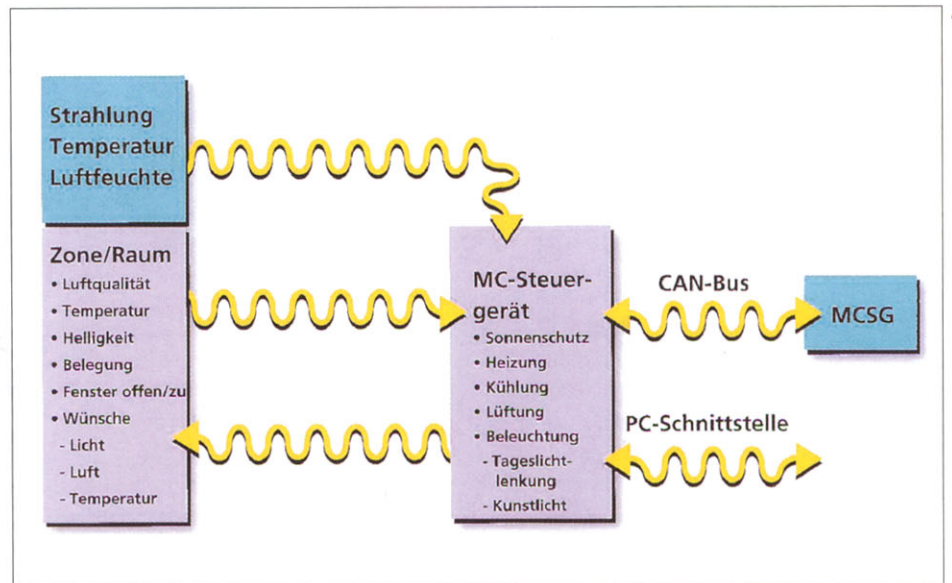
Lamellenstellung erreicht, so dass auch im Sommer die Jalousie immer in einer offenen Position durchsichtig bleibt. Dies erhöht nicht nur das Wohlbefinden der Nutzer, denen auch bei aktivem Sonnenschutz der Blick auf das wunderbare Alpenpanorama unverwehrt bleibt, es erlaubt gleichzeitig eine sehr gute diffuse Raumausleuchtung. Messungen zeigen, dass sogar bei Innenanordnung hinter einer farbneutralen Sonnenschutzverglasung mit diesen Jalousien bei 60° Sonneneinfall und Horizontalpositionierung der Lamellen g-Werte von 0,13 für die Direkteinstrahlung realisierbar sind.

Obwohl die Retroreflexion eine wirkungsvolle Methode ist, die überschüssige Energie im Sommer ausserhalb des Gebäudes/Doppelfassade mit hohem Wirkungsgrad zu halten, wird es in der Doppelfassade des Phoenix warm. Als einfaches System zur Kühlung der Doppelfassade wird der natürliche Auftrieb in der Doppelfassade durch die wärmere Luft genutzt. Mit Klappen im Fussbereich der Fassade und auf dem Dach kann sie natürlich belüftet werden. Im Winter wird die Doppelfassade möglichst warm gehalten, und die warme Luft wird über einen Kanal im Dachbereich in die Nordfassade transportiert.

Energie und Gebäudemanagement / Regelungstechnik

Wie oben erwähnt sind die konzeptionellen Vorüberlegungen eine wichtige Voraussetzung für ein einfaches und robustes Regelungskonzept. Wie bei der Beleuchtung aufgezeigt, sind die Wechselwirkungen zwischen Doppelfassade und Büros deutlich gegeben. Zum Beispiel sollte die Fassade klar in Funktion der Nutzung der Büros geregelt werden. Sind die Büros genutzt und es soll gekühlt werden, ist es sinnvoll, die Lamelle auf volle Abschattung einzustellen. Für den Heizfall des Büros gilt genau das Gegenteil, die Lamelle kann voll hochgefahren werden, um den maximalen Solargewinn zu nutzen. Damit die Regelung nicht zu hektisch reagiert, sind persönliche Empfindungen der Büronutzer mit zu berücksichtigen.

Ein so vernetztes Regelungssystem ist zur Zeit im Bereich der Haustechnik nicht kostengünstig verfügbar. Es bot sich an, eine Entwicklung für die Automobilindustrie, ein kostengünstiges Microcontroller-Steuergerät mit einer effizienten Programmierumgebung für Testfahrzeuge, zu nutzen. Die hohe Flexibilität der Hardware und die einfache Programmierung über eine graphische Simulationsumgebung mit Simulink unter MATLAB sind eine sehr gute Basis, da viele Experten mit Pro-



grammiererfahrungen auf diesem Gebiet zur Verfügung stehen. Mit den flexiblen Schnittstellen am Steuergerät konnten einfache Konzepte realisiert werden. Die Lösungen waren einfach, kostengünstig und platzsparend. Die Programmierung mit Simulink ist einfach und schnell. Dass die Software gleichzeitig gut dokumentiert und von technisch versierten Personen leicht nachvollziehbar ist, ist ein weiterer Vorteil für die Wartung und den langfristigen Betrieb der Anlage. Im Sinne von robusten Systemen sind pro Geschoss zwei Steuergeräte eingesetzt, welche jeweils für die Süd- oder Nordseite die vollständige Regelung für die Heizung, Kühlung, Lüftung, Lichtregelung in den jeweiligen Zonen und die Lamellenregelung in der Doppelfassade übernehmen. Diese Regler sind direkt mit den Sensoren und Stellern gekoppelt und deshalb autark funktionsfähig. Diese Lösung der Gesamtregelung für die Süd- und Nordseite bringt den Vorteil einer grossen Kosteneinsparung durch geringe Investitionskosten bei den Komponenten und geringe Betriebskosten. Zum Beispiel wird der Bewegungsmelder für die Beleuchtung gleichzeitig für die Lüftung und die Fassadenregelung genutzt. Ein CAN-Bus vernetzt alle Microcontroller. Der Datenaustausch wird auf das notwendige Mass reduziert, so dass noch grosse Reserven beim CAN-Bus vorhanden sind. Die Grundstrategie beim Entwurf war, die Regelung muss auch ohne Bus sicher funktionieren. Der Bus dient der Optimierung der Regelung und dem Energie- und Gebäudemanagement.

Energie- und Gebäudemanagement

Dass die Beleuchtung über Lichtlenkung und Kunstlichtdimmung eng mit der Doppelfassa-

de gekoppelt ist, ist nur ein Punkt. Wichtig ist die durchgängige Regelung. Wann soll die Fassade mit der Kühlstrategie und wann mit der Heizstrategie gefahren werden? Diese Frage muss klar beantwortet werden. Häufig sieht die Lösung so aus. Falls die Temperatur in der Fassade grösser ist als ein definierter Wert, dann soll die Fassade mit Luft gespült werden und falls die Temperatur kleiner als ein definierter Wert ist, dann soll die Doppelfassade geschlossen sein. Diese Lösung ist sehr starr und leider auch wegen der fehlenden Vernetzung uneffizient. Es kann zum Beispiel vorkommen, dass in den Büros geheizt werden muss und die Fassade arbeitet nach der Kühlstrategie, oder in der Fassade ist es schön kühl, aber weil der minimale Grenzwert unterschritten ist, wird für die Doppelfassade die Heizstrategie gefahren, obwohl in den Büros aufgrund der hohen internen Lasten gekühlt werden muss. Es ist eindeutig, für eine effiziente Regelung ist eine Koppelung der Daten für die Doppelfassade und das Kerngebäude notwendig. Ebenso wichtig ist ein Regelungskonzept, das diese Informationen gesamthaft für die Doppelfassade und die Büros mit dem Ziel der Kostenminimierung und Behaglichkeitsoptimierung umsetzt. Beim Phoenix wurde das realisierte Regelungskonzept auch schon bei der dynamischen Simulation für die Doppelfassade und das Gebäude untersucht. So ist die Inbetriebnahme und die Optimierung der Anlage stark vereinfacht worden. Aus unserer Sicht steckt die Doppelfassade wegen der hohen Dynamik voller Chancen und, was wichtiger ist, die Entwicklung steht erst am Anfang. ■